



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Estudio del comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular
mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de implementación**

Heras Benavides, José Daniel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto

05 de agosto de 2022

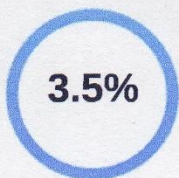
Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Trabajo de titulación Jose Heras.docx

Scanned on: 16:26 August 5, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	473
Words with Minor Changes	229
Paraphrased Words	108
Omitted Words	0

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto Mgs.

C.C.:0502005242

Certificación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Estudio del comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de Implementación"** fue realizado por el señor **Heras Benavides, José Daniel**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, Agosto 05 de 2022

Firma

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto Mgs.

C.C.: 0502005242

Responsabilidad de Autoría**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica****Carrera de Ingeniería Automotriz****Responsabilidad de autoría**

Yo, **Heras Benavides, José Daniel**, con cédula de ciudadanía N° 1804329439, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Estudio del comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de implementación”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, Agosto 05 de 2022

Firma



Heras Benavides, José Daniel

CC: 1804329439

Autorización de Publicación**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica****Carrera de Ingeniería Automotriz****Autorización de publicación**

Yo **Heras Benavides, José Daniel**, con cédula de ciudadanía N° 1804329439, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“Estudio del comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de implementación”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, Agosto 05 de 2022

Firma

Heras Benavides, José Daniel**CC: 1804329439**

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación es un honor y privilegio dedicarlo a Dios, por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera, darme buena salud, fortaleza y sabiduría en todo momento en especial en los difíciles, a mi esposa Lorena Paulina Villacis Freire por ser fuente de apoyo incondicional, estar a mi lado en las circunstancias adversas, y mantenernos siempre juntos pese a los momentos que hemos atravesado, a mis hijos Aryan, Arlette, Emilio y Gabriel, por ser los pilares fundamentales en mi formación como profesional, por su amor, consejos, y motivación constante he podido tener la fuerza suficiente para poder salir adelante. Siempre estuvieron a mi lado brindándome ese apoyo incondicional en mis estudios, motivándome cada día para poder alcanzar este triunfo que hoy por hoy es lo que me apasiona mi profesión, muchos de mis logros se los debo a ellos entre los que incluye este.

Parte de este logro lo dedico a mi Madre María Benavides que a la distancia me apoyo de alguna manera, en mi carrera universitaria.

A mi director de Proyecto por la sabiduría y experiencia para guiarme adecuadamente en la realización de esta investigación.

A mis amigos incondicionales Juan Castro y Jefferson Mena que me brindaron la paciencia y el conocimiento para culminar con éxito.

Y a mi persona por ser constante y nunca darme por vencido demostrar a mi familia que lo que se inicia siempre se termina

Agradecimiento

Le doy gracias a Dios por sus bendiciones, haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por darme la voluntad y fuerza de no haber dejado que me rinda en ningún momento, para que fuera posible alcanzar este logro.

Agradezco a mi hogar conformado por mi esposa y cuatro hijos por el apoyo incondicional que me brindaron, por todo el sacrificio que hicieron durante estos años que ha permitido que pueda terminar mi carrera.

Así mismo agradezco a mi padre de crianza LLeferon por apoyarme moralmente e impulsar que termine mi carrera profesional.

Finalmente agradezco la ayuda y apoyo de quien ha sido mi tutor de proyecto Ing. Henry Iza, Dios lo bendiga, por su comprensión y paciencia.

Quiero recalcar a personas importantes y desinteresadas que me brindaron su apoyo moralmente y con su conocimiento como son Jefferson Mena un amigo en todo el sentido de la palabra, al igual que Juan Castro amigos que duran toda la vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Figuras	16
Índice de tabla.....	20
Resumen	22
Abstract	23
Nomenclatura.....	24
Capítulo I: Introducción.....	25
Antecedentes	25
Planteamiento del problema	26
Descripción resumida del proyecto	27
Justificación e importancia.....	29
Objetivos	30
<i>Objetivo general</i>	30

<i>Objetivos específicos</i>	30
Meta del proyecto	31
Hipótesis	31
Variables de la investigación	32
<i>Variable independiente</i>	32
<i>Variable dependiente</i>	33
Metodología de desarrollo del proyecto	34
<i>Método Comparativo</i>	34
<i>Método Experimental</i>	34
<i>Método de Matematización</i>	34
<i>Método de Modelación</i>	34
<i>Método de medición</i>	35
<i>Método Científico</i>	35
<i>Método Inductivo</i>	35
<i>Método Deductivo</i>	35
Capítulo II: Marco teórico	39
Definición del karting	39
Breve historia del karting	39
<i>Categorías de competición</i>	40
<i>Reglamentación de competición FEDAK</i>	42
Partes del karting	42

<i>Carrocería</i>	43
<i>Bastidor</i>	43
<i>Bandeja de chasis</i>	47
<i>Pedales</i>	48
<i>Barras de sujeción</i>	48
<i>Aros y neumáticos</i>	50
<i>Motor</i>	52
<i>Asiento</i>	52
<i>Cables y Cañerías</i>	53
Sistema de dirección	54
<i>Volante</i>	54
<i>Columna de la dirección</i>	55
<i>Varillas y Rótulas</i>	55
<i>Manguetas</i>	56
Sistema de escape	57
Sistema de frenos	57
Sistema de alimentación	58
<i>Carburador</i>	58
<i>Tanque de combustible</i>	59
Sistema de transmisión	59
Normas de diseño	60

Cargas	60
 Criterios de diseño	65
 Factor de seguridad	65
 Materiales	65
Vehículo eléctrico	68
 Clasificación de vehículos eléctricos	69
 Componentes del vehículo eléctrico	70
Dinámica del vehículo	77
 Fuerza de tracción total del vehículo	77
 Fuerza de fricción	77
 Fuerza aerodinámica	78
 Fuerza en pendiente	78
 Potencia requerida del motor	79
Ciclos de conducción homologados	79
 New European Driving Cycle (NEDC)	80
 Ciclo de conducción WLTP	80
 Ciclo de conducción FTP-75	81
 Ciclo de conducción HWFET O HFET	83
Modelado dinámico y simulación	83
 Forward-facing vehicle model	83
 Backward-facing vehicle model	84

Capítulo III: Modelación y simulación mecánica-eléctrica.....	86
Comparación de karting eléctricos.....	86
Diseño de chasis de karting.....	87
Diseño en 3D esquemático de un karting.....	89
Cálculo de cargas estáticas	95
<i>Carga muerta</i>	<i>96</i>
<i>Carga viva</i>	<i>96</i>
Cálculo de cargas dinámicas.....	97
<i>Carga de frenado</i>	<i>97</i>
<i>Carga de giro</i>	<i>97</i>
<i>Carga de resistencia al aire frontal.....</i>	<i>97</i>
<i>Carga de aceleración brusca.....</i>	<i>98</i>
Dinámica del vehículo.....	98
<i>Cálculo de fuerza aerodinámica</i>	<i>99</i>
<i>Cálculo de fuerza de Fricción.....</i>	<i>100</i>
<i>Cálculo de la fuerza en pendiente.....</i>	<i>102</i>
<i>Cálculo de la fuerza neta</i>	<i>102</i>
<i>Cálculo de la fuerza de tracción.....</i>	<i>103</i>
<i>Cálculo del torque requerido en la rueda</i>	<i>103</i>
<i>Cálculo de la potencia mecánica</i>	<i>103</i>
<i>Cálculo de la potencia eléctrica</i>	<i>104</i>

<i>Cálculo de la energía de las baterías</i>	104
Diseño del sistema de propulsión eléctrico en el software Matlab Simulink versión prueba en línea.	105
<i>Ciclo de conducción</i>	106
<i>Dinámica del vehículo en Simulink versión prueba en línea</i>	107
<i>Tren de propulsión eléctrica</i>	108
<i>Modelado de la batería</i>	109
Comparación de baterías (Litio) de alta tensión existentes en el mercado	110
Comparación de motores eléctricos existentes en el mercado	111
Comparación de convertidores DC/DC existentes en el mercado	112
Comparación de controladores de motores eléctricos existentes en el mercado	113
Comparación de cargadores existentes en el mercado	114
Selección del tren de propulsión eléctrico de acuerdo a los requerimientos del kartódromo de Cotopaxi	114
Modelación en 3D de vehículo eléctrico con su tren de propulsión eléctrico seleccionado	115
Capítulo IV: Análisis de resultados obtenidos en el software de ingeniería	118
Análisis estáticos de esfuerzos en el chasis	118
<i>Factor de seguridad</i>	122
<i>Desplazamiento del material</i>	123
<i>Esfuerzo de Von Mises</i>	125
Análisis de MATLAB – Simulink versión de prueba en línea	126

<i>Velocidad vs Tiempo</i>	126
<i>Distancia vs Tiempo.</i>	127
<i>Aceleración vs Tiempo</i>	129
<i>Fuerza de tracción vs tiempo</i>	130
Potencia Mecánica vs Tiempo	131
<i>Potencia Eléctrica vs Tiempo</i>	132
<i>Torque vs Tiempo.</i>	133
<i>Energía vs Tiempo.</i>	133
<i>Corriente vs Tiempo.</i>	134
<i>Voltaje vs Tiempo.</i>	135
<i>Carga vs Tiempo.</i>	136
Análisis económico de factibilidad de la construcción de un karting eléctrico.	137
Propuesta de implementación	138
Capitulo V: Presupuesto	143
<i>Recursos humanos</i>	143
<i>Recursos materiales</i>	143
<i>Recursos tecnológicos</i>	144
<i>Costo neto del proyecto</i>	144
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	145
Conclusiones	145
Recomendaciones	147

Bibliografía.....148

Anexos.....153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	26
Figura 2 <i>Art Ingels creador del Primer Kart</i>	40
Figura 3 <i>Elementos de la carrocería</i>	43
Figura 4 <i>Marcas conocidas de Chasis</i>	44
Figura 5 <i>Chasis Tubular</i>	45
Figura 6 <i>Chasis monocasco</i>	46
Figura 7 <i>Chasis go-kart</i>	47
Figura 8 <i>Bandeja de chasis</i>	47
Figura 9 <i>Pedal de acelerador</i>	48
Figura 10 <i>Barra Frontal</i>	48
Figura 11 <i>Barra Posterior</i>	49
Figura 12 <i>Barras laterales</i>	49
Figura 13 <i>Barra de torsión</i>	50
Figura 14 <i>Despiece Aro</i>	51
Figura 15 <i>Neumáticos de Karting</i>	51
Figura 16 <i>Asiento plano OTK</i>	52
Figura 17 <i>Cables de acelerador y freno</i>	53
Figura 18 <i>Cañerías y empalme de freno</i>	53
Figura 19 <i>Sistema de dirección</i>	54
Figura 20 <i>Volante</i>	54
Figura 21 <i>Columna de dirección KF-KZ 470 mm</i>	55
Figura 22 <i>Tirante sterzo 190mm</i>	55
Figura 23 <i>Joinball</i>	56
Figura 24 <i>Mangueta OTK</i>	56

Figura 25 Sistema de escape.....	57
Figura 26 Componentes del sistema de frenos	58
Figura 27 Carburador Rotax.....	58
Figura 28 Tanque de combustible 8.5 litros.....	59
Figura 29 Sistema de transmisión	60
Figura 30 Tipos de vehículos eléctricos.....	69
Figura 31 Partes de un vehículo eléctrico.....	70
Figura 32 Motor eléctrico Bentley.....	71
Figura 33 Controlador del motor eléctrico.....	71
Figura 34 Convertidor DC-DC	72
Figura 35 Cargador a bordo	72
Figura 36 Ciclo NEDC.....	80
Figura 37 Ciclo de conducción WLTP	81
Figura 38 Fase Extraurbana FTP75	82
Figura 39 Ciclo de conducción HWFET.....	83
Figura 40 Modelo de vehículo orientado hacia adelante	84
Figura 41 Backward-facing vehicle model	85
Figura 42 Selección pieza a modelar	88
Figura 43 Selección del plano en SolidWorks.....	88
Figura 44 Boceto en 3D en CAD	89
Figura 45 Sujeción del espaldar	90
Figura 46 Croquis del perfil estructural.....	91
Figura 47 Especificaciones Generales del acero AISI 304	92
Figura 48 Acero AISI diámetro 31.75 mm y t= 2 mm.....	92
Figura 49 Especificaciones generales del acero ASTM A-36	93

Figura 50	<i>Colocación del perfil personalizado</i>	94
Figura 51	<i>Puntos de sujeción eje motriz</i>	94
Figura 52	<i>Mallado de chasis</i>	95
Figura 53	<i>Inclinación máxima del Kartódromo de Cotopaxi</i>	101
Figura 54	<i>Parámetros del kartódromo en Simulink</i>	106
Figura 55	<i>Ciclo de conducción HWFET en Simulink versión de prueba en línea</i>	107
Figura 56	<i>Fuerzas existentes en el Karting</i>	108
Figura 57	<i>Cálculo de potencia mecánica, eléctrica y torque</i>	109
Figura 58	<i>Programación de la batería HV</i>	110
Figura 59	<i>Karting Eléctrico diseñado y modelado</i>	115
Figura 60	<i>Motor Eléctrico</i>	116
Figura 61	<i>Controlador del Karting Eléctrico</i>	116
Figura 62	<i>Batería HV</i>	117
Figura 63	<i>Equidistancia de la superficie para un análisis estático</i>	119
Figura 64	<i>Análisis de la perfilería estructural</i>	119
Figura 65	<i>Especificaciones del material AISI 304</i>	120
Figura 66	<i>Especificaciones del material ASTM A36</i>	121
Figura 67	<i>Análisis de las superficies de la perfilería</i>	121
Figura 68	<i>Análisis del factor de seguridad en CAD del material AISI 304</i>	122
Figura 69	<i>Análisis del factor de seguridad en CAD del material ASTM A36</i>	123
Figura 70	<i>Análisis del desplazamiento del material AISI 304</i>	124
Figura 71	<i>Análisis del desplazamiento del material ASTM A36</i>	124
Figura 72	<i>Resultado de la simulación por Tensión de Von Mises AISI 304</i>	125
Figura 73	<i>Resultado de la simulación por Tensión de Von Mises en el acero ASTM A 36</i>	126
Figura 74	<i>Análisis del ciclo de conducción HWFET en Simulink</i>	127

Figura 75 <i>Recorrido del Karting durante el ciclo de trabajo</i>	128
Figura 76 <i>Análisis de la aceleración en función del tiempo en Simulink</i>	129
Figura 77 <i>Análisis de la fuerza de tracción</i>	130
Figura 78 <i>Análisis de la potencia mecánica</i>	131
Figura 79 <i>Análisis de la potencia Eléctrica</i>	132
Figura 80 <i>Análisis del Torque</i>	133
Figura 81 <i>Análisis de la energía necesaria para cumplir con la autonomía</i>	134
Figura 82 <i>Análisis de la intensidad eléctrica</i>	135
Figura 83 <i>Análisis del voltaje</i>	135
Figura 84 <i>Análisis del SOC</i>	136
Figura 85 <i>Análisis del recorrido según la carga de la batería</i>	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operacionalización de la variable independiente</i>	32
Tabla 2	<i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	33
Tabla 3	<i>Metodología de investigación</i>	36
Tabla 4	<i>Comisión Internacional del Karting</i>	40
Tabla 5	<i>Campeonato de España de Karting</i>	41
Tabla 6	<i>Características del motor mono-cilíndrico</i>	52
Tabla 7	<i>Peso total de la carga muerta</i>	61
Tabla 8	<i>Velocidades, radios mínimos y peraltes en carreteras</i>	63
Tabla 9	<i>Propiedades mecánicas ASTM-A36</i>	66
Tabla 10	<i>Propiedades mecánicas Acero AISI 304</i>	68
Tabla 11	<i>Características de la batería Plomo-ácido</i>	73
Tabla 12	<i>Características de la batería Níquel - Cadmio</i>	74
Tabla 13	<i>Características de la batería Níquel Hidruro Metálico</i>	74
Tabla 14	<i>Características de la Batería de Ion Litio</i>	75
Tabla 15	<i>Características de las Baterías de Ion-litio con cátodo de LiFePO4</i>	76
Tabla 16	<i>Características de las baterías de Polímero de litio</i>	76
Tabla 17	<i>Kartings existentes para competencia según la FIA/CIK</i>	87
Tabla 18	<i>Denominación a seleccionar el material según Norma INEN 2415</i>	91
Tabla 19	<i>Carga muerta del vehículo karting eléctrico</i>	96
Tabla 20	<i>Valores de la fuerza aerodinámica según la velocidad de 0 - 95 km/h</i>	99
Tabla 21	<i>Coeficiente de arrastre de superficie</i>	100
Tabla 22	<i>Resumen de resultados</i>	104
Tabla 23	<i>Baterías de alta tensión de litio</i>	110
Tabla 24	<i>Potencia de motores eléctricos</i>	111

Tabla 25 <i>Convertidores eléctricos de DC-DC</i>	112
Tabla 26 <i>Controladores para motores eléctricos</i>	113
Tabla 27 <i>Cargadores actuales en el mercado</i>	114
Tabla 28 <i>Tren de propulsión eléctrico seleccionado</i>	114
Tabla 29 <i>Aceleraciones y desaceleraciones en Simulink</i>	129
Tabla 30 <i>Fuerza de tracción según la velocidad</i>	130
Tabla 31 <i>Potencia mecánica según la velocidad</i>	131
Tabla 32 <i>Potencia eléctrica según la velocidad</i>	132
Tabla 33 <i>Costo de kit de conversión para karting eléctricos</i>	138
Tabla 34 <i>Características de la batería de alta tensión hacer implementada</i>	139
Tabla 35 <i>Características específicas del motor eléctrico a implementar</i>	140
Tabla 36 <i>Características específicas del convertidor a implementar</i>	140
Tabla 37 <i>Características del controlador a implementar</i>	141
Tabla 38 <i>Características del cargador a implementar</i>	141
Tabla 39 <i>Recursos humanos viables para la investigación</i>	143
Tabla 40 <i>Recursos materiales para la investigación</i>	143
Tabla 41 <i>Recursos tecnológicos</i>	144

Resumen

En la presente investigación se diseñó un modelado 3D de un chasis para Karting Eléctrico bajos los parámetros en la ciudad de Latacunga específicamente para el Kartódromo de la misma, mediante software computacional CAD – SolidWorks versión estudiantil y el sistema de computacional numérico MATLAB & SIMULINK versión de prueba en línea, que ofrece un desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje propio de programación con los mismos se realizó pruebas de rigidez (a torsión, flexión) del material en puntos críticos del acero AISI 304.

Mediante un cuadro comparativo de karting eléctrico con las siguientes características:

Fabricante, Modelo, tipo de motor, potencia nominal de motor, tipo de baterías (voltaje, capacidad), peso, dimensiones, velocidad máxima, aceleración máxima, autonomía. Se obtiene los parámetros necesarios requeridos para la ciudad de Latacunga, mediante el uso de ecuaciones de estado, aplicando fórmulas matemáticas y físicas que se enfocan en la dinámica del vehículo tomando en cuenta que el karting se encuentra en plena carga (montado el piloto), uso de tablas para obtener el coeficiente de rozamiento entre el neumático y el camino. Con la simulación me permite seleccionar un tren de propulsión eléctrico (motor eléctrico y controlador, baterías de alto voltaje) para implementar en el diseño del karting, mediante el software de ingeniería, que permite observar las curvas del comportamiento del karting eléctrico a través de los parámetros obtenidos. Los componentes automotrices mecánicos y eléctricos se modela mediante el uso del software de ingeniería para implementarlos en el diseño del karting eléctrico. Desarrollando una propuesta de la implementación del tren de propulsión y la construcción del bastidor como un prototipo de karting eléctrico.

Palabras clave: karting eléctrico, tren de propulsión, controlador eléctrico, ecuaciones de estado.

Abstract

In the present research, a 3D modeling of a chassis for Electric Karting was designed under the parameters in the city of Latacunga specifically for the Kartódromo of the same, using CAD computational software – SolidWorks student version and the NUMERICAL computer system MATLAB & SIMULINK online trial version, that offers an integrated development (IDE) with its own programming language with which stiffness tests (torsion, bending) of the material were carried out at critical points of the AISI 304 steel. By means of a comparative table of electric karting with the following characteristics: Manufacturer, Model, type of motor, nominal power of motor, type of batteries (voltage, capacity), weight, dimensions, maximum speed, maximum acceleration, autonomy. The necessary parameters required for the city of Latacunga, through the use of equations of state, applying mathematical and physical formulas that focus on the dynamics of the vehicle taking into account that the karting is in full load (mounted the pilot), use of tables to obtain the coefficient of friction between the tire and the road. With the simulation it allows me to select an electric propulsion train (electric motor and controller, high voltage batteries) to implement in the design of the karting, using the engineering software, which allows me to observe the curves of the behavior of the electric karting through the parameters obtained. Mechanical and electrical automotive is modeled by using engineering software to implement them in the design of electric karting. Developing a proposal for the implementation of the powertrain and the construction of the frame as an electric karting prototype.

Keywords: electric karting, powertrain, electric controller, equations of state.

Nomenclatura

Simbología	Designación	Simbología	Designación
a	Aceleración	F_{rr}	Fuerza de fricción
ψ, α	Angulo de pendiente	F_{hc}	Fuerza de pendiente
		F_p	
		F_{grade}	
A	Área	F_{te}	Fuerza de tracción
Ab	Carga aceleración brusca	F_{nt}	Fuerza neta
G	Carga de giro	g	Gravedad
M	Carga muerta	m	Masa
Raf	Carga por resistencia al aire frontal	Mt	Masa de los materiales
V	Carga viva	Vt	Masa del piloto
Cd, Cx	Coefficiente aerodinámico	P_{elec}	Potencia eléctrica
u_{rr}	Coefficiente de fricción	P_m	Potencia mecánica
CA	Corriente alterna	P_{real}	Potencia real
CC	Corriente continua	$P_{requerida}$	Potencia requerida
ρ	Densidad	ε_{caja}	Relación de transmisión de caja de cambios
Y_m	Factor de masa	ε_{Dif}	Relación de transmisión del diferencial
Fad	Fuerza aerodinámica	Tr	Torque requerido en la rueda
F	Fuerza de frenado	v	Velocidad

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En cuanto a un karting eléctrico tal como menciona (AUTO magazine, 2019) en su revista:

El deporte tuerca ha sido desde hace muchos años una de las plataformas más importantes para el desarrollo del sector automotriz, logrando captar una gran cantidad de fanáticos que siguen constantemente sus nuevos avances en tecnología, y el karting no se queda atrás. En esta última década una de las principales preocupaciones de la sociedad es la contaminación ambiental, siendo el transporte a base de combustibles fósiles uno de los principales causantes del cambio climático. Frente a esto, las industrias automotrices han visto la necesidad y urgencia de incursionar en tecnologías limpias con las que puedan reducir su impacto ambiental. De este modo, la Fórmula E ha sido la plataforma para el desarrollo de nuevas tecnologías como los vehículos eléctricos, buscando un crecimiento que permita su competitividad, por ejemplo, en cuanto a la autonomía y eficiencia de las baterías de los mismos. A través del deporte, la FIA (Federación Internacional de Automóvil) y sus clubes quieren demostrar que una movilidad limpia y eléctrica es posible y de este modo llamar la atención de la ciudadanía en todo el planeta, sobre este tema tan importante.

Además, según (EL COMERCIO, 2019) indica que:

La Ley de Eficiencia Energética, vigente desde el 19 de marzo del 2019, tiene por objeto promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía. Con esto se pretende aumentar la productividad en este sector, fomentar la competitividad de la economía nacional, construir una cultura de sustentabilidad ambiental, mitigar el cambio climático y otros.

Según (VARUS, 2021) menciona que:

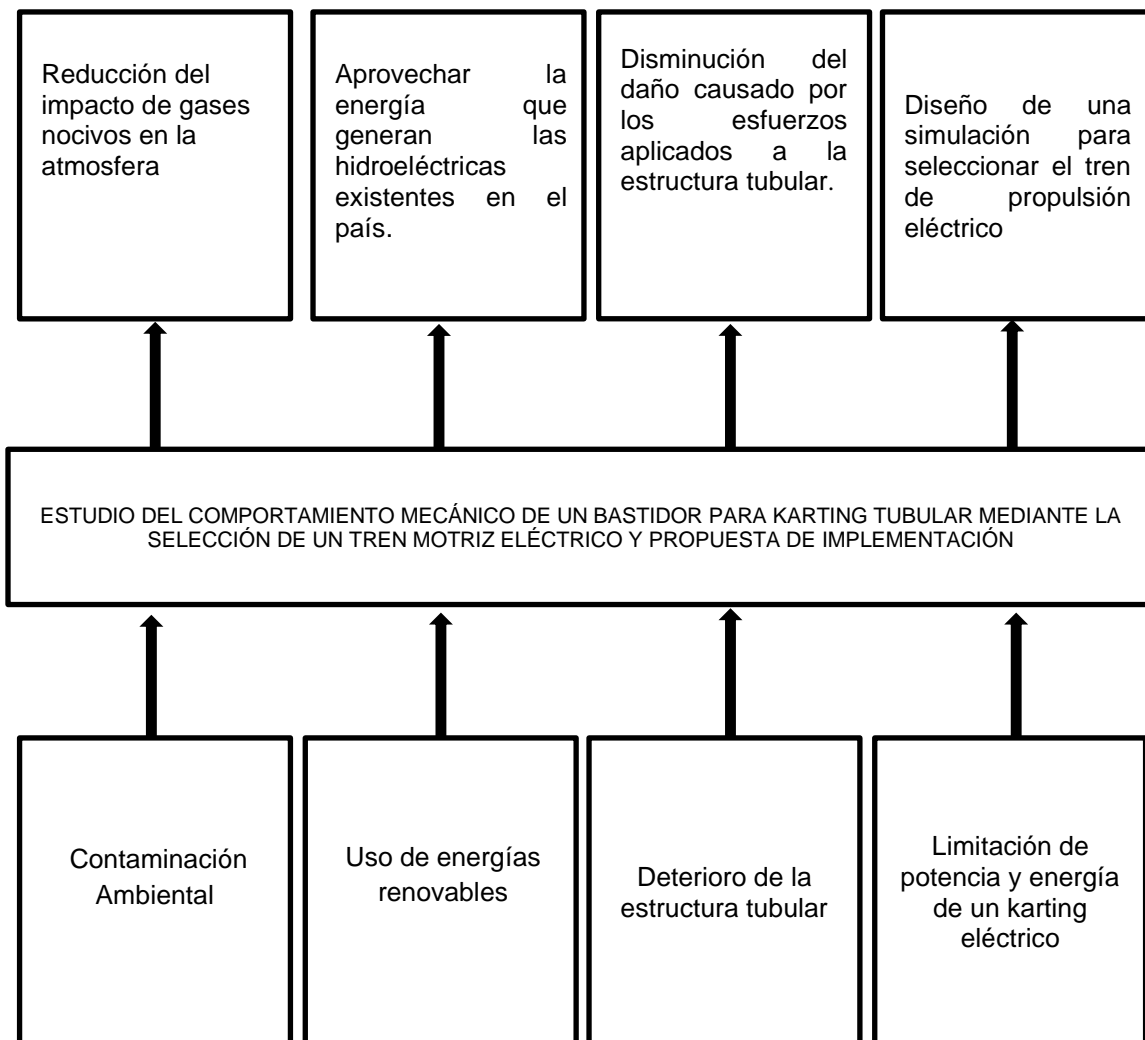
Existen 5 marcas de vehículos eléctricos más vendidas en el Ecuador hasta el mes de marzo del 2021 entre ellas están HZ XINHUI, DONGFENG, BYD, NISSAN, KAIYUN. Los

vehículos eléctricos que han llegado al país de procedencia China, Alemania, Corea del sur, España, EE.UU. Francia, Japón, Reino Unido. Distribuidos de la siguiente manera: Azuay (63), Bolívar (1), Cañar (5), Chimborazo (1), Galápagos (29), Guayas (280), Imbabura (18), Loja (56), Los Ríos (1), Manabí (5), Orellana (1), Pichincha (165), Santo Domingo (1), Sucumbíos (1), Tungurahua (15).

Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol de problemas



Los gases nocivos emanados por el tubo de escape de los MCI (Motores de Combustión Interna - MCI) hacia el medio ambiente generan contaminación ambiental, destruyendo la capa de ozono y la atmósfera además provoca enfermedades respiratorias a los seres humanos. Con el avance tecnológico en la industria automotriz como es el caso del karting eléctrico, siendo su principal limitante la potencia del motor eléctrico y la energía de las baterías que presentan los mismos y que para ser impulsados necesitan hacer uso de energías renovables.

Con el paso de los años la población ha ido trabajando en la innovación tecnológica con diferentes materiales como metales y materiales compuestos para el transporte y se ha visto en la necesidad de ir reemplazando a los MCI, con la finalidad de reducir la contaminación ambiental y auditiva, entonces se aprovecharía la energía limpia renovable que producen las hidroeléctricas existente en el país, brindando un bajo costo en el consumo de energía de acuerdo al horario en que se cargue el karting eléctrico. Con el diseño de una simulación que permitirá seleccionar un tren de propulsión eléctrico adecuado y modelamiento 3D del prototipo para la adaptación de sus elementos automotrices se podrá evitar pruebas y errores en la adaptación real y ayudará a escoger un material que sea apropiado para la construcción de su bastidor evitando el deterioro de su estructura tubular generados por los esfuerzos en sus distintos puntos.

Descripción resumida del proyecto

En la presente investigación se obtendrán fuentes de información sobre el diseño de un bastidor para karting y el comportamiento de la estructura tubular en diferentes materiales como metales (acero ASTM-A36, AISI 304 y Aluminio) y materiales compuestos (Fibra de carbono), parámetros de selección de componentes eléctricos automotrices mediante temas relacionados con el proyecto como: artículos científicos, libros, investigaciones científicas, páginas de internet.

Se diseñará un modelado 3D de un chasis de Karting y se realizará pruebas de rigidez (a torsión, flexión) del material en puntos críticos de los diferentes materiales como acero ASTM A-36, AISI 304, Aluminio.

Se realizará un cuadro comparativo donde se evidenciará de karting eléctrico, con las siguientes características: Fabricante, Modelo, tipo de motor, potencia nominal de motor, tipo de baterías (Voltaje, capacidad), peso, Dimensiones, Velocidad máxima, Aceleración Máxima, Autonomía.

Se realizará la simulación en base a los parámetros mecánicos de un karting de MCI y parámetros ambientales de la ciudad de Latacunga.

Se obtendrá y se calculará los parámetros necesarios requeridos para la ciudad de Latacunga, mediante el uso de ecuaciones de estado, aplicando fórmulas matemáticas y físicas que se enfocan en la dinámica del vehículo tomando en cuenta que el karting se encuentra en plena carga (montado el piloto), uso de tablas para obtener el coeficiente de rozamiento entre el neumático y el camino.

Se diseñará una simulación que permitirá seleccionar un tren de propulsión eléctrico (motor eléctrico y controlador, baterías de alto voltaje) para implementar en el diseño del karting, mediante el software de ingeniería, que permitirá observar las curvas del comportamiento del karting eléctrico a través de los parámetros obtenidos.

Se realizará el cuadro comparativo de diferentes trenes de propulsión eléctricos para seleccionar el más adecuado e implementarlo en el diseño del karting eléctrico.

Se modelarán los componentes automotrices mecánicos y eléctricos mediante el uso del software de ingeniería para implementarlos en el diseño del karting eléctrico.

Se modelará el sistema mecánico, chasis y carrocería mediante el uso de herramientas computacionales.

Finalmente se realizará una propuesta de la implementación del tren de propulsión y la construcción del bastidor como un prototipo de karting eléctrico.

Justificación e importancia

Con el pasar de los años la tecnología ha ido avanzando a pasos gigantescos en la industria automotriz, el cambio climático y el efecto invernadero se ha incrementado debido a los gases nocivos que son emanados por los vehículos de MCI a través del tubo de escape, para combatir este problema se ha podido visualizar que en pleno siglo XXI ya los vehículos de carburador, inyección electrónica de gasolina y de diésel están siendo reemplazados por vehículos de energías limpias como es el caso de los vehículos eléctricos y vehículos con pila de hidrógeno los mismos que se están trabajando para alcanzar al 100% autónomos.

Las competiciones de karting son una gran escuela para los futuros campeones del automovilismo, que aprenden a conducir y competir en estos circuitos desde que son muy jóvenes. La particularidad de los kartings eléctricos es que permiten a los jóvenes estudiantes aprender de una forma más amigable y segura, ya que este tipo de karting no emiten sonidos fuertes como es el caso de los Karting que funcionan con MCI, sin afectar el oído de los jóvenes pilotos, además vienen incorporados con sistemas de control de velocidad para evitar posibles siniestros. Es así que a través del deporte y pensando en las generaciones futuras, cuyo aporte al medio ambiente es fundamental, se creó en ANETA la primera escuela de karting eléctrico en el Ecuador (AUTOMagazine, 2019).

El Ecuador siendo un país con gran capacidad de generar energía eléctrica a través de sus distintas hidroeléctricas, proyecta a un futuro en que los vehículos eléctricos serán muy rentables como es el claro ejemplo de países vecinos en Sudamérica como Chile y Colombia que han ido incrementando su movilidad sostenible a gran escala, por lo que se presenta una alternativa para los jóvenes usar un karting eléctrico y vayan adecuándose a una nueva etapa de transición automovilística. Un karting eléctrico ayuda a economizar el costo de

mantenimiento del mismo, su consumo de combustible es menor relacionado al consumo de un karting con MCI y es amigable con el medio ambiente (CELEC, 2021).

Al aplicar diseños de ingeniería a través de software de innovación tecnológica para la industria automotriz ayuda a la misma en la optimización y reducción de costos de prueba y error en los diseños de sus prototipos en este caso de karting eléctricos que se quieran introducir en el mercado automotriz.

El principal problema que se observa en un vehículo eléctrico es el elevado costo de su fuente de energía como es el caso de los packs de baterías de litio, por este motivo no se incrementa la producción de los mismos a gran escala, pero con el pasar de los años a futuro las baterías de alto voltaje disminuirán su costo, el peso y serán más factibles de obtener para la generación de nuevos proyectos en la industria automotriz incluso existirán electrolineras de carga rápida para poder cargar estos vehículos de 0 al 100% en pocos minutos para dar una solución en su limitación de autonomía que presenta actualmente. Una simulación permite personalizar un vehículo eléctrico con su respectivo y adecuado tren de propulsión eléctrico.

Además, el peso de las baterías hace que aumente el peso del vehículo e incluso puede deteriorar el material en el cual son colocadas las mismas. Con el avance tecnológico de la industria automotriz se puede observar ya vehículos eléctricos ligeros con materiales como aluminio o materiales compuestos pero su precio es elevado.

Objetivos

Objetivo general

- Estudiar el comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de implementación.

Objetivos específicos

- Investigar en fuentes de información acerca de la construcción de un karting eléctrico.

- Realizar un cuadro comparativo del karting eléctrico existente en el mercado.
- Diseñar y modelar un chasis de karting para someterlo a pruebas de esfuerzos mecánicos mediante el uso de software de ingeniería para su validación de resistencia estructural.
- Obtener y calcular los parámetros necesarios requeridos para la ciudad de Latacunga.
- Diseño del tren de propulsión para un karting eléctrico mediante uso del software de ingeniería.
- Realizar un cuadro comparativo de distintos componentes del tren de propulsión eléctrico para el karting diseñado.
- Seleccionar los componentes del tren de propulsión eléctrico disponibles en el mercado.
- Modelar el tren de propulsión eléctrico seleccionado, sistemas auxiliares e implementar en el karting mediante el software de ingeniería.
- Analizar las gráficas obtenidas de acuerdo a la simulación del diseño del tren de propulsión eléctrico en el software de ingeniería.
- Determinar la factibilidad de implementación del sistema de propulsión eléctrica en el karting.

Meta del proyecto

- Obtener un modelo de un sistema de propulsión para un karting eléctrico simulado mediante un software de ingeniería para ser implementado con una fiabilidad mayor o igual al 90% y seleccionar el material adecuado del chasis.

Hipótesis

La utilización del software de ingeniería permitirá optimizar costos en las pruebas y errores de prototipos y contribuirá en la implementación real de los mismos.

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Variable independiente

Diseño de un karting eléctrico

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumento	
Son los componentes para la selección de un tren de propulsión eléctrico.	Bastidor	Fuerza	N	Simulación	Software CAD	
		Esfuerzo	MPa	Simulación	Software CAD	
		Desplazamiento	m	Simulación	Software CAD	
	Batería HV	Voltaje		V	Simulación	Software Computacional
			Intensidad	A	Simulación	Software Computacional
		Potencia	kW	Simulación	Software Computacional	
	Motor eléctrico	Torque		Nm	Simulación	Software Computacional
			Voltaje	V	Simulación	Software Computacional
		Potencia	kW	Simulación	Software Computacional	
	Controlador Motor	Voltaje		V	Simulación	Software Computacional
			Potencia	kW	Simulación	Software Computacional
	Convertidor DC/DC	Voltaje		V	Simulación	Software Computacional
			Voltaje	V	Simulación	Software Computacional
	Cargador a bordo	Corriente		A	Simulación	Software Computacional
			Potencia	kW	Simulación	Software Computacional

Variable dependiente

Comportamiento del tren motriz

Tabla 2*Operacionalización de la variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la modelación y simulación de un karting eléctrico	Señales de entrada	Velocidad	m/s	Simulación	Software computacional
		Tiempo	s	Simulación	Software computacional
		Densidad del aire	k/m ³	Simulación	Software computacional
		Área frontal del Vehículo	m ²	Simulación	Software computacional
		Coeficiente aerodinámico	-	Simulación	Software computacional
		Coeficiente de Rodadura	-	Simulación	Software computacional
		Masa del vehículo	kg	Simulación	Software computacional
		Gravedad	m/s ²	Simulación	Software computacional
		Inclinación de Pendiente	rad	Simulación	Software computacional
		Relación de transmisión	-	Simulación	Software computacional
	Señales de salida	Potencia mecánica	kW	Simulación	Software computacional
		Torque	Nm	Simulación	Software computacional
		Potencia eléctrica	kW	Simulación	Software computacional
		Energía de Consumo	kWh	Simulación	Software computacional
		Voltaje	V	Simulación	Software computacional
		Corriente	A	Simulación	Software computacional
		SOC	%	Simulación	Software computacional
	Distancia recorrida	km	Simulación	Software computacional	
	Aceleración	m/s ²	Simulación	Software computacional	

Metodología de desarrollo del proyecto

Para la investigación se utiliza diversos métodos y técnicas generales para las diversas ramas de la ciencia, para el proceso de investigación se utiliza procedimientos con mayor o menor énfasis, al momento de su desarrollo los métodos que se aplican son comparativo, experimental, matematización, modelación, medición, científico, inductivo y deductivo para el desarrollo de la investigación.

Método Comparativo

Para la investigación el método comparativo, permitirá establecer los resultados de la rigidez de torsión, flexión, resistencia en orden de marcha, bordillazo en orden de marcha desplazamientos, coeficientes de seguridad de igual manera permitirá establecer las similitudes y diferencias: de motores eléctricos, controlador de motor eléctrico, baterías de alta de tensión, convertidor DC/DC, cargador del vehículo y karting eléctricos existentes.

Método Experimental

Con la ayuda de este método se realizará pruebas para obtener el desplazamiento, el factor de seguridad del chasis diseñado de acuerdo a diferentes fuerzas ingresadas en el software de ingeniería

Método de Matematización

Este método se utilizará para calcular las cargas estáticas y dinámicas del chasis y para el tren de propulsión eléctrico se utilizará un modelo matemático construido con ecuaciones de la dinámica del vehículo y parámetros de voltaje, amperaje de la batería de alta tensión.

Método de Modelación

Este método se usará para reproducir el comportamiento de un karting eléctrico con su respectiva simulación tanto en 3D como en diagrama de bloques para explicar su funcionamiento en tiempo real.

Método de medición

Mediante el método de medición se obtendrá valores numéricos de la potencia (mecánica, eléctrica), torque, consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real, en un determinado ciclo de conducción con su variación de pendiente en el kartódromo de la provincia de Cotopaxi. Para el chasis diseñado se obtendrá los valores del factor de seguridad, desplazamiento del material de acuerdo a los esfuerzos de flexión y torsión realizados.

Método Científico

En la investigación el método científico permitirá tabular lo experimentado en base al factor de seguridad, desplazamiento del material, variación de la pendiente para determinar la autonomía de la batería y la potencia del motor.

Método Inductivo

Este método permitirá estimar el desgaste de la carga de la batería de alta tensión y el efecto de la potencia de acuerdo a la variación de tiempo en un determinado ciclo de conducción. Que permitirán seleccionar un motor eléctrico y una batería de alta tensión para el diseño de un karting eléctrico. Además, permitirán visualizar el comportamiento de la deformación del chasis en diferentes materiales.

Método Deductivo

El análisis deductivo permitirá analizar según resultados obtenidos en el diseño de la simulación mediante el uso de software de ingeniería dando como resultado las curvas de potencia (mecánica, eléctrica), torque, consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de carga, descarga de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real correspondientes al tren de propulsión y los resultados de factor de seguridad y desplazamiento, los diferentes tipos de materiales analizados servirán para interpretar su

funcionamiento y seleccionar sus respectivos componentes y chasis adecuado para esta tecnología.

Tabla 3

Metodología de investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Comparativo	El método comparativo, permitirá establecer los resultados de la rigidez de torsión, flexión, resistencia en orden de marcha, bordillazo en orden de marcha desplazamientos, coeficientes de seguridad de igual manera permitirá establecer las similitudes y diferencias entre el kit eléctrico y karting eléctricos existentes.	Computador, Microsoft Excel	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Experimental	Mediante este método se realizará pruebas para obtener el desplazamiento, el factor de seguridad del chasis diseñado de acuerdo a diferentes fuerzas ingresadas en el software de ingeniería y el coeficiente de arrastre aerodinámico	Computador, Microsoft Excel, Software SolidWorks	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Matematización	Este método se utilizará para calcular las cargas estáticas y dinámicas del chasis y para el tren de propulsión eléctrico se utilizará un modelo matemático construido con ecuaciones de la dinámica del vehículo y parámetros de voltaje,	Computador, software Matlab Simulink	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Modelación	<p>amperaje de la batería de alta tensión.</p> <p>Este método se usará para reproducir el comportamiento de un karting eléctrico con su respectiva simulación tanto en 3D como en diagrama de bloques para explicar su funcionamiento en tiempo real.</p> <p>Mediante este método se obtendrá valores numéricos de la potencia (mecánica, eléctrica), torque, consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real, en un determinado ciclo de conducción con su variación de pendiente en el kartódromo de la provincia de Cotopaxi. Para el chasis diseñado se obtendrá los valores del factor de seguridad, desplazamiento del material de acuerdo a los esfuerzos de flexión y torsión realizados.</p>	<p>Computador, software de simulación Matlab Simulink, SolidWorks</p>	<p>Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE</p>
Medición	<p>En la investigación el método científico permitirá tabular lo experimentado en base al factor de seguridad, desplazamiento del material, variación de la pendiente para determinar la autonomía de la batería y la potencia del motor.</p>	<p>Computador, software Matlab Simulink</p>	<p>Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE</p>
Científico	<p>Este método permitirá estimar el desgaste de la carga de la batería</p>	<p>Computador, software Matlab Simulink, Microsoft Excel</p>	<p>Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE</p>
Inductivo		<p>Computador, software</p>	<p>Laboratorio de Autotrónica -</p>

Capítulo II

Marco teórico

Definición del karting

El karting es un deporte disciplinario automovilístico que utiliza karts en pistas conocidas como kartódromos, que tienen entre 600 y 1700 metros de largo y entre 8 a 15 metros de ancho. El karting es una asignatura "ideal" para la formación de pilotos porque favorece los reflejos, la fuerza y la concentración del piloto (Lizárraga & Sara, 2019).

Breve historia del karting

“El karting nació en Estados Unidos en la década de los 50 del siglo pasado, y con el paso de los años ha pasado de ser una actividad puramente recreativa a convertirse en una disciplina profesional. De hecho, hoy en día, no sólo es un deporte emocionante por derecho propio, sino que también es un trampolín para llegar a otros deportes de motor de mayor repercusión mediática, como la Fórmula Uno.” (Carlos Sainz, 2019)

“Comenzando por el origen del nombre, deriva del término inglés "cart" (carro en inglés), posteriormente la "C" se convirtió en "K" como *Nota* distintiva, ya que el kart se inventó en los Estados Unidos y allí la letra K es muy utilizada.” (Vroomkart Spain, 2017)

El karting o Go-kart como es conocido en otros países fue evolucionando con el pasar de los años desde que usaban motores de podadoras de marca West Bend, llantas de coches de supermercado y chasis de diferentes fabricantes, resaltando las marcas españolas y el chasis más actual fabricado en Madrid es conocido como EKR fundada por Antonio Martínez Carrasco.

Figura 2

Art Ingels creador del Primer Kart



Nota. Tomado de (Montesdeoca, 2021)

Categorías de competición

“En Europa desde finales de 2006 la Comisión Internacional de Karting / Federación Internacional de Automovilismo (CIK/FIA) decretó las siguientes categorías para todos los campeonatos internacionales, siendo las usadas hasta el día de hoy” (DMK Racing, 2015).

A continuación, se presenta la Tabla de categorías de la Comisión Internacional de Karting:

Tabla 4

Comisión Internacional del Karting

Categoría	Edad	Peso Min.	Motor
KF4	Es el reglamento base de todas las categorías KF.		
KF3	13 a 15	145 kg	2T-125 cc-14.000 rpm máx.
KF2	15 o más	158 kg	2T-125 cc-15.000 rpm máx.
KF1	15 o más	160 kg	2T-125 cc-16.000 rpm máx.
KZ2	15 o más	175 kg	2T-125 cc-6 velocidades
KZ1	15 o más	170-175 kg	2T-125 cc-6 velocidades
SUPERKART	18 o más	205-215 kg	2T-125 cc-6 velocidades

Nota. Tomado de (DMK Racing, 2015)

A continuación, se presenta una tabla de las categorías que se establece para los campeonatos la Real Federación Española de Automovilismo:

Tabla 5

Campeonato de España de Karting

Categoría	Edad	Peso min	Motor	Chasis	Descripción
ALEVÍN	7 a 11	108 kg	Parrilla Puma 64 automático	Tubo ø 28 mm Freno trasero eje Ø 30 mm Dist. Ejes 900 m	Los pequeños se divierten, disfrutan y hacen disfrutar más todavía a sus padres.
CADETE	11 a 13	118 kg	Parrilla Puma 85 automático	Tubo ø 28 mm Freno trasero eje Ø 30 mm Dist. Ejes 950 m	Como en alevín, esta categoría despierta la ternura de todos los espectadores y prepara a los futuros pilotos de la categoría KF.
KF3	13 a 15	145 kg	KF4 125cc automático con válvula de escape 14.000rpm máx.	Peso mín. 75 kg Freno trasero Eje ø 50 mm máx.	KF3 es el lugar donde se dan a conocer los futuros pilotos.
KZ2	15 o más	175 kg	125cc 6v 2T carburador ø30 mm	Homologación CIK o R.F.E. de E. Freno en las 4 ruedas Eje ø 50 mm máx.	Con gran auge en los últimos años, es una oportunidad para medirse con los mejores pilotos del mundo, que se

Categoría	Edad	Peso min	Motor	Chasis	Descripción
X-30	15 o más	162 kg	2T -125cc- 6 velocidades	Chasis de KF3 KF2 O KZ2	acercan a las pruebas de los circuitos internacionales españoles. Una categoría mono marca, donde se une la reducción de costes y motores sin preparación, con la importancia de un evento nacional.

Nota. Tomado de (DMK Racing, 2015)

Reglamentación de competición FEDAK

“Los artículos de carácter general recogidos en los Reglamentos de los Campeonatos, Copas, Trofeos y Challenges de Ecuador de karting son de obligado cumplimiento para todas las pruebas de carácter nacional de la especialidad correspondiente.” Se puede visualizar en el ANEXO 1 adjunto, correspondiente a la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo FEDAK el Reglamento General Deportivo Karting (FEDAK, 2018).

Partes del karting

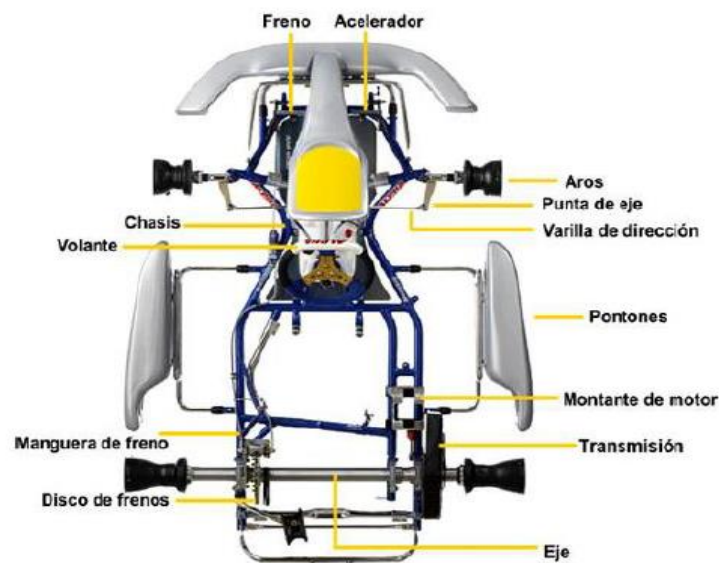
Un karting está formado por sus componentes principales como la carrocería, un bastidor, motor, aros y neumáticos y sus sistemas de dirección, transmisión, frenos y alimentación.

Carrocería

Son todos los elementos que conforman el cuerpo del Go-kart destinado a la protección del piloto, el volante, el chasis, los neumáticos y el motor, fabricados de materiales en fibras resistentes a golpes y que se encuentran alrededor de todo el vehículo, siendo éstos los bumpers delantero y posterior y las protecciones laterales (Narváez, 2012).

Figura 3

Elementos de la carrocería



Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2018)

Bastidor

“El chasis es uno de los principales componentes de un kart. Está formado por una estructura, normalmente tubular, que da forma al vehículo y aporta rigidez para soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos a los que se somete a lo largo de su vida útil y brinda adicionalmente soporte estructural al resto de elementos.” (Assier & Sara, 2019)

Figura 4

Marcas conocidas de Chasis



Nota. Tomado de (Assier Lizarraga & Sara Marcelino, 2019)

Entre las principales marcas conocidas que se dedican a la fabricación de chasis están:

- Sodikart
- Tony kart
- Birel Art

Tubular. El chasis tubular o también conocido como superleggera, es un modelo que se empezó a usar a mediados del siglo XX en vehículos deportivos, fue inventado por el carrocer italiano Touring en 1937. Tiene su origen en la necesidad de tener estructuras con un alto grado de rigidez y resistencia, pero con un peso muy ligero. El chasis está compuesto por una serie de miembros estructurales de acero interconectados entre sí por medio de uniones soldadas que forman una especie de jaula. Estos diseños generalmente se usan en prototipos para el ámbito deportivo, en los que la carrocería solo tiene como objetivo contribuir estéticamente y aerodinámicamente en el performance del vehículo. Una de las desventajas que resalta en este tipo de bastidores es el alto costo que conlleva la fabricación de estos

modelos, lo que hace que su uso se limite a prototipos de competición o a vehículos en los que se requiera una gran reducción de peso (Quezada, 2018).

Figura 5

Chasis Tubular



Nota. Tomado de (Anónimo, 2012)

Monocasco. Su desarrollo empieza a principios de los años 80 con la adopción de materiales compuestos como la fibra de carbono. La estructura monocasco es una opción ideal si lo que se pretende obtener es un bastidor con un alto grado de rigidez y con un peso relativamente bajo, este tipo de diseños se caracterizan porque el chasis y el habitáculo de componentes y pasajeros forman un solo conjunto.” (Quezada, 2018).

Figura 6*Chasis monocasco*

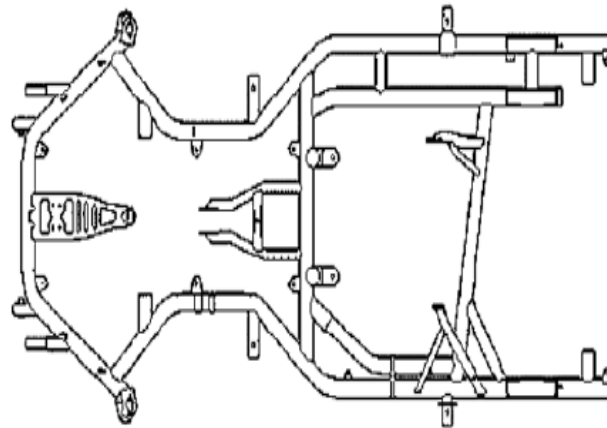
Nota. Tomado de (Sergio Álvarez, 2016)

Categoría KF4. El chasis para un kart de la categoría KF4 representa una de las partes más importantes de estos prototipos, a más de brindar sujeción para todos los sistemas y componentes mecánicos, de este dependerá que el vehículo tenga un comportamiento ideal en la pista durante su conducción. Para la construcción de estas estructuras se suele utilizar tuberías de sección circular con un diámetro de 30 mm a 32 mm, además transmite toda la potencia del motor hacia las ruedas durante la aceleración, y debido a que estos vehículos por reglamentación carecen de suspensión, el diseño de la estructura debe ser pensado de tal forma que pueda tener un cierto grado de flexibilidad y torsión, aportándole al kart la adherencia y estabilidad suficiente durante el paso por curvas. En la industria del karting existen ciertos fabricantes como CRG, Tony Kart, PCR y Birel. Estos chasises son muy reconocidos y muy utilizados por deportistas profesionales a nivel mundial, los cuales son muy

populares por tener grados de rigidez muy buenos con pesos muy ligeros, lo que les permite lograr vehículos con excelentes sensaciones de conducción (Pablo Quezada, 2018)

Figura 7

Chasis go-kart



Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

Bandeja de chasis

Está ubicado en la parte frontal inferior del marco, cuya función principal es brindar protección y soporte; sin orificios, excepto los utilizados para el anclaje o el atornillado. Por tanto, está fabricado en aluminio de aviación (densidad, 7 g / cm^3), de 1 a 2 mm de espesor, y plástico (Cevallos & Garcés, 2018).

Figura 8

Bandeja de chasis



Nota. Tomado de (Montesdeoca, 2021)

Pedales

“El Go-Kart consta de dos pedales ubicados en la parte delantera, uno para el acelerador y otro para freno, los cuales permiten al piloto reaccionar de manera adecuada a las necesidades de la pista en la competencia.” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 9

Pedal de acelerador



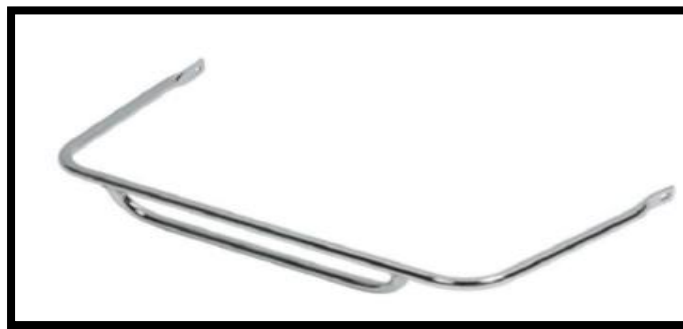
Nota. Tomado de (Montesdeoca, 2021)

Barras de sujeción

Son elementos de tubería generalmente cromados que se sujetan al bastidor y cumplen la función de estabilizar y brindar soporte a los elementos de la carrocería. “La barra frontal, atornillada en los extremos del bastidor protege los pies del conductor y brinda soporte al protector delantero o bumper delantero” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 10

Barra Frontal

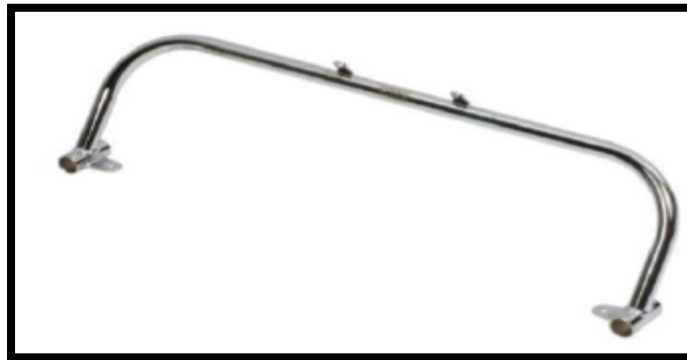


Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

“La barra posterior cumple la función de parachoques y soporte para el protector posterior” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 11

Barra Posterior



Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

“Las barras laterales dan soporte a los pontones laterales asegurando la seguridad del piloto en caso de una colisión lateral” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 12

Barras laterales



Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

“Existe también una barra de torsión la cual puede ser instalada en caso de necesitar mayor rigidez del vehículo, se instala por detrás del eje y brinda estabilidad de conducción” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 13*Barra de torsión*

Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

Aros y neumáticos

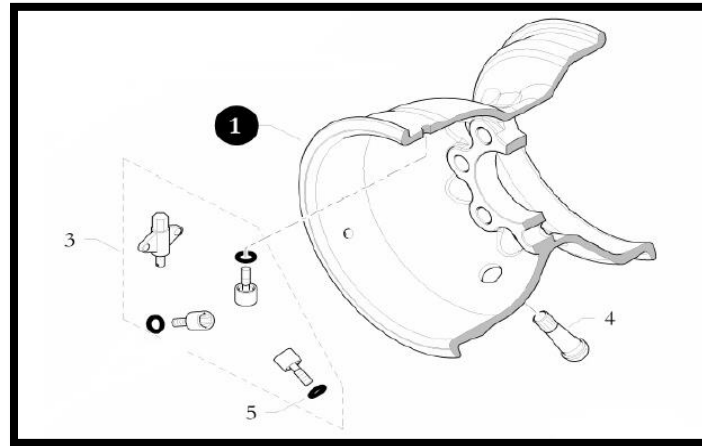
“En la actualidad pueden encontrarse distintos tipos de aros por su material de fabricación. Las más utilizadas son las de aluminio y magnesio. Para el caso de los aros de magnesio, se busca principalmente aligerar el vehículo, pero dado que para cumplir reglamentación se necesita un peso mínimo de 175 kg. En orden de marcha, la principal prioridad no es reducir la masa del vehículo. Además, el elevado precio de los aros de magnesio encarecería considerablemente el conjunto. Por ello se opta por aros de aluminio suministrados por BIREL de 5 pulgadas como indica la reglamentación” (Ochoa, 2014).

“La referencia de la llanta es: 20.6974.12-NE. Los elementos que figuran en el plano son: elementos anti destalonamiento (marca 3) y 4 válvulas de inflado” (Ochoa, 2014).

“La longitud de los aros es distinta para el eje delantero y para el eje trasero, siendo la del eje delantero 130 mm. 180 mm. Para el trasero. Siendo la referencia del aro posterior: 20.6972.12-NE” (Ochoa, 2014)

Figura 14

Despiece Aro



Nota. Tomado de (Ochoa, 2014)

“Los neumáticos son el elemento que permanece en contacto con el suelo de modo que son especialmente importantes. Para competir en KZ2, los neumáticos son impuestos por CIK-FIA siendo obligatorio montar para carrera en seco: VEGA XM-CIK F/Z Prime y para carrera en mojado: VEGA W5.” (Ochoa, 2014)

Figura 15

Neumáticos de Karting



Nota. Tomado de (Ochoa, 2014)

Motor

Para el deporte de los kartings, lo más común es la utilización de motores de combustión interna de dos tiempos, de un cilindro como se menciona en la tabla 6, cuya potencia se encuentra entre 8 - 40 hp, los mismo que se determinan por preparación del motor así mismo se construyen con materiales capaces de resistir los esfuerzos por el régimen de giro. (Cevallos & Garcés, 2019)

Tabla 6

Características del motor mono-cilíndrico

		# cilindros	1
<i>Motor Rotax 12max DD2 EVO</i>	Potencia		25 kw/ 34 hp 25 kw @ 12000 rpm
	Momento de giro		22 nm @ 10500 rpm
	Peso		28.8 kg
	Engranaje		secuencial / semiautomático

Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

Asiento

“El asiento es moldeado en fibra por su resistencia y bajo peso del componente, el cual cumple la función de albergar y sostener al piloto, tomando una forma ergonómica que se enfoca en soportar el peso, del conductor y sostenerlo cuando las fuerzas de inercia aumentan en el momento de curvar.” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 16

Asiento plano OTK



Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

Cables y Cañerías

“Dependiendo del chasis, los cables se pueden utilizar tanto para el acelerador como para los frenos, su tensión debe ser baja, para evitar la fatiga por tracción que pueda romperlos, y su posición debe mantenerse lo más libre posible.” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 17

Cables de acelerador y freno



Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

En algunos tipos de bastidores, especialmente en la clase profesional, el sistema de frenos opera hidráulicamente, en los cuales esta diseñado para soportar la presión de un fluido incompresible y son lo suficientemente flexibles para adaptarse a la posición de las mordazas.” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 18

Cañerías y empalme de freno



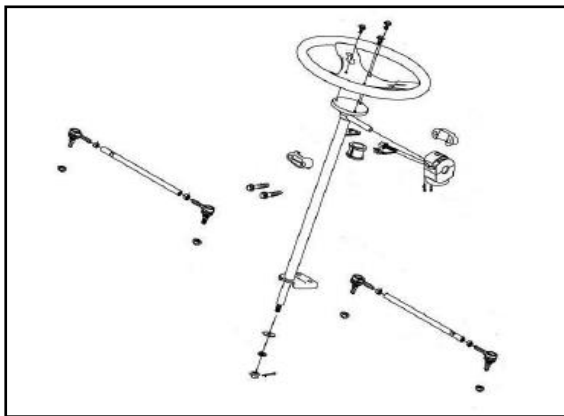
Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

Sistema de dirección

El sistema de dirección es un conjunto de componentes que durante su funcionamiento permiten dirigir el vehículo controlando la posición de las ruedas delanteras, lo cual es muy importante para este tipo de vehículos, por lo que debe tener el diseño necesario para soportar la carga (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 19

Sistema de dirección



Nota. Tomado de (Cevallos & Garcés, 2019)

Volante

“Es un elemento de forma circular, el cual se acopla a la columna de la dirección para transmitir el movimiento, desde las manos del conductor hacia las ruedas delanteras” (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 20

Volante



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Columna de la dirección

La columna de dirección es una varilla diseñada a partir de una aleación de acero al carbono con elementos como cromo, níquel y molibdeno, para mejorar la durabilidad y rigidez necesaria para resistir las fuerzas transmitidas a través de ella (Cevallos & Garcés, 2019).

Figura 21

Columna de dirección KF-KZ 470 mm



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Varillas y Rótulas

Están unidas a la columna de dirección en un extremo y en el otro extremo del muñón de la dirección, creando el movimiento de las ruedas delanteras del vehículo en la dirección solicitada por el conductor. (Cevallos & Garcés, 2019).

Figura 22

Tirante sterzo 190mm



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Por su parte, una rótula, o Joinball, es el empalme en los extremos de los tirantes, con un eje roscado que les permite acoplarse y regular la distancia final que mantendrá el tirante (Cevallos & Garcés, 2019).

Figura 23

Joinball



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Manguetas

Las manguetas se atornillan para soportar el chasis, donde se crearía un punto de pivote, en el cual se crearán un punto de pivote, ubicando las ruedas y la unión con las varillas de la dirección, que comandará el radio de giro de las ruedas (Cevallos & Garcés, 2019).

Figura 24

Mangueta OTK



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Sistema de escape

Mediante el tubo de escape son emanados los gases nocivos del motor hacia el medio ambiente.

En un motor de dos tiempos, el sistema de escape afecta la potencia, el par y el consumo de combustible mucho más que en un motor de cuatro tiempos, y el sistema está diseñado para brindar una excelente comodidad de manejo, sonido y protección del aire en el ambiente (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 25

Sistema de escape



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Sistema de frenos

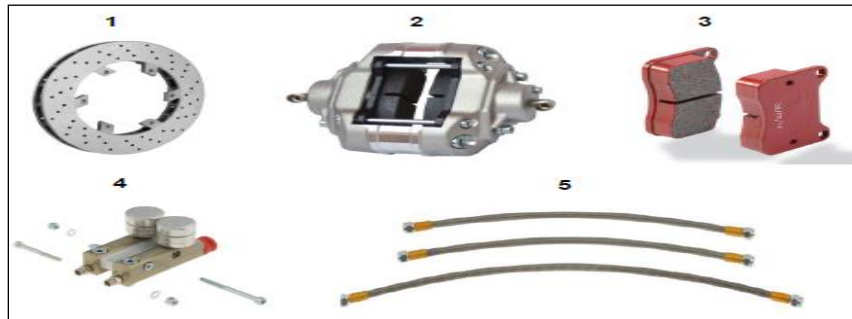
El conjunto de frenos consta de varios componentes mecánicos e hidráulicos que cumplen la función de reducir la velocidad del auto, cuyo funcionamiento debe ser preciso, pues en competencia se utilizará este sistema de manera estricta y su respuesta debe ser efectiva. (Montesdeoca, 2021)

El sistema de frenos está compuesto de la siguiente manera:

- Mordaza de freno (1),
- Disco de freno (2),
- Pastillas (3),
- Cilindro o bomba principal (4)
- Cañerías (5)

Figura 26

Componentes del sistema de frenos



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Sistema de alimentación

El sistema de combustible es responsable de proporcionar el combustible necesario para que el motor funcione de manera óptima (Cevallos & Garcés, 2019).

Carburador

El carburador se encarga de atomizar una mezcla de gasolina, lubricante y aire en la cámara de combustión del motor, para que se produzca la característica explosión gracias a la chispa (Cevallos & Garcés, 2019).

Figura 27

Carburador Rotax



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Tanque de combustible

El tanque de combustible generalmente está hecho de plástico, se encuentra debajo de la columna de dirección y cumple la función de almacenar combustible y equilibrar el peso a lo largo de la carrocería. (Cevallos & Garcés, 2019)

Figura 28

Tanque de combustible 8.5 litros



Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

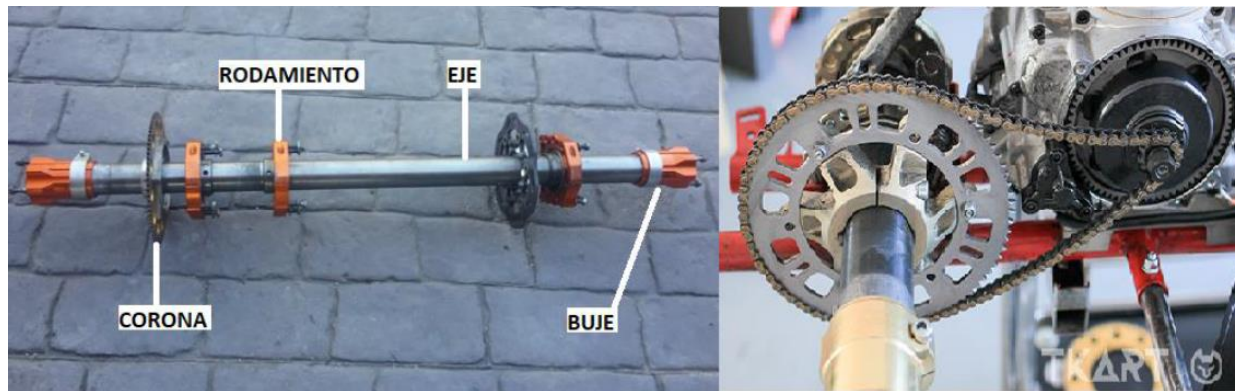
Sistema de transmisión

Este sistema es el encargado de transmitir la potencia generada en el motor a las ruedas. Se compone de motor, embrague, caja de cambios, transmisión por cadena y el conjunto de eje, buje y llanta (Assier & Sara, 2019).

La cadena y la rueda dentada transfieren la potencia del motor al eje. En general, la relación de transmisión se reduce para obtener más par en las ruedas. Esto se logra colocando un engranaje anular (enganche del eje) con un diámetro mayor que el engranaje (Assier & Sara, 2019).

Figura 29

Sistema de transmisión



Nota. Tomado de (Assier & Sara, 2019)

Normas de diseño

En la actualidad no existe una normativa ecuatoriana vigente que establezca el control para la construcción y fabricación de chasis para karting. Por tal motivo la normativa ecuatoriana que entra en esta investigación para la construcción del bastidor es la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009 la cual se encarga de vehículos automotores. carrocerías de buses. requisitos y la norma ecuatoriana NTE INEN 2415:2013 tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales

Cargas

La definición bibliográfica de la carga de un elemento estructural especifica que son las fuerzas externas que actúan sobre el elemento, estructura o sistema, y su propio peso. Fuerzas similares pueden causar efectos de carga como estiramiento o contracción, torsión longitudinal alrededor del eje y momentos de flexión. Alrededor de la curva. Según, la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1323:2009 recomienda utilizar:

Carga muerta (M)

“Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios”. (NTE INEN 1323, 2009)

$$M = Mt \times g$$

Ecuación 1. Carga muerta [N]

Donde:

Mt: Peso generado por los materiales [kg]

g: Gravedad [m/s^2]

M: Carga muerta [N]

En la tabla 7 se muestran valores reales de masa de los diferentes componentes obtenidos de catálogos.

Tabla 7

Peso total de la carga muerta

Carga Muerta	Masa (Kg)
Motor	34.4
Cadena	1
Eje Posterior	5
Manguetas Delanteras	4.4
Asiento	2
Accesorios (Pontones Y Soportes)	2
Bastidor	10
Total	58.8

Nota. Tomado de (TONY KART, 2021)

Carga Viva

“Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería”. (NTE INEN 1323, 2009)

$$V = Vt \times g$$

Ecuación 2. Carga viva [N]

Donde:

Vt: Peso generado por las personas [kg]

g: Gravedad [m/s^2]

V: Carga viva (N)

Carga de frenado (F)

“Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo”. (NTE INEN 1323, 2009)

Carga producida por una desaceleración del vehículo.

$$F = Mt * a$$

Ecuación 3 Carga de frenado

Donde

F = Carga de frenado [N]

Mt = Peso total de los elementos [kg]

a = Desaceleración de frenado [m/s^2]

Carga de aceleración brusca (Ab)

“Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo”. (NTE INEN 1323, 2009)

$$Ab = -Mt \times (-a)$$

Ecuación 4. Carga de aceleración brusca

Donde:

Mt: Peso generado por los materiales (kg)

a: aceleración (m/s^2)

Ab: Carga de aceleración brusca (N)

Carga de giro (G)

“Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo”. (NTE INEN 1323, 2009)

$$G = (Mt + Vt) * \frac{V^2}{r}$$

Ecuación 4. Carga de giro

Donde:

Mt: Peso generado por los materiales (kg)

Vt: Peso generado por las personas (kg)

v: Velocidad de vehículo (m/s) (tabla 4)

r: radio de curvatura (m)

G: Carga de giro (N)

En la tabla 8 la velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece proporcionalmente.

Tabla 8

Velocidades, radios mínimos y peraltes en carreteras

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	
85	300	
90	350	
95	400	8

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	7.51
130	900	6.97
135	1050	6.25
140	1250	5.49
145	1475	4.84
150	1725	4.29

Nota. Tomado de (NTE INEN 1323, 2009)

Carga por resistencia del área frontal (Raf). “Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal”. (NTE INEN 1323, 2009)

$$Raf = \frac{Cx * Af * \rho * V^2}{2}$$

Ecuación 5. Carga por resistencia frontal

Donde:

Cx: Coeficiente de resistencia frontal del aire (como mínimo 0,7)

ρ : Densidad del aire (kg/m^3)

Af: Área correspondiente a la proyección en (m^2)

V: velocidad (m/s)

Criterios de diseño

Los criterios de diseño brindan pautas para predecir la resistencia o deformación de una parte de una máquina para que pueda soportar una carga dada en el tiempo requerido (Cevallos & Garcés, 2019)

Factor de seguridad

Según (Mott, 2006, p.185) para materiales dúctiles recomienda:

1. N 1.25 a 2.0. El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2. N 2.0 a 2.5. Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño
3. N 2.5 a 4.0. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.
4. N 4.0 o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.

Materiales

“El Karting es una disciplina con monoplazas sin suspensión, por lo que en su fabricación se usa el Cromo-Molibdeno (Chromoly). Son fáciles de soldar y son considerablemente más fuertes y más duros. No es tan ligero como una aleación de aluminio, pero tiene la ventaja de una alta resistencia a la tracción y alta ductilidad”. (Cevallos & Garcés, 2019)

Clasificación de materiales. Los materiales sólidos se clasifican en tres grupos: metales, cerámicas y polímeros, este esquema se basa en la composición química y en la estructura atómica. Por lo general, la mayoría encajan en un grupo u otro, aunque hay

materiales intermedios. Además, existen otros dos grupos de importantes materiales técnicos: los compuestos (composite) y los semiconductores. Los materiales compuestos constan de combinaciones de dos o más materiales diferentes, mientras que los semiconductores se utilizan por sus extraordinarias características eléctricas.

Acero. “El acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición, dependiendo del grado”. (alacero, 2021)

“El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas, sobre todo su resistencia”. (alacero, 2021)

Aceros Estructurales. “Son aquellos aceros que se emplean para diversas partes de máquinas, tales como engranajes, ejes y palancas. Además, se utilizan en las estructuras de edificios, construcción de chasis de automóviles, puentes, barcos y semejantes. El contenido de la aleación varía desde 0,25 a un 6%” (Flores & Gamboa, 2014)

ASTM A-36. El acero A-36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen: Planchas, perfiles estructurales, tubos y láminas. (Flores & Gamboa, 2014)

A continuación, se presenta en la tabla 5 las propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A-36:

Tabla 9

Propiedades mecánicas ASTM-A36

Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	200	<i>GPa</i>
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	79,3	<i>GPa</i>
Densidad de masa	7850	<i>kg/m³</i>
Límite de tracción	400	<i>MPa</i>

Propiedades	Valor	Unidades
Límite de compresión		N/mm^2
Límite elástico	250	MPa
Coefficiente de expansión térmica		N/D
Conductividad térmica		$W/(m.k)$
Calor específico		$J/(kg.k)$
Coefficiente de amortiguamiento del material		N/D

Nota. Tomado de (Flores & Gamboa, 2014)

AISI 304. Los aceros inoxidables austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Este tipo de acero tiene alta resistencia a la corrosión, excelente soldabilidad, buen factor de higiene y limpieza, tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas, bajas temperaturas (criogénicas) previniendo la fragilización, y altas temperaturas (hasta 925°C) (CENDI, 2002).

La tubería redonda acero inoxidable 304, Son los elementos más utilizados en procedimientos industriales. Las industrias prefieren utilizar estas tuberías por su excelente resistencia a temperaturas extremas, así como a elementos destructivos. Además, debido a que el acero inoxidable es un metal con bastante adaptabilidad, las tuberías pueden ser de cualquier diámetro, o grosor, dependiendo del uso que se les quiera dar, vienen el largo de 6 metros. (Import Aceros, 2021).

El acero AISI dentro de sus usos y aplicaciones se da en: Industria automotriz, estructuras, decoración, industria alimentaria, maquinarias, construcción e ingeniería, electrodomésticos, herramientas quirúrgicas, entre otras.

Tabla 10*Propiedades mecánicas Acero AISI 304*

Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	200	<i>GPa</i>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	77	<i>GPa</i>
Densidad de masa	7800	<i>kg/m³</i>
Límite de tracción	580	<i>MPa</i>
Límite de compresión		<i>N/mm²</i>
Limite elástico	250	<i>MPa</i>
Coefficiente de expansión térmica		N/D
Conductividad térmica		<i>W/(m. k)</i>
Calor específico		<i>J/(kg. k)</i>
Coefficiente de amortiguamiento del material		N/D

Nota. Tomado de (Make it from AISI 304)

Vehículo eléctrico

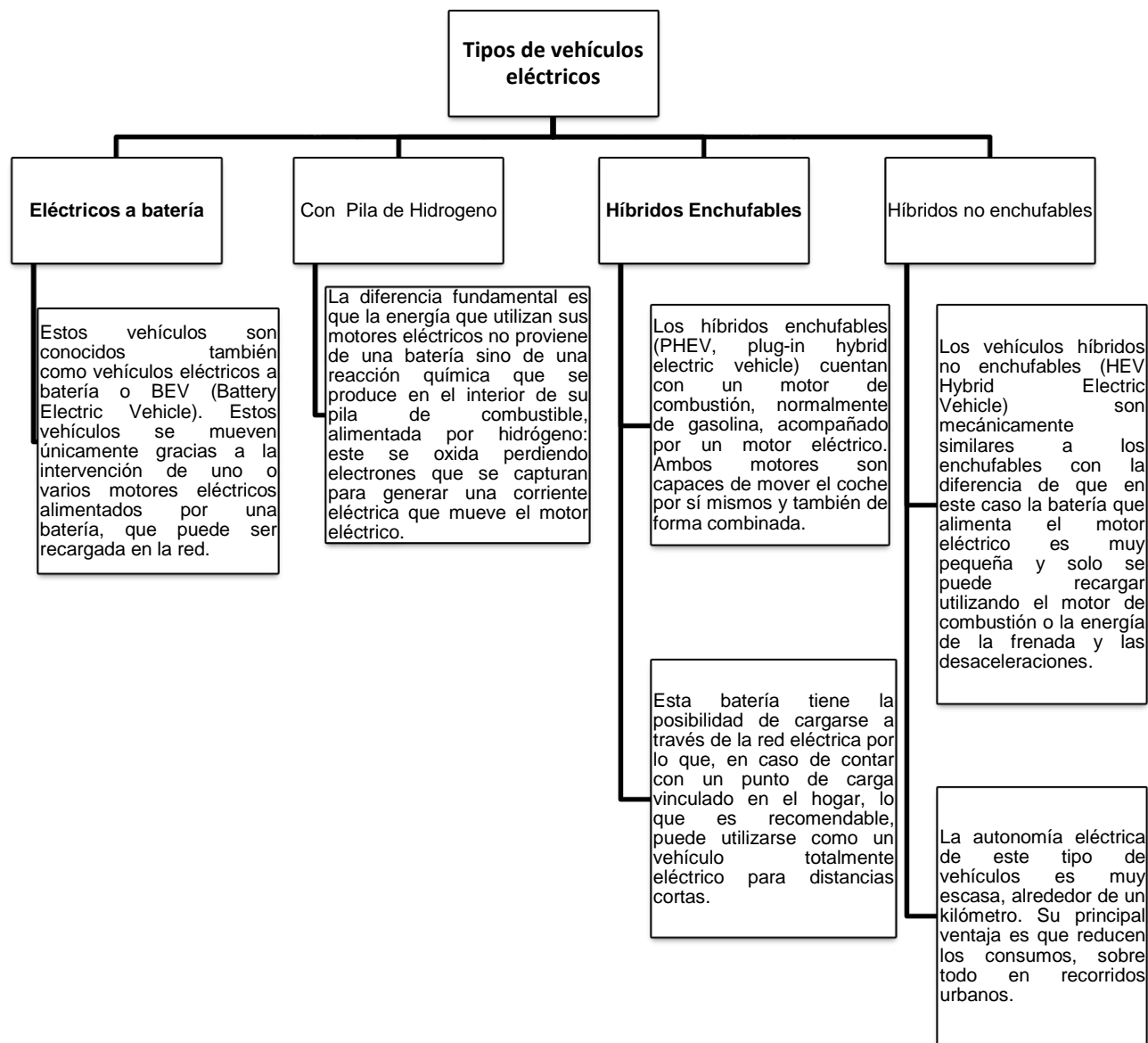
Un vehículo eléctrico es aquel que su tren motriz está conformado por baterías de alto voltaje, un motor eléctrico y sus distintos controladores que le permiten su movilidad siendo un vehículo ecológico que no genera contaminación.

En la figura 30 se puede visualizar la clasificación de vehículos eléctricos, en la misma se detalla características propias de este tipo de vehículos que actualmente existen en el mercado nacional como internacional

Clasificación de vehículos eléctricos

Figura 30

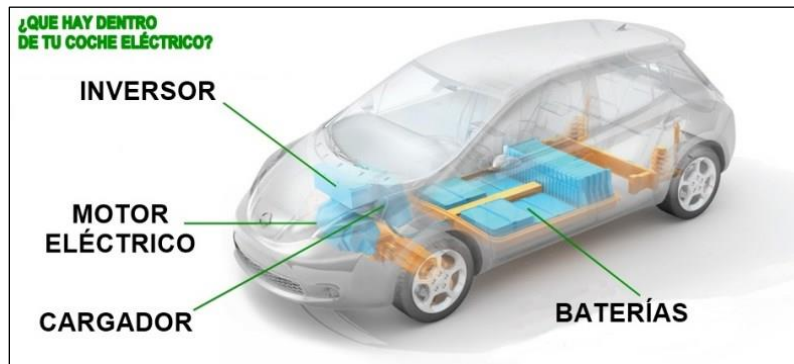
Tipos de vehículos eléctricos



Nota. Tomado de (Gonzalo García, 2018)

Figura 31

Partes de un vehículo eléctrico



Nota. Tomado de (electromovilidad, 2021)

Componentes del vehículo eléctrico

Para que pueda ser desplazado un vehículo eléctrico necesita de los componentes que se mencionan a continuación:

Motor eléctrico. Un motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos que generan sus bobinas. Normalmente, están compuestos por un rotor y un estator". (OKDIARIO, 2016)

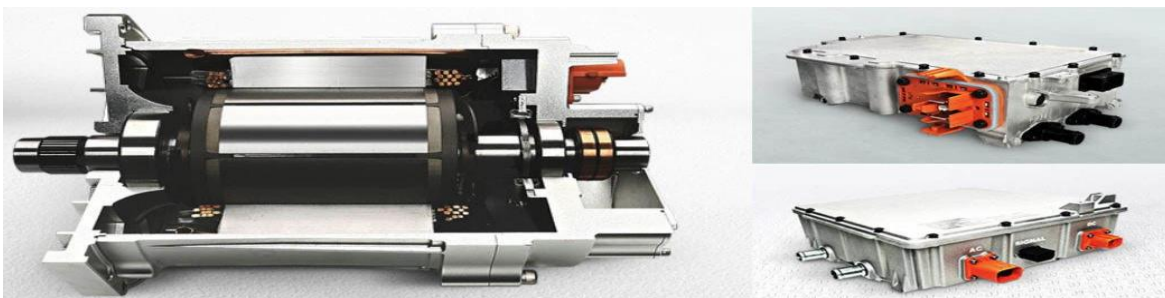
Motor de Corriente Continua (CC). Según (OKDIARIO, 2016) se utiliza en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor. Este tipo de motor debe de tener en el rotor y el estátor el mismo número de polos y el mismo número de carbones. Los motores de corriente directa pueden ser de tres tipos:

- Serie
- Paralelo
- Mixto

Motor de Corriente Alterna (CA). Son aquellos motores eléctricos que funcionan con corriente alterna. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos. (OKDIARIO, 2016)

Figura 32*Motor eléctrico Bentley**Nota.* Tomado de (Hernández, 2020)

Controlador. Es un componente importante en un vehículo eléctrico ya que incorpora elementos eléctricos y electrónicos, controlados por la unidad del sistema *ECU BEV* (vehículo eléctrico por batería); su función es convertir la corriente continua en alterna o viceversa, alimentando a las motos generadoras en la transmisión delantera y trasera (Meneses,2018).

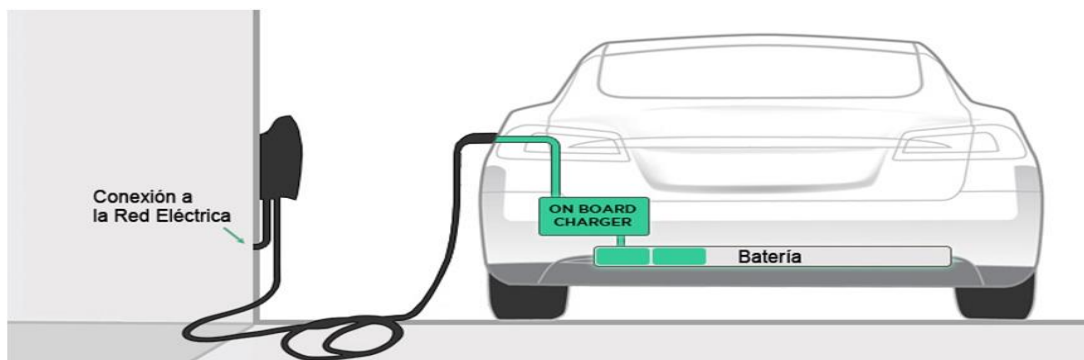
Figura 33*Controlador del motor eléctrico**Nota.* Tomado de (García, 2018).

Convertidor DC-DC. Es el encargado de reducir el voltaje de alta tensión a baja tensión para el funcionamiento de los sistemas auxiliares del vehículo. (Nómadas electrónicos, 2015)

Figura 34*Convertidor DC-DC*

Nota. Tomado de (DirectIndustry, 2021)

Cargador a bordo. “Cargador interno o «a bordo» (On-Board Charger – OBC): el cargador a bordo es un componente dentro del coche; el OBC gestiona el flujo de energía interno para cargar de forma segura las baterías”. (Importador Tesla, 2021)

Figura 35*Cargador a bordo*

Nota. Tomado de (Importador Tesla, 2021)

Baterías. La batería es el componente más importante del vehículo eléctrico ya que gracias a ella permite al vehículo desplazarse por diferentes carreteras, varios de los problemas que se tienen hoy en día es la autonomía, el precio elevado de las mismas, el tiempo de carga.

Se dice que para un futuro cercano con nuevas químicas y tecnologías de baterías se pueda solventar estos problemas.

A continuación, se presenta en la tabla 11 las características específicas de la batería de plomo – ácido al igual que ha sido utilizada en vehículos convencionales.

Tabla 11

Características de la batería Plomo-ácido.

Plomo – ácido (PB-ácido)			
Es la más antigua y también ha sido la más utilizada en vehículos convencionales. Suelen ser de 6 y 12 voltios. Se utilizan fundamentalmente para funciones de arranque del vehículo, iluminación o soporte eléctrico. Ofrecen una autonomía de unos 100 km. Actualmente se están dejando de utilizar para suministrar energía al motor eléctrico.	Bajo coste Buena respuesta en frío	Son pesadas. El plomo es tóxico. Capacidad de recarga lenta.	Ciclo de vida Limitado entre 500 y 800 ciclos de carga-descarga Densidad Baja (entre 30-40 Wh/Kg) Mantenimiento Necesidad de mantenimiento periódico

Nota. Tomado de (RACE, 2019)

En la tabla 12 se detalla las características propias de la batería de níquel – cadmio, son muy utilizadas en el sector automotriz, pero su costo muy elevado no le hace muy recomendable para su utilización.

Tabla 12*Características de la batería Níquel - Cadmio*

Níquel- cadmio (NiCd)			
Bastante utilizadas en la industria del automóvil, pero su alto coste de adquisición y su efecto memoria no las convierte en la mejor solución como batería de un coche eléctrico.	+ Mayor fiabilidad (no fallan de forma repentina como las baterías de plomo-ácido) + Existen técnicas de reciclado total de la batería	– Alto coste de adquisición – Efecto memoria – Contaminante – Envejecimiento prematuro con el calor	Ciclo de vida Su ciclo de vida está entre las 1.500 y 2.000 cargas y descargas Densidad Entre 40-60 Wh/kg Mantenimiento Necesidad de cuidado específico, aunque menor que la batería anterior

Nota. Tomado de (RACE, 2019)

La industria de vehículos híbridos – eléctricos con frecuencia recurren a la a utilización de estas baterías de Níquel – Hidruro metálico (NiMh), por su efecto memoria es reducido es por ello que en la tabla 13 se detalla las características específicas de este tipo de baterías.

Tabla 13*Características de la batería Níquel Hidruro Metálico*

Níquel – Hidruro metálico (NiMh)			
Los fabricantes de híbridos suelen recurrir a estas baterías con frecuencia.	+ Reducción del efecto memoria respecto las baterías de níquel-cadmio + Eliminan el cadmio	– Menor fiabilidad que las baterías de níquel-cadmio – No soporta fuertes descargas – Menos resistencia a altas temperaturas	Ciclo de vida Más limitado: entre 300-500 ciclos de carga, según el fabricante Densidad Entre 30-80 Wh/kg

Níquel – Hidruro metálico (NiMh)

– Menos resistencia a altas corrientes de carga	Mantenimiento Elevado mantenimiento
---	-------------------------------------

Nota. Tomado de (RACE, 2019)

Las baterías de ion litio (LiCoO₂) usan cobalto y se convierte en la mejor opción por su densidad energética que es mayor pero su tamaño es un tercio menor que las baterías de Níquel – Hidruro metálico, mediante la tabla 14 se menciona algunas características específicas de esta batería.

Tabla 14
Características de la Batería de Ion Litio

Ion-litio (LiCoO₂)

Son baterías de más reciente creación que se diferencian de las de níquel-cadmio en que tienen más del doble de densidad energética a pesar de que son un tercio más pequeñas. Hoy en día se posicionan como la mejor solución para un vehículo eléctrico.	+ Alta densidad energética	– Alto coste de producción	Ciclo de vida Entre 400 y 1.200 cargas y descargas
	+ Menor tamaño y peso ligero	– Fragilidad	Densidad
	+ Alta eficiencia	– Necesitan un circuito de seguridad	Entre 100-250 Wh/kg
	+ No tienen efecto memoria	– Precisan de almacenaje cuidadoso	Mantenimiento No requiere mantenimiento

Nota. Tomado de (RACE, 2019)

Las baterías Ion-litio con cátodo de LiFePO_4 estas baterías no utilizan cobalto siendo mas segura y estable por su cantidad de hierro, en la tabla 15 se detalla las características específicas de esta batería.

Tabla 15

Características de las Baterías de Ion-litio con cátodo de LiFePO_4

Ion-litio con cátodo de LiFePO_4			
Se diferencia de la anterior en que no usa el cobalto, por lo que es más segura y ofrece mayor estabilidad por su elevada cantidad de hierro.	+ Seguridad + Estabilidad (elevada cantidad de hierro) + Potencia	– Menor densidad energética – Mayor coste	Ciclo de vida Es mayor (unas 2.000 cargas) Densidad Entre 90-100 Wh/kg Mantenimiento No requiere mantenimiento

Nota. Tomado de (RACE, 2019)

En la tabla 16 se muestra las características de la batería de polímero de litio (LiPo), las mismas son una variación de este tipo de baterías, son mas ligeras, pero tiene una densidad energética mas elevada, pero son más ligeras.

Tabla 16

Características de las baterías de Polímero de litio

Polímero de litio (LiPo)			
Es una variación de las baterías de ion-litio con la ventaja de que cuentan con una mayor densidad energética y potencia. De igual modo son ligeras, eficientes y sin efecto mejoría.	+ Ligeras + Eficientes	– Alto precio – Ciclo de vida corto	Ciclo de vida Por debajo de 1.000 cargas y descargas Densidad Mayor densidad energética (300 Wh/kg) Mantenimiento No requiere mantenimiento

Nota. Tomado de (RACE, 2019)

Dinámica del vehículo

La dinámica vehicular trata fundamentalmente del movimiento de los vehículos equipados con neumáticos sobre una superficie preparada para el efecto (Font & Dols, 2006).

Fuerza de tracción total del vehículo

“La fuerza de tracción total es la fuerza mínima que el motor eléctrico requiere para desplazar al vehículo”. (Rodríguez & Vázquez)

$$F_{te} - F_{rr} - F_{ad} - F_{hc} = ma$$

Ecuación 7. Fuerza de tracción

Dónde:

Fte: Fuerza de tracción total

Frr: Fuerza de fricción entre los neumáticos y la superficie

Fad: La fuerza de resistencia al aire

Fhc: Resistencia a la pendiente

Fuerza de fricción

“La resistencia a la rodadura está definida como la energía que consume un neumático por unidad de distancia recorrida. En un automóvil la energía es suministrada por el combustible, por lo tanto, tiene una relación directa con el consumo del mismo. Si se considera el amplio espectro de vehículos que hay actualmente en el mercado, es decir que reduciendo la resistencia a la rodadura un 30% llevaría a obtener una reducción entre un 3 y 6% del consumo de combustible.” (Rodríguez & Vázquez)

$$F_{rr} = mg * u_{rr}$$

Ecuación 8. Fuerza de fricción

Donde:

Frr: Fuerza de fricción

μ: Coeficiente de fricción entre el neumático (caucho) y la superficie (asfalto)

m: masa del vehículo

g: gravedad (m/s^2)

Fuerza aerodinámica

“Es la fuerza que se opone al avance. Depende especialmente de la máxima velocidad alcanzada V, además tiene una relación directamente proporcional con el área frontal y el coeficiente aerodinámico. Esta fuerza actúa al lado contrario del sentido de movimiento del vehículo oponiéndose al deslizamiento, por esta razón se considera A como el área frontal en m^2 ”. (Rodríguez & Vázquez)

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho * A * c_d * v^2$$

Ecuación 9. Fuerza aerodinámica

Dónde:

F_{ad}: Fuerza de resistencia al aire [N]

ρ: Densidad del aire a 20 °C que es la temperatura ambiente de la zona que es de 1.30 [kg/ m³]

A: Área frontal del vehículo [m²]

C_d: Coeficiente aerodinámico de penetración o resistencia al aire.

V: Velocidad está dada en m/s y depende del deslizamiento del vehículo.

Fuerza en pendiente

“La fuerza resistente F_p causada por la pendiente del plano de la carretera, es igual a la componente de la fuerza del peso en la dirección del vehículo” (Rodríguez & Vázquez, 2018).

$$F_p = mg * \text{sen}(\alpha)$$

Ecuación 10. Fuerza en pendiente

Dónde:

α : representa la inclinación del plano de la carretera ($^{\circ}$).

m: representa la masa del vehículo (kg).

g: representa a la gravedad (m/s^2).

Potencia requerida del motor

“La potencia es igual al esfuerzo de tracción multiplicado por la velocidad. Usando las diversas eficiencias en el diagrama de flujo de energía, la energía requerida para moverse, se calcula segundo a segundo” (Rodríguez & Vázquez)

$$P_{necesaria} = F_{te} * v_{max}$$

Ecuación 11. Potencia del motor

Donde:

$P_{necesaria}$: Potencia mecánica del motor

F_{te} : Fuerza total de tracción

$V_{m\acute{a}x}$: velocidad máxima del vehículo (m/s)

“Las ineficiencias del motor, el controlador y el sistema de engranajes significan que la potencia del motor no es la misma que la potencia de tracción, y la potencia eléctrica requerida por el motor es mayor que la potencia de salida mecánica” (Rodríguez & Vázquez)

$$P_{real} = \frac{P_{necesaria}}{eficiencia}$$

Ecuación 12. Potencia real del motor

Ciclos de conducción homologados

Los ciclos de conducción permiten identificar el comportamiento del vehículo de acuerdo a sus parámetros de funcionamiento como es la autonomía y comportamiento del motor eléctrico en diferentes escenarios de velocidad.

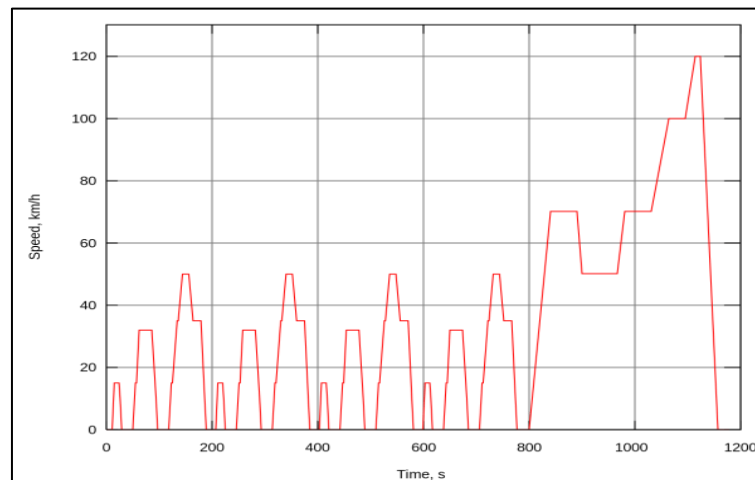
New European Driving Cycle (NEDC)

El nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC, New European Driving Cycle) “Este ciclo de homologación europeo es utilizado como estándar para determinar el consumo de combustible de vehículos ligeros, así como las emisiones contaminantes reguladas, es decir, partículas (Soot), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos sin quemar (HC) y monóxido de carbono (CO” (Moscardo, 2015)

- Ciclo de conducción urbana (*UDC, Urban Driving Cycle*): “Representa las condiciones de la conducción en un entorno urbano, que se caracteriza por una velocidad baja, poca carga en el motor, así como baja temperatura en los gases de escape”. (Moscardo, 2015)
- Ciclo de conducción extraurbano (*EUDC, Extra Urban Driving Cycle*): “Representa las condiciones de la conducción en vías interurbanas o autopistas, con mayores velocidades y una temperatura del motor y de los gases de escape más elevada”. (Moscardo, 2015)

Figura 36

Ciclo NEDC



Nota. Tomado de (Rafael Moscardo, 2015)

Ciclo de conducción WLTP

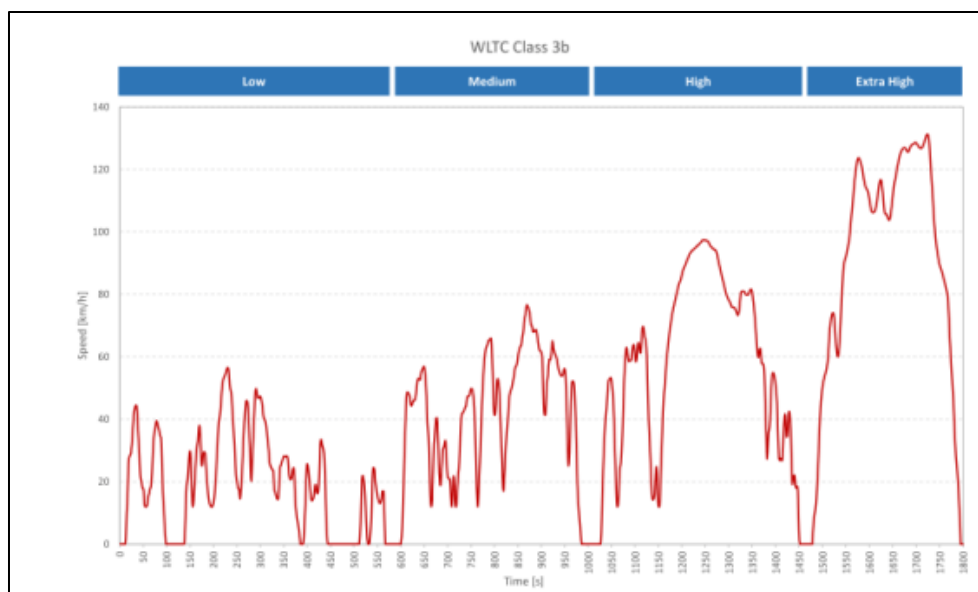
“El ciclo de conducción del procedimiento mundial armonizado para ensayos de vehículos ligeros (WLTP, Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures), se divide en cuatro partes con distintas velocidades medias: baja, media, alta y muy alta, correspondientes a

la circulación urbana, interurbana, carreteras de circunvalación y autovías o autopistas. Cada parte contiene distintas fases de conducción, paradas, aceleración y frenado. Para un determinado tipo de coche, cada configuración se prueba con el WLTP en la versión más ligera y en la versión más pesada del coche en cuestión”. (MITSUBISHI MOTORS, 2021)

“El WLTP se desarrolló para ser utilizado como ciclo de prueba mundial en distintas regiones del mundo, a fin de que las emisiones de partículas contaminantes y de CO₂, así como los valores de consumo de combustible, pudieran compararse a escala mundial. Sin embargo, aunque el WLTP tiene un «núcleo» común, la Unión Europea y otras regiones aplicarán la prueba de distintas formas, en función de la normativa local”. (MITSUBISHI MOTORS, 2021)

Figura 37

Ciclo de conducción WLTP



Nota. Tomado de (Fernández, 2020)

Ciclo de conducción FTP-75

Normalmente conocido como EPA (Agencia de Protección Ambiental de EEUU), el FTP-75 es el procedimiento para homologar el consumo de los vehículos en EEUU, siendo la EPA el organismo que regula dicho procedimiento (y muchos otros). El FTP-75 sustituyó al

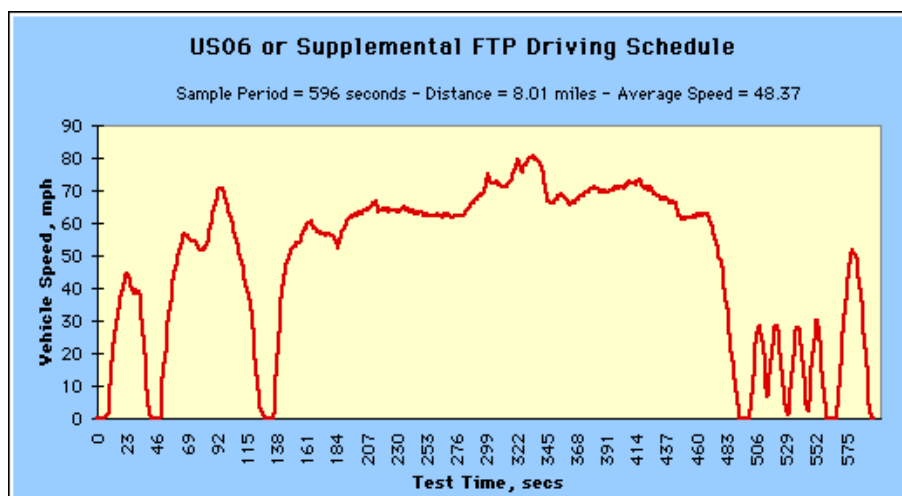
FTP-72 añadiendo una tercera fase, idéntica a la primera, con la única diferencia de que ésta última (la tercera fase) se realiza con el motor caliente. (Cayo & Cando, 2021)

La medición urbana. Se divide en 3 fases: arranque en frío, fase transitoria y arranque en caliente. Como ya se mencionó, la primera y última fase son similares, con la única diferencia de que en la última el motor estaba caliente. Entre la fase transitoria y la final, se deja el motor ralentí 10 minutos. Esta fase comprende una distancia de 11.04 millas (17,77 km), tomando para ello 31 minutos y 23 segundos, cuyos máximos picos de velocidad se sitúan en 55 mph (88 km/h) y la velocidad media es de 21.2 mph (34 km/h). (Cayo & Cando, 2021)

Se inicia con el motor caliente, y a lo largo de 12 minutos y 56 segundos se realizan aceleraciones, desaceleraciones y periodos de velocidad constante, donde nunca se superan las 60mph (95km/h), simulando así la conducción por autopistas y carreteras interurbanas. arranque (Cayo & Cando, 2021)

Figura 38

Fase Extraurbana FTP75



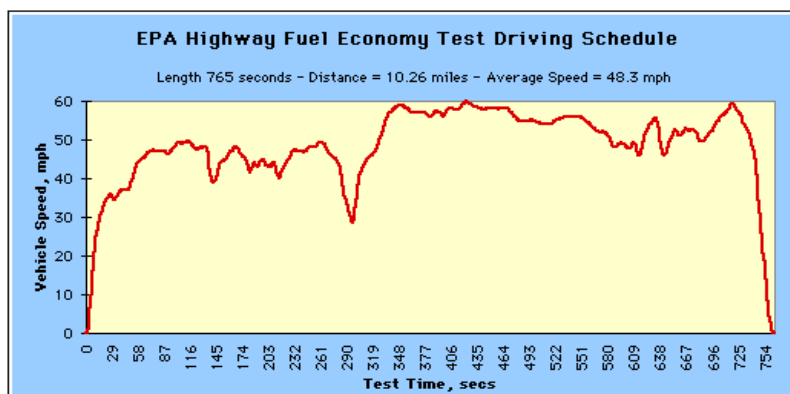
Nota. Tomado de (EPA, 2021)

Ciclo de conducción HWFET O HFET

La estimación del consumo de combustible del vehículo se lo realiza mediante el Ciclo de prueba de economía de combustible en carretera (*HWFET, Highway Fuel Economy Test Cycle*) para un recorrido en autopista consta de los siguientes parámetros: 765 segundos en un recorrido total de 10.26 millas (16.45 km) y una velocidad promedio de 48,3 mi/h (77,7 km/h). (Tapia & Torres, 2017)

Figura 39

Ciclo de conducción HWFET



Nota. Tomado de (EPA, 2021)

Modelado dinámico y simulación

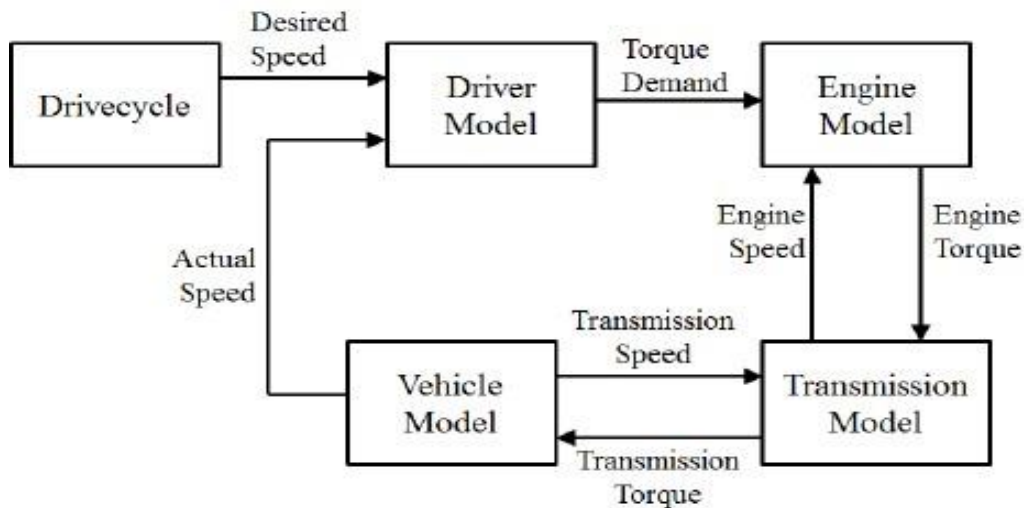
Forward-facing vehicle model

Modelo de vehículo orientado hacia adelante o Forward-facing vehicle model “Los modelos orientados hacia adelante proporcionan información sobre la capacidad de conducción del modelo del vehículo, y captura los límites del sistema físico. También facilita el desarrollo y la implementación del control en los sistemas HIL (hardware in the loop - HIL). Sin embargo, con la presencia de múltiples ecuaciones de estado en un modelo típico orientado hacia adelante, la velocidad del vehículo (y posteriormente la velocidad angular del tren de transmisión) se calcula a través de la integración de múltiples estados, lo que resulta en la necesidad de correr la simulación en pasos de tiempo más pequeños. Esto da como resultado

tiempos de simulación más largos en comparación con el modelo orientado hacia atrás”. (Cayo & Cando, 2021)

Figura 40

Modelo de vehículo orientado hacia adelante



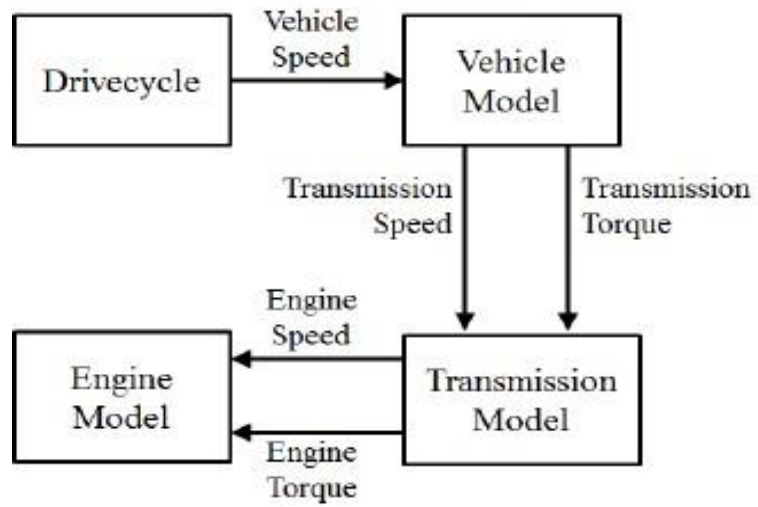
Nota. Tomado de (Cayo & Cando, 2021)

Backward-facing vehicle model

Modelo de vehículo orientado hacia atrás o Backward-facing vehicle model “Los modelos orientados hacia atrás se basan en mapas de eficiencia que se crearon en base a datos de par y velocidad, y que generalmente se producen durante las pruebas del mundo real en estado estacionario. Esto hace que el cálculo sea relativamente más simple que los modelos orientados hacia adelante (esencialmente tablas de búsqueda en lugar de ecuaciones de estado) y, por lo tanto, puede ejecutarse en pasos de tiempo relativamente más largos” (Cayo & Cando, 2021).

Figura 41

Backward-facing vehicle model



Nota. Tomado de (Cayo & Cando, 2021)

Capítulo III

Modelación y simulación mecánica-eléctrica

Para la modelación y simulación se utilizarán el software de diseño asistido por computador-CAD, SolidWorks Student Premium (SFK) 2020 y la plataforma de programación y cálculo numérico MATLAB & Simulink - Mathworks 2022 versión de prueba en línea, que para este proyecto de investigación se le denominarán como SolidWorks, MATLAB o Simulink respectivamente sea el caso o el requerimiento.

Así mismo el modelado se encuentra fundamentado bajo lo reglamentado por la homologación de la CIK-FIA, el mismo que brinda las especificaciones técnicas y dimensionales del chasis, descripciones del modelo e ilustraciones técnicas, todas estas características deben ser respetadas por el fabricante sin extenderse de las medidas establecidas. Factores externos para el presente estudio pero que inciden sobre el mismo son los siguientes: altura máxima, longitud máxima, ancho máximo, distancia entre ejes y características del motor

Para iniciar con la programación y diseño es necesario realizar una investigación previa a características de kartings existentes en el mercado, valores que se tomarán para la selección óptima y adecuada de un tren motriz eléctrico y un chasis para el Karting eléctrico en el kartódromo de Latacunga.

Comparación de karting eléctricos

En la tabla 17 se muestran características del motor, batería, peso, dimensiones de los kartings eléctricos que actualmente existen en el mercado para la competencia en pista. Es por ello que se realizará un análisis exhaustivo, para una selección correcta de los componentes eléctricos los mismos que irán ubicados en el bastidor diseñado por el investigador en este proyecto.

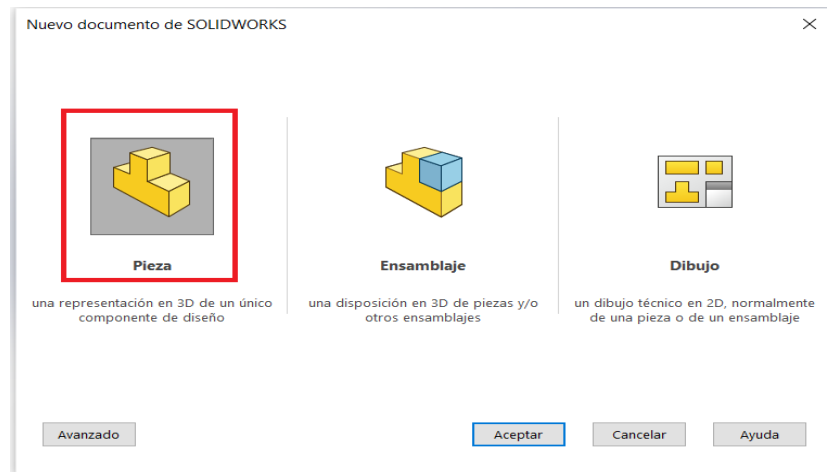
Tabla 17*Kartings existentes para competencia según la FIA/CIK*

Kart EV	Motor	Baterías	Peso Total	Dimensiones
SiNUS TWIN	2 motores x 2.8	16 LiFeMnPo4	193 kg	L:1900 mm
	12 kW	60 Ah, 3.2 V		W: 1530 mm
	Torque 45 Nm			H: 600 mm
CAROLI KART	Brushless	Li-ion	195 kg	L:1920mm
	15 kW	48V, 60Ah		W: 1300 mm
	45 Nm			H: 600 mm
THE ECOVOLT NG	Permanent	LFP
	magnet	51.2V		
	Brushless	3kWh		
	10.5 KW			
OTL ELECTRO KART	LiFePO4
		48V/90Ah		
MODELO SLC	Brushless	Li-ion	195 kg	L:2100mm
	Asincrono	12V, 48Ah		W: 1350 mm
	17 kW			H: 800 mm
	30 Nm			
Linde E-DRENALINE	2 motores x 2.6	Li-ion
	KW	48V, 100Ah		
	180 Nm			
Rimo	2 motores x 2.8	16 x3,2V	186 kg	L:2020mm
	KW (5,6 KW)	LiFeMnPo4		W: 1390 mm
		60 Ah		H: 600 mm

Nota. Tomado de fichas técnicas de fabricantes correspondiente a Kart EV.

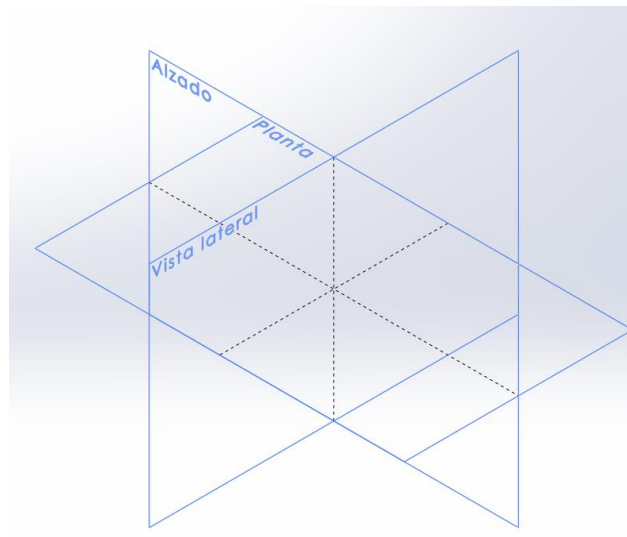
Diseño de chasis de karting

Para dar inicio al modelado mediante la herramienta computacional de diseño SolidWorks Student premium 2020 se debe seleccionar un nuevo documento como se puede visualizar en la figura 42.

Figura 42*Selección pieza a modelar*

Nota. Inicio de la selección de pieza para modelar

Luego se debe seleccionar el plano para poder realizar el boceto como se puede ver en la figura 43.

Figura 43*Selección del plano en SolidWorks*

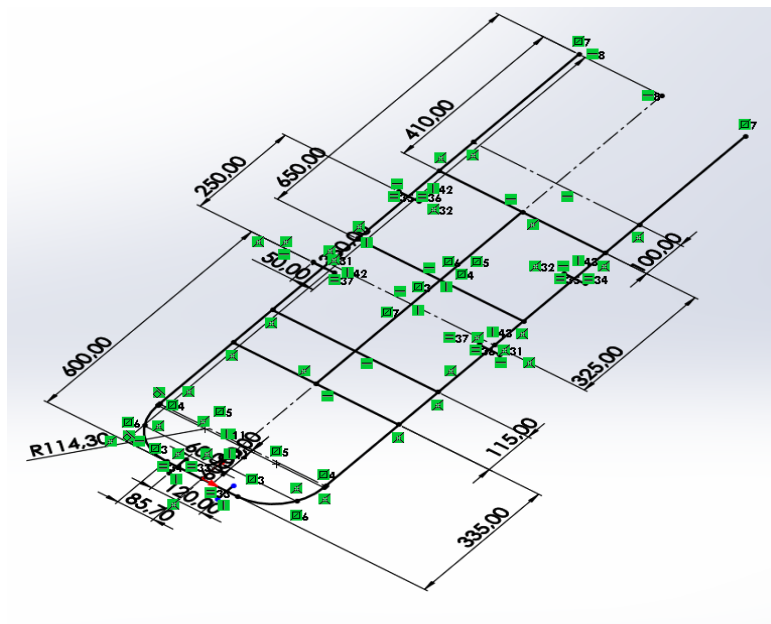
Nota. Selección del plano alzado para iniciar el trabajo

Diseño en 3D esquemático de un karting

Se inicia realizando la estructura por partes en 2D, para lo cual se utilizó SolidWorks Student 2020, herramienta de vital importancia en este proyecto ya que es la que permite la creación de las geometrías en 2D, 3D y adicional el análisis estructural para la verificación de los puntos críticos internos y externos en la pieza, para este proyecto se realizaron las partes del chasis paso a paso; es decir, por partes formando un solo elemento sólido, de forma que no se utilizaron ensambles para la unión de los bastidores, como se observa en la figura 44, el inicio del dibujo en dos dimensiones del chasis a través de la herramienta línea, la misma que tiene una gran ventaja y permite observar los mínimos detalles como características de líneas y aristas que son de gran ayuda al momento de dibujar

Figura 44

Boceto en 3D en CAD



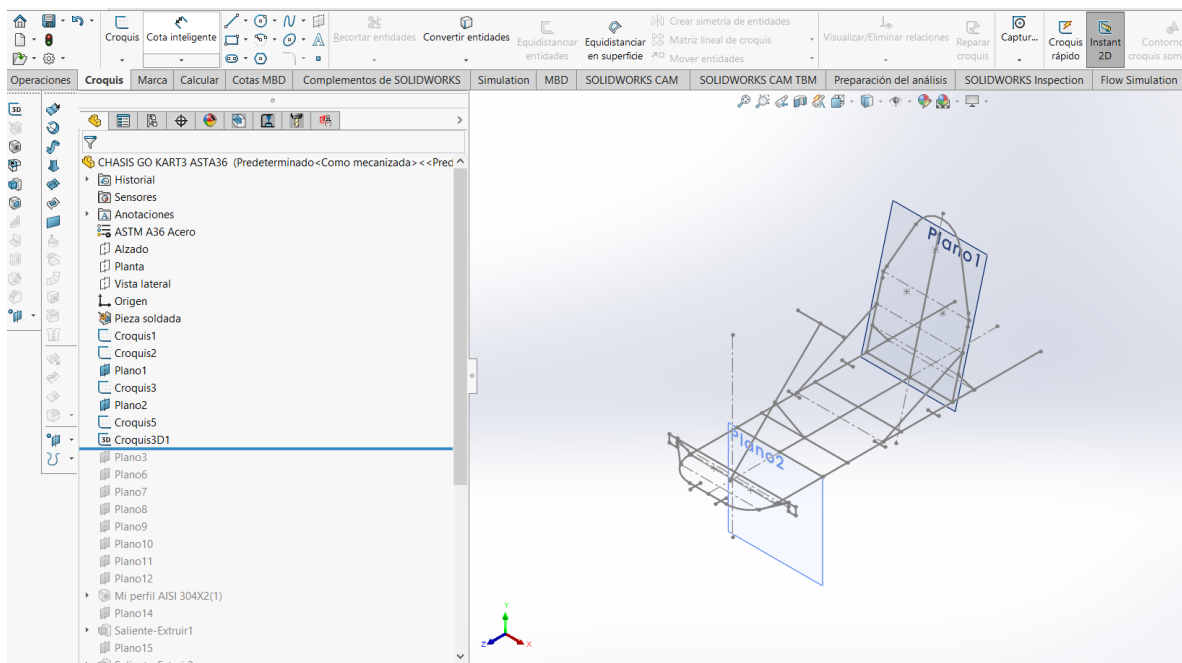
Nota. Realización del boceto por el autor.

Una vez realizada la debida explicación en el párrafo anterior, se menciona que se efectúa la parte más susceptible a constantes esfuerzos por distintos tipo de masa a soportar; en este caso se indican, los bastidores largos del medio donde se ubica el asiento

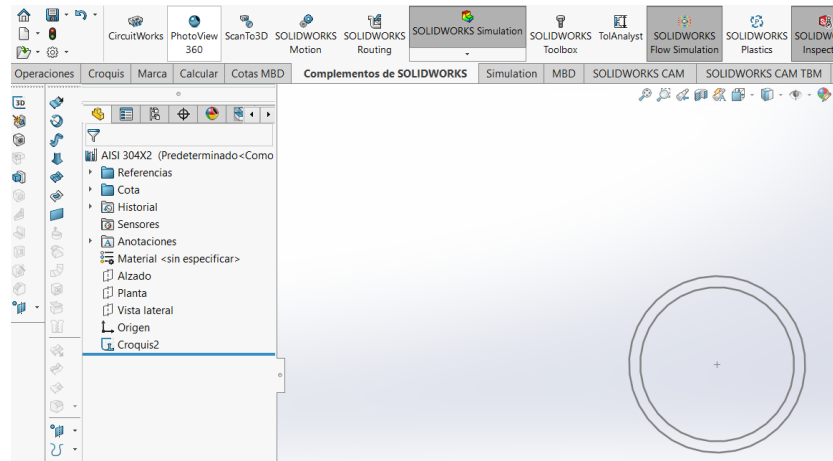
del piloto, motor, ejes de dirección y suspensión del kart, cumpliendo estos la función de soporte principal en el monoplaza durante una competencia; pero es importante recalcar, que para obtener resultados cercanos a la realidad es imprescindible realizar un dibujo con medidas precisas; por lo que, los tubos del vehículo son huecos y cuentan con un espesor de 2 mm; mientras que el diámetro en esta pieza varían según la ubicación del tubo en mención, por esta razón se procede a utilizar como herramientas principales de la personalización del perfil dibujo se observa en la figura 45.

Figura 45

Sujeción del espaldar



A continuación, como se visualiza en la figura 46 se crea un croquis del perfil estructural a esto se lo conoce como personalización del perfil en este caso bajo la norma INEN 2415 como se detalla en la tabla 18.

Figura 46*Croquis del perfil estructural*

En la tabla 18 se muestra la denominación del material a seleccionar según la sección, es decir redondo de diámetro de 31.75 mm y espesor de 2 mm.

Tabla 18*Denominación a seleccionar el material según Norma INEN 2415*

	Denominación	Diámetro	Espesor	Peso	Cantidad
Sección	(in)	exterior	(mm)	(kg/m)	(unidad)
		(mm)			
Tubería Estructural Norma INEN 2415					
Redondo	$\frac{3}{4}$	19.05	1.5	0.67	1
Redondo	$1\frac{1}{4}$	31.75	2	1.48	1

Nota. Tomado de (Cevallos & Garces, 2018).

En la figura 47 y la figura 48, se puede encontrar las especificaciones generales del material AISI 304, que esta en el mercado nacional en la actualidad, el mismo es utilizado en

las industrias ya que prefieren utilizar estas tuberías por su excelente resistencia a temperaturas extremas, así como a elementos destructivos (Import Aceros, 2021)

Figura 47

Especificaciones Generales del acero AISI 304

**TUBO REDONDO
ACERO INOXIDABLE**



Especificaciones Generales:

Calidad:	AISI 304
Largo normal:	6,00 m
Dimensiones:	Desde 1 a 2"
Espesor:	1,2mm, 1,5mm y 2mm

Nota. Tomado del catálogo Importa Aceros.

Figura 48

Acero AISI diámetro 31.75 mm y t= 2 mm



Especificaciones Generales:

Descripción: tubo redondo inoxidable 304 acabado N4 pulido. Largo 6 mts

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPELOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
3/8"	9,52	1	0,21	1,27
3/8"	9,52	1,2	0,25	1,49
3/8"	9,52	1,5	0,30	1,8
3/8"	9,52	2	0,38	2,25
1/2"	12,7	1	0,29	1,75
1/2"	12,7	1,2	0,34	2,06

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPELOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
1"	25,4	1,5	0,89	5,36
1"	25,4	2	1,17	6,99
1 1/4"	31,8	1	0,77	4,6
1 1/4"	31,8	1,2	0,92	5,49
1 1/4"	31,8	1,5	1,13	6,79
1 1/4"	31,8	2	1,49	8,91

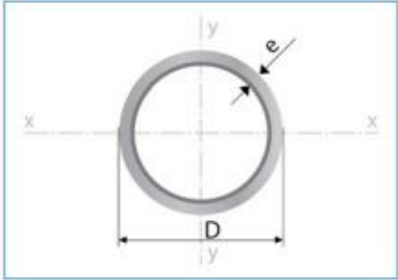
DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPELOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
2 1/2"	63,5	1,2	1,86	11,17
2 1/2"	63,5	1,5	2,32	13,9
2 1/2"	63,5	2	3,06	18,38
3"	76,2	2	3,70	22,18
4"	101,6	2	4,96	29,77
5"	127	2	6,23	37,36

Nota. Datos obtenidos catálogo Import Aceros obtenido de <https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/Catalogo-importaceros-2021-web.pdf>

De la misma manera en la figura 49 se puede visualizar las especificaciones generales del material ASTM - A36, actualmente el mismo esta dentro del mercado nacional, es aplicado en el sector automotriz y de autopartes, por sus beneficios duraderos, económicos y ecológicos (IPAC, 2019).

Figura 49

Especificaciones generales del acero ASTM A-36



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Calidad de Acero:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1.40 a 6.00 mm

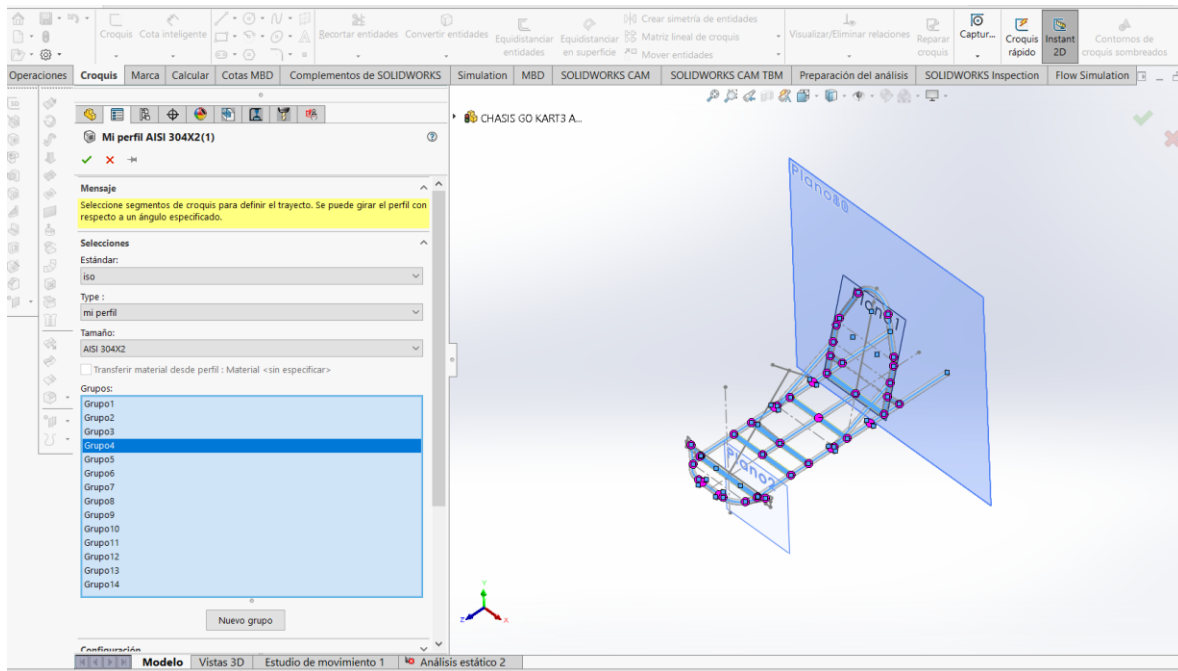
Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	
3/4	19,10	1,40	0,78	0,61	0,30	0,32	0,63
		1,50	0,83	0,65	0,32	0,34	0,62
		1,80	0,98	0,77	0,37	0,39	0,61
		2,00	1,07	0,84	0,39	0,41	0,61
7/8	22,20	1,40	0,92	0,72	0,50	0,45	0,74
		1,50	0,98	0,77	0,53	0,47	0,73
		1,80	1,16	0,91	0,61	0,55	0,72
		2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
1	25,40	1,40	1,06	0,83	0,76	0,60	0,85
		1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		1,80	1,33	1,05	0,93	0,74	0,84
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/4	31,80	1,40	1,33	1,05	1,54	0,97	1,07
		1,50	1,43	1,12	1,63	1,03	1,07
		1,80	1,66	1,33	1,81	1,20	1,06
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,05
1 1/2	38,10	1,40	1,61	1,27	2,72	1,43	1,30
		1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		1,80	2,05	1,61	3,39	1,78	1,28
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
1 3/4	44,50	1,40	1,89	1,49	4,39	1,98	1,52
		1,50	2,00	1,58	4,57	2,10	1,52

Nota. Tomado del catalogo de IPAC obtenido de http://www.ipac-acero.com/revista-digital/CatalogoIPAC_2019.pdf

Como se puede observar en la figura 50 se procede a colocar el perfil personalizado en toda la estructura, se selecciona por grupos para que todas las líneas se conviertan en una estructura.

Figura 50

Colocación del perfil personalizado

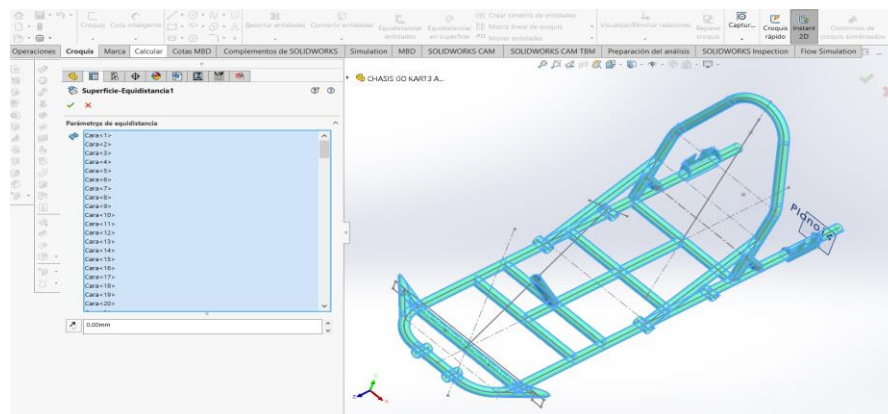


Se crea un nuevo plano para crear los puntos donde va apoyado el eje motriz es decir la sujeción del eje como se ve en la figura 51

Asimismo, los puntos de apoyo para las maniguetas por consiguiente serán sujetos los neumáticos al chasis.

Figura 51

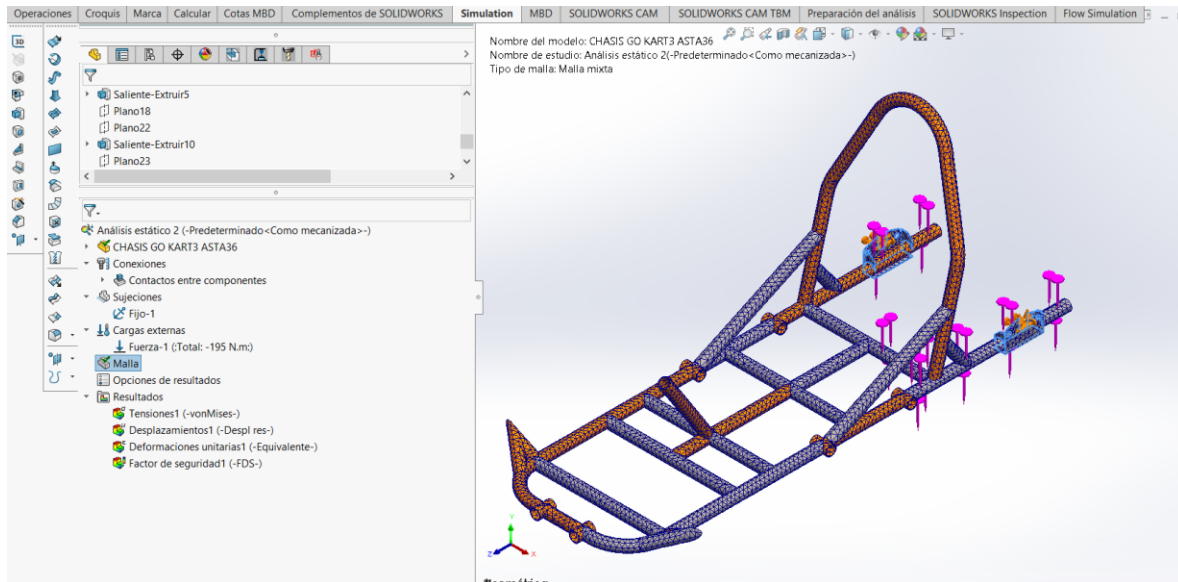
Puntos de sujeción eje motriz



Por consiguiente, se realiza el mallado como se observa en la figura 52 mediante el cual se complementa el proceso para obtener el análisis de esfuerzos al cual esta sometido el chasis.

Figura 52

Mallado de chasis



Cálculo de cargas estáticas

Para el diseño estructural del karting se han tomado las siguientes cargas definidas en el capítulo 2.

Estáticas

- Carga muerta: se analiza de la ecuación 1
- Carga viva: se analiza de la ecuación 2

Dinámicas

- Carga de frenado: se calcula mediante la ecuación 3
- Carga de giro: se realiza mediante la ecuación 4
- Carga de resistencia al aire frontal: se analiza mediante la ecuación 5
- Carga de aceleración brusca: se calcula según la ecuación 6

En la tabla 19 se menciona la masa de los componentes de un karting eléctrico, valor que servirá de referencia para el análisis del chasis.

Tabla 19

Carga muerta del vehículo karting eléctrico

CARGA MUERTA	MASA (KG)
Motor y baterías	34.9
Cadena	1
Eje posterior	5
Manguetas delanteras	4.4
Asiento	2
Accesorios (pontones y soportes)	2
Bastidor	16
TOTAL	65.3

Nota. Tomado del catálogo BSR 2.0

Carga muerta

Se toma la ecuación 1 para obtener la carga muerta

$$M = Mt * g$$

$$M = 65.3 * 9,81$$

$$M = 640.59 \text{ N}$$

Carga viva

Se toma la ecuación 2 para calcular la carga viva

$$V = Vt * g$$

$$V = 70 * 9.81$$

$$V = 686.7 \text{ N}$$

Cálculo de cargas dinámicas

Carga de frenado

De Ecuación 3 se obtiene esta carga de frenado

$$F = Mt * a$$

$$F = 65.3 * 4$$

$$F = 261.2 \text{ N}$$

Carga de giro

De la ecuación 5 se obtiene la carga de giro y datos de la velocidad-v y radio de curvatura – r, se toma de la norma INEN1323

V=90 Km/h=25m/s (velocidad establecida por la norma INEN 1323)

r=350 m (radio de curvatura de pista)

$$G = (Mt + Vt) * \frac{v^2}{r}$$

$$G = (65.3 + 70) * \frac{25^2}{350}$$

$$G = 241.61 \text{ N}$$

Carga de resistencia al aire frontal

De la ecuación 6 se obtiene la carga Raf

$$\rho = 1.28 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ (densidad del aire)}^1$$

$$cx = 0.775 \text{ (coeficiente de resistencia al aire)}$$

$$Af = 1.001495 \text{ m}^2$$

¹ La densidad $\rho=1.28 \text{ Kg/m}^3$ tomado de (Cando & Cayo, 2021)

$$Raf = \frac{cx * \rho * Af * v^2}{2}$$

$$Raf = \frac{0.775 * 1.28 * 1.001495 * 25^2}{2}$$

$$Raf = 310.46 N$$

Carga de aceleración brusca

Esta carga se calcula mediante la ecuación 4

$$Ab = Mt * (-a)$$

$$Ab = 65.3 * (-4)$$

$$Ab = -261.2 N$$

Dinámica del vehículo

La dinámica del vehículo se enfoca en todas las fuerzas que se generan e interactúan en el vehículo se detallan a continuación: fuerza aerodinámica, fuerza de arrastre, fuerza de ascenso en pendiente, fuerza neta, fuerza de tracción.

La presente investigación se enfoca en un vehículo de competición Karting en el Kartódromo de la provincia de Cotopaxi, los parámetros de entrada se detallan a continuación:

- Masa del vehículo
- Coeficiente de rodadura
- Densidad del aire
- Área frontal del vehículo
- Radio dinámico de la rueda
- Porcentaje de pendiente
- Coeficiente aerodinámico

Cálculo de fuerza aerodinámica

Para encontrar la fuerza aerodinámica, se toma los valores referenciales establecidos por (Ochoa, 2014), alto = 1441 mm, ancho = 695 mm, y el coeficiente aerodinámico $C_d = 0.775$.

La velocidad máxima del ciclo de conducción HWFET es de 95,84 km/h equivalente a 26,62 m/s.

El área se obtiene mediante alto = 1,441 m y ancho = 0.695 m aplicando la siguiente ecuación elemental.

$$A = b \times h$$

$$A = 1,441 \text{ mm} \times 0.695 \text{ mm}$$

$$A = 1.001495 \text{ m}^2$$

Entonces el valor de la fuerza aerodinámica es:

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

$$F_{ad} = \frac{1}{2} (1.28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 1.001495 \text{ m}^2 * 0.775 * 26.62^2$$

$$F_{ad} = 352.0031 \text{ N}$$

A continuación, en la tabla 19 se presenta un rango de velocidades 0 a 95 km/h, que permite obtener la fuerza aerodinámica para el diseño del chasis es decir para una velocidad de 0 se obtiene una fuerza aerodinámica de 0 N, mientras que para una velocidad de 95 km/h se obtiene una fuerza de 345.95 N

Tabla 20

Valores de la fuerza aerodinámica según la velocidad de 0 - 95 km/h

V[km/h]	V[m/s]	F_{ad} [N]
0	0	0
15	4.16	8.59
30	8.33	34.47

V[km/h]	V[m/s]	F_{ad} [N]
80	22.22	245.25
95	26.39	345.95

Cálculo de fuerza de Fricción.

El coeficiente de arrastre o rozamiento (u_{rr}) esta en función del terreno o superficie donde el karting circula, en la tabla 20 se menciona diferentes coeficientes dependiendo de la superficie.

Tabla 21

Coeficiente de arrastre de superficie

Superficie			
Grava sin alquitrán	0.02 - 0.04	Hormigón	0.015 - 0.025
Adoquinado	0.015 - 0.03	Asfalto	0.01 - 0.02
Tierra sin firme	0.015 - 0.03	Arena	0.015 - 0.03

Nota. Tomado de GTZ, (p,216).

Como la pista del kartódromo de Latacunga es de asfalto y los valores oscilan de 0.01 a 0.02, el valor promedio es 0.015 como coeficiente de arrastre. El valor del porcentaje de la pendiente se obtiene mediante el programa Google Earth, en donde se puede visualizar un valor máximo de 6.4% como se verifica en la figura 53.

Figura 53

Inclinación máxima del Kartódromo de Cotopaxi



Nota. Inclinación tomada de Google Earth

La pendiente se expresa en radianes para los posteriores cálculos.

$$\psi = 6.4 \%$$

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{6.4}{100}\right)$$

$$\psi = 3.6619^\circ$$

$$\psi = 0.0639 \text{ rad}$$

Entonces de la ecuación 9 se calcula la fuerza de fricción

$$F_{rr} = u_{rr} * mg * \cos\psi$$

$$F_{rr} = 0.015 * 195 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \cos(0.0639)$$

$$F_{rr} = 28.64 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza en pendiente

Para obtener la fuerza en pendiente se considera la masa del karting de 195 Kg, La gravedad de $9.81 \frac{m}{s^2}$ y el ángulo de pendiente máximo del Kartódromo de 0.0639 rad.

Entonces la fuerza de pendiente se obtiene mediante la ecuación:

$$F_{hc} = m * g * \sin (\psi)$$

$$F_{hc} = 195 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} * \sin (0.0639 \text{ rad})$$

$$F_{hc} = 122.15 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza neta

Para el calculo de la fuerza neta interviene un factor de masa Y_m el mismo que se obtiene de la siguiente forma:

$$Y_m = 1,04 + 0.0025 * (\varepsilon_{caja} * \varepsilon_{Dif})^2$$

En dónde

Los valores de 1.04 y 0.0025 son constantes

ε_{caja} = relación de transmisión de la caja de cambios

ε_{Dif} = relación de transmisión del diferencial

Para calcular el factor de masa se utiliza el valor de 1 como relación de transmisión directa y 1.17 como valor de relación de transmisión tomado del kit de tren de propulsión eléctrico.

$$Y_m = 1,04 + 0.0025 * (\varepsilon_{caja} * \varepsilon_{Dif})^2$$

$$Y_m = 1,04 + 0.0025 * (1 * 1.17)^2$$

$$Y_m = 1.043$$

Como el análisis se efectúa con el vehículo en equilibrio la aceleración del vehículo es de $0 \left(\frac{m}{s^2}\right)$ obteniendo el valor de fuerza neta de la siguiente manera:

$$F_{nt} = Y_m * m * a$$

$$F_{nt} = 1.043 * 195 \text{ Kg} * 0 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{nt} = 0 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza de tracción

La ecuación para calcular la fuerza de tracción en las ruedas del vehículo se encuentra a continuación:

$$F_{te} = F_{ad} + F_{rr} + F_{hc} + F_{nt}$$

En donde se reemplaza los valores

$$F_{te} = 352.0031 \text{ N} + 28.69 \text{ N} + 122.15 \text{ N} + 0$$

$$F_{te} = 502.87 \text{ N}$$

Cálculo del torque requerido en la rueda

Para calcular el torque requerido en la rueda se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_r = F_{te} * r$$

En dónde:

F_{te} = Fuerza de tracción (N)

r = radio dinamico de la rueda (m)

$$T_r = F_{te} * r$$

$$T_r = 502.87 \text{ N} * 0.1085 \text{ m}$$

$$T_r = 54.56 \text{ Nm}$$

Cálculo de la potencia mecánica

Para la obtención de la potencia mecánica ejercida en las ruedas se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$P_m = F_{te} * v$$

$$P_m = 502.87 \text{ N} * 26.62 \text{ m/s}$$

$$P_m = 13.38 \text{ Kw}$$

Cálculo de la potencia eléctrica

Para la obtención de la potencia eléctrica ejercida en las ruedas se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$P_{elec} = \frac{P_m}{\text{eficiencia del motor}}$$

$$P_{elec} = \frac{13.38 \text{ kW}}{0.92}$$

$$P_{elec} = 14.54 \text{ kW}$$

Nota. La eficiencia del motor se toma del motor a seleccionar en este caso es 0.92.

Cálculo de la energía de las baterías

La pista del Kartódromo Cotopaxi tiene una longitud de 1600m en competencia se recorre 5.6 Km por vuelta. Por lo general en competencia los kartings recorren de 12 a 15 vueltas.

$$\text{autonomía} = \frac{12v * 5.6 \text{ Km}}{1v}$$

$$\text{autonomía} = 67.2 \text{ Km}$$

A continuación, se presenta en la tabla 21, los resultados obtenidos de las ecuaciones de estado previamente realizados los cálculos respectivos.

Tabla 22

Resumen de resultados

Tabla de resumen de parámetros			
<i>F_{ad}</i>	352.0031 N	<i>P_{elec}</i>	14.54 kW
<i>ρ</i>	1.28 $\frac{kg}{m^3}$	<i>autonomía</i>	67.2 km
<i>C_d</i>	0.775	<i>u_{rr}</i>	0.015
<i>v</i>	26.62 m/s	<i>m</i>	195 Kg
<i>A</i>	1.001495 m ²	<i>g</i>	9.81 $\frac{m}{s^2}$

F_{rr}	28.64 N	ψ	6.4% – 0.0639 rad
ε_{caja}	1	F_{hc}	122.15 N
ε_{Dif}	1.17	F_{nt}	0
F_{te}	502.87 N	Y_m	1.043
T_r	54.56 Nm	a	0
r	0.1085 m	P_m	13.38 kW
M	640.59 N	F	261,2 N
V	686.7 N	a	$4 \frac{m}{s^2}$
Mt	65,3 kg	G	241.61 N
Vt	70 kg	Af	1.001495 m ²
Cx	0.775	Raf	310.46 N
Ab	261.2 N		

Diseño del sistema de propulsión eléctrico en el software Matlab Simulink versión prueba en línea.

Se tomará en cuenta para el diseño del sistema de propulsión eléctrico los parámetros de entrada como:

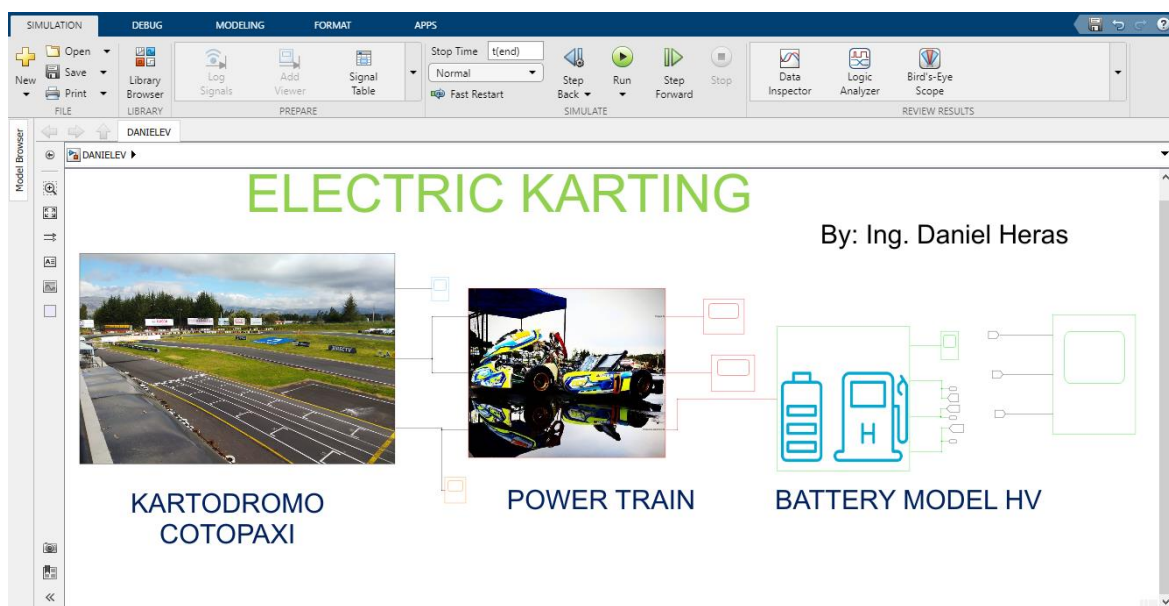
- Masa
- Gravedad
- Coeficiente de rodadura
- Coeficiente aerodinámico
- Densidad del aire
- Área del karting

- Radio dinámico del neumático

Estos parámetros serán tomados en cuenta para usarlos en el software Matlab Simulink con el método de ecuaciones de estado mediante diagramas de bloque. En la figura 53 se visualiza la ventana de Simulink versión prueba en línea para dar inicio a la programación y selección del tren de propulsión.

Figura 54

Parámetros del kartódromo en Simulink



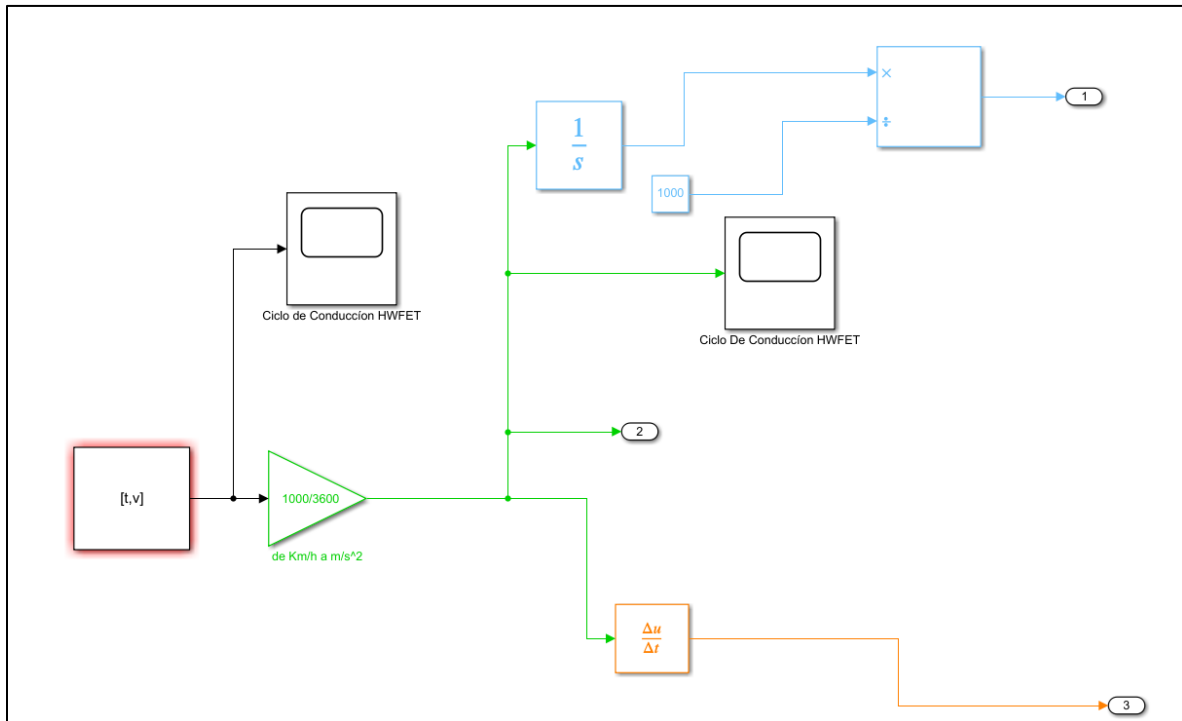
Nota. Programación del karting eléctrico mediante Simulink en la versión de prueba en línea.

Ciclo de conducción

Se utilizan diagramas de bloques tanto para el ciclo de conducción creado HWFET como para las diferentes conversiones de unidades y se puede visualizar en los osciloscopios respectivos. Aquí se muestra cómo obtener la distancia y la aceleración por medio del ciclo de conducción seleccionado. Se visualiza en la figura 54 que al integrar la velocidad el resultado es la distancia y al derivar la velocidad en función del tiempo su resultado es la aceleración.

Figura 55

Ciclo de conducción HWFET en Simulink versión de prueba en línea.



Nota. Diagrama de bloques de la velocidad vs tiempo se obtiene el ciclo de conducción

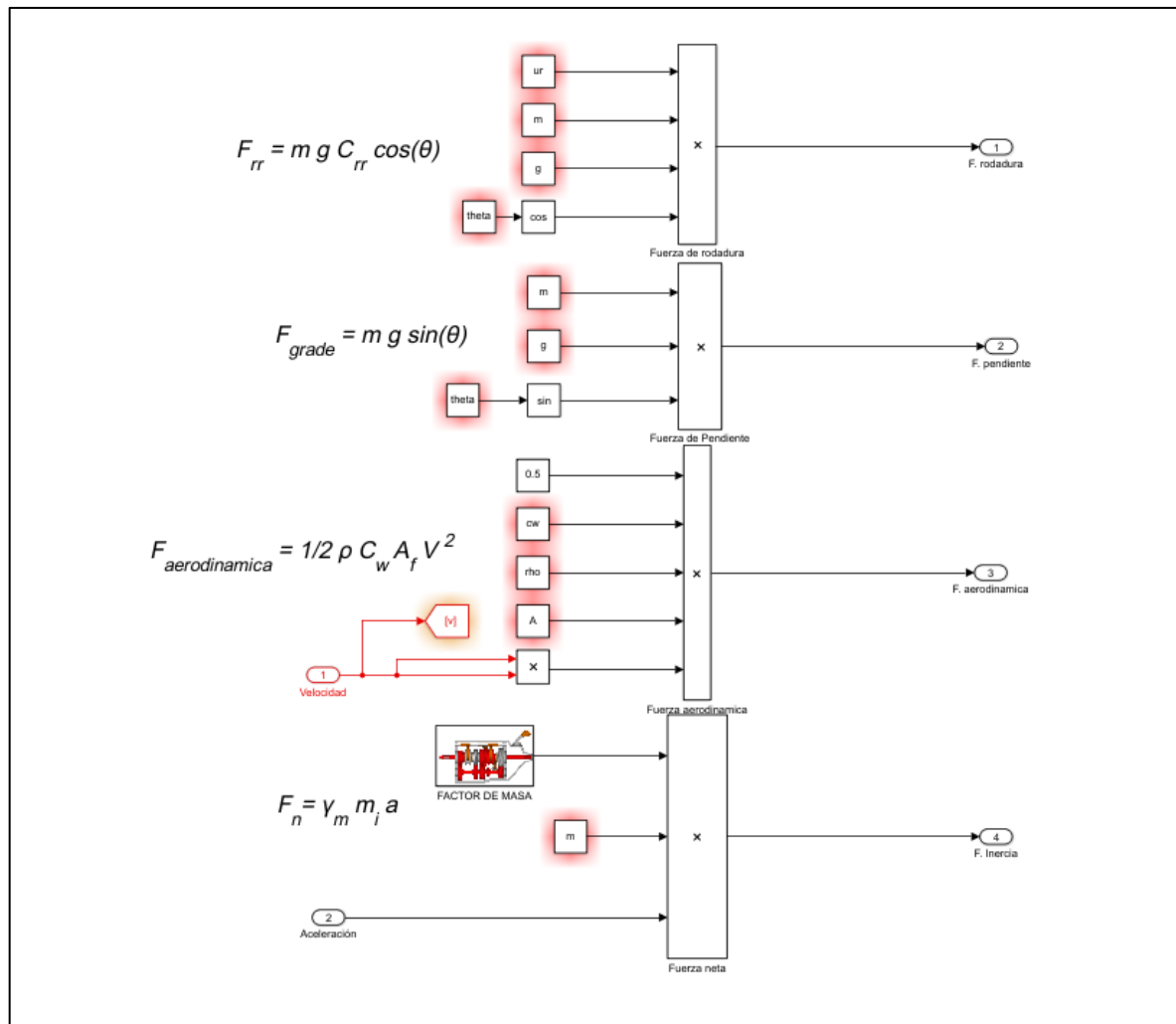
Dinámica del vehículo en Simulink versión prueba en línea

Para la dinámica del vehículo se utilizan los diagramas de bloques de valores constantes y a su vez los bloques de multiplicación, los valores deben estar declarados en el apartado de Matlab.

En la figura se puede observar las fuerzas que interviene durante la realización del análisis estático, es decir se calcula los parámetros necesarios para dar inicio al movimiento del karting en plena carga.

Figura 56

Fuerzas existentes en el Karting



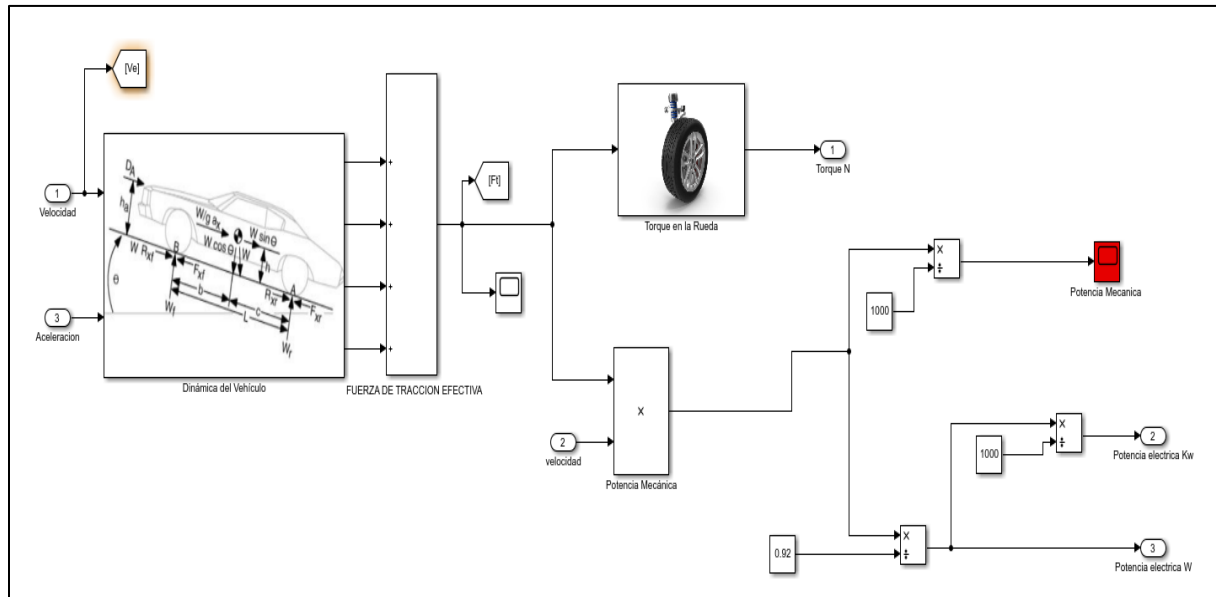
Nota. Fuerzas que intervienen para el cálculo de la fuerza de tracción de la rueda

Tren de propulsión eléctrica

Una vez obtenida la fuerza de tracción en la rueda que proviene de la dinámica del vehículo se puede hallar la potencia mecánica, potencia eléctrica y el torque en la rueda. Como se puede detallar en la figura 56.

Figura 57

Cálculo de potencia mecánica, eléctrica y torque



Nota. Programación en Simulink para obtener el tren de propulsión eléctrica.

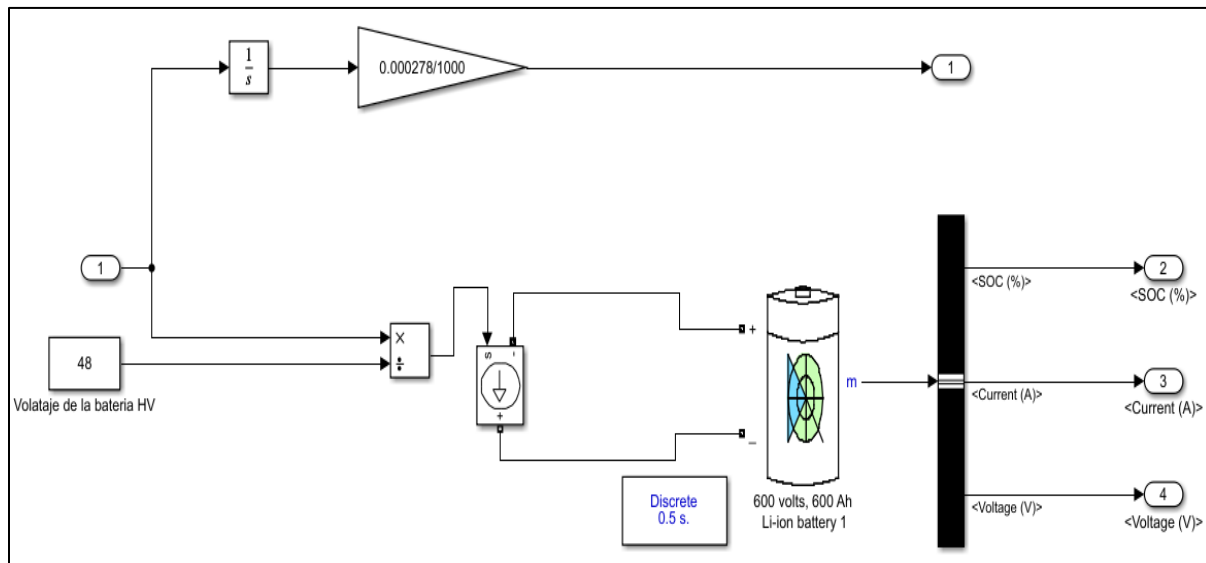
Modelado de la batería

Al integrar la potencia eléctrica el resultado es la capacidad de energía en kWh y adicional tomando en cuenta que se necesita un controlador de corriente se lo coloca para accionar la batería de litio obteniendo los parámetros del SOC, voltaje y consumo de corriente en función del tiempo.

En la figura 57 se detalla la programación de una batería de alta tensión *HV*, la misma que se analiza el tiempo de descarga durante el recorrido de los diferentes circuitos del kartódromo.

Figura 58

Programación de la batería HV



Nota. Simulación del tiempo de descarga de la batería de alta tensión.

Comparación de baterías (Litio) de alta tensión existentes en el mercado

En la tabla 20 se detallan las características específicas de las baterías de alta tensión de ion litio de las marcas GBS de segunda generación y Samsung INR.

Tabla 23

Baterías de alta tensión de litio

Marca	GBS de Segunda Generación Li-ion	Samsung INR
Química	Litio-Hierro-Fosfato (LiFeMnPO4)	LiNiMnCoO2
Forma	Prismática	Cilíndrica
Voltaje nominal (V)	12.8 V (4 celdas X 3.2 V)	42.9-54.6 6P13S (78 celdas)
Capacidad nominal	40Ah	-----
Energía (Wh)	512	505
Peso	6.6 kg	-----
Dimensiones (cm)	12.5 X 20.8 X 18.0	6.985 x13.97x23.87

Marca	GBS de Segunda Generación Li-ion	Samsung INR
Corriente de carga máxima	3C	-----
Corriente de descarga máxima	3C (de forma continua) / 10C (de forma momentánea)	-----
Ciclo de vida	>2000	-----
Temperatura de operación	-20 a 65°C	-----

Nota. Tomado de Samsung INR Litio Ion Battery 20R Scooter and eBike Battery Modules.

Comparación de motores eléctricos existentes en el mercado

A continuación, se detallan las características específicas de diferentes kits de motores eléctricos existentes actualmente en el mercado, para la selección óptima de la potencia requerida del karting eléctrico, el mismo que tiene que cumplir la autonomía necesaria para completar los circuitos en la pista del Kartódromo de Cotopaxi.

Tabla 24

Potencia de motores eléctricos

Modelo	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 7kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 15Kw	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 20kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 25kW
Tipo	PMSM brushless	PMAC brushless	PMAC brushless	PMAC brushless
Potencia continua (kW)	7	15	20	25
Torque (Nm)	52.5	67	117	171
Relación de transmisión	1.7	1.7	1.9	1.7
RPM máx.	3200	3200	5000	4200
Velocidad máx. (Km/h)	90	100	120	120
Refrigeración	Por aire	Por aire	Por aire	Por aire

Modelo	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 7kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 15Kw	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 20kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 25kW
Voltaje de operación (V)	48	48	96	96
Eficiencia (%)	92	92	92	92
Peso (Kg)	17.4	18.5	20.9	24.5

Nota. Tomado de BSR 2.0 electric power

Comparación de convertidores DC/DC existentes en el mercado

En la tabla 22 se realiza una comparación de convertidores de DC-DC, que están en el mercado actual.

Tabla 25

Convertidores eléctricos de DC-DC

Modelo	Green Galaxy	SEVCON
Voltaje de operación (V)	36-72	96-144
Eficiencia máxima (%)	≥88	≥88
Clasificación del empaquetamiento	IP 65	IP 65
Temperatura de operación	20°C-+60°C	20°C-+60°C
Salida de voltaje	13.8V±0.2V @0A, >12V @50 ^a	13.8V±0.2V @0A, >12V @50A
Corte automático de bajo voltaje (V)	30	80
Protección	IP66	IP66

Nota. Tomado de BSR 2.0 electric power

Comparación de controladores de motores eléctricos existentes en el mercado

Mediante la comparación de controladores se pretende seleccionar el idóneo y óptimo para el motor eléctrico que cumpla con las especificaciones requeridas y necesarias para cumplir con la demanda del Kartódromo de Cotopaxi.

Tabla 26

Controladores para motores eléctricos

Modelo	SEVCON	SEVCON	SEVCON
Compatible	Opera con motores PMAC	Opera con motores PMAC	Opera con motores PMAC
Voltaje de operación (V)	38-48	38-48	96-120
Voltaje máximo de operación (V)	69.6	69.6	150
Amperaje (A)	275	450	300
Capacidad de frenado regenerativo	SI	SI	SI
Interface CAN bus para comunicación y programación	SI	SI	SI
Electrónica y programación a prueba de fallas en la operación	SI	SI	SI
Protección	IP66	IP66	IP66
Fusible integrado	SI	SI	SI

Nota. Datos obtenidos de Controlador SEVCON para motores de AC, 48V a 450A, SIZE 4 – Partes y Refacciones para Vehículos Eléctricos (energyev.com)

Comparación de cargadores existentes en el mercado

El cargador adecuado permitirá al karting obtener la suficiente carga y energía para poder completar la autonomía, del mismo dependerá el tiempo de carga.

Tabla 27

Cargadores actuales en el mercado

Modelo	BSR 2.0 ELECTRIC POWERWER 7kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 15kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 20kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 25kW
Conector	AC	AC o DC/DC	AC o DC/DC	AC o DC/DC
Voltaje de Carga (V)	48	48	96	96
Corriente de carga (A)	20	30	40	40
Refrigeración	Por aire	Por aire	Por aire	Por aire
Peso (Kg)	2.5	5.5	3.5	6.5

Nota. Tomado de BSR 2.0 electric power

Selección del tren de propulsión eléctrico de acuerdo a los requerimientos del kartódromo de Cotopaxi

Se ha seleccionado el kit de conversión de BSR 2.0 ELECTRIC POWER 15Kw debido a que el ciclo de conducción HWFET analizado tiene una velocidad máxima de 95.84 Km/h y el motor seleccionado tiene una velocidad máxima de 100Km/h encajando perfectamente en el ciclo de conducción estudiado. Debido a que en el kartódromo de Latacunga no se supera la velocidad de 100 km/h, en ninguna de las rutas expuestas anteriormente como Ruta 1 y Ruta 2 siendo el kit ideal y económico para cumplir con el requerimiento de la pista

Tabla 28

Tren de propulsión eléctrico seleccionado

Modelo	BSR 2.0 ELECTRIC POWER15kW
Tipo	PMAC brushless

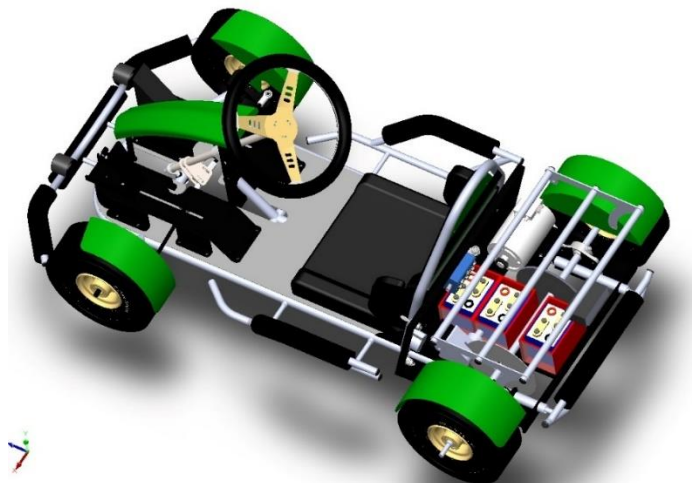
Modelo	BSR 2.0 ELECTRIC POWER15kW
Potencia continua (kW)	15
Torque (Nm)	67
Relación de transmisión	1.7
RPM máx.	3200
Velocidad máx. (Km/h)	100
Refrigeración	Por aire
Voltaje de operación (V)	48
Eficiencia (%)	92
Peso (Kg)	18.5

Modelación en 3D de vehículo eléctrico con su tren de propulsión eléctrico seleccionado

El vehículo tiene tracción posterior en donde se puede visualizar que irán colocados los componentes como el motor eléctrico, controlador, baterías, como se detalla en la figura 58.

Figura 59

Karting Eléctrico diseñado y modelado

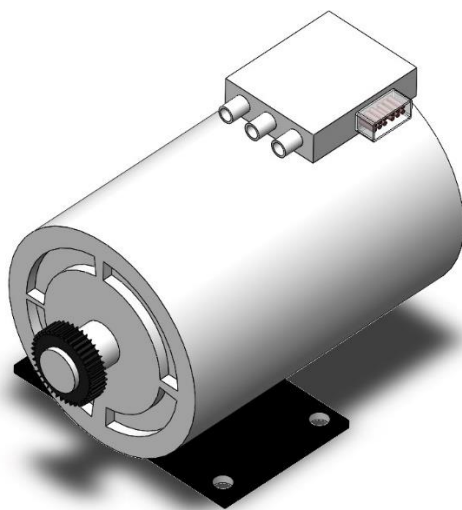


Nota. Karting eléctrico hacer implementado en SolidWorks Premiun Student

Se puede visualizar que el motor eléctrico figura 59 irá conectado a una cadena junto al eje motriz posterior para impulsar el vehículo.

Figura 60

Motor Eléctrico

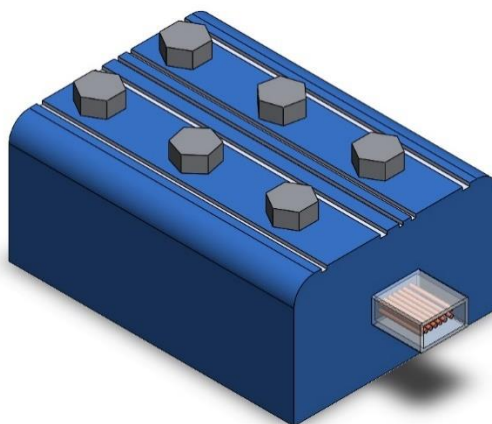


Nota. Motor eléctrico diseñado en SolidWorks

El controlador como se ve en la figura 60, del motor se ubica detrás del asiento del conductor. por la ergonomía que debe constar al piloto.

Figura 61

Controlador del Karting Eléctrico

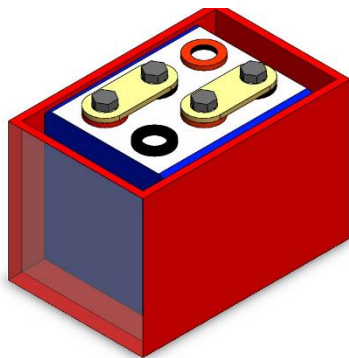


Nota. Controlador a implementar en el CAD para el modelado

Las baterías de litio como se detalla en la figura 61, están ubicadas en la parte posterior del vehículo. Dentro de cada paquete se encuentra un módulo que contiene las celdas de la batería.

Figura 62

Bateria HV



Nota. baterías diseñadas en el software CAD, para el modelado del chasis

Capítulo IV

Análisis de resultados obtenidos en el software de ingeniería

Como se presentó en el capítulo III de esta investigación, a través de parámetros propios del kartódromo de Latacunga, para completar circuitos de competencia se generó la simulación del chasis del karting eléctrico en SolidWorks Premium Student 2020, mediante Matlab – Simulink versión de prueba en línea se analizaron los factores correspondientes a los resultados obtenidos del kit y piezas que conforma el karting eléctrico en estudio, por ello se aplicaron las cargas determinadas con las propiedades propias del material AISI 304 y el acero ASTM A36 los mismos que fueron seleccionados en base a la reglamentación de la FIA y CIK, para un análisis exhaustivo con los diferentes softwares.

Mediante el análisis final de estos dos materiales se procederá a la selección del más idóneo para la propuesta de implementación,

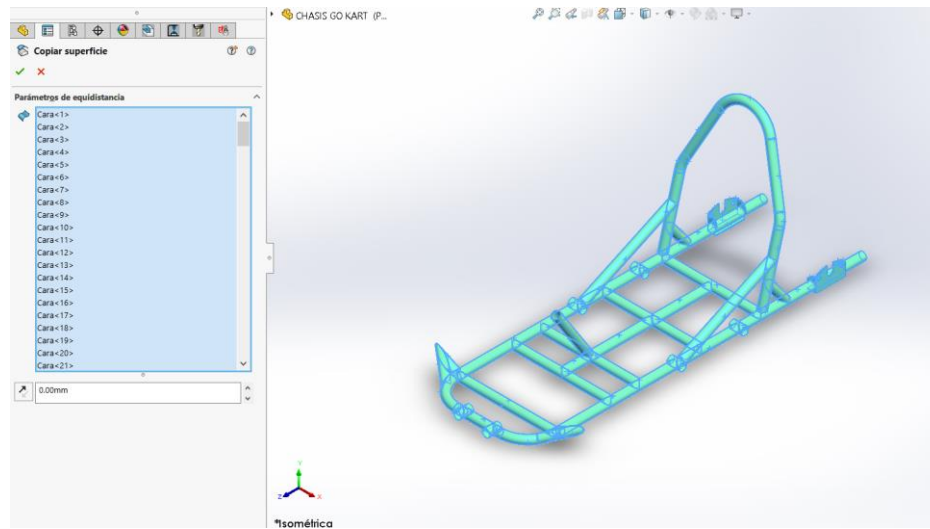
En base a las propiedades de cada material, el factor de costo es decir datos técnicos y económicos que facilitarán la decisión a implementar dicho estudio de comportamiento del chasis para un karting eléctrico.

Análisis estáticos de esfuerzos en el chasis

Se procede a realizar el análisis del material seleccionado para el chasis diseñado, una vez colocado la estructura de los perfiles en el croquis, se debe equidistar la superficie seleccionando todos los travesaños para la simulación de análisis estático como se muestra en la siguiente figura 63

Figura 63

Equidistancia de la superficie para un análisis estático

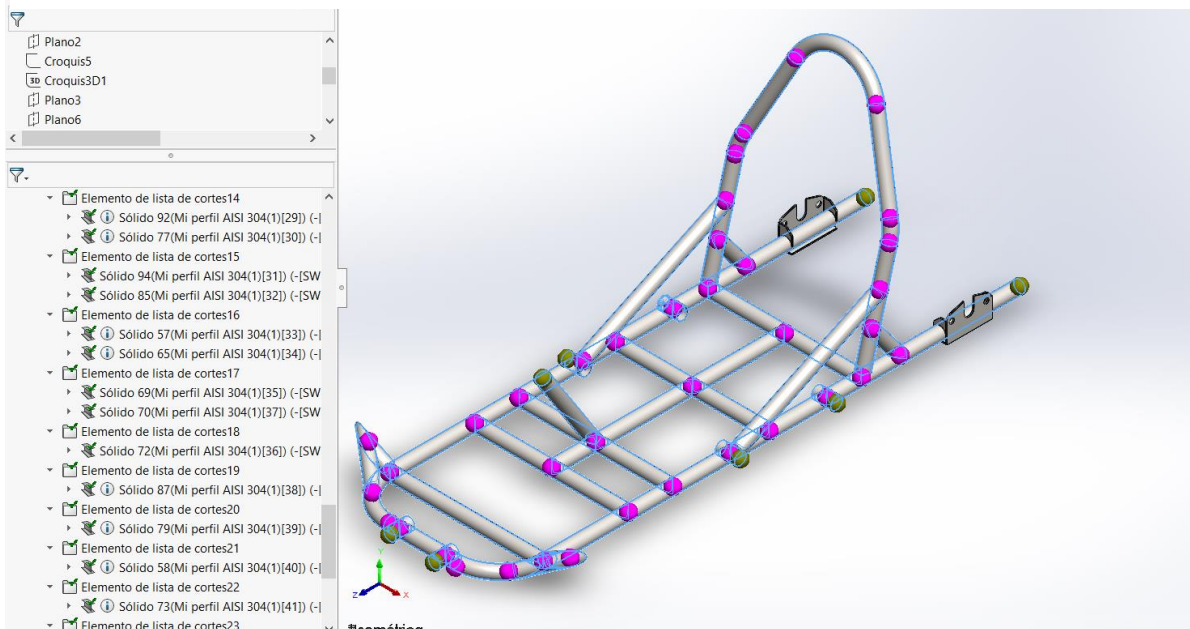


Nota. Ubicación de la perfilería en el chasis

A continuación, se debe seleccionar la carpeta cut y en todas las subcarpetas de la misma forma los perfiles estructurales. Esto facilita el análisis de la superficie como se muestra figura 64

Figura 64

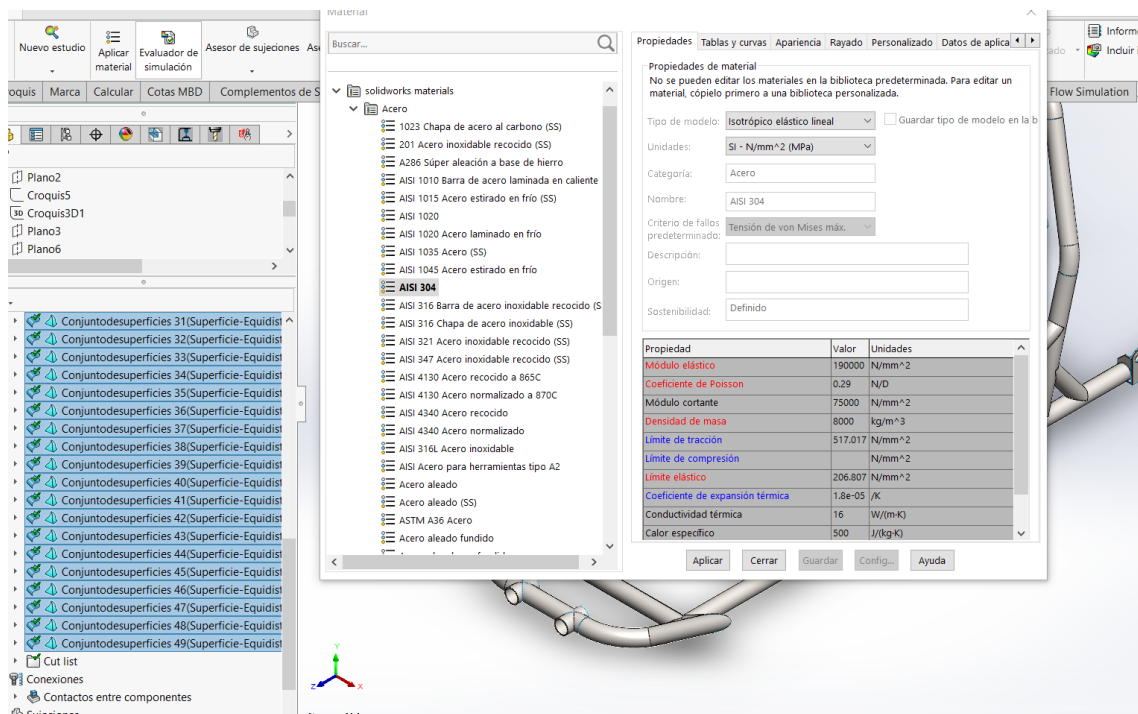
Análisis de la perfilería estructural



Posteriormente se debe seleccionar las superficies para ser detallado con el material, adicionalmente se define el espesor que tendrá el mismo, para este análisis se han seleccionado el material de AISI 304, y el material ASTM A 36 descritos en la capítulo III apartado estudio 3.3, con un diámetro de 31.75 mm y un espesor de 2 mm. como se ve en las figuras 65 y 66 respectivamente.

Figura 65

Especificaciones del material AISI 304



Nota. Datos ingresados del material en el software Solid Works

Así mismo se realiza la inserción del Acero ASTM A 36 en el software SolidWorks Premium Student luego de haber hecho un análisis respectivo del acero AISI 304.

Figura 66

Especificaciones del material ASTM A36

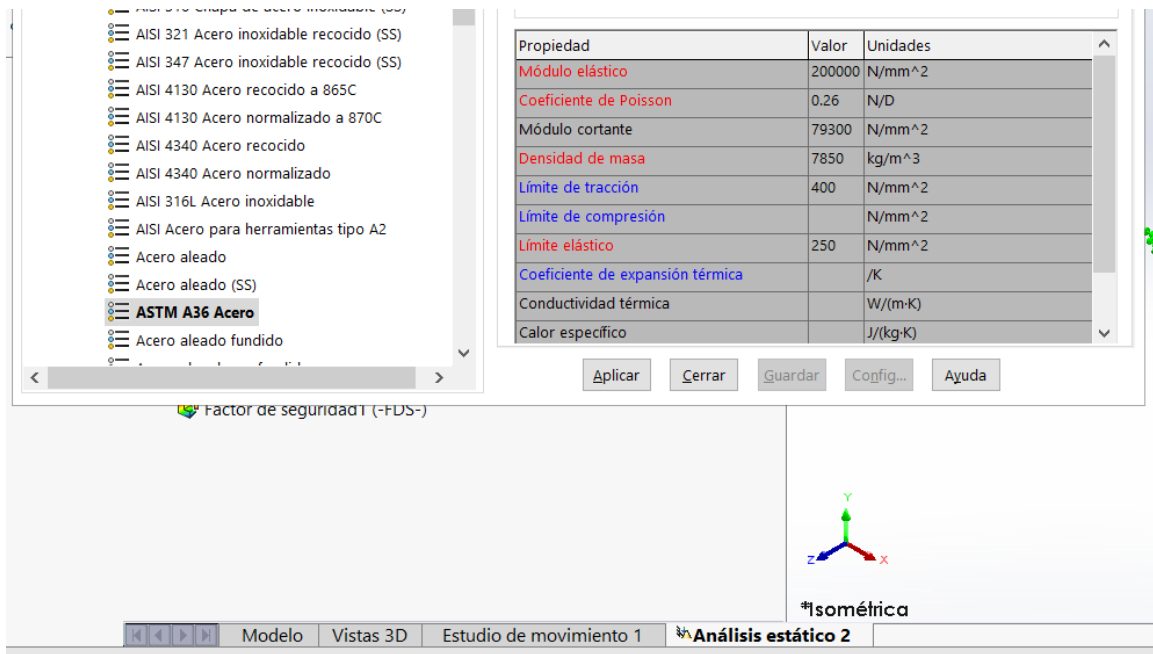
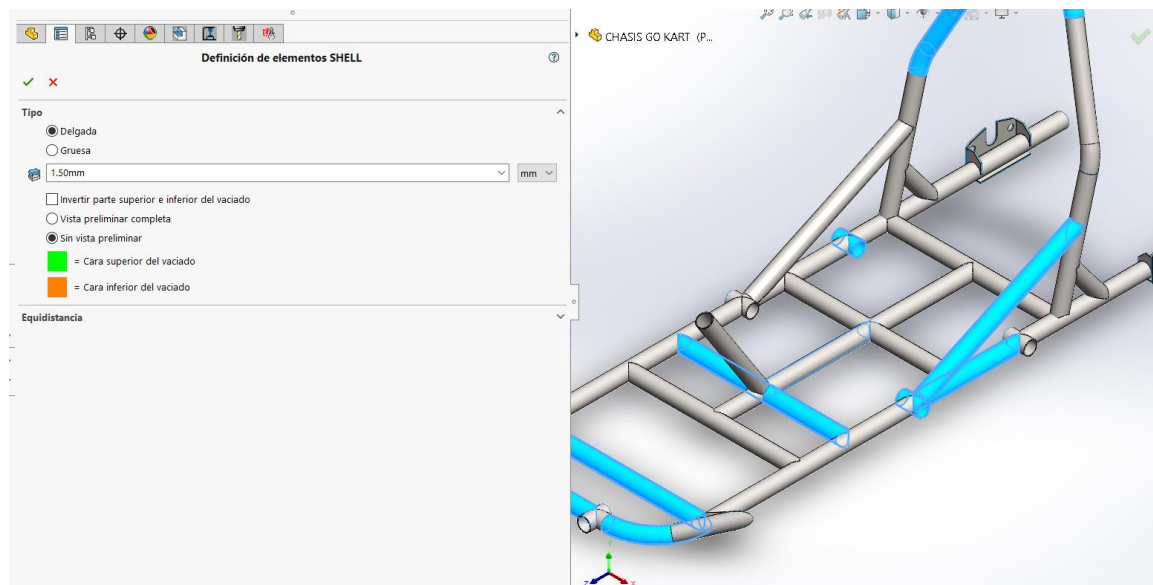


Figura 67

Análisis de las superficies de la perfilera

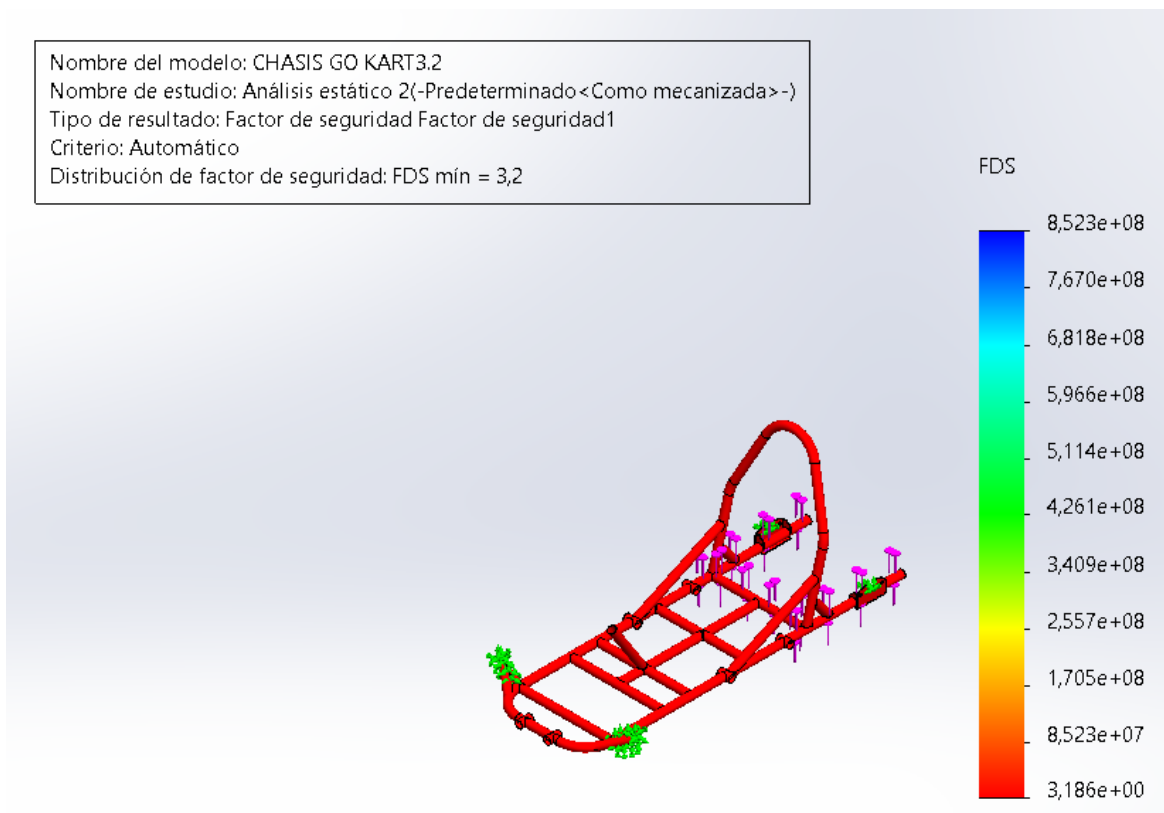


Factor de seguridad

Mediante este análisis se observa un factor de seguridad de acuerdo al material y al tipo de perfil utilizado en el diseño del chasis del karting es un valor menor a resistencia del material y de esta manera el chasis al momento del entrar en funcionamiento no genere rupturas, para esta investigación se determina un factor de seguridad de 3,2 para el acero AISI 304 el cual es viable para el estudio realizado como indica la figura 68.

Figura 68

Análisis del factor de seguridad en CAD del material AISI 304

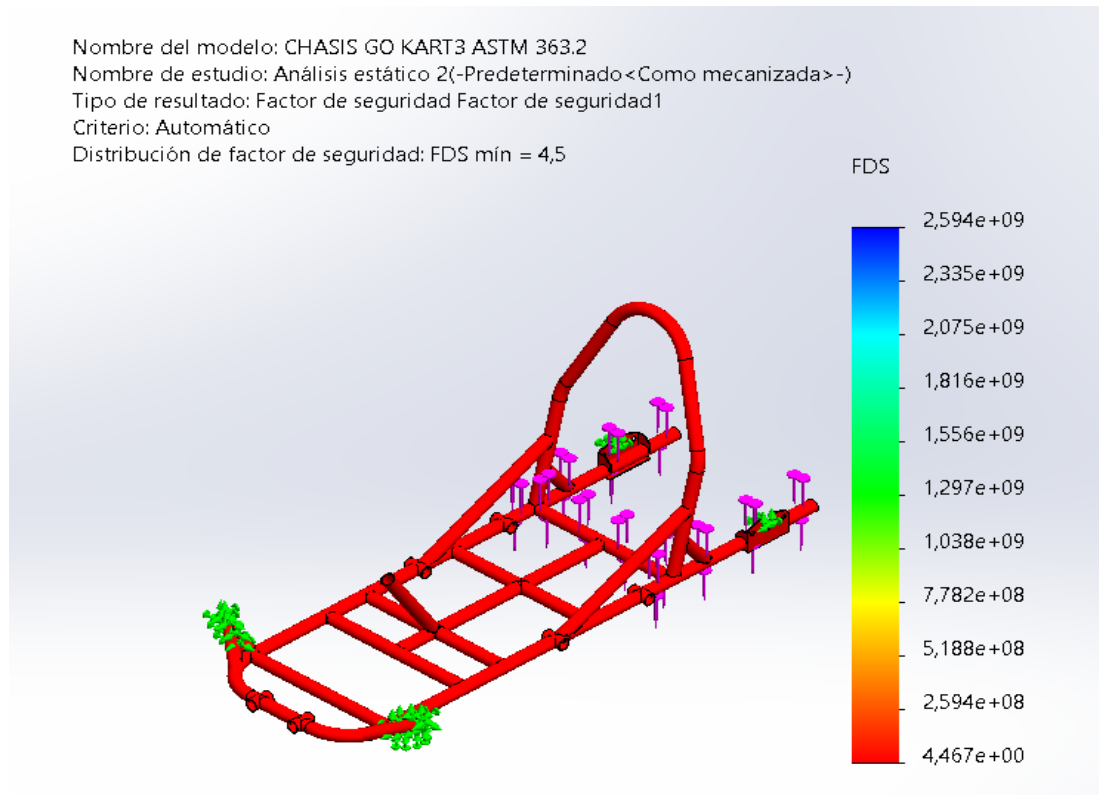


Nota. La distribución del factor de seguridad FDS 3,2 es obtenido mediante el análisis de SolidWorks.

De tal manera se determina un factor de seguridad de 4,5 para el acero ASTM A-36 el cual es también es viable para el estudio realizado como indica la figura 69.

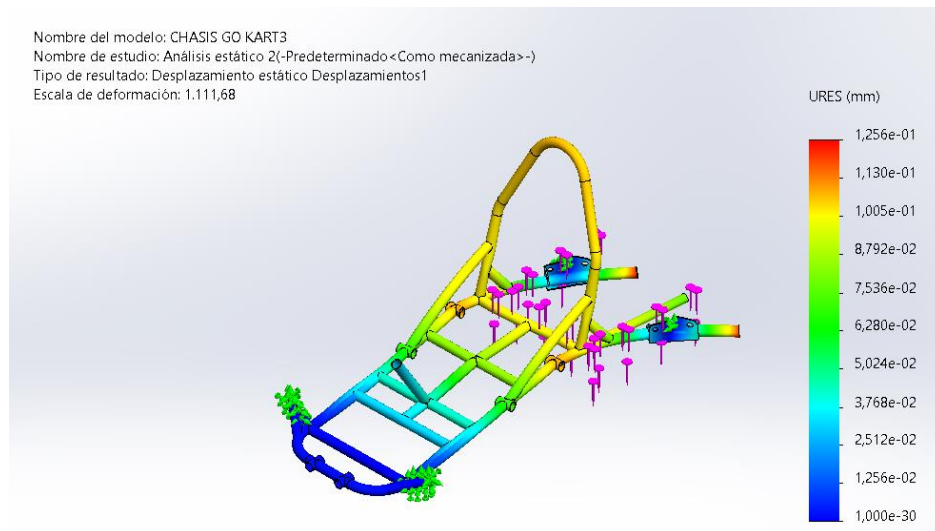
Figura 69

Análisis del factor de seguridad en CAD del material ASTM A36



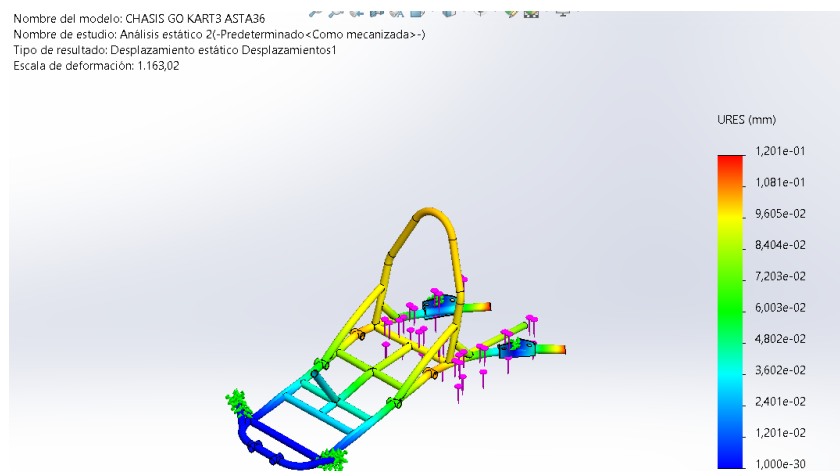
Desplazamiento del material

En lo concerniente a deformaciones estos son el producto de los desplazamientos máximos que se producen en la estructura del chasis del karting luego de ser aplicado las respectivas cargas y para el presente estudio el valor máximo por deformación es de 0.10 mm en la parte central del chasis con respecto al eje transversal central hacia la parte posterior final su deformación es de 0,125 mm y hacia abajo generado por efecto de la respectiva carga como se muestra en la figura 70.

Figura 70**Análisis del desplazamiento del material AISI 304**

Nota. El Desplazamiento máx. 0,125 mm

Para el estudio del acero ASTM A-36 el valor máximo por deformación es de 0.10 mm en la parte central del chasis con respecto al eje transversal central hacia la parte posterior final su deformación es de 0,12 mm y hacia abajo generado por efecto de la respectiva carga como se muestra en la figura 71.

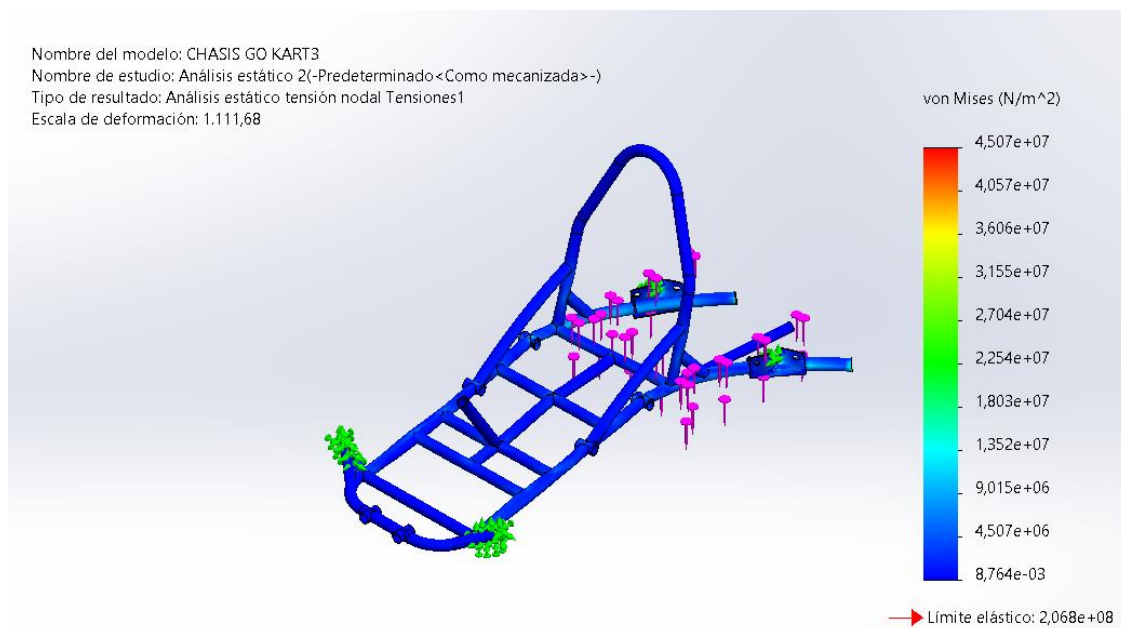
Figura 71**Análisis del desplazamiento del material ASTM A36**

Esfuerzo de Von Mises

La tensión de Von Mises tiene un valor máximo de 45,07 MPa para el acero AISI 304 que es el esfuerzo equivalente que se encuentra por debajo al límite de fluencia para el material con que se colocó a la estructura y como se muestra en la figura 72, no presenta puntos críticos

Figura 72

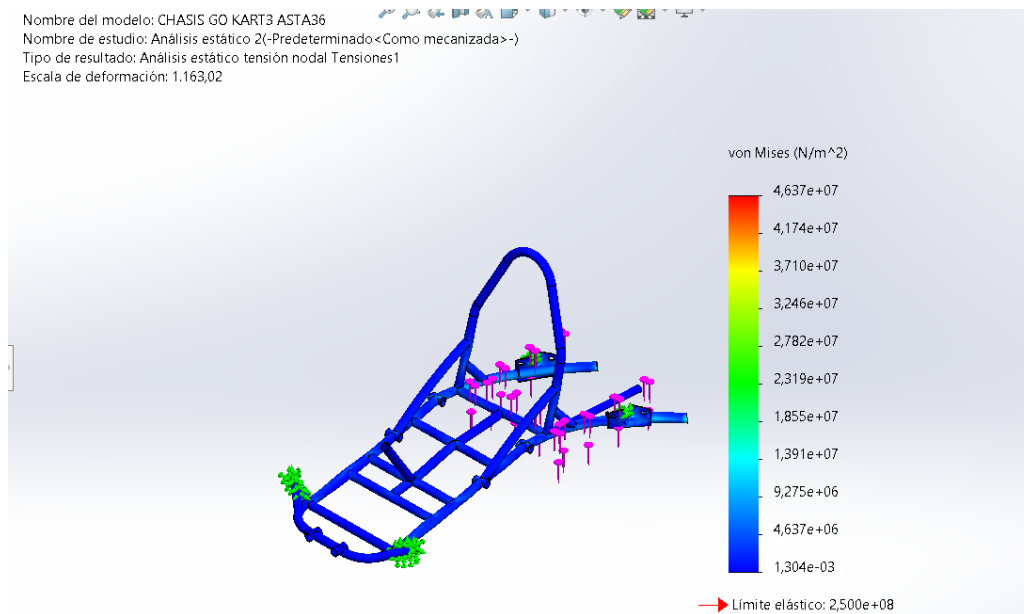
Resultado de la simulación por Tensión de Von Mises AISI 304



La tensión de Von Mises tiene un valor máximo de 46,37 MPa para el acero ASTM A-36, que es el esfuerzo equivalente que se encuentra por debajo al límite de fluencia para el material con que se colocó a la estructura y como se muestra en la figura 73, no presenta puntos críticos

Figura 73

Resultado de la simulación por Tensión de Von Mises en el acero ASTM A 36



Análisis de MATLAB – Simulink versión de prueba en línea

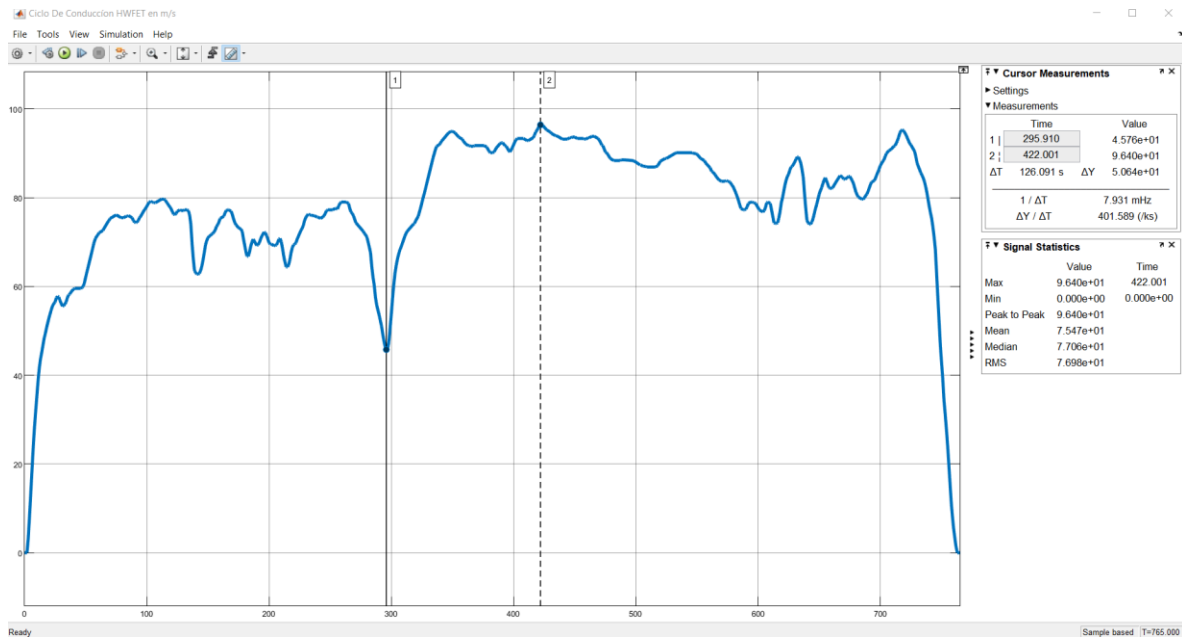
En el capítulo III, en el apartado 3.7. se realizó la simulación para la selección del kit eléctrico para un karting. Posteriormente de esa simulación se derivan algunas similares que para este capítulo se harán referencia para una mejor comprensión de análisis de resultados. Mediante la misma ya se ingresarán los parámetros en los diagramas de bloques, de aquí en adelante se interpretará las graficas respectivamente.

Velocidad vs Tiempo

La grafica velocidad en función del tiempo del ciclo de conducción HWFET indica que la velocidad máxima para este ciclo de conducción es de 95.84 km/h y la velocidad mínima es 7 km/h como se observa en la figura 74. Es decir que un motor eléctrico con esta característica sería suficiente para poder participar en las competencias del Kartódromo Cotopaxi.

Figura 74

Análisis del ciclo de conducción HWFET en Simulink

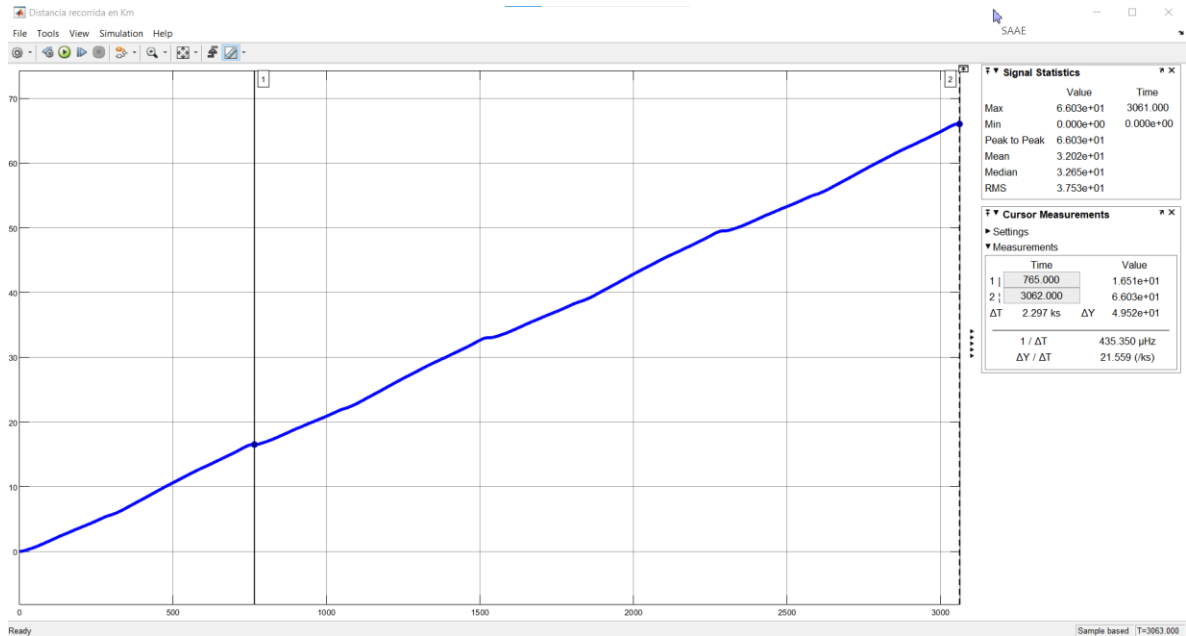
***Distancia vs Tiempo.***

El ciclo de conducción HWFET tiene una distancia de 16.45 km. Para la autonomía de 67.2 km se debe unir entre 4 y 5 ciclos de HWFET. Con 4 ciclos tiene autonomía de 65.8 km por lo que no alcanzaría a terminar la carrera el vehículo, por tanto, se podría considerar 5 ciclos que da autonomía para recorrer 82.25 km, con lo cual permitirá terminar la carrera y tener un remanente para recorrer con el vehículo unos kilómetros más.

La autonomía que se representa en la figura 75 es de 66,03 km. Cabe recalcar que de las competencias analizadas se tiene que la pista tiene una longitud de 1600 m en la cual existen dos tipos de carreras que detallaran a continuación:

Figura 75

Recorrido del Karting durante el ciclo de trabajo



Ruta 1

- Distancia por vuelta: 1.2 km
- Numero de vueltas: 12
- Tiempo por vuelta: 50 s
- Autonomía del circuito: 14.4 km

Ruta 2

- Distancia por vuelta: 5.6 km
- Numero de vueltas: 12 a 15
- Tiempo por vuelta: 1 min 30 s
- Autonomía del circuito: 67.2 km

De acuerdo a los datos mencionados anteriormente, la Ruta 1 tendría un tiempo de duración de la competencia de 10.83 min, mientras que la Ruta 2 tendría un tiempo de duración de la competencia de 19.50 min.

Con los valores de la batería de alta tensión seleccionados, como se visualiza en los datos antes mostrados, se cumple el circuito de la ruta 1, mientras que para cumplir el circuito de la ruta 2 solamente alcanza la autonomía de 66.02 km que es lo que más se acerca para cumplir esta competencia.

Aceleración vs Tiempo

En la figura 76 la aceleración en función del tiempo se puede visualizar tanto aceleraciones como desaceleraciones mediante sigue transcurriendo el tiempo en el ciclo de conducción HWFET. Así mismo la tabla 23 señala las aceleraciones máximas y mínimas es decir para iniciar con el ciclo de conducción es necesario una aceleración máxima de 1.43 m/s^2

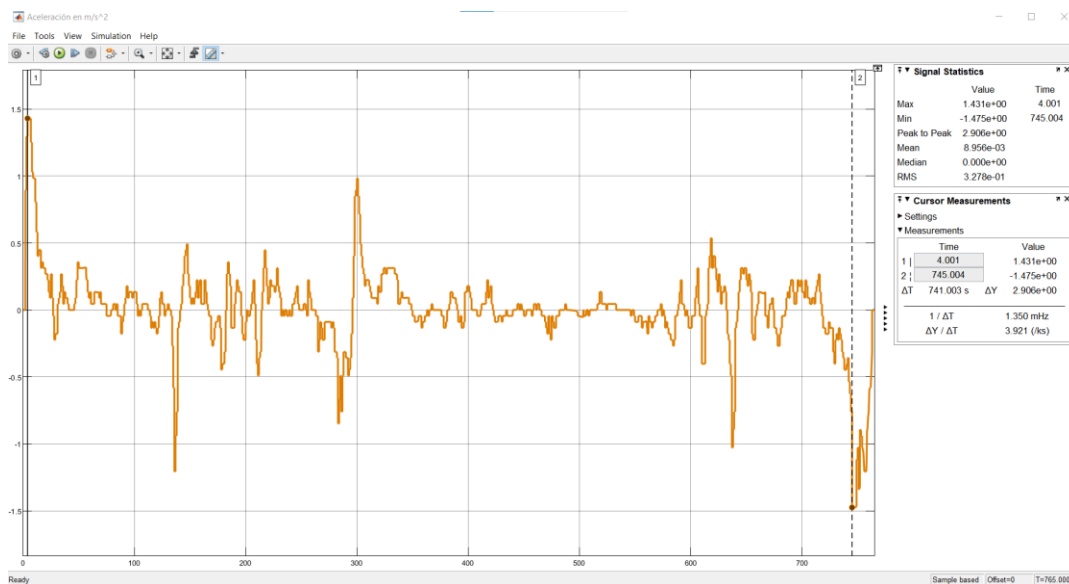
Tabla 29

Aceleraciones y desaceleraciones en Simulink

Ciclo de conducción	Aceleración Máxima m/s^2	Aceleración Mínima m/s^2	Desaceleración máxima m/s^2	Desaceleración mínima m/s^2
HWFET	1.43	0.0447	-1.47	-0.0447

Figura 76

Análisis de la aceleración en función del tiempo en Simulink



Fuerza de tracción vs tiempo

Como la velocidad va cambiando en función del tiempo, como indica la figura 77 y en la tabla 24, la fuerza de tracción igual lo hará mientras se aplique mayor velocidad, mayor será la fuerza de tracción que se genera en la rueda, es decir si la velocidad es 15 km/h la fuerza de tracción es de 159 N en la rueda, y si la velocidad es de 95 km/h la fuerza de tracción es de 544 N.

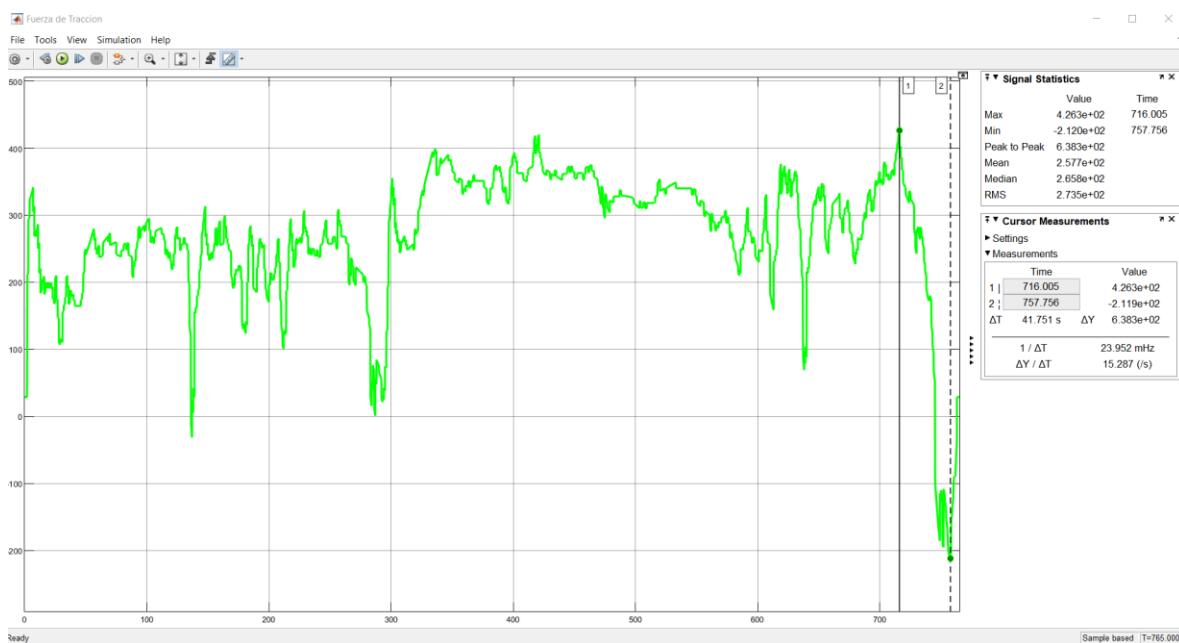
Tabla 30

Fuerza de tracción según la velocidad

Velocidad [km/h]	Fuerza de tracción [N]
15	159
30	185
80	396
95	544

Figura 77

Análisis de la fuerza de tracción



Potencia Mecánica vs Tiempo.

La potencia mecánica interactúa en función de la velocidad necesaria para romper la inercia de las ruedas y superar la pendiente máxima de la pista del Kartódromo de Latacunga de 6.4% como señala la tabla 25. Se debe considerar una eficiencia de la relación de transmisión entre el piñón del motor y el piñón del eje posterior tomando en cuenta un valor del 95 %². ya que siempre va a existir pérdidas de potencia por lo mismo no llegaría al 100%

Tabla 31

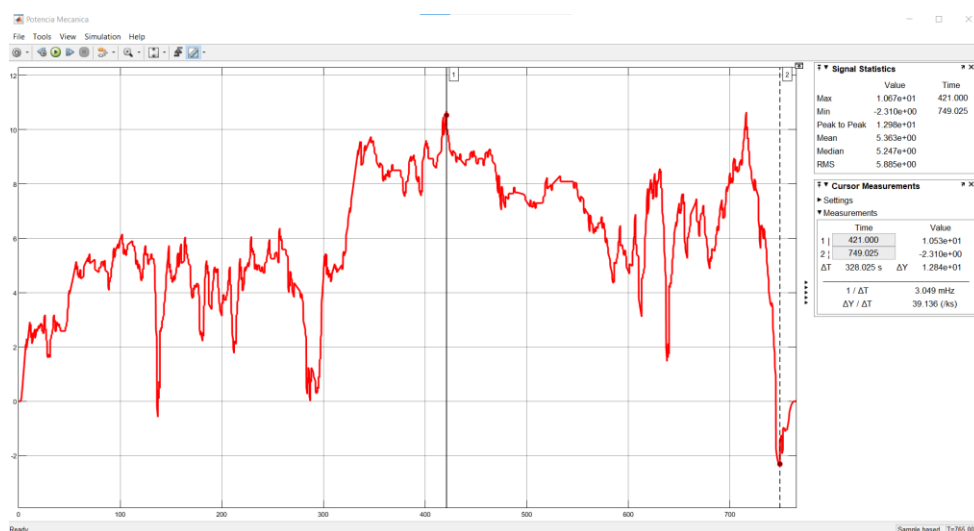
Potencia mecánica según la velocidad

Velocidad [km/h]	Potencia mecánica [Kw]
15	0.66
30	1.54
80	8.80
95	13.77

Como se observa en la figura 78 mientras más sea la velocidad mayor será su potencia mecánica, a los 95 km/h la potencia mecánica será de 13.77 N.

Figura 78

Análisis de la potencia mecánica



² Drive axle 95 % (Wong,2001, p.238)

Potencia Eléctrica vs Tiempo

La potencia eléctrica requerida en función del tiempo y de acuerdo a los cambios de velocidad suscitados en el ciclo de conducción irá en función de la eficiencia que tenga el motor eléctrico en este caso se tiene una eficiencia del 92%. Se puede visualizar en la imagen que para superar la pendiente de 6.4% se necesita una potencia eléctrica de 14.97 kW como valor mínimo.

A continuación, se muestra en la tabla 26 la potencia eléctrica a diferentes valores de velocidad:

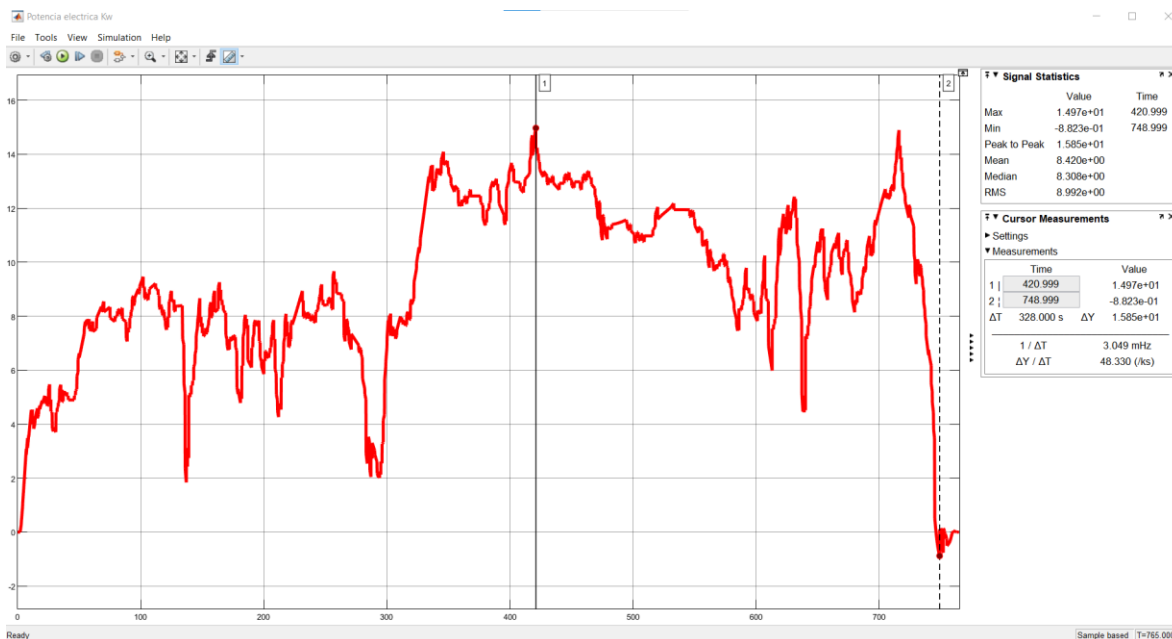
Tabla 32

Potencia eléctrica según la velocidad

Velocidad [km/h]	Potencia Eléctrica [kW]
15	0.72
30	1.67
80	9.56
95	14.97

Figura 79

Análisis de la potencia Eléctrica

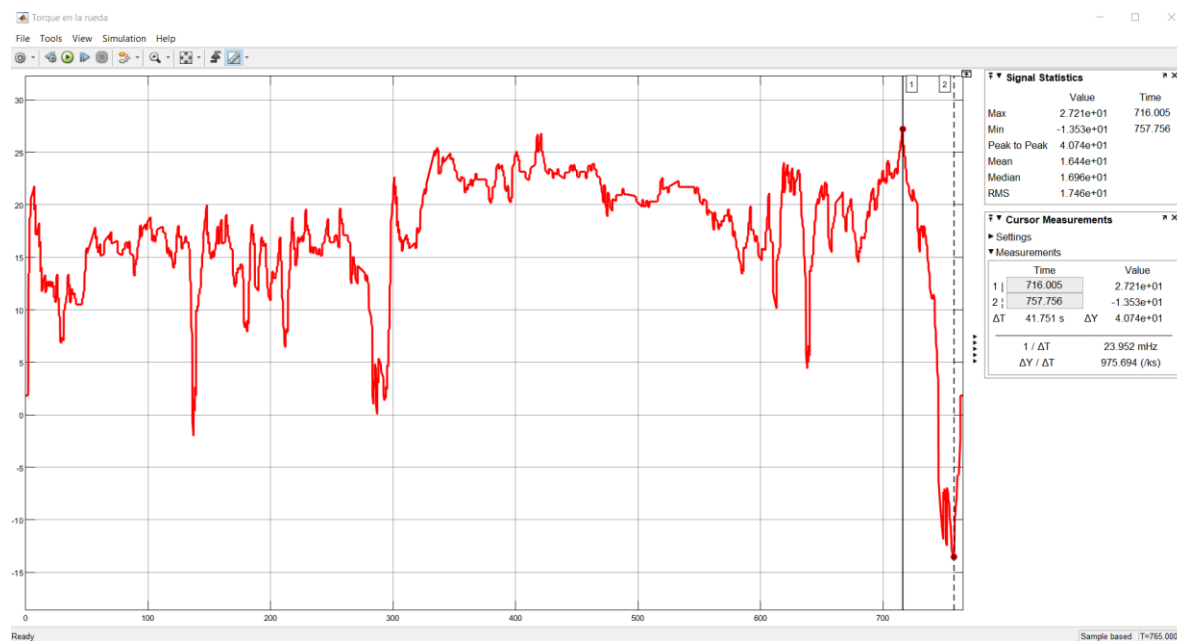


Torque vs Tiempo.

Al multiplicar la fuerza de tracción en función del tiempo con el radio dinámico de la rueda se obtiene el torque requerido en la rueda, para poder movilizar el vehículo, se puede visualizar que el valor del torque en condiciones máximas de pendiente de 6.4% es de 35.03 Nm.

Figura 80

Análisis del Torque

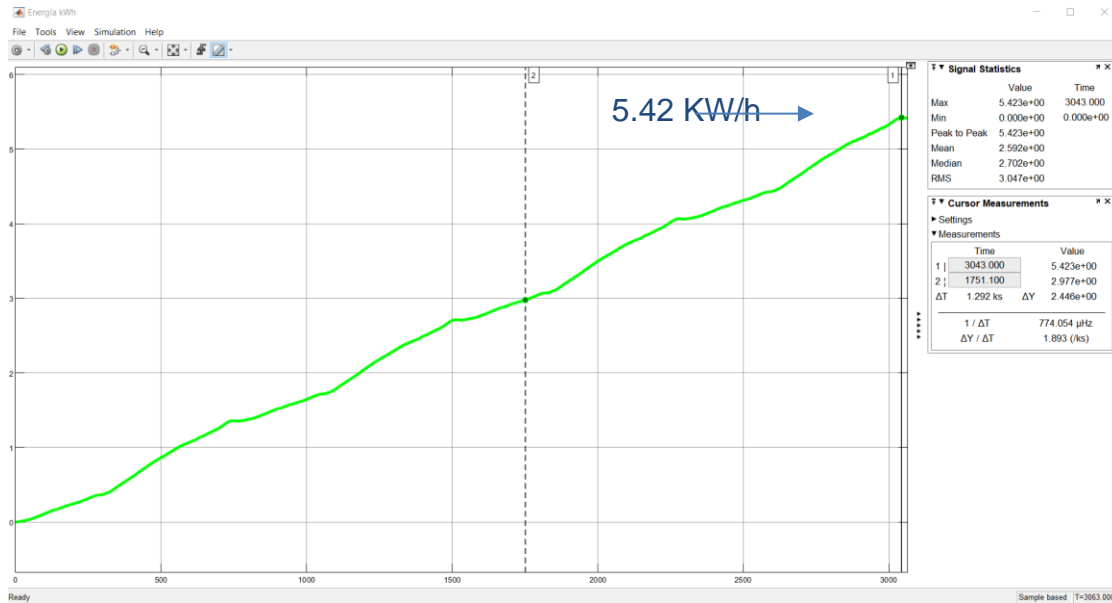


Energía vs Tiempo.

Se puede visualizar en la figura 81 la Energía en función del tiempo que para recorrer una autonomía de 67.2 km se necesita 5.42 kWh de capacidad de energía en la batería. Sin embargo, tomando los valores de la batería que se utilizó como ejemplo dinámico con valores de 48 V, 62Ah dando una capacidad de energía de 2.98 kWh, lo que quiere decir que para la carrera de la Ruta 1 es suficiente, pero para la Ruta 2 se puede recorrer una autonomía estimada de 66.03 km.

Figura 81

Análisis de la energía necesaria para cumplir con la autonomía

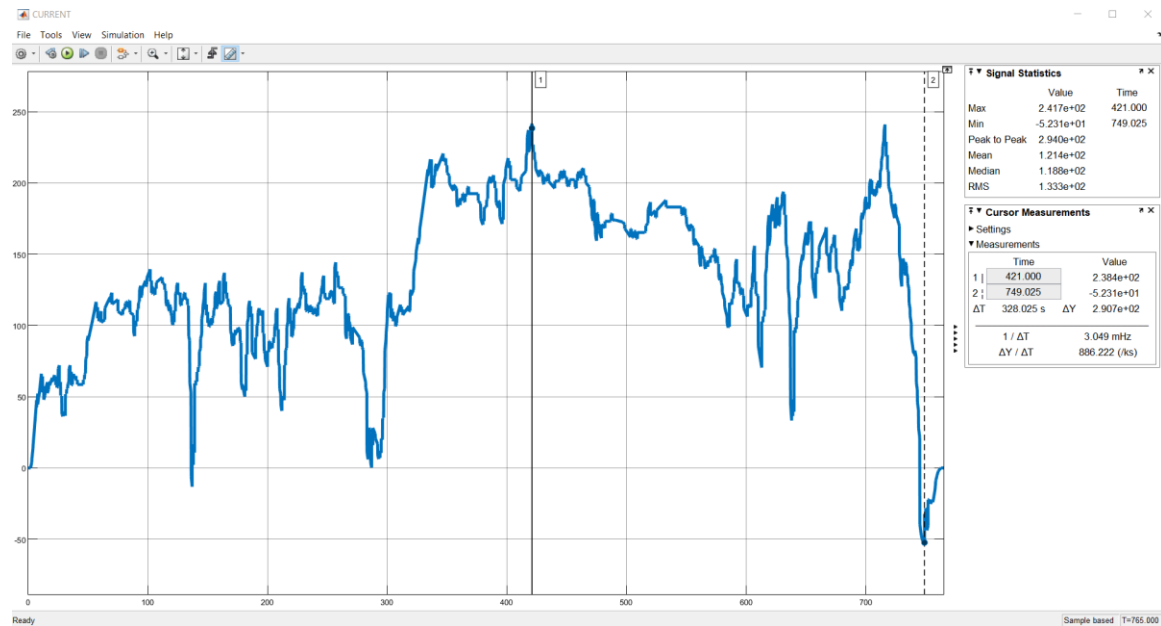


Corriente vs Tiempo.

El consumo de corriente concuerda al incremento de velocidad, como se puede visualizar en la figura 82 la corriente en función del tiempo, mientras más se pise el pedal del acelerador más consumo de corriente existe. La figura 82 tiene un valor máximo de 241.7 Ah, pero en el funcionamiento real el módulo controlador de las baterías (BMS, Battery management system), realizará una discreción para que el valor máximo de consumo de corriente llegue a los 62 Ah.

Figura 82

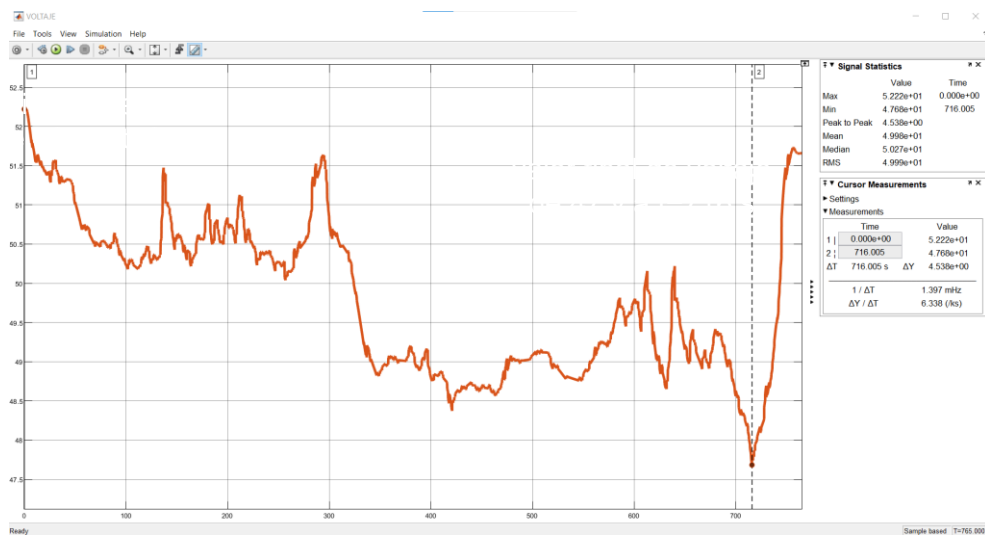
Análisis de la intensidad eléctrica

**Voltaje vs Tiempo.**

El consumo de voltaje va de acuerdo al incremento de velocidad, como se puede visualizar en la gráfica de voltaje en función del tiempo, mientras más se pise el pedal del acelerador menos consumo de voltaje existe.

Figura 83

Análisis del voltaje

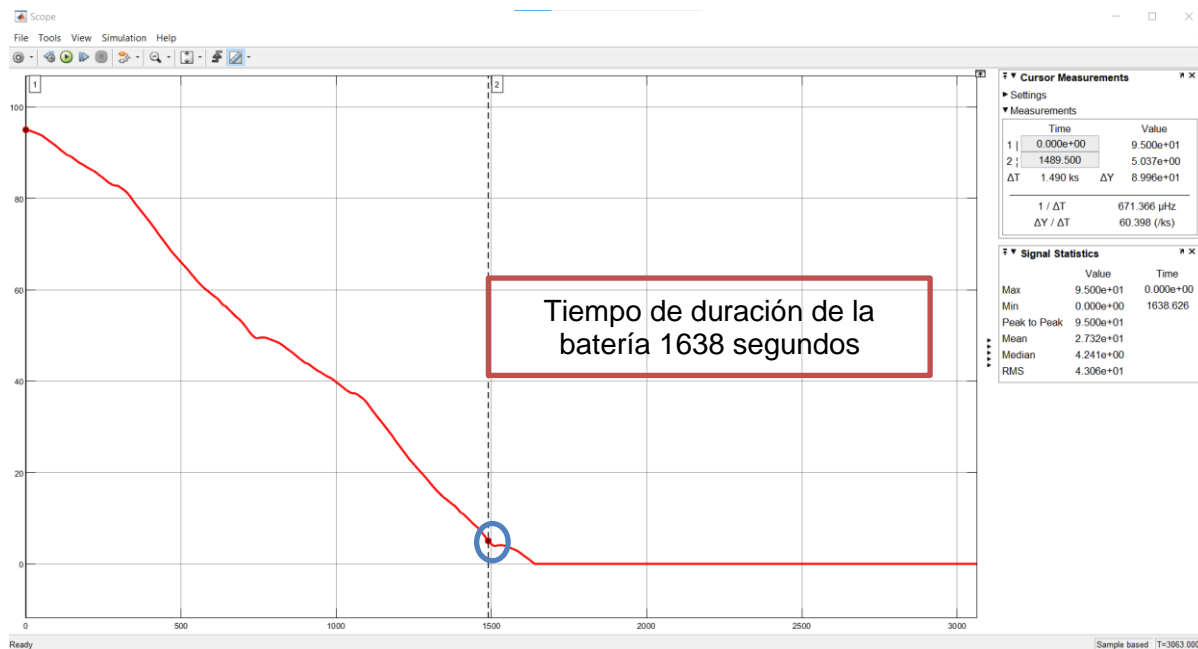


Carga vs Tiempo.

Como se puede visualizar en la figura 84, las características de la batería seleccionada permiten conducir el vehículo un tiempo estimado 1638 segundos equivalente a 27 min tiempo en el cual notificara mediante un instrumento el agotamiento de la batería prevaleciendo su duración a largo tiempo.

Figura 84

Análisis del SOC



Como se puede visualizar en la figura 85 en el cursor 1 (línea blanca) que a ese tiempo mencionado se recorrería una distancia de 34.93 km.

Figura 85

Análisis del recorrido según la carga de la batería



Análisis económico de factibilidad de la construcción de un karting eléctrico.

Según el análisis de resultados la potencia del motor recomendable a elegir es un motor con potencia mínima de 14.97 kW, por lo cual el kit seleccionado tiene una potencia de 15 kW en este caso funcionaria el motor eléctrico y por factores técnicos previos mencionados el kit cumple con las demandas del kartódromo de Latacunga para cumplir los circuitos mencionados como ruta 1 y ruta 2. El Factor económico influye en la selección o y características técnicas por lo cual se recomienda usar un kit de conversión de 15kW.

Así mismo el material ASTM A-36 por sus propiedades y condiciones bajos los estándares de la FIA y CIK cumplen con las especificaciones para poder realizar el análisis en Solid Works software mediante el cual se obtuvo un factor de seguridad de 4,6 el cual es idóneo para implementar el chasis para un karting eléctrico.

En la siguiente tabla 30 se muestra el costo de los diferentes kits de conversión para karting eléctricos.

Tabla 33*Costo de kit de conversión para karting eléctricos*

Opciones	Precio USD
POWER UNIT 7 kW	4352,52
-Motor eléctrico 7kW	
-Controlador	
-Batería 35Ah	
-Cargador	
POWER UNIT 15 kW	6643,32
-Motor eléctrico 15kW	
-Controlador	
-Batería Ah	
-Cargador	
POWER UNIT 20 kW	8934,12
-Motor eléctrico 20kW	
-Controlador	
-Batería 28Ah	
-Cargador	
POWER UNIT 25 kW	11224,92
-Motor eléctrico 25kW	
-Controlador	
-Batería 35Ah	
-Cargador	

Propuesta de implementación

Luego del análisis de resultados y mediante las especificaciones del reglamento de la CIK y FIA, se ha podido determinar que el material idóneo y óptimo para la fabricación del chasis es el acero ASTM A-36 con especificaciones generales de diámetro de 31,75 mm y un espesor de 2 mm, el mismo que esta dentro de lo establecido según las normas ISO 4948 e ISO 4949, que menciona una aleación no debe superar el 5%, adicionalmente el acero tiene

que ser magnético, para pasar una prueba de contacto establecido en el reglamento de la FIA y CIK.

Adicionalmente en esta investigación para este acero se obtiene un factor de seguridad de 4.6, un desplazamiento del material de 0.12 mm, el esfuerzo último a la tensión de 46,37 MPa lo que corrobora el material para la implementación del chasis ver anexo 1.

Una vez expuesto sobre el material para la construcción del chasis o bastidor, se propone que el karting eléctrico use los siguientes componentes.

La batería de alta tensión GBS de segunda generación de ion litio, cuya capacidad nominal es de 40 Ah y cuya energía de 512 Wh establece que son suficientes para cumplir con los circuitos del Kartódromo de Latacunga, en la tabla 34 se detalla las características específicas propias de esta batería.

Tabla 34

Características de la batería de alta tensión hacer implementada

Marca	GBS de Segunda Generación Li-ion
Química	Litio-Hierro-Fosfato (LiFeMnPO ₄)
Forma	Prismática
Voltaje nominal (V)	12.8 V (4 celdas X 3.2 V)
Capacidad nominal	40Ah
Energía (Wh)	512
Peso	6.6 kg
Dimensiones (cm)	12.5 X 20.8 X 18.0
Corriente de carga máxima	3C
Corriente de descarga máxima	3C (de forma continua) / 10C (de forma momentánea)
Ciclo de vida	>2000
Temperatura de operación	-20 a 65°C

El motor PMAC brushless que tiene una potencia de 15 kW, un torque de 67 Nm el mismo alcanza una velocidad de 100 km/h brindando una eficiencia del 92%, este motor

cumple con lo requerido ya que la potencia mínima para recorrer en un pendiente 0 es de 11 KW y para superar la pendiente de 6,4 % se necesita una potencia de 14,97 kW y un torque de 34,93 kW, en la tabla 35 se detalla las características específicas del motor a implementar.

Tabla 35

Características específicas del motor eléctrico a implementar

Modelo	PMAC brushless motor
Potencia continua (kW)	15
Torque (Nm)	67
Relación de transmisión	1.7
RPM máx.	3200
Velocidad máx. (Km/h)	100
Refrigeración	Por aire
Voltaje de operación (V)	48
Eficiencia (%)	92
Peso (Kg)	18.5

El Convertidor Green Galaxy con un voltaje de operación mínimo de 32 V. Así mismo el voltaje de salida es de 13.8 V, el mismo brinda una eficiencia mayor o igual a la 88 %, que permite cargar nuestra batería de alto voltaje en la tabla 36 se detalla a este convertidor.

Tabla 36

Características específicas del convertidor a implementar

Modelo	Green Galaxy
Voltaje de operación (V)	36-72
Eficiencia máxima (%)	≥88
Clasificación del empaquetamiento	IP 65
Temperatura de operación	20°C-+60°C
Salida de voltaje	13.8V±0.2V @0A, >12V @50 ^a
Corte automático de bajo voltaje (V)	30
Protección	IP66

El controlador SEVCON es compatible con el motor PMAC brushless mencionado anteriormente, el mismo trabaja con un voltaje de operación mínimo de 38 V y una intensidad de corriente de 275 A, en la tabla 37 se detalla las características propias de este dispositivo.

Tabla 37

Características del controlador a implementar

Modelo	SEVCON
Compatible	Opera con motores PMAC
Voltaje de operación (V)	38-48
Voltaje máximo de operación (V)	69.6
Amperaje (A)	275
Capacidad de frenado regenerativo	SI
Interface CAN bus para comunicación y programación	SI
Electrónica y programación a prueba de fallas en la operación	SI
Protección	IP66
Fusible integrado	SI

El cargador performance BSR 2.0 15kW, posee un conector para corriente continua como para corriente alterna, el tiempo de carga depende del punto de abastecimiento de corriente y su potencia de carga. En la tabla 38 se detalla características de este cargador.

Tabla 38

Características del cargador a implementar

Modelo	Performance BSR 2.0 15kW
Conector	AC o DC/DC
Voltaje de Carga (V)	48
Corriente de carga (A)	30
Refrigeración	Por aire
Peso (Kg)	5.5

El costo total para implementar el proyecto de investigación realizado tiene un valor USD 8000, en donde intervienen los componentes eléctricos como el motor PMAC Brushless, el convertidor Green Galaxy, controlador SEVCON, cargador Performance BSR 2.0 15kW, la batería de alta tensión GBS de Segunda Generación Li-ion y la construcción del bastidor tubular, en el Acero ASTM A-36 con una estructura tubular circular de diámetro de 31,75 mm y un espesor de 2 mm.

Todo lo antes mencionado cumple con los requerimientos necesarios para los circuitos de la pista del kartódromo de Latacunga.

Cabe recalcar si se elabora otro bastidor los precios varían de acuerdo, de acuerdo al nuevo diseño deseado por el investigador.

Capítulo V

Presupuesto

Para lograr determinar la factibilidad del proyecto, se procede a realizar un análisis del presupuesto bajo diferentes recursos.

Recursos humanos

Tabla 39

Recursos humanos viables para la investigación

orden	descripción	cantidad	Función
1	José Daniel Heras Benavides	1	Investigador
2	Ing. Henry Heriberto Iza Tobar	1	Colaborador

Recursos materiales

Tabla 40

Recursos materiales para la investigación

Orden	Cantidad	Descripción	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
1	1	Alimentación	150	150
2	1000	Copias e impresiones	0.02	20
3	1	Disco duro (1TB)	100	100
			Costo total	\$ 270

Recursos tecnológicos

Tabla 41

Recursos tecnológicos

Orden	Detalle	Cantidad	Costo	Costo
			Unitario	Total
1.	Software de especificaciones mecánicas	1	1225	1225
2.	Adquisición de Software y licencia de Matlab Simulink	1	55	55
3.	Capacitación de Software Matlab Simulink y SolidWorks	1	250	250
TOTAL				\$1530

Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto será de aproximadamente de 1530 dólares.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se investigaron en fuentes confiables los parámetros de entrada de gran importancia como lo fueron: la eficiencia de la relación de transmisión de acuerdo al eje motriz, el coeficiente aerodinámico para la fuerza de arrastre, el coeficiente de rodadura para la fuerza de fricción, el radio dinámico para obtener el torque requerido en la rueda, que en conjunto todos estos parámetros ingresados en la simulación en el software computacional que nos permitió definir al motor y a las baterías de alta tensión adecuadas.
- Se concluye que el material adecuado para la implementación del chasis o bastidor es el acero ASTM A-36, el mismo que tiene las características de ser un acero magnético, requisito obligatorio dentro del reglamento de la FIA y CIK, por lo cual tiene que pasar una prueba conocida como fuerza de contacto.
- Se realizó un cuadro comparativo de los kartings eléctricos existentes en el mercado en donde se pudo visualizar que la potencia del motor eléctrico para el uso de estos vehículos oscila de los 10 kw a los 17 kw con las siguientes características de la batería de alta tensión: 48 V y 52 Ah.
- Se diseñó y se modeló un chasis para karting eléctrico donde se obtuvo un valor de 3.2 como factor de seguridad entonces este chasis es viable para la implementación.
- Se obtuvieron y se calcularon los parámetros necesarios para la ciudad de Latacunga de los cuales el de más relevancia corresponde a la densidad del aire que tiene un valor de 1.28 kg/m³ que influye en la fuerza de arrastre aerodinámico, así como se obtuvo el valor de la pendiente máxima del kartódromo de Latacunga. Que influyo para poder obtener la potencia mínima requerida y superar dicha pendiente de 6.4 %.

- Se diseño del tren de propulsión para un karting eléctrico mediante uso del software de ingeniería determinando que se debe seleccionar un motor eléctrico de potencia mínima de 14,97 kW y una batería de al menos 5.52 kWh como capacidad de energía para poder cumplir el circuito que tiene como recorrido una distancia de 67.2 km.
- Se seleccionó el kit de conversión Unit 2.0 15 kW porque cumple con las especificaciones técnicas correspondiente al motor y por su consideración en el precio.

Recomendaciones

- Se recomienda adquirir otro pack de batería con las características de 48V y 62 Ah y adecuarlo en el chasis para poder cumplir el circuito de 67.02 km
- Se recomienda adquirir un BMS (Battery managent system) de buenas prestaciones para que pueda discretar la corriente de la batería de buena manera.
- Se recomienda adquirir un cargador de mayor potencia eléctrica para cargar en menos tiempo las baterías de alta tensión
- Se recomienda utilizar los datos de manera actualizada en lo referente a la reglamentación por parte de la CIK –FIA que es el ente regulador a nivel mundial para competencias de karting y actualmente son reguladores de e-karting.
- Para lo concerniente al modelado y simulación a través del software CAD SolidWorks Premiun Student tener experiencia en su manejo, así como aplicar el criterio correcto que permita alcanzar en menor tiempo y de manera correcta el objetivo del estudio.
- De manera técnica se recomienda contar con un equipo computacional idóneo en cuanto a características de procesamiento y tarjeta de video adecuada que permita realizar este tipo de estudio para no tener dificultades al momento de simular la estructura en SolidWorks Premiun Student así mismo para el software computacional MATLAB -Simulink versión de prueba en línea.

Bibliografía

- Alacero. (10 de mayo de 2021) ¿Qué es el Acero? Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/que-es-el-acero>
- Autocosmos. (08 de octubre de 2020) Bentley muestra cómo es su primer motor para autos eléctricos. Recuperado el 17 de mayo de 2021, de <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2020/08/10/bentley-muestra-como-es-su-primer-motor-para-autos-electricos>
- AUTOMagazine. (09 de diciembre de 2019). ANETA presenta su nueva Escuela de Karting Eléctrico en Quito. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://automagazine.ec/aneta-presenta-su-nueva-escuela-de-karting-electrico-en-quito/>
- Biodiversidad Mexicana. (12 de mayo de 2021) Fibras naturales. Recuperado el 12 de mayo de 2021, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>
- Cando Gutiérrez, J. C., & Cayo Chiguano, M. F. (2021). Modelación y simulación del proceso de implementación del sistema de propulsión eléctrica de movimiento en vehículos automotores mediante el uso de software especializado en la industria automotriz [Tesis de ingeniería]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24387/1/T-ESPEL-MAI-0705.pdf>
- Carlos Sainz Karting. (13 de febrero de 2019) Breve historia del Karting. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://www.kartcsainz.com/blog/breve-historia-del-karting.html>
- Cevallos Miño, J. F., & Garces Espinoza, C. O. (2018). Análisis de la falla estructural del chasis de un monoplaza tipo kart mediante ensayos no destructivos [Tesis de

ingeniería]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15391>

DIARIOMOTOR. (19 de septiembre de 2020) Ciclos de homologación WLTP y NEDC: qué son, cuáles son sus diferencias y cómo nos afectan. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de <https://www.diariomotor.com/que-es/tecnologia/ciclos-homologacion-wltp-nedc/>

DIARIOMOTOR. (23 de noviembre de 2020) Qué es la fibra de carbono, ese material que por sí solo no vale para nada y que con resina lo vale todo. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://www.diariomotor.com/que-es/tecnologia/fibra-de-carbono/>

DirectINDUSTRY (18 de mayo de 2021) Convertidor DC/DC cerrado DVCH3000 Series. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de <https://www.directindustry.es/prod/deutronic/product-11632-1976905.html>

DMK. (04 de diciembre de 2015) Cuales son las categorías de competición en el karting. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://dmkracing.com/noticias/categorias-competicion-karting/>

EAF DEL AUTOMOVIL. (21 de octubre de 2012) TIPO DE CARROCERÍAS. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <http://ortizalvarosua12.blogspot.com/2012/10/tipo-de-carrocerias.html>

El Comercio. (09 de abril de 2019) 20 datos que debe saber sobre la Ley de Eficiencia Energética. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ley-eficiencia-energetica-energia-medioambiente.html>

Electromovilidad. (18 de mayo de 2021) Técnica del vehículo eléctrico. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de <http://electromovilidad.net/tecnica-del-vehiculo-electrico/>

- FALUGA RACING. (13 de mayo de 2020) La historia del karting desde su invención. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://es.falugaracing.com/blog/la-historia-del-karting-desde-su-invencion/>
- Flores Yasig, E. O., & Gamboa Eugenio, M. E. (2014). Diseño y construcción de un kart eléctrico utilizando materiales mixtos para el laboratorio de autotrónica [Tesis de ingeniería]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/8774>
- Ganuzza, A.L., & Sabada, S. M. (2019). Diseño de un kart y sus componentes. [Tesis de ingeniería]. Universidad Pública de Navarra. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/34846>
- García, G. (14 de Julio de 2018) sistemas y componentes del coche eléctrico. Recuperado el 12 de mayo de 2021, de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/componentes-tiene-coche-electrico-motor-inversor-cargador-lg/20180712190152020477.html>
- García, G. (15 de diciembre de 2018) Tipos de vehículos eléctricos: funcionamiento y características de cada tecnología. Recuperado el 12 de mayo de 2021, de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/asi-funcionan-diferentes-tecnologias-vehiculos-electricos/20180921183150021994.html>
- Importar Tesla. (05 de junio de 2018) Carga de un vehículo eléctrico. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de <https://importartesla.com/la-carga-de-un-vehiculo-electrico-es-sencilla-y-hasta-gratuita-para-ciertos-modelos/>
- Inversor en vehículos híbridos [Tesis de licenciatura]. Universidad San Francisco de Quito USFQ. Recuperado el 21 de abril de 2021, de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7237/1/137746.pdf>

Lenntech Tratamiento de agua & purificación. (11 de mayo de 2021) Aluminio. Recuperado el 11 de mayo de 2021, de

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm#ixzz6tHCBf8NW>

MCLAREN. (03 de mayo de 2016) Hace 35 años, McLaren fabricó su primer monocasco de fibra de carbono (y no han vuelto a mirar atrás). Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://www.diariomotor.com/2016/05/03/monocasco-fibra-carbono-historia-mclaren/>

Meneses Pinto, C. A. (2018). Maqueta del sistema y funcionamiento de un

MITSUBISHI-MOTORS. (18 de mayo de 2021) Protocolo WLTP. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de <https://www.mitsubishi-motors.es/empresa/wltp>

Moscardó Fuster, D.R. (2015). Modelo de un vehículo para la simulación dinámica del nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC). [Tesis de maestría]. UVA Fundación CIDAUT. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/13759>

Robert, L. (2006). MOTT. Diseño de elementos de máquinas. Editorial Prentice Hall, impreso en México.

https://www.academia.edu/38450613/Dise%C3%B1o_de_elementos_de_m%C3%A1quinas_pdf

Narváez Burbano, L. A. (2014). Diseño y construcción de un vehículo go-kart de estructura tubular mediante el empleo de un programa de análisis por elementos finitos [Tesis de ingeniería]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5171>

Nómadas Electrónicos (12 de abril de 2015) CONVERTIDORES DC/DC – BUCK.

Recuperado el 17 de mayo de 2021, de

<https://nomadaselectronicos.wordpress.com/2015/04/12/convertidores-dcdc-buck/>

NTE INEN 1323 (2009). Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos.

- Ochoa Gregorio, D. (2014). Diseño y análisis de un vehículo tipo kart [Tesis de ingeniería]. Universidad Zaragoza. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://zagan.unizar.es/record/31485/files/TAZ-TFG-2014-2459.pdf>
- Okdiario. (31 de octubre de 2016) ¿Cómo funciona el motor eléctrico? Recuperado el 17 de mayo de 2021, de <https://okdiario.com/curiosidades/motor-electrico-como-funciona-491386>
- Quezada Poma, P. A. (2018). DISEÑO Y FABRICACION DEL CHASIS PARA UN KART KF4 SEGUN LA NORMATIVA CIK/FIA [Tesis de ingeniería]. Universidad Politécnica Salesiana SEDE Cuenca. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15766/1/UPS-CT007735.pdf>
- Rodríguez Ortiz, J. L., & Vásquez Guaña, L. G. (2018). Implementación e investigación de los parámetros de operación de un vehículo eléctrico con freno regenerativo [Tesis de ingeniería]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15387/1/T-ESPEL-MAI0643.pdf>
- TONYKART. (10 de mayo de 2021) OTK Kart Parts. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de https://www.tonykart.com/parts-dettaglio.php?ID_prodotto=1413&ID_categoria=12&ID_macrocategoria=2http://joelfrax.com/materiales/materiales.html
- VROOM. (05 de enero de 2017) Historia del karting: Origen, curiosidades y primeros años en España. Recuperado el 10 de mayo de 2021, de <https://www.vroomkart.es/news/29259/historia-del-karting-origen-curiosidades-y-primeros-a-os-en-espa-a>

Anexos