



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

1

**Análisis del rendimiento de un prototipo de kart eléctrico con baterías de ion litio,
mediante la comparación con su similar de motor de combustión interna en categoría
monoplaza de 100 c.c.**

Guamán Álava, Daniel Stalin y Rueda Ramírez, Edison Marcelo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

23 de febrero del 2023

Latacunga



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Reporte de Verificación de Contenido



TESIS KART ELÉCTRICO GUAMAN - RUEDA

6% Similitudes
5% Texto entre comillas
1% similitudes entre comillas
1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: TESIS KART ELÉCTRICO GUAMAN - RUEDA.docx
ID del documento: f5cd659dbab1a7ecae165899aa5f4ed0428f406f
Tamaño del documento original: 16,33 Mo
Depositante: LEONIDAS ANTONIO QUIROZ ERAZO
Fecha de depósito: 23/2/2023
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 23/2/2023
Número de palabras: 15.480
Número de caracteres: 99.248

Ubicación de las similitudes en el documento



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.espe.edu.ec Diseño, construcción e implementación de un sistema de ... http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21002/26130/4/7_ESPEL_MAJ_0718.pdf.pdf 21 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (274 palabras)
2	TESIS TACO W. UNDA, E.docx TESIS TACO W. UNDA, E. (48694) El documento proviene de mi biblioteca de referencias 21 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (164 palabras)
3	DOCUMENTO DE TITULACION ALVAREZ BURBANO.docx DOCUMENTO DE ... #34702 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 21 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (163 palabras)
4	UIC Dimensionamiento e implementación del sistema de tracción - Beltra... #70855 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 21 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (154 palabras)
5	UIC Forque y Potencia - Anita Tapia.docx UIC Forque y Potencia - Anita Tapia... #32174 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 21 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (141 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #14356 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
2	repositorio.uide.edu.ec https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/27000/3015/3/document.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	www.elcomercio.com El transporte público de Guayaquil, entra la crisis y la transi... https://www.elcomercio.com/cuadecua/ecuador/transporte-guayaquil-entra-buses-electricos.html	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
4	www.redalyc.org https://www.redalyc.org/pdf/2570/257099819006.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
5	www.normalizacion.gob.ec https://www.normalizacion.gob.ec/tazonas/comunicacion/13243.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

- Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.
- 1 <http://www.fuelwasters.com/2014/06/prueba-kart-kr2.html/>
 - 2 <https://kart.lu/es/en-profundidad/el-regreso-de-los-campeonatos-de-kart-britanicos-es-un-exito/>
 - 3 <https://noticias.coches.com/noticias-motor/el-kart-electrico-de-bosch-capaz-de-trazar-las-curvas-a-130-kmh/212712foto-1/>
 - 4 <https://www.elektro2rad.de/Brushless-Motor-48V-3000watts.html?language=en>
 - 5 <https://www.blobike.es/2018/05/11/baterias-de-las-bicicletas-electricas-la-guia-definitiva/>

Ing. Quiroz Erazo Leonidas Antonio Msc.

Director



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

3

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Análisis del rendimiento de un prototipo de kart eléctrico con baterías de ion litio, mediante la comparación con su similar de motor de combustión interna en categoría monoplaza de 100 c.c." fue realizado por los señores **Guamán Álava, Daniel Stalin y Rueda Ramírez, Edison Marcelo**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de febrero del 2023

.....
Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc

C. C. 050250999-5



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

4

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Guamán Álava, Daniel Stalin y Rueda Ramírez, Edison Marcelo**, con cédulas de ciudadanía n° 2200071112 y 1719189555, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis del rendimiento de un prototipo de kart eléctrico con baterías de ion litio, mediante la comparación con su similar de motor de combustión interna en categoría monoplaza de 100 c.c.**, es de nuestra 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, 23 de febrero del 2023

Guamán Álava Daniel Stalin

C.C: 2200071112

Rueda Ramírez Edison Marcelo

C.C: 1719189555



Autorización de Publicación

Nosotros, **Guamán Álava, Daniel Stalin y Rueda Ramírez, Edison Marcelo**, con cédulas de ciudadanía n° 2200071112 y 1719189555, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis del rendimiento de un prototipo de kart eléctrico con baterías de ion litio, mediante la comparación con su similar de motor de combustión interna en categoría monoplaza de 100 c.c.**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero del 2022

Guamán Álava Daniel Stalin

C.C: 2200071112

Rueda Ramírez Edison Marcelo

C.C: 1719189555

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados como es mi título de Ingeniero.

A mi madre, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años de formación profesional, gracias a usted he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que hoy soy. He sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo.

A mis abuelos por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de toda mi carrera-universitaria.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Daniel

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto de a mis padres pues ellos son la razón principal de lo que he logrado, con sus consejos y guía permitieron que culmine una de mis metas, sobre todo a mi padre que me ha brindado su apoyo y compañía sobre todo en los momentos más duros de este trayecto.

Rueda Ramírez, Edison Marcelo

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para llegar al final de mi carrera, a mi madre que siempre me ha brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ella con su cariño me ha impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También es la que me ha brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.

Les agradezco muy profundamente a mis Docentes por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria.

Por último, agradecerles a todos mis compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

Daniel

Agradecimientos

Estoy agradecido por permitirme compartir junto a mis padres y novia mis logros. A mis padres por ser el soporte en el transcurso de mi vida estudiantil y profesional. A mi novia que comenzamos juntos este camino y juntos lo estamos culminando. A cada una de esas personas que me supieron brindar sus palabras de apoyo y que depositaron su confianza en mí.

Rueda Ramírez Edison Marcelo

	10
ÍNDICE DE CONTENIDO	
Carátula	1
Reporte de Verificación de Contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos.....	8
Agradecimientos.....	9
Índice de contenido	10
Índice de tablas	16
Índice de figuras	17
Índice de ecuaciones	20
Resumen.....	21
Abstract	22
Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación.....	23
Antecedentes.....	23
Planteamiento del problema	25
Descripción resumida del proyecto	28
Justificación e importancia	29

	11
Objetivos del proyecto	30
<i>Objetivo general</i>	30
<i>Objetivos específicos</i>	30
Metas	31
Hipótesis	32
Variables de la investigación	32
<i>Variable dependiente</i>	32
<i>Variable independiente</i>	32
Capítulo II: Fundamento Teórico	33
Kart	33
<i>Categorías KZ</i>	33
<i>Descripción general del Karting</i>	34
<i>Características de la competencia</i>	35
<i>Mecánica RIOMAR</i>	35
Componentes de un kart eléctrico	35
<i>Motor Brushless</i>	36
<i>Batería de Litio</i>	37
<i>BMS</i>	38
<i>Controlador</i>	38
<i>Reductor</i>	39
<i>Fusible</i>	40

	12
<i>Interruptor Termomagnético</i>	40
<i>Paro de emergencia</i>	41
Los conductores	42
Ley de Ohm	42
Potencia Eléctrica	43
Ley de potencia	43
Cálculo de conductores	43
Gravedad convencional	44
Cargas Vivas	44
Cargas Muertas	44
Cargas de frenado	45
Cargas de aceleración	45
Esfuerzo	46
Desplazamiento	46
Factor de Seguridad	47
Resistencia a la rodadura	47
Potencia necesaria	48
Par motor	49
Normativas	50
<i>NTE INEN 1323:2009</i>	50
Equipos de medición	50

	13
<i>Dinamómetro</i>	50
Capítulo III: Análisis del prototipo de kart electrico por simulación de elementos finito .52	
Sistema de propulsión eléctrica	52
<i>Cálculo de la potencia y torque del motor</i>	52
Selección de componentes	53
<i>Motor eléctrico</i>	53
<i>Controlador</i>	55
<i>Batería de Litio</i>	56
<i>BMS</i>	57
<i>Cargador</i>	58
Modelado 2D y 3D del Kart	59
Simulación CAD	60
<i>Criterios previos a la simulación del kart</i>	60
<i>Masas Principales</i>	60
<i>Material del bastidor</i>	62
<i>Simulación del bastidor</i>	62
<i>Análisis de la rigidez por carga de la gravedad</i>	63
<i>Análisis de la rigidez en aceleración</i>	65
<i>Análisis de la rigidez en desaceleración</i>	67
Adaptación del prototipo	70
<i>Motor Eléctrico</i>	70

	14
Controlador Electrónico	71
Batería de alta tensión	71
Acelerador	72
Selector de velocidad	73
Diagrama de Conexiones	74
Accionamiento de la parte eléctrica	76
Funcionamiento del sistema de tracción eléctrica	77
Valores de Activación	77
Voltajes	77
Sensores de efecto hall	78
Sensor TPS	79
Capítulo IV: Análisis del performance del kart eléctrico	80
Pruebas	80
Pruebas dinamométricas kart eléctrico	80
Resultados de la prueba dinamométrica del kart eléctrico	82
Resultados de la prueba dinamométrica del kart de 100 c.c.	84
Pruebas en pista	85
Prueba de Velocidad Máxima	86
Resultados de la prueba de velocidad máxima en kart eléctrico	87
Resultados de la prueba de velocidad máxima en kart de 100 c.c.	88
Pruebas de aceleración	89

	15
Pruebas de Autonomía.....	90
<i>Resultados de la prueba de autonomía.....</i>	<i>92</i>
Análisis de resultados.....	92
<i>Recopilación de datos.....</i>	<i>92</i>
<i>Resultados de potencia máxima.....</i>	<i>93</i>
<i>Resultados de torque máximo.....</i>	<i>93</i>
<i>Resultados de velocidad máxima.....</i>	<i>94</i>
<i>Resultados de Autonomía.....</i>	<i>95</i>
Capítulo V: Marco administrativo	99
Recursos.....	99
<i>Recursos humanos.....</i>	<i>99</i>
<i>Recursos tecnológicos.....</i>	<i>99</i>
<i>Recursos materiales.....</i>	<i>100</i>
Presupuesto.....	101
<i>Costo neto del proyecto.....</i>	<i>101</i>
Conclusiones	102
Recomendaciones	104
Bibliografía	106
Anexos.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tamaños American Wire Gauge (AWG)	42
Tabla 2 Tabla de Factor de Seguridad Acero.....	47
Tabla 3 Valores de coeficiente de rodadura.....	48
Tabla 4 Valores obtenidos tras los cálculos para determinar Potencia y Par requeridos.....	52
Tabla 5 Especificaciones del motor eléctrico	54
Tabla 6 Especificaciones del controlador.....	55
Tabla 7 Especificaciones de la batería de litio	56
Tabla 8 Especificaciones del BMS.....	58
Tabla 9 Especificaciones del cargador BtrPower 72 V - 5 A	59
Tabla 10 Resultados de las cargas en el bastidor del kart.	61
Tabla 11 Propiedades mecánicas de Acero ASTM – A36.....	62
Tabla 12 Valores de la simulación de rigidez, aceleración y desaceleración	69
Tabla 13 Voltajes de activación del sistema eléctrico.	77
Tabla 14 Potencia y Torque, Pruebas del Kart eléctrico	84
Tabla 15 Potencia y Torque, Pruebas del kart de 100 c.c.	85
Tabla 16 Especificaciones de las pruebas de pista.....	86
Tabla 17 Resultados de la prueba de aceleración	90
Tabla 18 Resultados de la prueba de autonomía.....	92
Tabla 19 Resultados de las pruebas.....	92
Tabla 20 Recursos humanos	99
Tabla 21 Recursos tecnológicos	100
Tabla 22 Recursos materiales	100
Tabla 23 Costo neto del proyecto	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol de problemas	27
Figura 2 Vehículo monoplaza kart de 125 c.c.....	33
Figura 3 Vehículo monoplaza kart de categoría KZ de 125 c.c.....	34
Figura 4 Competencia deportiva Karting.	35
Figura 5 Distribución de un kart eléctrico.....	36
Figura 6 Motor Brushless	37
Figura 7 Batería eléctrica de iones de litio	37
Figura 8 Módulo BMS de 20 Celdas.....	38
Figura 9 Controlador de motor de 2000 a 3000 W.....	39
Figura 10 Configuración de los piñones	39
Figura 11 Fusible de corriente continua tipo ANL desde 50A	40
Figura 12 Interruptor termomagnético	41
Figura 13 Botón pulsador de parada de emergencia	41
Figura 14 Dinamómetros De Rodillos Autos De Competición.....	51
Figura 15 Motor Eléctrico de corriente continua SL 122-23	55
Figura 16 Controlador eléctrico AE1705.....	56
Figura 17 Batería de litio de 72 V a 30 Ah	57
Figura 18 BMS RS485	58
Figura 19 Cargador BtrPower 72 V – 5 A	59
Figura 20 Modelo del kart 2D y 3D	60
Figura 21 Modelo del bastidor	63
Figura 22 Tensión total del bastidor en resistencia.....	64
Figura 23 Desplazamiento total del bastidor.....	64
Figura 24 Factor de seguridad del bastidor en resistencia.....	65

	18
Figura 25 Tensión total del bastidor en aceleración.....	66
Figura 26 Desplazamiento total del bastidor en aceleración.....	66
Figura 27 Factor de seguridad del bastidor en aceleración	67
Figura 28 Tensión total del bastidor en desaceleración.....	68
Figura 29 Desplazamiento total del bastidor en desaceleración	68
Figura 30 Factor de seguridad del bastidor en desaceleración.....	69
Figura 31 Instalación del motor eléctrico al soporte del motor del kart.....	70
Figura 32 Instalación del controlador en el kart	71
Figura 33 Instalación de la batería de Ion Litio en el kart.....	72
Figura 34 Instalación del acelerador en el kart	73
Figura 35 Instalación del selector de velocidad en el kart.....	74
Figura 36 Plano de conexiones de la batería al controlador y al Motor.....	75
Figura 37 Esquemático del Controlador	76
Figura 38 Diagrama de accionamiento eléctrico del kart.	77
Figura 39 Gráfica de osciloscopio Sensores Hall	78
Figura 40 Gráfica de sensor TPS	79
Figura 41 Diagrama de Procedimiento de pruebas en dinamómetro	80
Figura 42 Posicionamiento del Kart en el dinamómetro.....	81
Figura 43 Inicio de las pruebas en el dinamómetro	82
Figura 44 Gráficas Dinamométricas del Kart eléctrico en su tercera marcha.....	83
Figura 45 Gráficas Dinamométricas del Kart eléctrico en su cuarta marcha	83
Figura 46 Resultados de torque y potencia del kart de 100 c.c.	85
Figura 47 Ruta de pista, kartódromo de Cotopaxi	86
Figura 48 Preparación para las Pruebas de Pista	87
Figura 49 Resultado de la prueba de velocidad máxima	88

Figura 50 Resultado de la prueba de velocidad máxima kart 100 c.c.	19
Figura 51 Resultado de la prueba de Aceleración del kart eléctrico	89
Figura 52 Diagrama de pruebas de Autonomía	90
Figura 53 Comparación de Potencia Máxima	91
Figura 54 Comparación de Torque Máximo	93
Figura 55 Compartición de Velocidad Máxima	94
Figura 56 Consumo de voltaje de la batería	95
Figura 57 Caída de tensión de la batería.....	96
Figura 58 Porcentaje de la Batería	97
	98

ÍNDICE DE ECUACIONES	20
Ecuación 1 Ley de Ohm.....	42
Ecuación 2 Ley de potencia	43
Ecuación 3 Sección de conductores	43
Ecuación 4 Cargas Vivas	44
Ecuación 5 Carga Muerta	45
Ecuación 6 Carga de frenado	45
Ecuación 7 Carga de aceleración	46
Ecuación 8 Esfuerzo	46
Ecuación 9 Desplazamiento.....	46
Ecuación 10 Factor de seguridad.....	47
Ecuación 11 Resistencia a la rodadura	48
Ecuación 12 Potencia necesaria	48
Ecuación 13 Par motor	49
Ecuación 14 Aceleración.....	50

Resumen

El presente proyecto de titulación, analizó el rendimiento del prototipo de kart eléctrico con baterías de ion litio, mediante la comparación con su similar de motor de combustión interna en categoría monoplace de 100 c.c., se desarrolló la implementación del sistema de tracción eléctrica a partir componentes y sistemas de tipo mecánico, eléctrico y electrónico conformados por motor, controlador, sistema de aceleración, sistemas de protección, baterías y panel de medición, considerando la geometría de un bastidor homologado por RIOMAR, el análisis estructural estático realizado por software estableció el desplazamiento máximo, esfuerzos máximos y factor de seguridad acorde a las cargas vivas y muertas. Los resultados de las pruebas y ensayos al prototipo de kart eléctrico fueron ejecutados mediante protocolos fundamentados en el reglamento general deportivo de la FEDAK/FIA para desarrollo de una competencia de karting, a partir de distancia recorrida, consumo de energía por carrera, velocidad promedio, velocidad máxima y aceleración aplicados en pista, así como, pruebas dinamométricas de torque y potencia para la comparación con su similar de combustión interna. En la investigación el kart eléctrico con su motor de 3 Kw y su caja de 4 velocidades supero en torque y velocidad máxima al kart de combustión, dando el análisis del prototipo como positivo en la implementación, pudiendo ser reemplazar al motor comparado.

Palabras Clave: Kart eléctrico, Monoplace, RIOMAR, FEDAK (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo), FIA (Federación Internacional del Automóvil)

Abstract

This degree project analyzed the performance of the prototype electric kart with lithium-ion batteries, by comparing it with its similar internal combustion engine in 100 c.c. single-seater category, the implementation of the electric traction system was developed from components and systems of mechanical, electrical and electronic type consisting of motor, controller, acceleration system, protection systems, batteries and measurement panel, considering the geometry of a frame approved by RIOMAR, The static structural analysis performed by software established the maximum displacement, maximum efforts and safety factor according to the live and dead loads. The results of the tests and trials to the electric kart prototype were executed through protocols based on the FEDAK/FIA general sports regulations for the development of a karting competition, from distance traveled, energy consumption per race, average speed, maximum speed and acceleration applied on the track, as well as torque and power dynamometric tests for comparison with its internal combustion similar. In the investigation, the electric kart with its 3 Kw engine and its 4-speed gearbox surpassed the combustion kart in torque and maximum speed, giving the analysis of the prototype as positive in the implementation, being able to replace the compared engine.

Key Words: Electric kart, Single-seater, RIOMAR, FEDAK (Ecuadorian Automobile and Karting Federation), FIA (Federation Internationale de l'Automobile)

Capítulo I

Planteamiento del Problema de Investigación

Antecedentes

“De acuerdo con un análisis de tecnología, industria y mercado para vehículos eléctricos en América Latina hace referencia que en Ecuador busca el desarrollo de la Electromovilidad lo cual estima que para el año 2025 el mercado total de vehículos puede alcanzar una cifra de 150 700 unidades comercializadas dando lugar a alrededor de 14 950 unidades de vehículos eléctricos que incluye (HEV, PHEV y BEV) alcanzando una penetración en el mercado de 9.9% del total de ventas”. (Isla, 2019, pág. 60)

“Respecto al Anuario 2019 publicado por la AEADE menciona que en el año 2019 a los vehículos eléctricos se les otorgó un incentivo arancelario y tributo. Los cuales tenían el objetivo de reducir el IVA al 0% si son de uso particular, transporte público y de carga como también los servicios de carga eléctrica su consumo tendrá el 0% de IVA. Adicionalmente se elimina el impuesto a los consumos especiales (ICE) para todo vehículo que cueste más de 40.000” (AEADE, 2019, pág. 58).

“De acuerdo con el Anuario 2020 publicado por la AEADE, las provincias de mayor venta de vehículos híbridos son Pichincha, Guayas, Azuay, Tungurahua, Manabí. Considerando se han vendido un total de 1130 vehículos híbridos en el año 2020 un 24.42% menos que en el año 2019 a su vez con respecto a vehículos eléctricos las provincias que tienen mayor venta son Guayas, Azuay, Pichincha, Loja y Galápagos teniendo un total de ventas de 106 vehículos” (AEADE, 2020, pág. 131).

“Por parte de la marca china de vehículos BYD se introdujo tres buses eléctricos en la ciudad de Quito los cuales tienen la capacidad para 160 pasajeros parados y sentados

los cuales cubrirán rutas del centro y sur de la urbe con el fin de cubrir la diversidad geográfica que tiene la ciudad de Quito. Así mismo estos buses ya estuvieron circulando en las ciudades de Guayaquil, Loja y Cuenca con el fin de probar su funcionamiento y eficiencia ya que son 100% eléctricos” (Bravo, 2018).

“Para la provincia de Pichincha la venta a aumentado en referente a motos eléctricas y escúteres tipo motocicletas pertenecientes a la categoría de micro movilidad pasando a la importación de este vehículo de 1594 a 3554 unidades por la alta demanda de los usuarios, esta gran acogida se debe a sus costos que van desde los USD 600 a USD 1500 y su autonomía de recorrido de hasta 60 kilómetros y una velocidad constante de $60 \frac{km}{h}$ ” (Vászonez, 2021).

“A medida del incremento del costo de los combustibles toma más relevancia la transición a buses eléctricos por parte de la compañía de transporte urbano Santiago de Guayaquil considerando como una opción válida a mediano plazo esto porque la diferencia de costo de las unidades es significativa tomando en cuenta que una unidad esta por los USD 120 000 a diferencia de una unidad eléctrica que esta por lo USD 270 000 pero estas unidades son más cómodas, tienen wifi, no emiten gases tóxicos ni ruido” (Garcia, 2021).

“La empresa MotorLand Aragón del país de España presento su nueva creación el EGT5 un karting totalmente eléctrico para competencia con una potencia final de 30 kW esto gracias a su Motor eléctrico y a la eficiente afinación del voltaje otorgado por la batería, ellos aseguran que pueden correr sin preocuparse del sobrecalentamiento producido por la batería o del motor” (PLAYandDRIVE, 2019).

“La propulsión de vehículos como: motos, escúteres y hasta karting es gracias a la utilización de motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) estos se caracterizan por no emplear escobillas para la transferencia de energía por lo que resuelven los problemas que poseen los motores eléctricos convencionales de escobillas como lo que es el ruido, el desprendimiento de calor, la disminución del rendimiento por el rozamiento y el mantenimiento continuo” (Master Ingenieros S.A, 2019).

“Para incentivar la versatilidad de los vehículos eléctricos Kia creo el torneo Monomarca KIA el cual es el primer campeonato realizado con vehículos de esta categoría la cual va a tener una duración de dos años en donde las validas se realizarán en Riobamba, Latacunga y Yahuarcocha con una proyección de tener validas en la Ciudad de Quito, Guayaquil y Cuenca.” (Autos Primicias, 2021).

“A días de culminar el año 2021 se llevó a cabo un torneo Provincial de Karting en la provincia del Guayas específicamente en el kartódromo Internacional del Banco del Pacifico el cual presento un gran incremento de participantes en distintas categorías todo gracias a la motivación de los padres por ver desarrollar a las próximas promesas del volante” (Auto Megazine.ec, 2021).

Planteamiento del problema

El transporte predominante es por vehículos de combustión interna que utilizan como fuente de energía derivados del petróleo, por lo tanto, al obtener la combustión de la mezcla aire combustible en el interior de las cámaras de combustión de los motores, estos producen gases contaminantes como son: SO₂, CO₂, CO y NO_x que se dispersan en el medio ambiente, esto sumado al elevado periodo de uso de los vehículos, las congestiones de tránsito en las ciudades y la sobrepoblación de automóviles agravan más la situación de la

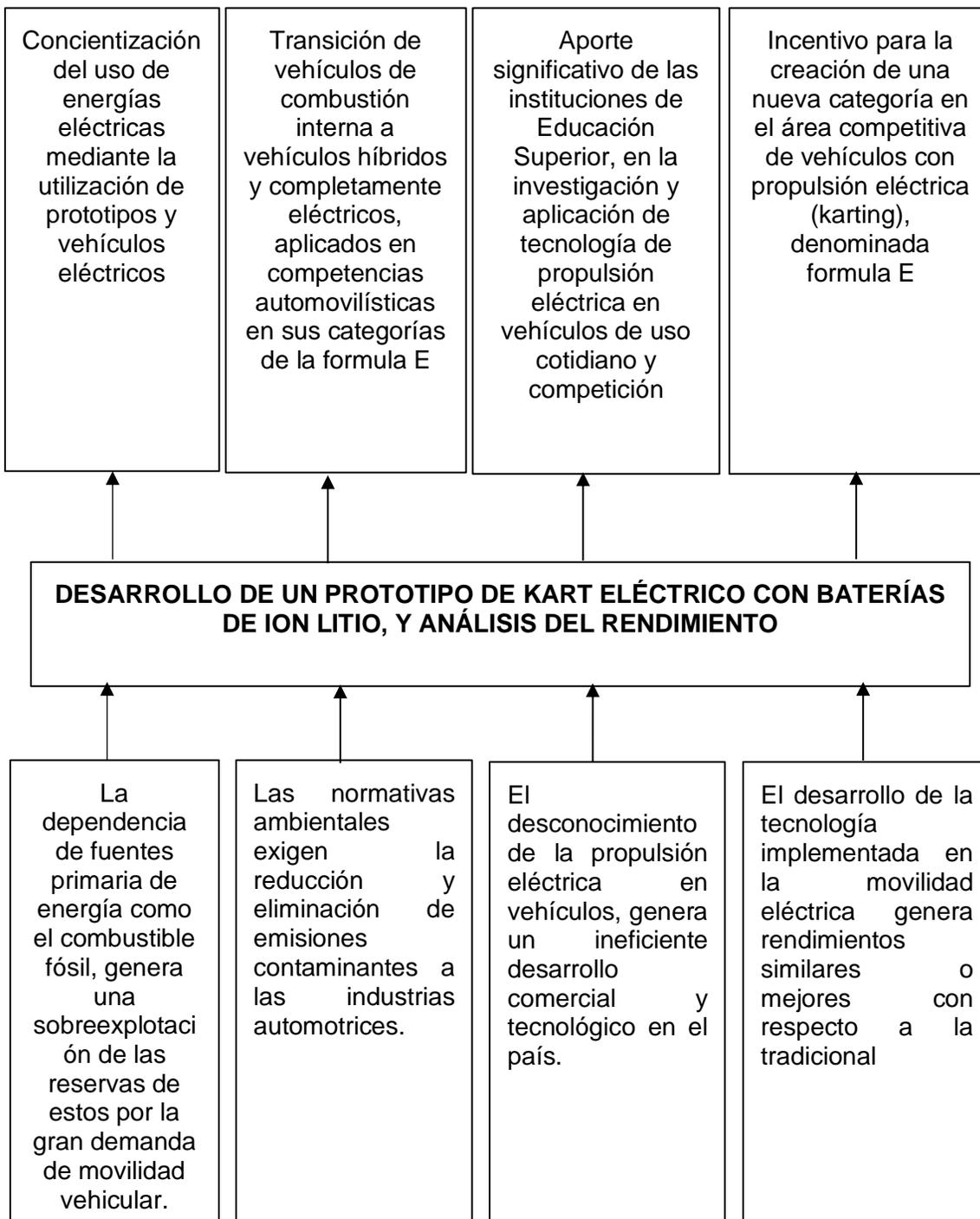
contaminación del aire los cuales producen afecciones a la salud humana y un avance desenfrenado del calentamiento global.

Por lo tanto, con el avance de la tecnología y las nuevas normativas ambientales, las industrias automotrices han ido desarrollando medios de transporte amigables con el ambiente, así como, vehículos híbridos y vehículos eléctricos, en sus diferentes usos y aplicaciones, estos presentan grandes ventajas contra sus predecesores sobre todo en la reducción y eliminación de los gases contaminantes, pero esta tecnología no ha tenido una gran demanda por parte de los ciudadanos.

El desarrollo de prototipo de vehículos Eléctricos contribuye en el sector automotriz en la generación de un enfoque constructivista, así pues la propulsión eléctrica en sus diferentes campos, contribuye a un acercamiento al potencial que tiene la tecnología; de tal manera que un prototipo de kart eléctrico aportará de manera significativa en la concienciación del impacto ambiental que tienen estos sin perder su esencia competitiva, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases contaminantes y contaminación sonora.

Figura 1

Árbol de problemas



En el Ecuador, se inicia la transición de vehículos de combustión interna a sistemas de propulsión híbrida y eléctrica, en los últimos años se ha visto ralentizada debido a varios factores como: Escasas de las infraestructuras de servicios de carga para vehículos eléctricos, pocos talleres especializados, baja incentivación por parte del gobierno en la utilización de esta nueva movilidad y desconocimiento general de la capacidad de un vehículo eléctrico. Es así que resulta fundamental mostrar los alcances que tiene esta tecnología de propulsión eléctrica por medio de la comparativa con un semejante.

Descripción resumida del proyecto

En la presente investigación del “ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN PROTOTIPO DE KART ELÉCTRICO CON BATERÍAS DE ION LITIO, MEDIANTE LA COMPARACIÓN CON SU SIMILAR DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN CATEGORÍA MONOPLAZA DE 100 c.c.”, se consideró lo siguiente:

Se fundamentó teóricamente mediante fuentes bibliográficas confiables como bases de datos digitales, libros, manuales, normativas y artículos científicos referentes a Prototipos de propulsión eléctrica, caracterización del conjunto de componentes utilizados para la movilidad eléctrica.

Se llevó a cabo el modelado 2D - 3D y simulación del prototipo Karting en un software de elementos finitos concerniente a la categoría KZ que referencia un máximo de capacidad de cilindraje de 125 c.c., que en el caso del prototipo analizado su máximo estuvo dentro de los 100 c.c., al cual se le realizó las adaptaciones de los componentes eléctricos y sistemas automotrices.

Se seleccionó los sistemas de propulsión eléctrica (motor eléctrico, baterías de Ion Litio, módulo BMS (Battery Management System), controlador del motor, sensores para el acelerador.

Se fundamentó de manera técnica y científica, la selección e implementación del motor eléctrico y su sistema de cambios de velocidades, con un enfoque matemático de manera que garantice; el rendimiento del prototipo en aspectos de torque, potencia, autonomía y una eficiente movilidad.

Se seleccionó la fuente de energía eléctrica en función del material activo de la batería de Ion Litio, aspectos de carga profunda, tensión, capacidad de carga y capacidad de descarga; considerando la necesidad del sistema de propulsión “motor eléctrico” de manera que se obtenga velocidades máximas de $70 \frac{km}{h}$ y una autonomía suficiente para una carrera.

Se seleccionó un sistema de carga de batería Ion Litio a través convertidores AC – DC, conectores homologados y sistemas de protección alimentados por red eléctrica de 110 V, considerando los principios de la matemática eléctrica y electrónica aplicadas al automóvil.

Se analizó el rendimiento y desempeño del prototipo, desde una visión mecánica (Peso, torque, potencia, velocidad máxima y aceleración); visión eléctrica (autonomía de la batería, procesos de carga y descarga de la batería, y consumo de energía). Mediante la comparación mecánica con su similar de motor de combustión interna en categoría monoplaza de 100 c.c., se determinó las ventajas y desventajas de la propulsión eléctrica en competencias para este tipo de vehículos.

Justificación e importancia

La evolución constante de la propulsión eléctrica, el crecimiento de la contaminación ambiental y la implementación de normas ambientales más estrictas para el sector automotriz.

Impulsan al desarrollo de prototipos que implementen tecnología con propulsión eléctrica con el fin de mitigar el uso de combustibles derivados del petróleo y a su vez la eliminación de la contaminación sonora.

La creación de un prototipo de kart eléctrico al ser un vehículo de competición incentivará al desarrollo de más prototipos los cuales permitirán la creación de una cultura de investigación con la intención de servir al desarrollo de vehículos eléctricos para promoverlos y acelerar su popularidad en un marco que combina tecnología y deporte.

El desarrollo del prototipo de kart eléctrico es una aplicación de tecnología actual en la propulsión eléctrica y continuo crecimiento, es así, que presenta una serie de ventajas respecto de la tradicional tracción por combustión de energías fósiles, de esta manera se podrá fijar metas de futuros proyectos de investigación.

Objetivos del proyecto

Objetivo general

Analizar el rendimiento de un prototipo de karting eléctrico con baterías de ion litio, mediante la comparación con su similar de motor de combustión interna en categoría monoplace de 100 c.c.

Objetivos específicos

- Fundamentar teóricamente mediante fuentes bibliográficas confiables como bases de datos digitales, libros, manuales, normativas y artículos científicos referentes a Prototipos de propulsión eléctrica, caracterización del conjunto de componentes utilizados para la movilidad eléctrica.
- Realizar el modelado 2D – 3D y simulación del prototipo Karting en un software de elementos finitos concerniente a la categoría KZ que referencia un máximo de

capacidad de cilindraje de 125 c.c.

- Seleccionar los sistemas de propulsión eléctrica (motor eléctrico, baterías de Ion Litio, módulo BMS (Battery Management System), controlador del motor, sensores para el acelerador.
- Seleccionar la fuente de energía eléctrica en función del material activo de la batería de Ion Litio, considerando aspectos de carga profunda, tensión, capacidad de carga y capacidad de descarga; considerando la necesidad del sistema de propulsión “motor eléctrico” de manera que se obtenga velocidades máximas de $70 \frac{km}{h}$ y autonomía suficiente para una carrera.
- Seleccionar un sistema de carga de batería Ion Litio a través convertidores AC – DC, conectores homologados y sistemas protección alimentados por red eléctrica de 110 V.
- Analizar el rendimiento y desempeño del prototipo, desde una visión mecánica (Peso, torque, potencia, velocidad máxima y aceleración); visión eléctrica (autonomía de la batería, procesos de carga y descarga de la batería, y consumo de energía).
- Comparar el prototipo de kart eléctrico tanto en rendimiento como desempeño con su similar de motor de combustión interna en categoría monoplaza de 100 c.c.
- Determinar las ventajas y desventajas de la propulsión eléctrica en competencias para este tipo de vehículos.

Metas

- Dimensionar un sistema de motor eléctrico para un prototipo de kart E, con Potencias nominales máxima de 3000 W a 6000 rpm y un par nominal de 10.5 Nm además

fusionado con una caja de cambios de 4 marchas, como parte del sistema de tracción eléctrica.

- Generar un prototipo de kart eléctrico monoplace para competencias en categorías de características similares o semejante a uno de motor de combustión interna en categoría monoplace de 100 c.c.

Hipótesis

¿Se alcanzarán velocidades máximas a los $70 \frac{km}{h}$ y una autonomía suficiente para una carrera a una descarga máxima al utilizar baterías de ion litio de 72 V - 30 Ah a la máxima carga?

Variables de la investigación

Para el proyecto de investigación aplicó las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

Variable dependiente

Sistema de tracción eléctrica

Variable independiente

Sistemas automotrices del Kart Eléctrico

Capítulo II

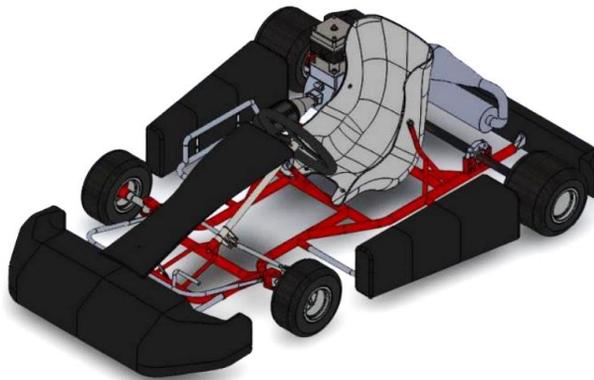
Fundamento teórico

Kart

Es un coche de carreras monoplace sin techo, suspensión o carrocería. Sus neumáticos delanteros son responsables de la dirección, y los dos neumáticos traseros son responsables de transmitir la potencia del motor. Este tipo de vehículo se utiliza para la práctica del karting, una rama del automovilismo. (Crespo, 2014).

Figura 2

Vehículo monoplace kart de 125 c.c.



Nota. La figura muestra uno de los modelos de kart al cual se puede apreciar la ubicación del conductor, motor de combustión interna, escape, protectores, la forma de la carrocería y la ausencia de suspensión. Tomado de *Diseño de un kart y sus componentes*, por Lizarra & Marcelino, 2019 (p. 80)

Categorías KZ

Los karts de competición tienen diferentes categorías. La clase KZ se define a un kart de velocidades, es probablemente una de las clases más divertidas para los pilotos, y los mecánicos tienen un mayor protagonismo en ella, puesto que, aunque es muy similar en todo el mundo (motor 125 c.c. con 6 velocidades, carburador, refrigeración por agua y escape

homologado). (DMK Racing, 2015).

Figura 3

Vehículo monoplaza kart de categoría KZ de 125 c.c.



Nota. La figura muestra la ubicación de la palanca de cambios que tiene un kart de categoría KZ. Tomado de FuelWasters, 2014 (<http://www.fuelwasters.com/2014/06/prueba-kart-kz2.html/>).

Descripción general del Karting

El karting es un deporte de mundo motor que se practica en pistas denominadas kartódromo, que tienen entre 600 m y 1.700 m de longitud y entre 8 m y 15 m de ancho. (Ochoa, 2014) .

Figura 4

Competencia deportiva Karting.



Nota. La figura muestra el desarrollo de una competencia karting de una categoría específica de esta manera se consigue un equilibrio entre los vehículos. Tomado de Tkart, 2019 (<https://tkart.it/es/en-profundidad/el-regreso-de-los-campeonatos-de-kart-britanicos-es-un-exito/>).

Características de la competencia

Las competencias de karting cuentan con varias etapas las cuales son la clasificatoria, carrera 1 y carrera 2, Las carreras se establecerá de acuerdo con los puntos obtenidos en la clasificatoria, dependiendo de la categoría el número de vueltas puede estar entre 10 a 12 vueltas. (FEDAK, 2018) .

Mecánica RIOMAR

Es una empresa con sede en Brasil que fabrica partes de vehículos motorizados, conjuntamente tienes una línea de fabricación de karts debidamente homologados por la confederación brasileña de automóviles (CBA).

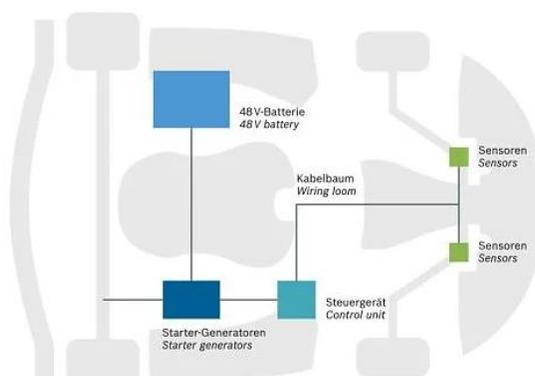
Componentes de un kart eléctrico

Las diferencias principales son la sustitución del motor de combustión interna por uno

eléctrico, el retiro del sistema de alimentación que se compone de (tanque de gasolina, bomba de combustible y cañerías), la implementación de un pack de, un controlador que será la computadora encargada de proporcionar de forma adecuada el voltaje al motor. (Ochoa, 2014)

Figura 5

Distribución de un kart eléctrico.



Nota. La figura muestra la distribución de los componentes en un kart eléctrico en el bastidor para una eficiente repartición de pesos. Tomado de Coches, 2016

(<https://noticias.coches.com/noticias-motor/el-kart-electrico-de-bosch-capaz-de-trazar-las-curvas-a-130-kmh/212712?foto=1/>).

Motor Brushless

Es un motor que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad y provocar el movimiento, funciona con una señal trifásica alterna a su vez incorpora en su módulo de control sensores de efecto Hall para enviar señales del rotor al variador. Tiene una mayor eficiencia tanto en potencia como en torque. (Pascual, 2019).

Figura 6*Motor Brushless*

Nota. La figura representa un motor Brushless que puede ser adaptado a todo tipo de vehículo monoplaza por su forma simple y sus puntos de sujeción universales. Tomado de elektro2rad, 2021 (<https://www.elektro2rad.de/Brushless-Motor-48V-3000watts-.html?language=en>).

Batería de Litio

Son baterías de alta densidad energética, alta eficiencia energética y larga vida útil. Por ejemplo, las baterías de iones de litio pueden triplicar la densidad de energía en comparación de las baterías de plomo-ácido. (Quinteros, 2021).

Figura 7*Batería eléctrica de iones de litio*

Nota. La figura muestra un modelo de batería Li-Ion que se podría utilizar para el prototipo. Tomado de BioBike, 2018 (<https://www.biobike.es/2018/05/11/baterias-de-las-bicicletas-electricas-la-guia-definitiva/>).

BMS

Un BMS consta de hardware y software que controla la carga y descarga de la batería al tiempo que garantiza un funcionamiento fiable y seguro. Esto incluye control de nivel de corriente y voltaje, condiciones de carga y descarga, límites de ventana operativa para SOC y/o temperatura, control térmico, balance de voltaje entre celdas. (Rodríguez, 2015, pág. 2).

Figura 8

Módulo BMS de 20 Celdas.



Nota. La figura muestra un modelo de una placa BMS que puede funcionar con rangos de amperaje entre 30 A, 40 A, 50 A y voltajes entre 60 V a 72 V. Tomado de Jiabaida Technology, 2022 (<https://es.aliexpress.com/store/911735067?spm=a2g0o.detail.1000007.1.7075275dlxrfkT/>).

Controlador

El controlador utiliza una serie de dispositivos llamados MOSFET para generar alta corriente desde la fuente de alimentación de CC y el microcontrolador. para transformar las señales digitales directas en PWM de continua y estas a su vez son transformadas en señal trifásica que se necesita para el motor. (Pascual, 2019).

Figura 9

Controlador de motor de 2000 a 3000 W.



Nota. La figura muestra un modelo de controlador para motores Brushless de entre 2000 W y 3000 W que puede funcionar con rangos de voltajes de 60 V a 72 V. Tomado de Yosoo Health Gear, 2022 (https://m.media-amazon.com/images/I/51DJQpvcoIL._SL500_.jpg)

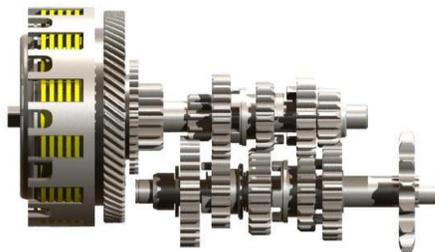
Reductor

El grupo reductor es el único elemento mecánico del conjunto, aparte del motor, y equivale a una caja de cambios, este consiste en una caja de engranajes que recibe el eje del motor eléctrico, reduce la velocidad de giro y reparte la fuerza entre su eje de salida.

(Trashorras, 2019).

Figura 10

Configuración de los piñones



Nota. La figura se muestra que la caja de cambios de moto. Tomado de Curso de motos, 2022 (<http://cursodemotos.blogspot.com/2017/12/la-caja-de-cambios-transmision.html>).

Fusible

Para impedir que el sistema eléctrico resulte dañado por sobreintensidades, los componentes del sistema y las funciones eléctricas están protegidos por fusible. (Driescher Y Wittjohann, S.A, 2010).

Figura 11

Fusible de corriente continua tipo ANL desde 50A



Nota. En la figura tenemos un fusible de corriente continua ANL los cuales son fáciles y rápidos de poner y quitar. Tomado de Salcantay, 2022 (<https://www.todoensolar.com/Fusible-de-corriente-continua-tipo-ANL-de-50-a-500A>).

Interrupor Termomagnético

El disyuntor está fabricado para la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, gracias a su sistema de protección termomagnética. Dependiendo del producto sus capacidades pueden ir desde los 50 A en adelante. (Gereda, 2017).

Figura 12

Interruptor termomagnético



Nota. En la figura se muestra un interruptor termomagnético que puede proteger de forma segura los circuitos de control de equipos, como fuentes de alimentación, protección de sistemas electrónicos, circuitos de control. Tomado de FCM, 2022

(<https://www.fcmsolutionsperu.com/collections/tesys-gb2/disyuntores-y-portafusibles-tesys>).

Paro de emergencia

Los dispositivos de parada de emergencia se utilizan para que cualquier persona pueda detener la máquina si alguien está en peligro.

Figura 13

Botón pulsador de parada de emergencia



Nota. En la figura se tiene un interruptor para botón de paro de emergencia el cual se usan para detener la operación de máquinas durante situaciones de emergencia. Tomado de Autonics, 2022 (<https://www.directindustry.es/prod/autonics/product-23164-2320413.html>).

Los conductores

Conductores son elementos del sistema que conectan el resto de componentes y que proporcionan un camino de baja resistencia para la circulación del voltaje. Los mejores conductores son aquellos que poseen menos de cuatro electrones en la capa de valencia, como aluminio, la plata o el cobre. (Arboledas, 2014, p. 39).

Tabla 1

Tamaños American Wire Gauge (AWG)

Calibre / AWG	Diámetro en mm	Resistencia conducción en Ω/km	Carga eléctrica en Amperio
8	10 mm	2,36	75
10	6 mm	3,64	52
12	4 mm	5,41	34
18	1 mm	23,0	9,5

Nota. Calibres utilizados en la parte eléctrica y electrónica del prototipo basado en la referencia AWG de calibre de conductor.

Ley de Ohm

La ley de ohm muestra que la diferencia de potencial que existe en sus extremos es directamente proporcional a la intensidad que circula por él. Por lo tanto, existe una relación entre la intensidad de corriente, la tensión y la resistencia. (Molina, 2013, p. 46).

Ecuación 1

Ley de Ohm

$$V = I * R$$

Donde:

V = Tensión en volts (V)

I = Corriente en amperes (A)

R = Resistencia en Ohms (R)

Potencia Eléctrica

La potencia de un elemento eléctrico es la cantidad de energía que consume o genera en un segundo es decir es característico de los elementos eléctricos tanto consumidores como generadores.

Ley de potencia

En cualquier circuito o elemento eléctrico, podemos calcular su potencia multiplicando la tensión entre los extremos por la intensidad que circula entre extremos. (Barrera, 2017).

Ecuación 2

Ley de potencia

$$P = V * I$$

Donde:

V = Tensión en volts (V)

I = Corriente en amperes (A)

P = Potencia en vatios (W)

Cálculo de conductores

Cuando se necesita añadir un cable eléctrico a una instalación eléctrica del kart se debe seleccionar correctamente la sección (el grueso) del nuevo cable. (Barrera, 2017).

Ecuación 3

Sección de conductores

$$S = \frac{100 * \rho * I * P}{2 * V^2}$$

Donde:

S = Sección obtenida en mm^2

ρ = Resistencia del conductor que normalmente es cobre ($r = 0.018$)

l = Longitud del cable expresado en metros (m)

P = Potencia total de los aparatos que ha de alimentar el cable

V = Tensión del circuito

Gravedad convencional

En la Tierra, los objetos experimentan aceleración debido a la gravedad con un valor de $9,81 \frac{m}{s^2}$. (Beer, 2009).

Cargas Vivas

Las cargas vivas en el kart como un vehículo monoplaza son los pesos que varían según el conductor y su equipo de seguridad. (Normativa Técnica Ecuatoriana, 2009).

Ecuación 4

Cargas Vivas

$$V = M_v * g$$

Donde:

V = Carga Viva, en (N)

M_v = Masa total viva, en (Kg)

g = Gravedad, en ($\frac{m}{s^2}$)

Cargas Muertas

Es el peso total del kart en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales, es decir el bastidor del kart con todos sus accesorios. (Normativa Técnica Ecuatoriana, 2009).

Ecuación 5

Carga Muerta

$$M = M_M * g$$

Donde:

M = Carga muerta, en (N)

M_M = Masa total muerta, en (Kg)

g = Gravedad, en ($\frac{m}{s^2}$)

Cargas de frenado

La normativa dice que debemos asumir una desaceleración mayor o igual a $4 \frac{m}{s^2}$

Ecuación 6

Carga de frenado

$$F = m * a$$

Donde:

F = Fuerza de Frenado, en (N)

m = Masa total, en (Kg)

a = desaceleración del vehículo, en ($\frac{m}{s^2}$)

Cargas de aceleración

El criterio es el mismo a la carga de frenado, pero en sentido contrario $-4 \frac{m}{s^2}$

Ecuación 7*Carga de aceleración*

$$F = m * a$$

Donde:

F = Fuerza de Frenado, en (N)

m = Masa total, en (Kg)

a = aceleración, en ($\frac{m}{s^2}$)**Esfuerzo**

Es la intensidad de las fuerzas (cargas vivas y muertas) distributivas en el bastidor del kart. (Beer, 2009).

Ecuación 8*Esfuerzo*

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga (N)

A = Área transversal (m^2)**Desplazamiento**

Es el cambio en la longitud del cuerpo cuando se ve afectado por una carga. (Beer, 2009).

Ecuación 9*Desplazamiento*

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Donde:

ΔL = Variación de la longitud en un cuerpo (m)

L = Longitud Inicial de un cuerpo (m)

Factor de Seguridad

Es un método de prueba para verificar seguridad y esfuerzo que puede soportará el mecanismo. Cuando se aplica una carga. (Beer, 2009)

Ecuación 10

Factor de seguridad

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

S_y = Limite de fluencia (MPa)

σ = Esfuerzo (MPa)

Valores mínimos recomendados para factor de seguridad en Acero

Tabla 2

Tabla de Factor de Seguridad Acero

Tipo o clase de carga	Acero	Hierro fundido & Metales frágiles	Madera de construcción
Carga muerta o carga variables bajo análisis por fatiga	1.5 - 2	5 - 6	7

Nota. Valores mínimos recomendando. Adaptado de Diseño de elementos de máquinas, por L.

V. Vanegas, 2018 (p. 78).

Resistencia a la rodadura

Es la debida a la rodadura y producida por la deformación del neumático. (Larrodé, 1997).

Ecuación 11*Resistencia a la rodadura*

$$R_r = f_r * W.$$

Donde:

 f_r = Coeficiente resistencia a la rodadura

W = Peso total del kart

Tabla 3*Valores de coeficiente de rodadura*

Estado del Suelo	Coeficiente de resistencia a la rodadura
Asfalto	0.02 a 0.03
Empedrado seco	0.0015
Cemento	0.00125
Tierra blanda	0.11

Nota. En la tabla podemos obtener los valores necesarios para calcular la resistencia a la rodadura la cual se obtiene multiplicando el peso del vehículo por el valor del coeficiente del suelo, por E. P. Larrodé, 1997 (p. 58).

Potencia necesaria

Es la potencia del motor que se necesita para poder vencer la resistencia total al avance. Como factor consideramos que la potencia eléctrica necesaria para mover el kart debe ser igual a la potencia mecánica en el motor. (Larrodé, 1997, pág. 57).

Ecuación 12*Potencia necesaria*

$$P_e = P_m = (F_r + F_a + F_\phi + F) * v$$

Donde:

P_e = Potencia eléctrica, en (W)

P_m = Potencia mecánica, en (W)

F_r = Fuerza de Rozamiento, en (N)

F_a = Fuerza aerodinámica, en (N)

F_ϕ = Fuerza por pendiente, en (N)

F = Fuerza de movimiento, en (N)

v = velocidad del kart, en ($\frac{m}{s}$)

Par motor

Es el momento de fuerza que se ha de aplicar a un eje que sobre sí mismo a una determinada velocidad. O también conocido como la tendencia de fuerza para girar un objeto alrededor de un eje. (Larrodé, 1997, pág. 59).

Ecuación 13

Par motor

$$Mn = (F_r + F_a + F_\phi + F) * r_e$$

Donde:

F_r = Fuerza de Rozamiento, en (N)

F_a = Fuerza aerodinámica, en (N)

F_ϕ = Fuerza por pendiente, en (N)

F = Fuerza de movimiento, en (N)

r_e = radio efectivo, en (m)

Aceleración

Se denomina aceleración a la variación de velocidad en cada unidad de tiempo. (Rivera, 2017).

Ecuación 14*Aceleración*

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{vf^2}{2x}$$

Donde:

 a = Aceleración ($\frac{m}{s^2}$) Δv = variación de velocidad ($\frac{m}{s}$) t = Tiempo (s) x = distancia (m)**Normativas*****NTE INEN 1323:2009***

La normativa NTE INEN 1323:2009 provee los requisitos generales para el análisis estático de carrocerías aplicables al prototipo kart, factores como las cargas vivas, cargas muertas, cargas de frenado, aceleración brusca y Carga de giro. (Normativa Técnica Ecuatoriana, 2009). Anexo A

Reglamento general deportivo de karting 2018

Son una serie de artículos que en conjunto deben cumplirse para poder desarrollar un campeonato de karting, además el reglamento detalla el desarrollo y composición para llevar a cabo una carrera de kart. (FEDAK, 2018) Anexo B

Equipos de medición***Dinamómetro***

Un dinamómetro suele ser un tipo de equipo de prueba que se utiliza para medir la

potencia y el par producido por una máquina. Un dinamómetro para la automoción más popularmente conocido como banco de pruebas, es una máquina diseñada para calcular la potencia que puede producir el motor de un automóvil. (Poalacin & Vilaña, 2021).

Figura 14

Dinamómetros De Rodillos Autos De Competición



Nota. En la figura se tiene el banco de rodillos que permite realizar pruebas y mediciones de rendimiento del vehículo sin quitar el motor. Medir ruedas, motores y eliminar pérdidas de transmisión. Tomado de SAENZ, 2022 (<https://www.saenzdynos.com.ar/bco-rodillos-in-comp.php?lang=es>).

Capítulo III

Análisis del diseño del prototipo de kart eléctrico por simulación de elementos finitos

Sistema de propulsión eléctrica

Se basó en un estilo de conducción rápida y exigente siendo así se consideró varios factores, primordialmente la potencia necesaria y la relación de torque – velocidades requeridas para el funcionamiento. Para la selección de los componentes se realizó un análisis matemático.

Cálculo de la potencia y torque del motor

Se realizó el análisis de las fuerzas a las que estará sometido el kart, para obtener una velocidad máxima de $70 \frac{km}{h}$ en el cual se consideró el peso del kart con sus accesorios y la del piloto con su equipo de protección en total de 161 kg y un porcentaje de pendiente del 10 % como medida sobredimensionada para romper la inercia.

Como factor se consideró que la potencia eléctrica necesaria para mover el kart debe ser igual a la potencia mecánica en el motor.

Tabla 4

Valores obtenidos tras los cálculos para determinar Potencia y Par requeridos

Definición	Datos	Ecuación	Resultado
	$m = 161 \text{ Kg}$		
Fuerza de Rozamiento	$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$	$F_r = m * g * \text{sen}(\theta)$	157.141 N
	$\theta = 5.71^\circ$		
Fuerza aerodinámica	$\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$	$F_a = \frac{1}{2} \rho * A * C_r * v^2$	3.170 N

Definición	Datos	Ecuación	Resultado
	$A = 0.699 \text{ m}^2$		
	$C_r = 0.02$		
	$v = 19.44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$		
Fuerza por pendiente	$m = 161 \text{ Kg}$	$F_\phi = C_r * m * g * \cos(\theta)$	31.431 N
	$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$		
	$C_r = 0.02$		
Fuerza de movimiento	$m = 161 \text{ Kg}$	$F = m * a$	0
	$a = 0.00 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$		
Potencia eléctrica		$P_e = (F_r + F_a + F_\phi + F) * v$	3727.464 \approx 3.7 kW
Par motor	$r_e = 0.136 \text{ m}$	$Mn = (F_r + F_a + F_\phi + F) * r_e$	26.077 Nm

Nota. En la tabla se recopiló todos los valores obtenidos de los diferentes cálculos para determinar la potencia necesaria del motor como su par.

Selección de componentes

Para la tracción eléctrica del kart se determinó los elementos eléctricos y electrónicos según sus características basados en el análisis matemático realizado anteriormente.

Motor eléctrico

Se utilizó un motor existente en el mercado que se asemeje a los parámetros principales como peso, tamaño, potencia, torque y costo los cuales den una viabilidad para el desarrollo

del prototipo, se menciona dos tipos de motor con la misma potencia nominal:

Tabla 5

Especificaciones del motor eléctrico

Parámetros	Modelo del motor	
	SL 122-23	BY24WF01-B
Potencia nominal	3 kW	3 kW
Voltaje	60/72 V	72 V
Corriente en reposo	4.2-7.8 A	
Velocidad de rotación nominal	3000~6000 rpm	4900 rpm
Par nominal	10-5 Nm	6 Nm
Eficiencia motora	≥90 %	≈90 %
Relación de velocidad de engranaje	3,27:1, 1,94:1, 1,35:1, 1,04:1	1:1
Peso del motor	17 kg	6.7 kg

Nota. En la tabla se encuentra especificado todas las características que tiene el motor SL 122-23 y BY24WF01-B con potencias nominales de 3 kW.

Los motores son Brushless, cuentan con una potencia de 3000 W, se consideró estos motores debido a que en el mercado se encuentra motores de 2 kW, 3 kW y 5 kW, en relación con los cálculos realizados que sugirió un motor de 3700 W, para la selección se consideró variables como potencia más semejante a la necesaria y evitando sobredimensionar el prototipo. Se seleccionó el motor SL 122-23 que viene combinado con una caja de 4 velocidades, idóneo para la categoría del kart que es la KZ.

Figura 15*Motor Eléctrico de corriente continua SL 122-23*

Nota. En la figura se representa la estructura del motor eléctrico de 3000 W el cual tiene una carcasa de aluminio he integrado una caja de 4 velocidades.

Controlador

El controlador seleccionado es el AE1705, sus características están dentro de la necesidad que tiene motor eléctrico además tiene protección para sobre voltaje, bajo voltaje, sobre corriente, sobre temperatura.

Tabla 6*Especificaciones del controlador.*

Características	Valores
Modelo del controlador	AE1705
Rango de voltaje	42 a 84 V
Max intensidad de corriente de fase	400 A
Intensidad de corriente CC máxima	150 A
Temperatura de funcionamiento	10 a 55 °
Par nominal	10-5 Nm
Peso del controlador	3 kg

Nota. En la tabla se encuentra especificado todas las características que tiene el controlador

Figura 16*Controlador eléctrico AE1705*

Nota. En la figura se representa la estructura del controlador para el motor de 3000 W este cuenta con una base de aluminio y tapa plástica. Acepta baterías desde 42 V a 84 V para ser alimentado, además este maneja la cantidad de voltaje transferido hacia el motor trifásico para su movimiento.

Batería de Litio

El kart se constituyó únicamente por un sistema de alta tensión, es decir se contó con una batería la cual responda eficientemente al ciclo de conducción. se menciona dos tipos de batería, pero de diferentes composiciones:

Tabla 7*Especificaciones de la batería de litio*

Parámetros	Ion Li – Mg- Co	LiFePO4
Voltaje Nominal	72 V	72 V
Corriente	30 Ah	30 Ah
Corriente de descarga máxima	40 A	50 A
Corriente de carga máxima	10 A	15 A
Voltaje mínimo	64 V	60 V
Voltaje máximo	80 V	84 V

Parámetros	Ion Li – Mg- Co	LiFePO4
Ciclos de Vida	800	1500
Peso de la batería	15 kg	19 kg

Nota. En la tabla se encuentra especificado todas las características que tiene dos distintas baterías de litio.

La batería que proporcionó la energía para propulsar el motor eléctrico en este caso es de Litio/Fosfato de hierro más conocido en el mercado (LiFePO4) de 72 V a 30 Ah con BMS balanceador integrado.

Figura 17

Batería de litio de 72 V a 30 Ah



Nota. En la figura se representa la batería para el motor de 3000 W, es de 72 V y tiene una capacidad de 30 Ah, en la parte exterior está cubierta por una caja metálica rectangular.

BMS

La batería de litio se equipó con un BMS RS485 para la gestión y supervisión de las celdas individualmente. De esa manera calcula cuanta corriente puede entrar y salir de forma segura sin dañar la batería.

Tabla 8*Especificaciones del BMS*

Características	Valores
Numero de celdas	19s / 20s
Corriente de trabajo	30 A / 40 A /50 A
Tensión de trabajo	60 V / 72 V

Nota. En la tabla se encuentra especificado todas las características que tiene el BMS integrado en la batería de 72 V.

Figura 18*BMS RS485*

Nota. En la figura se representa la estructura del controlador, trabaja de 60 V a 72 V y una intensidad de corriente de 30 A, 40 A y 50 A, cuenta con una base de aluminio y tapa plástica.

Cargador

Se eligió un cargador diseñado para ser usado con baterías litio LFP (Fosfato de litio y hierro) que son diferentes en composición y voltajes a las baterías de NMC (níquel –

Manganeso – Cobalto), ya que las celdas de LFP tiene un voltaje promedio de 3,2 V.

Tabla 9

Especificaciones del cargador BtrPower 72 V - 5 A

Características	Valores
Corriente de carga	5000 mA / 5 A
Voltaje de entrada	110 V
Voltaje de Salida	87.6 V

Nota. En la tabla se encuentra especificado todas las características que tiene el cargador BtrPower 72 V – 5 A

Figura 19

Cargador BtrPower 72 V – 5 A



Nota. En la figura se representa el cargador recomendado por el fabricante para la batería de LiFePO4.

Modelado 2D y 3D del Kart

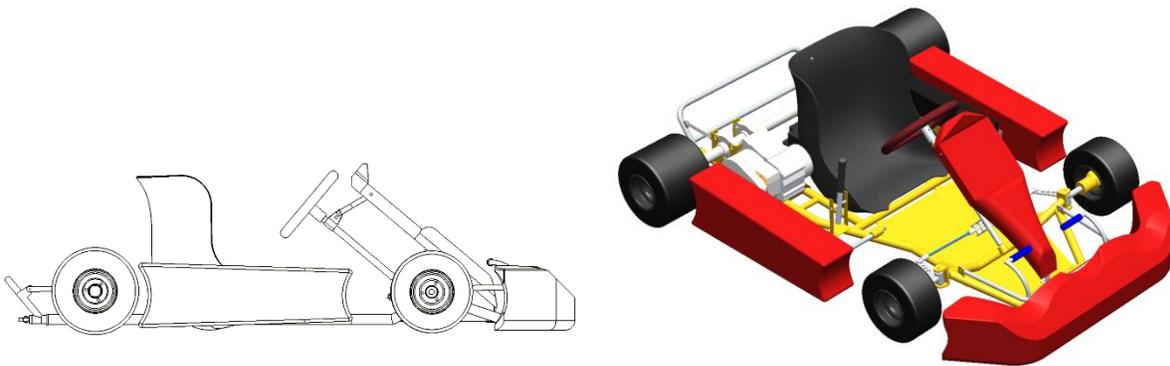
Se modeló el kart en 2D y 3D para apreciar de mejor manera las dimensiones y características.

Se consideró inicialmente todas las partes principales como el bastidor, suelo,

protectores plásticos, ruedas, neumáticos, partes de la dirección, disco de freno, ejes delanteros y eje trasero, asiento. Con el fin de verificar que no se tenga ninguna obstrucción para la distribución de los elementos mecánicos y electrónicos.

Figura 20

Modelo del kart 2D y 3D



Nota. Con el software de elementos finitos permite visualizar de manera precisa la configuración que tuvo el kart al ser armado, además se pudo verificar interferencias que se pueden proceder por las dimensiones incompatibles entre distintos elementos.

Simulación CAD

Criterios previos a la simulación del kart

El prototipo kart cuenta con un bastidor homologado por lo tanto tiene las dimensiones exigidas por la CIK/FIA para entrar en la categoría KZ, no obstante, se debe reevaluar su diseño inicial para el kit eléctrico que se propuso; tomando en cuenta que no altera su estructura, pero si en la distribución de cargas.

Masas Principales

Para los elementos que afectan en relación directa al comportamiento dinámico del kart, tenemos a la normativa NTE INEN 1323:2009, de la cual se tomó aspectos principales como

las cargas vivas, muertas, de giro, de frenado y aceleración brusca por su importancia para el diseño de carrocerías.

Tabla 10

Resultados de las cargas en el bastidor del kart.

Definición	Datos	Ecuación	Carga (N)
Carga Muerta	$mM = 73 \text{ Kg}$	$M = M_M * g$	715.4N
	$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$		
Carga Viva	$mV = 85.00 \text{ Kg}$	$V = M_V * g$	862.4N
	$mE = 3.00 \text{ Kg}$		
	$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$		
Carga de aceleración brusca	$mT = 161 \text{ Kg}$	$F = mT * a$	-644N
	$a = -4.00 \frac{m}{s^2}$		
Carga de frenado	$mT = 161 \text{ Kg}$	$F = mT * a$	644N
	$a = 4.00 \frac{m}{s^2}$		

Nota. En la tabla se encuentra especificado los valores calculados de las cargas que influyen en el kart eléctrico, la aceleración calculada arroja un valor negativo debido a que en la normativa NTE INEN 1323:2009 propone usar el valor de desaceleración del frenado en sentido contrario.

Material del bastidor

El bastidor del kart es de las piezas más importantes del cual dependerá que el vehículo tenga un comportamiento ideal en la pista. Para la construcción de esta pieza se utilizó tuberías circulares de un diámetro entre 30 mm a 32 mm. El material dependió del fabricante del bastidor en este caso fue fabricado por MECÁNICA RIOMAR LTDA que utilizó acero ASTM A-36 material idóneo para elementos estructurales.

Tabla 11

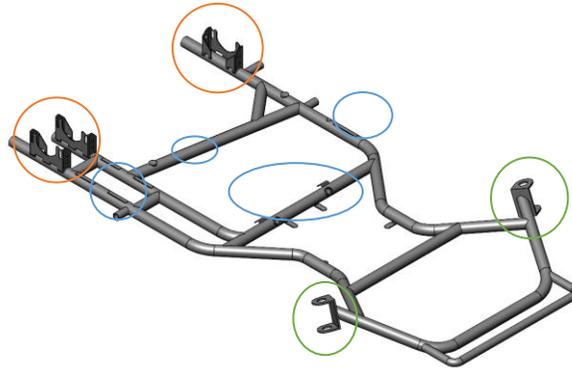
Propiedades mecánicas de Acero ASTM – A36

Esfuerzo	Valor
Límite elástico mínimo (<i>MPa</i>)	250
Límite de resistencia (<i>MPa</i>)	400 – 550
Elongación %	20

Nota. En la tabla podemos obtener las propiedades mecánicas principales del material ASTM A36.

Simulación del bastidor

Un análisis estático se realizó por medio de un software computarizado que permite obtener y visualizar las fuerzas producidas en el bastidor del kart, al aplicar las fuerzas de cargas que anteriormente se calcularon en este caso al aplicar las cargas vivas y cargas muertas. Para de esta manera apreciar las deformaciones, desplazamientos y factor de seguridad de la estructura.

Figura 21*Modelo del bastidor*

Nota. Este es el modelo del bastidor la estructura tubular señalado los puntos de sujeciones, los cargas vivas y cargas muertas. Los círculos naranjas son los apoyos del eje motriz, los de color celeste son las cargas del motor, controlador, batería y asiento, los círculos de color verde son los apoyos de las ruedas delanteras.

Análisis de la rigidez por carga de la gravedad

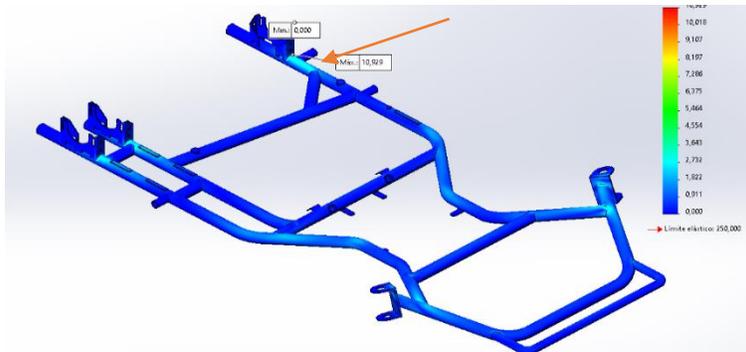
Se fijan las partes donde se conecta el bastidor a las ruedas y dependiendo del estudio se aplica las cargas muertas y vivas, en este análisis estático del bastidor se utilizó su propio peso y la gravedad como cargas actuantes en el software para su simulación.

Esfuerzo efectivo de Von Mises

El material del bastidor tiene un límite elástico de 250 MPa y tras la simulación la tensión máxima que se tiene en el bastidor en sectores específicos es de 10.93 MPa.

Figura 22

Tensión total del bastidor en resistencia



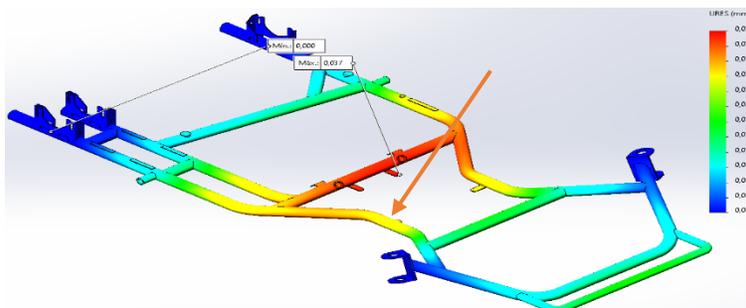
Nota. En esta figura se observa cómo la estructura tubular soporta las cargas de la gravedad aplicada al bastidor.

Desplazamiento

Los desplazamientos máximos que sufre el bastidor se muestran en la figura, siendo de 0.037 mm los cuales se localizan en la barra de apoyo del asiento ya que el mayor peso está en él conductor.

Figura 23

Desplazamiento total del bastidor



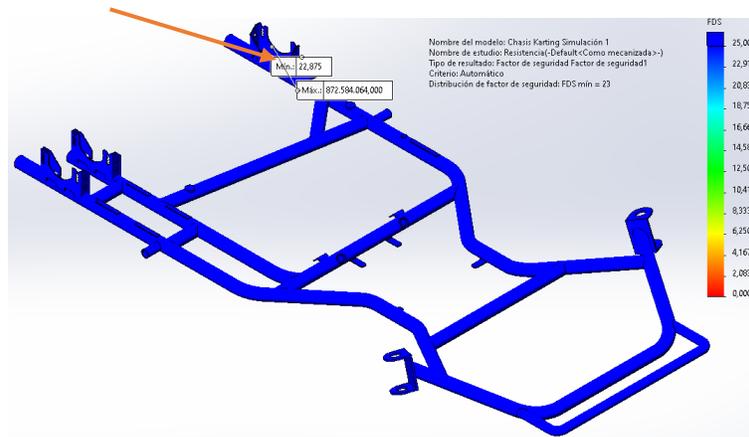
Nota. En esta figura se observa la zona de mayor carga en la estructura del bastidor.

Factor de seguridad

El bastidor tiene factor de seguridad mínima de 23 en las zonas más críticas, este valor sobredimensionado es considerando que el análisis es del peso y gravedad como cargas. Superando el valor mínimo de 1.5 para aceros.

Figura 24

Factor de seguridad del bastidor en resistencia



Nota. En esta figura se observa el valor del factor de seguridad del bastidor.

Análisis de la rigidez en aceleración

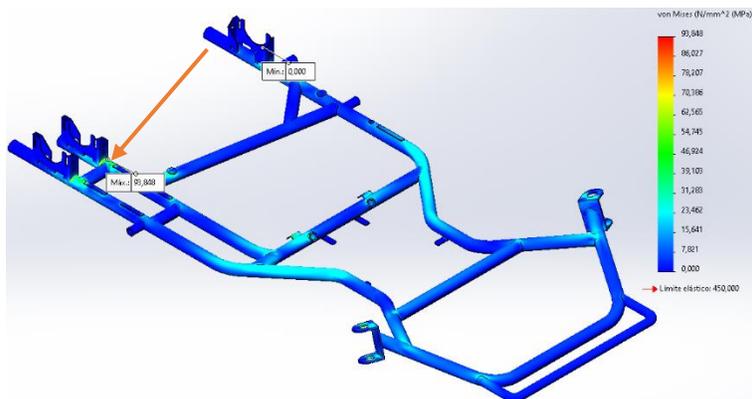
Para esta simulación se ha incorporado puntos de apoyo con el fin de poder especificar de forma precisa las cargas vivas y muertas que estarán presentes y de esta manera obtener valores más precisos a las condiciones reales por parte del software.

Esfuerzo efectivo de Von Mises

Las tensiones producidas a una carga de aceleración de 644 N, tenemos un valor máximo de 93.85 MPa en la zona del motor y el eje trasero. Mientras que el límite elástico de material es de 250 MPa.

Figura 25

Tensión total del bastidor en aceleración



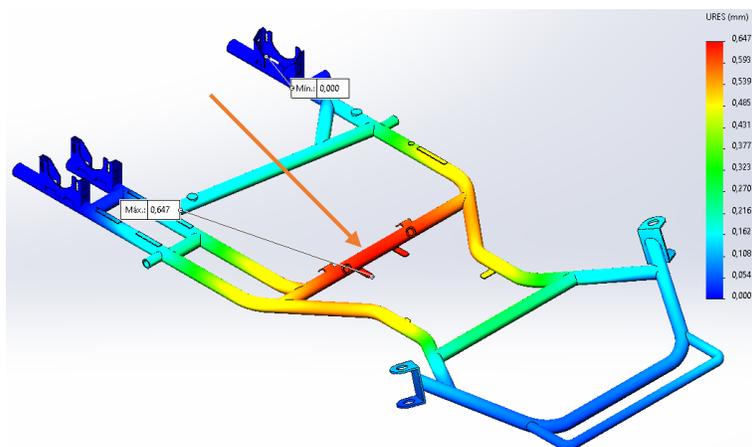
Nota. En esta figura se observa la tensión aplicada en la aceleración.

Desplazamiento

El desplazamiento máximo en aceleración es de 0.647 mm el cual se concentra en la barra de apoyo del asiento. Esto es un valor imperceptible validando la rigidez del bastidor del kart.

Figura 26

Desplazamiento total del bastidor en aceleración



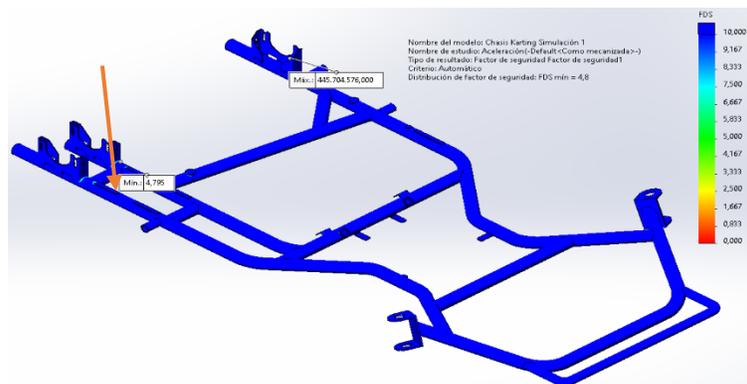
Nota. En esta figura se observa el desplazamiento del bastidor en aceleración.

Factor de seguridad

El factor de seguridad en aceleración tiene un valor de 4.8 en zonas críticas supera el valor mínimo establecido para aceros de 1.5, dando la certeza de un funcionamiento óptimo.

Figura 27

Factor de seguridad del bastidor en aceleración



Nota. En esta figura se observa el factor de seguridad al desplazamiento del bastidor en aceleración.

Análisis de la rigidez en desaceleración

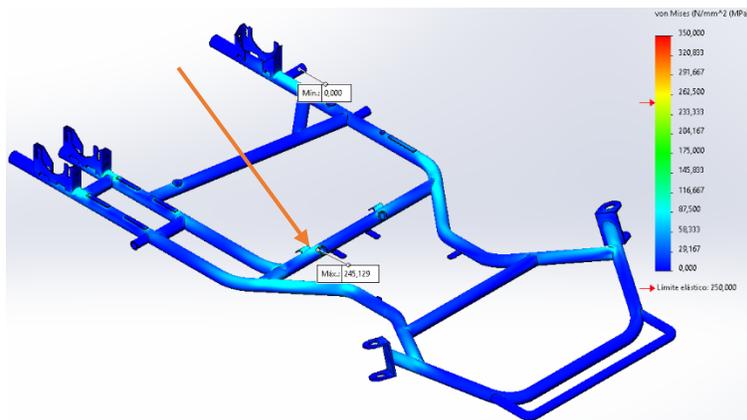
En este análisis se considera la misma carga de aceleración, pero en sentido opuesto.

Esfuerzo efectivo de Von Mises

La tensión producida en desaceleración es de 245.13 MPa sobre todo en los puntos de apoyo del asiento, mientras que el límite elástico es de 250 MPa.

Figura 28

Tensión total del bastidor en desaceleración



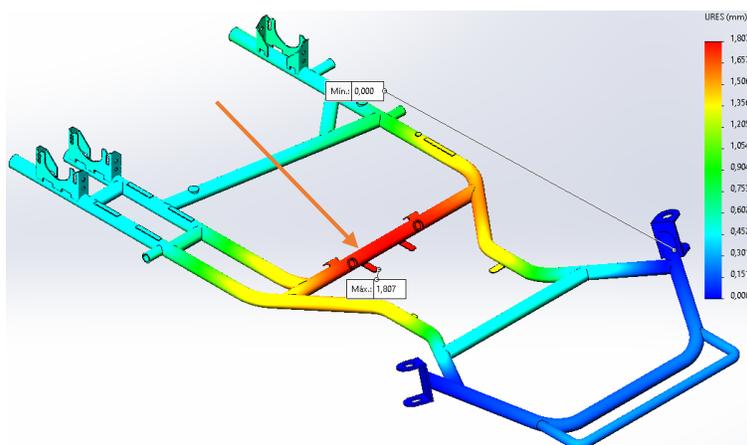
Nota. En esta figura se observa la tensión aplicada en la desaceleración.

Deformación

La deformación es mayor comparado a la simulación de aceleración, así mismo en el tubo donde se apoya el asiento obteniendo un valor máximo de 1.807 mm.

Figura 29

Desplazamiento total del bastidor en desaceleración



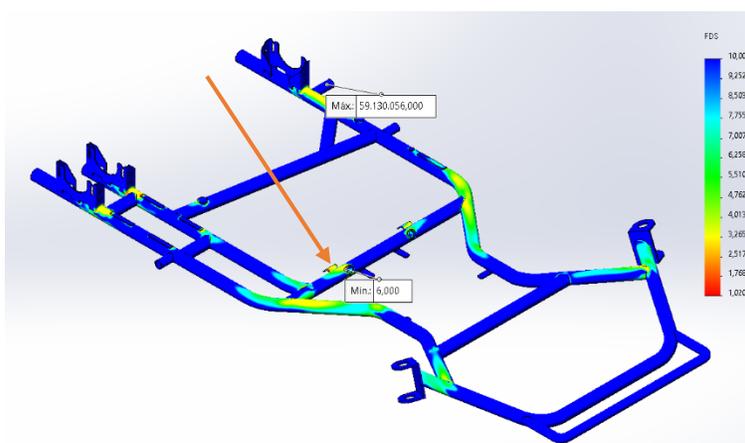
Nota. En esta figura se observa el desplazamiento del bastidor en desaceleración.

Factor de seguridad

Al contrario de la simulación de aceleración tenemos un aumento en el factor de seguridad llegando a 6 en la base del asiento del conductor, valor que supera el mínimo establecido para aceros de 1.5

Figura 30

Factor de seguridad del bastidor en desaceleración



Nota. En esta figura se observa el factor de seguridad al desplazamiento del bastidor en desaceleración.

Por lo tanto, las cargas que se generan en la estructura tienen un comportamiento aceptable para el diseño que se ha replicado del bastidor original del kart.

Tabla 12

Valores de la simulación de rigidez, aceleración y desaceleración

		Mínimo	Máximo
Resistencia	Tensión	0 MPa	10.93 MPa
	Desplazamiento	0 mm	0,037 mm
	Factor de Seguridad	22	
Aceleración	Tensión	0 MPa	93.85 MPa
	Desplazamiento	0 mm	0.65 mm

		Mínimo	Máximo
	Factor de Seguridad	4.7	
	Tensión	25.5	245.13 MPa
Desaceleración	Desplazamiento	0 mm	1.807 mm
	Factor de Seguridad	6	

Nota. En la tabla se recopiló todos los valores de las diferentes simulaciones efectuadas. En diferentes casos como Resistencia, aceleración y desaceleración.

Adaptación del prototipo

Para la instalación de los componentes eléctricos y electrónicos se realizó soportes en la estructura tubular del kart.

Motor Eléctrico

El kart de fabrica viene equipado con un soporte para el motor de combustión interna y considerando que el motor eléctrico tiene puntos de anclaje los cuales facilitó la instalación en soporte original.

Figura 31

Instalación del motor eléctrico al soporte del motor del kart



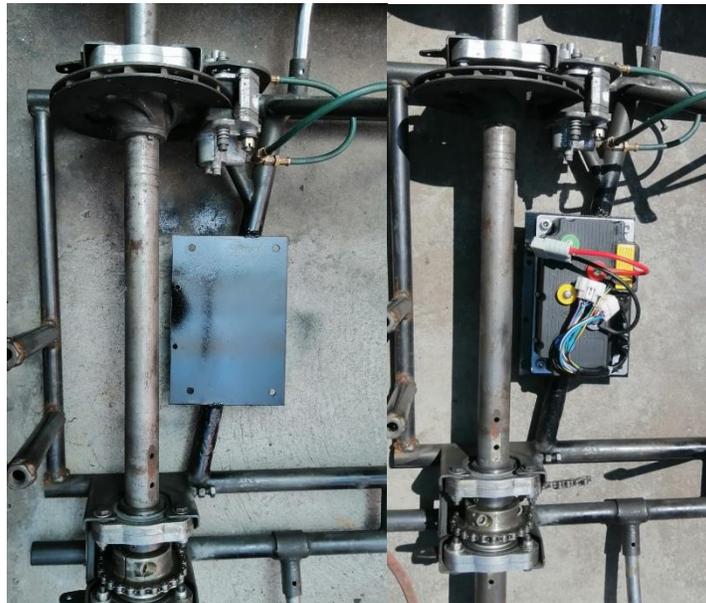
Nota. Se realizaron los puntos de anclaje en el soporte para la instalación del motor procurando la correcta alineación de la cadena.

Controlador Electrónico

Es el encargado de dar las señales al motor y recibir el voltaje de la batería, es necesario que su ubicación este en medio de los dos componentes, de esta manera se lo ubicó en la parte trasera del kart.

Figura 32

Instalación del controlador en el kart



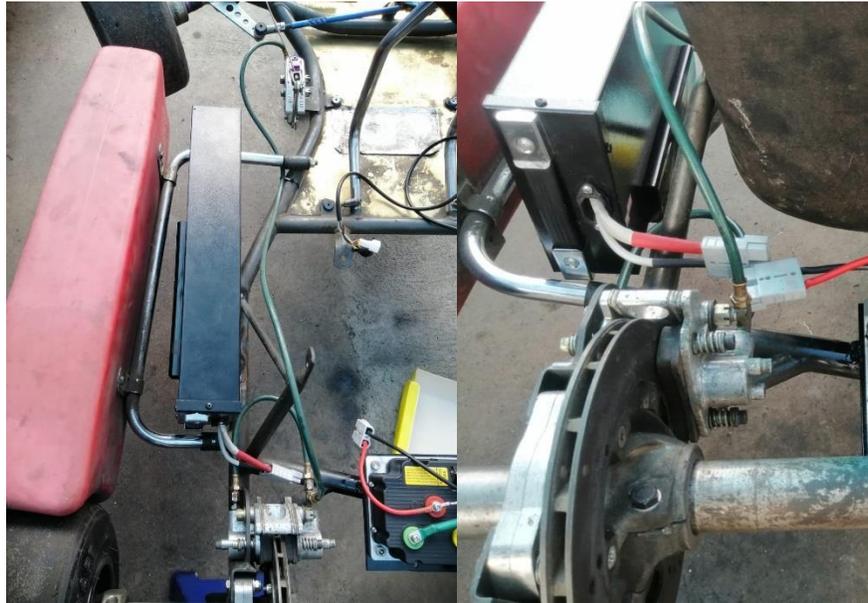
Nota. La colocación del controlador en la parte trasera permitió tener las conexiones de los conductores de una manera organizada logrando de manera óptima que se transmitan las señales hacia los componente eléctricos y electrónicos.

Batería de alta tensión

En la instalación de la batería de alta tensión se determinó una ubicación que permite un mejor equilibrio de masas en el kart, se obtuvo mayor accesibilidad en caso requiera mantenimiento y de fácil desconexión para su respectivo ciclo de carga.

Figura 33

Instalación de la batería de Ion Litio en el kart



Nota. Se realizó la instalación de la batería verificando que su tamaño no interfiera con otros elementos del kart y que su peso beneficie para la distribución de masas.

Acelerador

Es un sensor TPC ya especificado por el fabricante del controlador, por su geometría se ubicó cerca al motor, el cual es accionado por un cable de acero, conectado directamente al pedal del acelerador del kart.

Figura 34

Instalación del acelerador en el kart



Nota. El acelerador se instaló junto al motor para tener una tensión en el cable del acelerador que está conectado al pedal del kart.

Selector de velocidad

El kart al contar con un motor eléctrico con caja de velocidades, su activación es manual por medio de una palanca y es secuencial porque para subir o bajar de marcha hay que pasar siempre por las intermedias.

Figura 35

Instalación del selector de velocidad en el kart



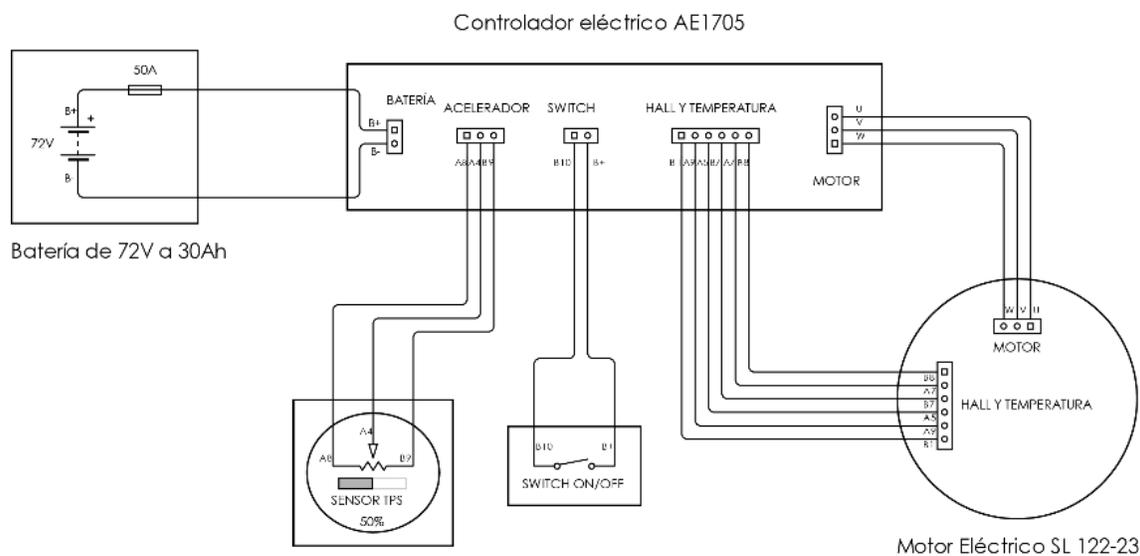
Nota. La palanca de cambios se ubicó al alcance de la mano derecha y tiene incorporado el accionador del embrague.

Diagrama de Conexiones

El kart como es un prototipo de competición se compone únicamente del sistema de alta tensión, partiendo desde el interruptor de encendido el cual en la posición ON energiza al controlador.

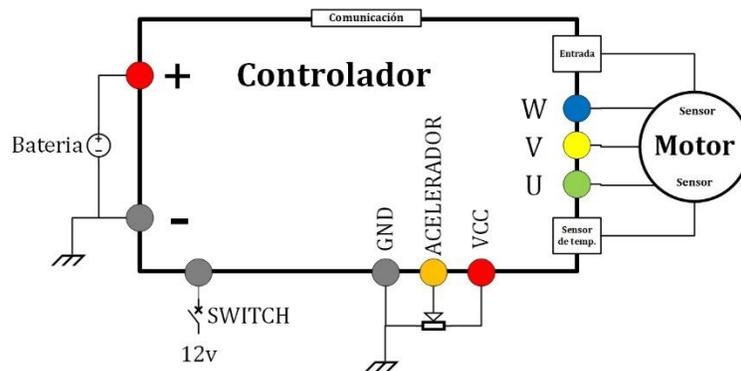
Figura 36

Plano de conexiones de la batería al controlador y al Motor



En el controlador se tiene conexiones y terminales hacia la batería, el motor y respectivos sensores, entonces al motor Brushless con conductores de calibre 10 AWG los 3 de color negro pero diferenciados por el color de sus puntas, estos estarán conectados en los terminales (U, V, W) del controlador y con conductores de calibre 20 AWG de color rojo, negro, amarillo, verde, azul a los sensores que miden temperatura y revoluciones del motor.

De la batería se tendrá componentes de protección como un disyuntor de 50A, un Fusible de 50 A y un conector Anderson SB50 Macho – Hembra todos unidos por conductores de calibre 10 AWG de color Rojo y Negro con el fin de estar conectado al controlador y energizar el sistema de alta tensión. Los calibres de los cables se escogieron en base a la carga eléctrica.

Figura 37*Esquemático del Controlador*

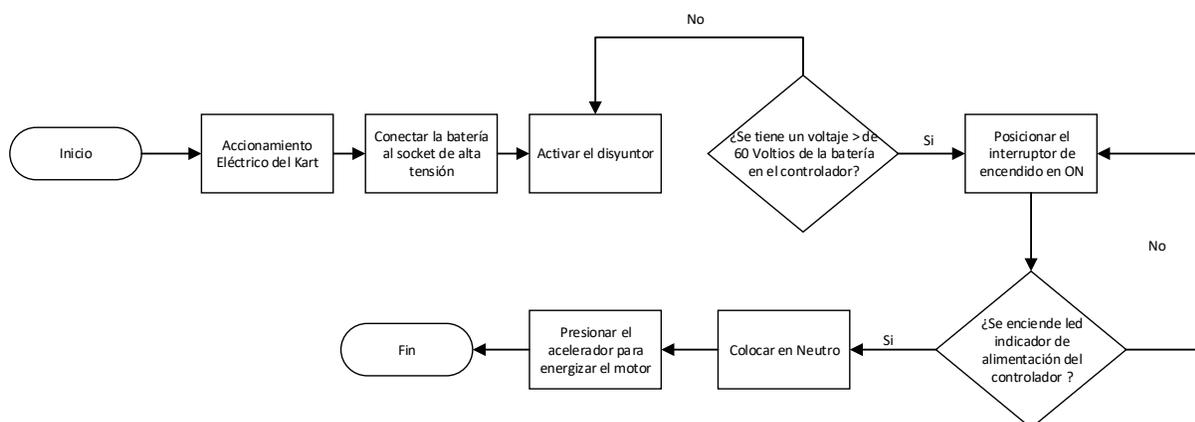
Nota. En la figura se muestra un esquema de conexiones principales que parten del controlador a los diversos dispositivos.

Accionamiento de la parte eléctrica

El sistema inicia desde la activación del disyuntor el cual permite el paso de voltaje de la batería al controlador, con el accionamiento del interruptor de encendido en la posición ON el controlador se energiza para que finalmente con el accionamiento del acelerador el motor empiece su giro.

Figura 38

Diagrama de accionamiento eléctrico del kart.



Nota. En la figura se representa la secuencia de accionamiento que tiene el kart eléctrico.

Funcionamiento del sistema de tracción eléctrica

El funcionamiento del Sistema de tracción eléctrica se tiene que la batería por medio del BMS, suministra los 72 V a 30 Ah y recepta 87.5 V para su respectivo ciclo de carga, un fusible y como medida de emergencia un disyuntor si existiere una anomalía en el sistema. Ahora por medio del interruptor de encendido al posicionarlo en ON energizará el controlador el cual al recibir la señal por parte del acelerador determinará el voltaje necesario para que empiece el funcionamiento del motor.

Valores de Activación

Voltajes

Tabla 13

Voltajes de activación del sistema eléctrico.

Elemento eléctrico	Voltaje (V)
Batería	84

Elemento eléctrico	Voltaje (V)
Controlador	84
Señal de sensores Hall	5
Señal de sensor TPS	0.8 – 4.5
Voltaje de sensor TPS	5

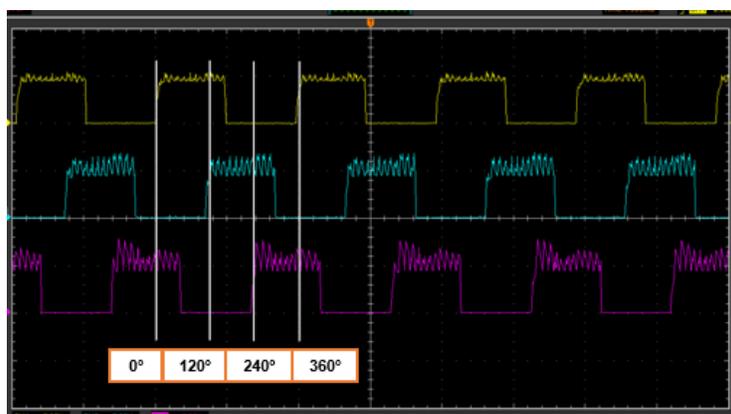
Nota. En la tabla se observa los voltajes de activación de los elementos eléctricos, estos datos se pueden corroborar mediante multímetro, además los sensores también grafican una señal de funcionamiento.

Sensores de efecto hall

Estos al pisar el acelerador, envían una señal cuadrada a cada una de las fases, aquí se identificó que cada sensor Hall envía un pulso cada 120° de giro del cigüeñal. El alto de la señal muestra un voltaje de 5V.

Figura 39

Gráfica de osciloscopio Sensores Hall



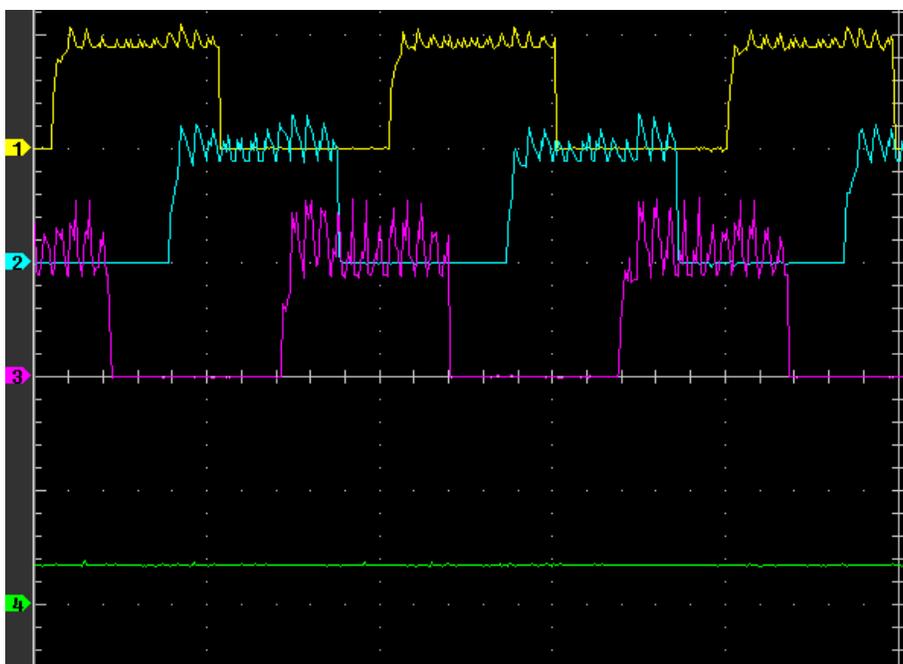
Nota. La señal amarilla es la fase W tomada de referencia su inicio de 0 °, la señal celeste es la fase U la cual inicia su pulso a 120 ° respecto a la fase W y la señal de color lila es la fase V que envía su pulso a 120 ° de fase W.

Sensor TPS

Este es el accionado por el pedal del acelerador que consiste en un potenciómetro, al momento de girar la llave en posición de ON y sin presionar el pedal, este sensor recibe en el cable rojo un voltaje de referencia de 4.18 V y un voltaje de señal 0.8 V. Al presionar el pedal el voltaje de referencia envía señales de entre 0.8 V y 4.18 V.

Figura 40

Gráfica de sensor TPS



Nota. Se muestra en la imagen la gráfica de color verde del sensor TPS, cada división equivale a 5 V, en este caso se observó un voltaje de aproximadamente 1.9 V.

Capítulo IV

Análisis del performance del kart eléctrico

Pruebas

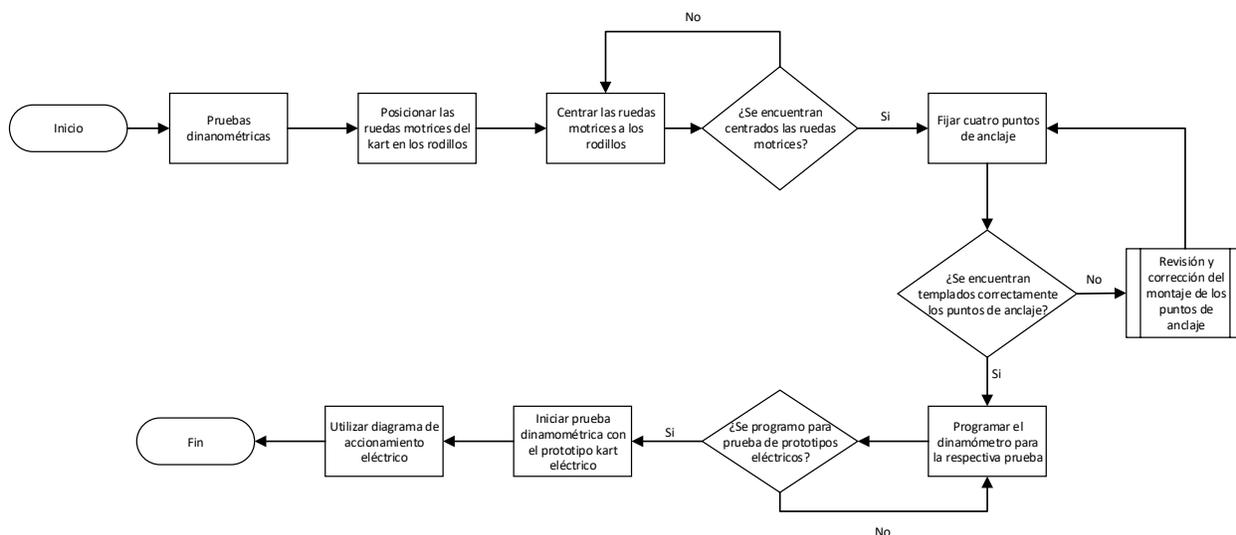
Las pruebas se llevan a cabo al prototipo kart con el motor eléctrico con la finalidad de evidenciar el funcionamiento y rendimiento.

Pruebas dinamométricas kart eléctrico

El dinamómetro de rodillos ayuda a obtener datos de potencia y torque que desarrolla el motor eléctrico.

Figura 41

Diagrama de Procedimiento de pruebas en dinamómetro



Nota. En la figura se representa la secuencia para el desarrollo de la prueba dinamométrica en el kart eléctrico, el dinamómetro va programado para pruebas con prototipos eléctricos.

Se posicionó las ruedas motrices del kart en los rodillos, además de utilizó en este caso 4 puntos de sujeción del dinamómetro.

Figura 42*Posicionamiento del Kart en el dinamómetro*

Nota. En la figura se observa el posicionamiento del kart y la sujeción de este sobre los rodillos del banco dinamométrico.

Los dinamómetros de rodillo cuentan con turbinas para enfriar los motores de combustión interna, pero en el caso del prototipo eléctrico, no fueron necesarios. El dinamómetro se programó para pruebas de prototipos eléctricos, es decir, su medición comienza a partir de que alcanza una velocidad de $30 \frac{km}{h}$ hasta alcanzar su velocidad máxima.

La prueba se realizó con los cambios de velocidad que cuenta la caja reductora incorporada al motor eléctrico.

Figura 43

Inicio de las pruebas en el dinamómetro



Nota. Se empieza la prueba en la primera marcha, haciendo el cambio de velocidades cuando alcanza el máximo de rpm.

Resultados de la prueba dinamométrica del kart eléctrico

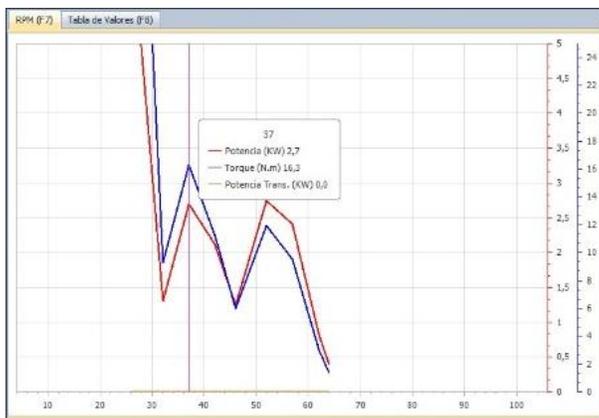
Se realizó 2 pruebas en el dinamómetro para obtener resultados de potencia y torque máximos a la rueda.

Al realizar la primera prueba en el dinamómetro, fue de experimentación para verificar que el kart funcione adecuadamente en el medidor.

En el segundo pase por el rodillo, en los primeros $30 \frac{km}{h}$ no se obtuvo datos reales, pero al alcanzar velocidades superiores a los $30 \frac{km}{h}$ y estando ya en la tercera marcha se observó una potencia máxima de 2.7 kW y el torque máximo de 16.3 Nm.

Figura 44

Gráficas Dinamométricas del Kart eléctrico en su tercera marcha.

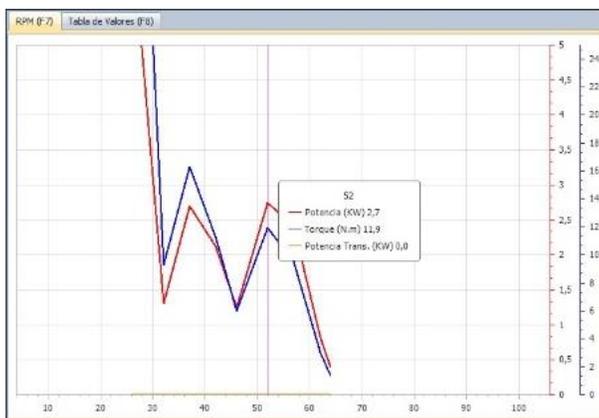


Nota. En la figura se observa los valores de potencia y torque arrojados en la prueba de la tercera marcha.

Al continuar en la segunda prueba, al cambiar a la cuarta marcha se obtuvo la misma potencia máxima de 2.7 kW y un torque máximo de 11.9 Nm.

Figura 45

Gráficas Dinamométricas del Kart eléctrico en su cuarta marcha



Nota. En la figura se observa los valores de potencia y torque arrojados en la prueba de la cuarta marcha.

Tabla 14*Potencia y Torque, Pruebas del Kart eléctrico*

Resultados de la prueba en el dinamómetro		
Velocidad ($\frac{km}{h}$)	Potencia Motor (kW)	Torque (Nm)
32	1.3	9.3
37	2.7	16.3
42	2.1	11.3
46	1.2	6.0
52	2.7	11.9
57	2.4	9.5
62	0.8	3.0
64	0.4	1.4

Nota. En la tabla se observa los resultados obtenidos de potencia y torque en la segunda prueba sobre el dinamómetro.

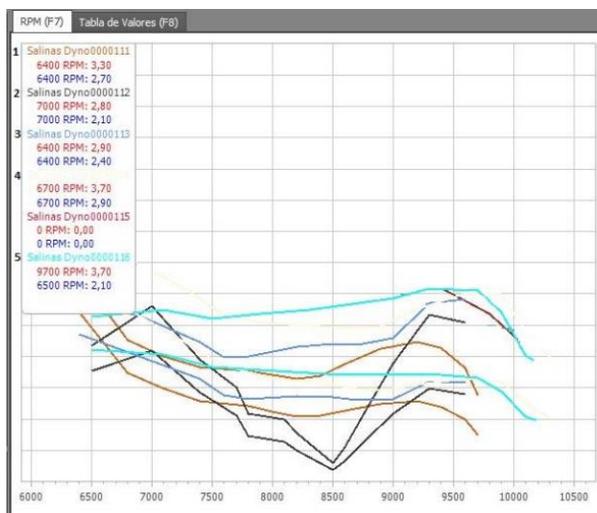
Resultados de la prueba dinamométrica del kart de 100 c.c.

El kart con motor de combustión interna de 100 c.c. Se le realizó la prueba en el dinamómetro de lo que se obtuvo los siguientes valores de potencia y torque máximo.

En la prueba se observó una potencia máxima alcanzada de 3.7 HP (2.76 kW) y el torque máximo de 2.90 lb.ft (3.93 Nm) a 6400 rpm.

Figura 46

Resultados de torque y potencia del kart de 100 c.c.



Nota. En esta figura se observa los valores de potencia y torque arrojados por el motor de combustión interna de 100 c.c.

Tabla 15

Potencia y Torque, Pruebas del kart de 100 c.c.

Resultados de la prueba en el dinamómetro		
Prueba	Potencia	Torque
1	3.3 HP	de 1.33 lb.ft
2	3.7 HP (2.76 kW)	de 2.90 lb.ft (3.93 Nm)
3	3.7 HP	2.63 lb.ft

Nota. En esta tabla se observa los valores obtenidos de potencia y torque del motor de combustión, se tomó los valores de la segunda prueba, debido a que son los mejores resultados obtenidos del kart.

Pruebas en pista

Todas las pruebas en pista se realizaron en el kartódromo de Cotopaxi, la pista configurada para las pruebas cuenta con una extensión de 1600m.

Figura 47

Ruta de pista, kartódromo de Cotopaxi



Nota. En la pista del Kartódromo Cotopaxi se llevan a cabo competencias a nivel internacional de Karting.

Tabla 16

Especificaciones de las pruebas de pista

Características del Escenario de pruebas de pista	
Ubicación	Pista del Kartódromo Cotopaxi
Localización	Panamericana Norte km 7, Latacunga
Longitud	1600 m
Curvas	17

Nota. En la tabla se describe como parámetros principales la longitud de la pista y el número de curvas

Prueba de Velocidad Máxima

Esta prueba registra la velocidad máxima alcanzada por el Kart en un número determinado de vueltas.

Figura 48*Preparación para las Pruebas de Pista*

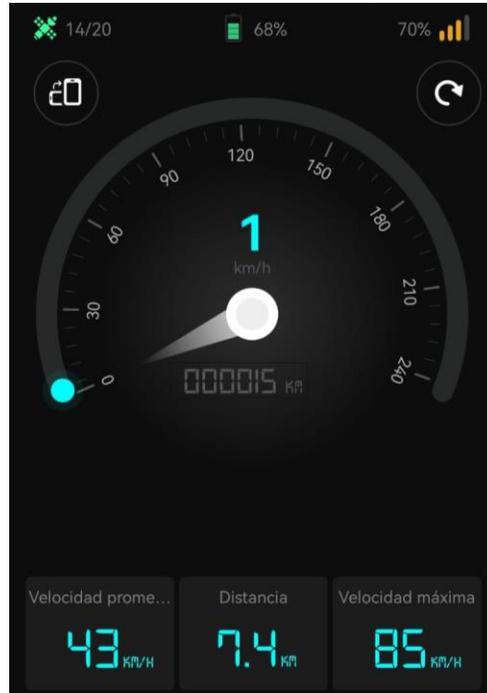
Nota. En la figura se observa al piloto usando los elementos de seguridad previos a hacer el reconocimiento de pista.

Resultados de la prueba de velocidad máxima en kart eléctrico

Se realizó 4 vueltas en la pista con la finalidad de calentar neumáticos y lograr una mayor adherencia en la pista, de esta manera se pudo exigir más al kart y conseguir una mayor velocidad máxima.

Figura 49

Resultado de la prueba de velocidad máxima



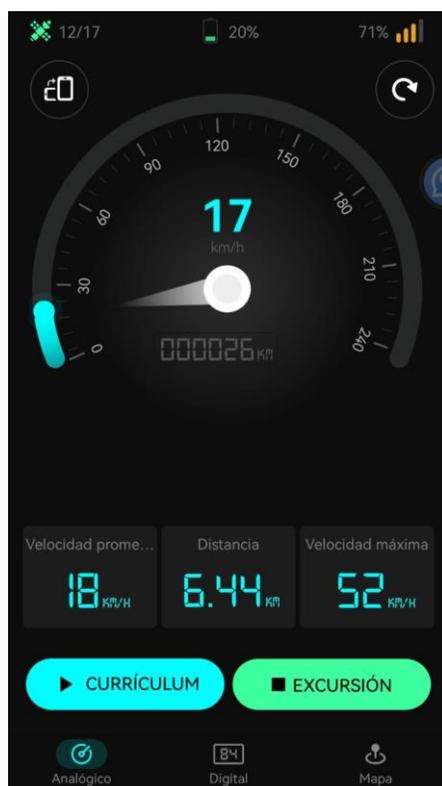
Nota. En la figura se observan los resultados de la velocidad máxima del kart eléctrico en la pista del Kartódromo Cotopaxi.

Una distancia recorrida total de 7.4 km cerca de cumplir las 5 vueltas en la pista, se obtuvo como velocidad máxima de $85 \frac{km}{h}$ y velocidades promedio de $43 \frac{km}{h}$.

Resultados de la prueba de velocidad máxima en kart de 100 c.c.

Basados en la prueba de velocidad del kart eléctrico se realizó el mismo procedimiento para el kart de 100 c.c. En un recorrido de 6.44 km equivalente a 4 vueltas en la pista se obtuvo una velocidad máxima de $52 \frac{km}{h}$ y una velocidad promedio de $18 \frac{km}{h}$.

Figura 50
Resultado de la prueba de velocidad máxima kart 100 c.c.



Nota. En la figura se observan los resultados de la velocidad máxima del kart de combustión en la pista del Kartódromo Cotopaxi.

Pruebas de aceleración

Para desarrollar esta prueba necesitamos dos datos que son la velocidad final y la distancia recorrida, utilizando una aplicación de celular que brinda estos datos se inició una carrera del reposo, llevando a tope el acelerador hasta alcanzar la máxima velocidad del Kart Eléctrico que es de $85 \frac{km}{h}$.

Figura 51

Resultado de la prueba de Aceleración del kart eléctrico



Nota. Se puede ver la velocidad máxima del kart que se logró en una distancia recorrida de 0.42 Km. con estos datos se encontró la aceleración del Kart.

Tabla 17

Resultados de la prueba de aceleración

Resultados de la prueba de aceleración				
Velocidad inicial	Velocidad final	Distancia inicial	Distancia final	Aceleración
$0 \frac{km}{h}$	$80 \frac{km}{h} (22.22 \frac{m}{s})$	0 m	0.42 Km (420 m)	$(0.58 \frac{m}{s})$
$0 \frac{km}{h}$	$81 \frac{km}{h} (22.50 \frac{m}{s})$	0 m	0.42 Km (420 m)	$(0.60 \frac{m}{s})$
$0 \frac{km}{h}$	$85 \frac{km}{h} (23.61 \frac{m}{s})$	0 m	0.42 Km (420 m)	$(0.66 \frac{m}{s})$

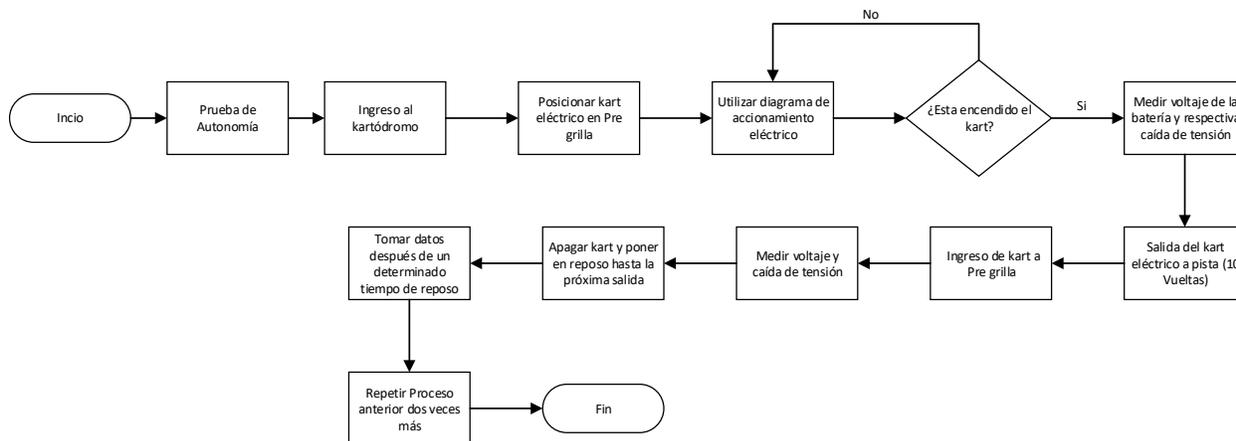
Nota. En esta tabla se observa los valores de velocidad, distancia y aceleración del kart eléctrico, su mejor velocidad es de $23.61 \frac{m}{s}$ en una distancia de 420 m, teniendo como resultado una aceleración Máxima de $0.66 \frac{m}{s}$.

Pruebas de Autonomía

Utilizando la misma ruta de la prueba de velocidad se desarrolló la prueba de autonomía de la batería del kart simulando 3 mangas en la pista, cada manga tuvo un total de 10 vueltas.

Figura 52

Diagrama de pruebas de Autonomía



Nota. Tenemos la secuencia para la prueba de autonomía llevada a cabo en el kart eléctrico, verificando el descaste de la batería en cada manga.

Con la utilización del multímetro se midieron los siguientes parámetros: voltaje de la batería y caída de tensión las cuales se obtuvieron antes y después de cada manga.

Resultados de la prueba de autonomía

Tabla 18

Resultados de la prueba de autonomía

Resultados de la prueba de autonomía			
Mangas	Voltaje	Caída de tensión	% Batería
Manga 1	83,28	82,35	100
	75,03	74,55	64,6
Manga 2	77,32	76,25	74,4
	70,6	69,8	45,5
Final	72,25	71,76	52,6
	61,38	60,24	5,9

Nota. En esta tabla se observa los valores de voltaje inicial y final de descarga de la batería al haber transcurrido cada manga de la carrera.

Análisis de resultados

Recopilación de datos

Tabla 19

Resultados de las pruebas

Resultados de las pruebas		
Pruebas	Kart Eléctrico	Kart 100 c.c.
Potencia(W)	2.7	2.76
Torque (Nm)	11.9	3.93
Velocidad máxima ($\frac{Km}{h}$)	85	52
Autonomía (km)	48	-
Distancia de carrera (km)	16 km	16 km

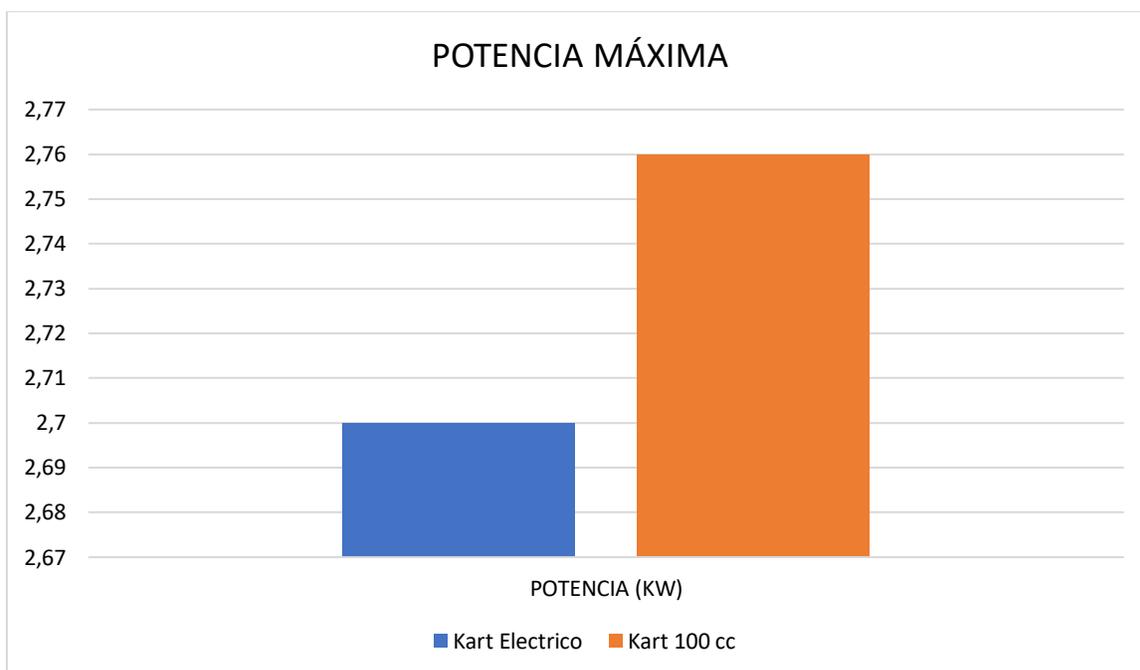
Nota. En esta tabla se observa la recopilación de los datos de las pruebas, se considera que en el caso de la autonomía del kart 100 c.c. es un factor variable que no se tomó en consideración.

Resultados de potencia máxima

En estos resultados de potencia tenemos la comparación del kart eléctrico con su semejante Kart de 100 c.c. El kart eléctrico obtuvo una potencia máxima de 2,7 kW mientras que el kart de 100 c.c. obtuvo 2,76 kW, teniendo una diferencia del 2,22 %.

Figura 53

Comparación de Potencia Máxima



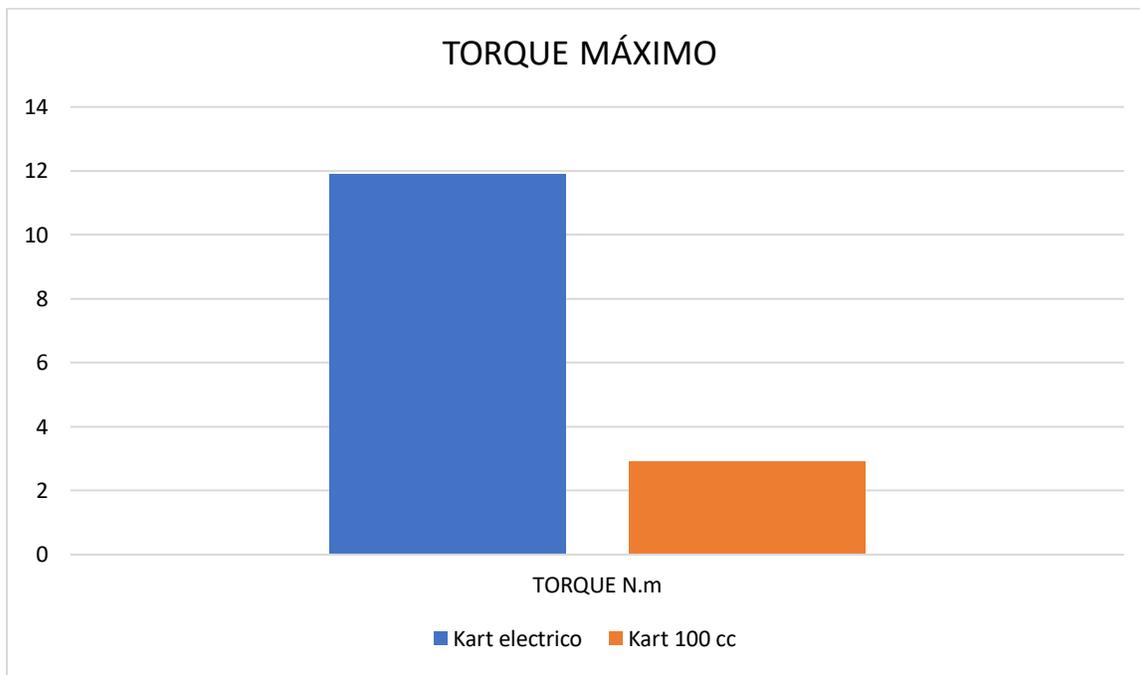
Nota. En la figura se observa la comparación de los resultados de potencia máxima alcanzada con el kart eléctrico y kart 100 c.c., podemos identificar que ambos motores son muy similares en potencia a las ruedas.

Resultados de torque máximo

El kart eléctrico desarrolló un toque máximo en su relación 1,04:1 de 11,9 Nm, mientras que el kart de 100 c.c., un torque máximo de 3,93 Nm lo que corresponde a una diferencia del 33,02 %.

Figura 54

Comparación de Torque Máximo



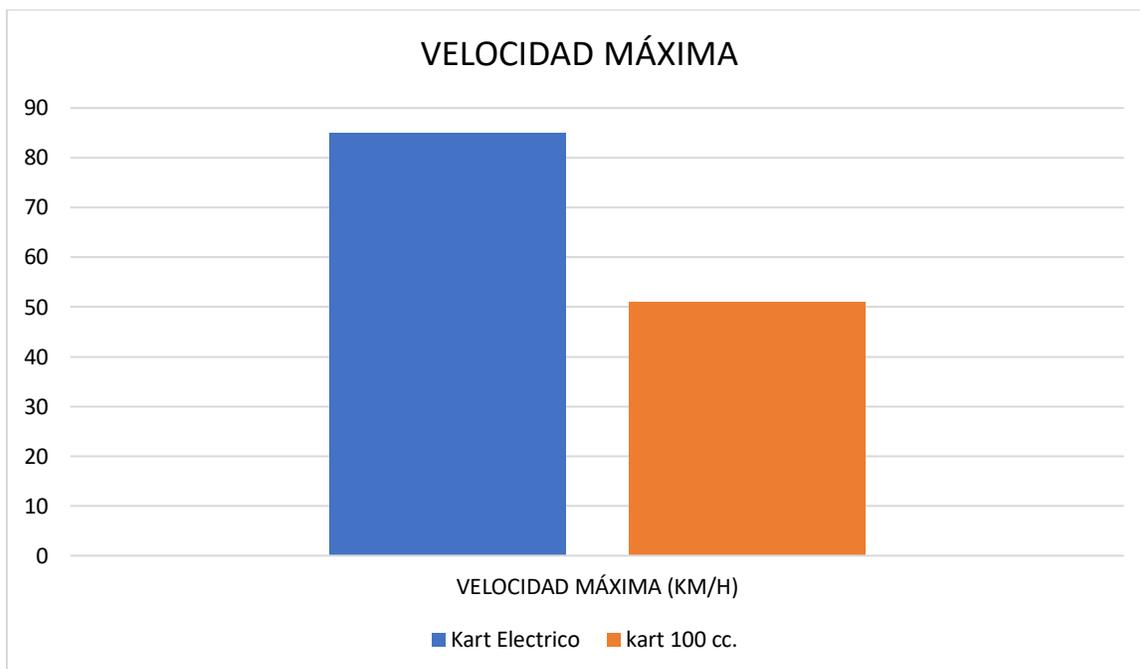
Nota. En la figura se observa la comparación del torque máximo alcanzado en el kart eléctrico y kart de 100 c.c., en donde es muy evidente la superioridad de torque del motor eléctrico, dando esto una ventaja ante el motor de combustión, esto ayudará a que el kart eléctrico no pierda velocidad al trepar una pendiente.

Resultados de velocidad máxima

Para este caso el kart eléctrico logro una velocidad máxima de $85 \frac{km}{h}$ y el kart de 100 c.c. logro una velocidad máxima de $52 \frac{km}{h}$, por lo tanto, representa una diferencia de $34 \frac{km}{h}$.

Figura 55

Compartición de Velocidad Máxima



Nota. En la figura se observa la comparación de la velocidad máxima alcanzada tanto en el kart eléctrico como en el kart de 100 c.c., la velocidad del kart eléctrico es muy superior a la del kart de combustión.

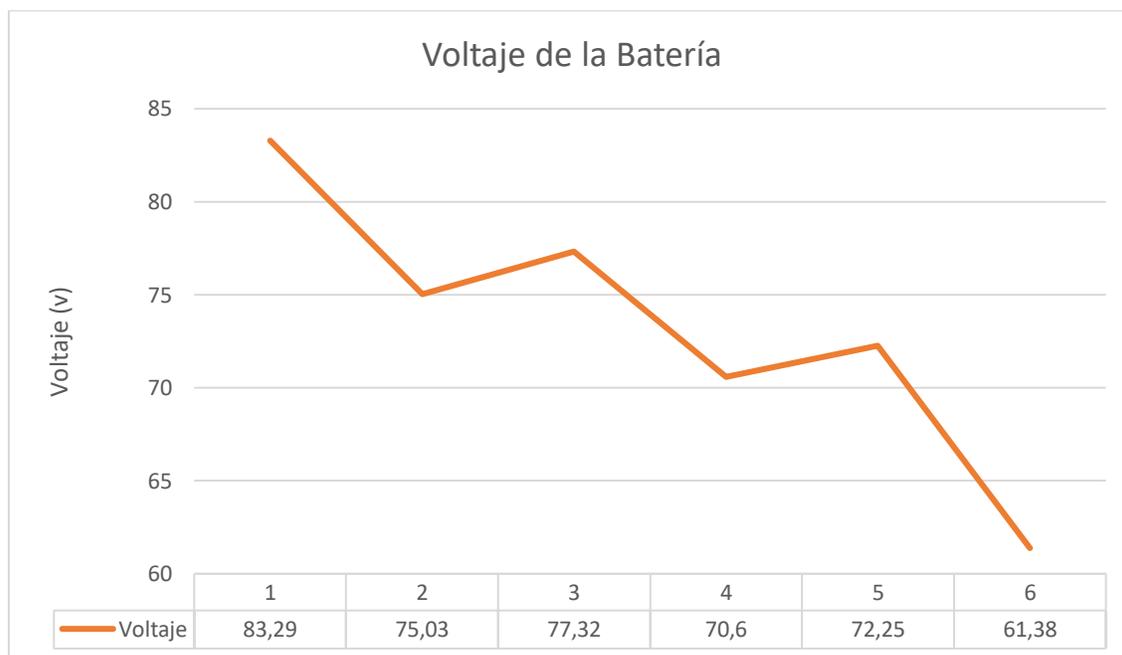
Resultados de Autonomía

Voltaje

El kart eléctrico en la primera manga comenzó con un voltaje inicial de 83,29 V y finalizó con un voltaje de 75,03 V esto representa una disminución de 8,26 V, en la segunda manga comenzó con un voltaje inicial de 77,32 V y finalizó con un voltaje de 70,6 V esto representa una disminución de 6,72 V, finalmente en la última manga se comenzó con un voltaje inicial de 72,25 V y finalizó con un voltaje de 61,38 V esto representa una disminución de 10,87 V.

Figura 56

Consumo de voltaje de la batería



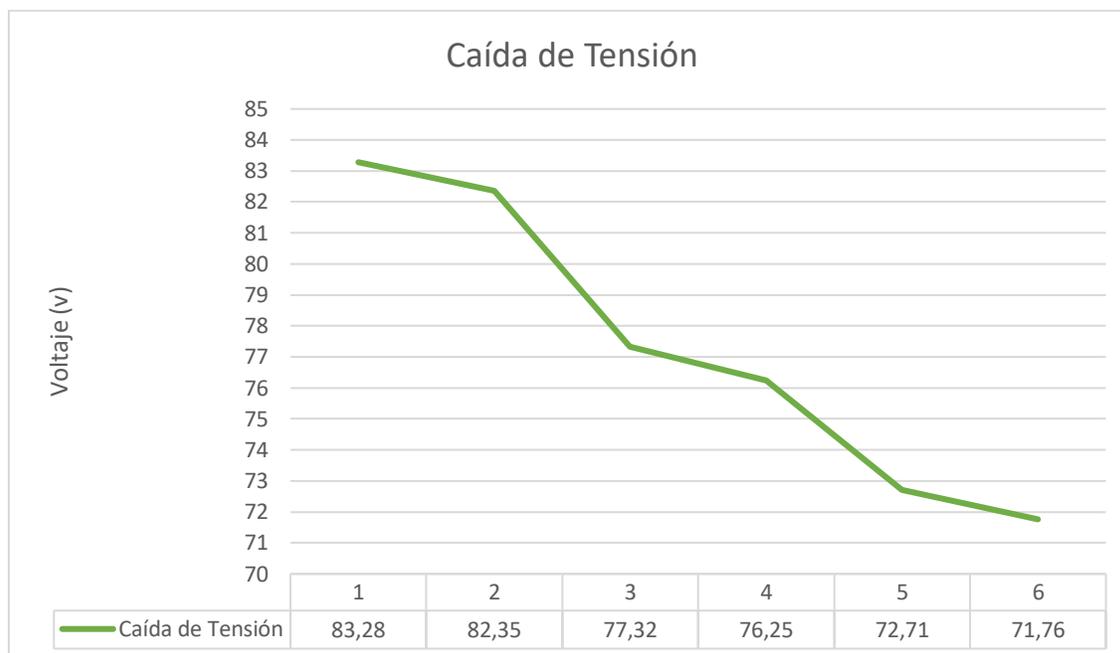
Nota. En la figura se observa el consumo de voltaje del kart eléctrico en cada manga de prueba

Caída de Tensión

La caída de tensión es una medición cuando se activa el motor eléctrico antes de salir de la pista, en la primera manga se obtuvo una caída de 0,93 V, en la segunda manga se obtuvo una caída de 1,07 V y finalmente en la tercera manga se obtuvo una caída 0,95 V, por lo tanto, esto representa a una caída de tensión promedio de 0,983 V.

Figura 57

Caída de tensión de la batería



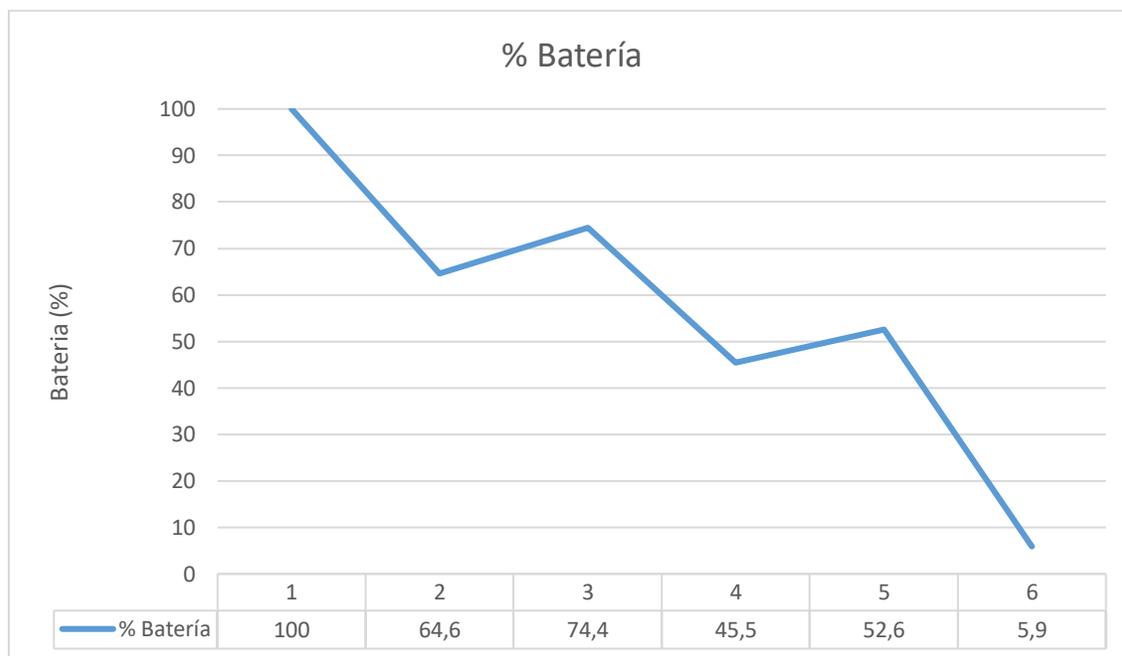
Nota. En la figura se observa la caída de tensión del kart eléctrico en cada inicio de manga de prueba.

Porcentaje de la Batería

En este apartado se consideró que el máximo voltaje de la batería es de 83,28 V y su mínimo voltaje es de 60,0 V esto es debido a la protección del BMS, entonces en la primera manga la batería estuvo al 100% de su carga y al finalizar se descargó un 35,4 % para la segunda manga la batería estuvo al 74,4 % de su carga y al finalizar se descargó un 28,9 % y en la última manga la batería estuvo al 52,6 % y al finalizar se descargó un 46,7 %.

Figura 58

Porcentaje de la Batería



Nota. En la figura se observa el porcentaje de la batería del kart eléctrico en cada manga de prueba.

Capítulo V

Marco Administrativo

Recursos

La investigación “ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN PROTOTIPO DE KART ELÉCTRICO CON BATERÍAS DE ION LITIO, MEDIANTE LA COMPARACIÓN CON SU SIMILAR DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN CATEGORÍA MONOPLAZA DE 100 c.c.” utilizo los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

Recursos humanos

En la tabla se indican los recursos humanos que formaron parte en la ejecución del trabajo de investigación.

Tabla 20

Recursos humanos

Orden	Detalle	Cantidad	Función
1	Sr. Edison Marcelo Rueda Ramírez	1	Investigador
2	Sr. Daniel Stalin Guamán Álava	1	Investigador
3	Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo	1	Investigador
			Director del trabajo de titulación
			Especialista en sistema BEV

Nota. La tabla muestra los recursos humanos que formaron parte del trabajo de investigación.

Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos que fueron necesarios para la investigación se detallan en la tabla en la que se indica el detalle, cantidad y costo.

Tabla 21*Recursos tecnológicos*

Orden	Detalle	Cantidad	Costo
1	Dinamómetro de Rodillo	1	\$ 45.00
2	Osciloscopio Hantek	1	\$ 0.00
3	Amperímetro Fluke	1	\$ 0.00
4	Multímetro Fluke	1	\$ 0.00
5	Computadoras	2	\$ 0.00
6	Instalación de Software de simulación CAD	2	30
7	Instalación de Software de simulación de circuitos	2	10
TOTAL			\$ 85.00

Nota. Se reflejan los recursos tecnológicos que formaron parte del proyecto de investigación.

Recursos materiales

Los recursos materiales que intervinieron en el trabajo de investigación se detallan en la tabla.

Tabla 22*Recursos materiales*

Orden	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Kart	1	\$ 1250.00	\$ 1250.00
2	Motor Eléctrico de 3000W SL 122-23	1	\$ 665.58	\$ 665.58
3	Controlador AE1705	1	\$ 169.99	\$ 169.99
4	Batería de litio de 72V a 30 Ah	1	\$ 1221,23	\$ 1221,23
5	BMS RS485	1	\$ 51.00	\$ 51.00
6	Cargador BtrPower 72V 5A	1	\$ 84,48	\$ 84,48
7	Fusible ANL de 50A	1	\$ 15.00	\$ 15.00
8	Interruptor Termomagnético	1	\$ 7.50	\$ 7.50
9	Paro de Emergencia	1	\$ 7.00	\$ 7.00
10	Voltímetro de 100V	1	\$ 8.00	\$ 8.00
11	Cables Anderson	3	\$ 12.00	\$ 36.00
12	Adaptación del kit eléctrico al prototipo kart	1	\$150.00	\$ 150.00

Orden	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total
13	Terminales Eléctricos	1	\$ 1.00	\$ 1.00
14	Cableado de la batería	1	\$ 6.00	\$ 6.00
15	Pintura del kart	5	\$ 15.00	\$ 75.00
16	Adhesivos	4	\$ 7.00	\$ 28.00
TOTAL				\$ 3775.78

Nota. En la tabla se refleja los detalles, cantidad y costo de los recursos materiales que fueron utilizados en el trabajo de investigación.

Presupuesto

Costo neto del proyecto

El costo neto del proyecto: "ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN PROTOTIPO DE KART ELÉCTRICO CON BATERÍAS DE ION LITIO, MEDIANTE LA COMPARACIÓN CON SU SIMILAR DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN CATEGORÍA MONOPLAZA DE 100 c.c.", se detallan a continuación.

Tabla 23

Costo neto del proyecto

Orden	Detalle	Costo
1	Recursos tecnológicos	\$ 85.00
2	Recursos materiales	\$ 3775.78
TOTAL		\$3860.78

Nota. La tabla muestra el costo total del proyecto de investigación, siendo este costo la suma de los recursos tecnológicos, materiales y el costo de calibración de equipos.

Conclusiones

- Con la fundamentación teórica mediante fuentes bibliográficas referentes a prototipos de propulsión eléctrica se caracterizó el conjunto de elementos eléctricos para la aplicación al bastidor, dando buenos resultados que además está dentro de reglamentos nacionales.
- El motor eléctrico entrega una potencia a las ruedas de 2.7 kW, demuestra que cumple con la eficiencia de 90% acorde a su ficha técnica, además de demostrar que existe un mínimo no considerable de pérdida de potencia por transmisión mecánica.
- La utilización de una batería de ion litio de 72 V y 30 Ah superó la necesidad del sistema de propulsión del kart de $70 \frac{km}{h}$ y autonomía suficiente para la carrera, además el material del que está creado ayuda a los aspectos de carga profunda, tensión, capacidad de carga y capacidad de descarga.
- Se seleccionó un cargador de batería a través de convertidores AC – DC que se conecta a la red eléctrica de 110 V y arroja un voltaje de 87.6 V y 5 Ah, al realizar las pruebas este cargador alimentó a la batería hasta su 100 % en un tiempo de 5 horas.
- Se comparó el prototipo de kart eléctrico con el kart de motor de combustión, la potencia del kart eléctrico es de 2.7 kW y un torque de 11.9 Nm por otro lado la potencia del motor de combustión es de 2.76 kW con torque de 3.93 Nm con estos valores semejantes en potencia, pero con gran diferencia en torque, el motor eléctrico es una buena alternativa para competir ante un motor de combustión.
- Se analizó el rendimiento y desempeño del kart eléctrico mediante pruebas dinamométricas se obtuvo una potencia de 2.7 kW, un torque de 11.9 Nm,

además se realizó pruebas en pista de velocidad máxima en donde se alcanzó $85 \frac{km}{h}$, en su desempeño eléctrico para una carrera iniciando con el valor de voltaje máximo de batería de 83.29 V y finalizando las tres mangas con un voltaje de 61.38 V, determinando que la pista tiene 1.6 km se obtuvo una autonomía de 48 km.

- Se dimensionó el prototipo de Kart eléctrico, mediante las pruebas dinámicas y en pista demostró tener mejores características para competencia en relación con uno de motor de combustión 100 c.c., muy similares en potencia sin embargo con una gran diferencia en el torque entregado a las ruedas, siendo esta la ventaja de salida en curvas, sin demorar en recuperar su velocidad.
- La implementación de los elementos de tracción eléctrica al bastidor de Kart de combustión, no excedieron los esfuerzos y factor de seguridad sobre la estructura, demostrado en las simulaciones mediante Software que estas cargas están dentro de lo permitido por el material del que está construido.
- El mínimo factor de seguridad obtenido en la simulación del bastidor es de 4.7, superando el valor mínimo para aceros de 1.5, demostrando que la estructura tiene la resistencia necesaria para las nuevas cargas aplicadas.

Recomendaciones

- Se recomienda utilizar un software CAD que ayude con el diseño y simulación de elementos finitos del bastidor del kart y sistema eléctrico, esto brinda una mayor confianza de la redistribución de peso aplicada al kart.
- Para selección de los componentes o formar un kit de transformación a kart eléctrico se sugiere identificar primero que capacidad de motor se necesita, y de acuerdo a la capacidad de motor, escoger los componen que cumplan con la demanda de energía del motor eléctrico, en algunos casos los mismos fabricantes recomiendan que controlador, TPS y batería utilizar.
- Investigar mejoras para la implementación de motores eléctricos a bastidores de kart que puedan conectarse directamente con los neumáticos para no perder eficiencia por motivos mecánicos o sistemas de tracción.
- El estudio de la variación de la relación de transmisión (Piñón – Catalina) permitirá conseguir mayores velocidades máximas en pista.
- Se incita para una mayor autonomía diseñar una batería con mejores características, esto servirá para una entrega de potencia continua más no para una mayor potencia, torque o velocidad del kart, y además una mayor autonomía amplia a que el kart pueda participar en otras categorías del deporte karting.
- Promover el diseño de estaciones de AC-DC que manejen mayores rangos de voltaje y amperaje para aumentar significativamente la potencia de carga, esto hará que el tiempo de carga disminuya, así aumentar la autonomía en carrera, aprovechando el tiempo entre magas para recargar la batería.
- Tras la prueba de autonomía, simulando una carrera de 3 mangas de 10 vueltas al circuito cada una, se identificó que la batería de 30 Ah y 72 V cumplió satisfactoriamente 48Km, esto se puede mejorar haciendo un estudio de tipos de baterías, materiales de las celdas o BMS que ayuden a mejorar la

capacidad de la Batería.

Bibliografía

- AEADE. (2019). Quito: AEADE. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2020/07/AEADE-ANUARIO-2019-OK_1.pdf
- AEADE. (2020). Quito: AEADE. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2021/06/ANUARIO-2020-AEADE-1.pdf>
- Amaris, J. M., Manrique, D. A., & Jaramillo, J. E. (2015). Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. *Fuentes, El reventón energético*, 23-24. Recuperado el 14 de Marzo de 2022
- Auto Magazine.ec.* (20 de Diciembre de 2021). Obtenido de <https://automagazine.ec/exitoso-cierre-de-la-temporada-de-karting-del-guayas/>
- Autos Primicias.* (11 de Octubre de 2021). Obtenido de https://www.primicias.ec/nota_comercial/autos/actualidad/en-ecuador-ya-se-corren-competencias-automovilisticas-de-vehiculos-electricos/#gsc.tab=0
- Barrera, Ó. (2017). *Vehículos eléctricos e híbridos*. Madrid: Paraninfo.
- Beer, F. (2009). *Mecánica de materiales*. Mexico: 5ta Edición.
- Bravo, D. (19 de Julio de 2018). *Las pruebas de buses eléctricos comenzarán la próxima semana*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/pruebas-buses-electricos-quito-transporte.html>
- Budynas, R. (2008). *Diseño de elementos de maquinas de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Chele, D. G. (2017). *Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna*. Arizona: UIDE. Recuperado el 14 de Marzo de 2022, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3615/3/document.pdf>

- CIK/FIA. (03 de Mayo de 2022). *FIA Karting*. Recuperado el 02 de Junio de 2022, de <https://www.fiakarting.com/page/homologation>
- Crespo, P. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de recuperación de energía cinética del freno en un "Go Kart"*. Azuay: Universidad del Azuay.
- DMK Racing. (04 de Diciembre de 2015). Recuperado el 12 de Marzo de 2022, de Cuales son las categorías de competición en el karting: <https://dmkracing.com/noticias/categorias-competicion-karting/>
- Driescher Y Wittjohann, S.A. (2010). *driwisa*. Obtenido de <https://driwisa.com/>
- FEDAK. (2018). *REGLAMENTO GENERAL DEPORTIVO DE KARTING*.
- García, A. (14 de Octubre de 2021). *El transporte público de Guayaquil entre la crisis y la transición eléctrica*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/transporte-guayaquil-crisis-buses-electricos.html>
- Gereda, R. (2017). *Cite energía*. Obtenido de Silicon Technology: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-interruptor-termomagnetico.pdf>
- González Fernández, C. (2015). *Fundamentos de mecánica*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Isla, L. (2019). *Análisis de Tecnología, Industria, y Mercado para vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe*. Madrid: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/An%C3%A1lisis_de_tecnolog%C3%ADa_industria_y_mercado_para_veh%C3%ADculos_el%C3%A9ctricos_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es_es.pdf
- Jiménez Padilla, B. (2012). *Técnicas básicas de electricidad de vehículos*. Antequera: IC Editorial.
- Larrodé, E. (1997). *Automóviles Eléctricos*. Zaragoza: Reverté. S.A.
- López Martínez, J. (2015). *Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor*.

España: Dextra Editorial.

Master Ingenieros S.A. (18 de Enero de 2019). Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de Motor Brushless (Sin Escobillas): <http://masteringenieros.com/wp-content/uploads/pdf/MI50N/-www-adsnt-recursos-masteringenieros-file-motor.pdf>

Molina Mengíbar, J. (2015). *Electricidad, electromagnetismo y electrónica aplicados al automóvil: mantenimiento de los sistemas eléctricos y electrónicos de vehículos*. España: IC Editorial.

Mott, R. (2004). *Elementos de máquina en diseño mecánico*. California: CRC Press.

Mott, R. (2007). *Resistencia aplicada de materiales*. California: CRC Press.

Normativa Técnica Ecuatoriana. (2009). *Vehículos Automotores. Carrocerías De Buses. Requisitos*. Obtenido de normalizacion.gob.ec: normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-1323-1.pdf

Ochoa, D. (2014). *Diseño y análisis de un vehículo tipo kart*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Pascual, A. (2019). *Comparativa entre motores brushed y brushless*. Cataluña: Universidad Oberta de Cataluña.

PLAYandDRIVE. (14 de Febrero de 2019). *Presentan el EGT5 de altas prestaciones en la pista*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de <https://www.playanddrive.com/es/play-and-drive-ekarting-egt5-unveiled-high-performances-on-the-track/>

Poalacin, G., & Vilaña, B. (MARZO de 2021). *REPOSITORIO ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24389/2/ESPEL-MAI-0707-P.pdf>

Quinteros, V. (2021). Baterías de Ion Litio: características y aplicaciones. *I+D Tecnológico*, 12.

Rivera, M. (2017). *Física Moderna I: Estática y Cinemática con equipo de laboratorio*. México: Grupo Editorial Éxodo.

Roás, L. (2011). *Los Vehículos Eléctricos*. Nebrija: Universidad Antonio. Recuperado el

- 14 de Marzo de 2022, de
https://www.nebrija.com/la_universidad/facultades/facultad-artes-letras/actividades/AulaPluriligue/articulos/LoretoRoas-coches-electricos.pdf
- Rodríguez Vidal, C. (2015). *Diseño mecánico con SolidWorks 2015*. RA-MA Editorial.
- Rodríguez, D. (25 de Septiembre de 2015). *Sistemas de gestión de baterías (BMS) y su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS)*. Recuperado el 25 de Marzo de 2022, de Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257059819006.pdf>
- Tapia, G., & Velásquez, D. (Diciembre de 2015). *Diseño y construcción de un mini vehículo eléctrico de drifting denominado "Crazy kart"*. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de Repositorio Espe:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11258/1/T-ESPE-049438.pdf>
- Torres, M. (Abril de 2009). *Diseño y construcción de un karting controlado por mandos electrónicos y mecánicos*. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de Respositorio Espe: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2921/1/T-ESPEL-0600.pdf>
- Trashorras, J. (2019). *Vehículos eléctricos*. Madrid: Paraninfo.
- Tutillo, J. (Agosto de 2014). *Diseño e implementación del tren motriz con motor eléctrico y transmisión CVT, en una motocicleta eléctrica plegable, para ayudar a reducir la contaminación vehicular en la Ciudad de Latacunga*. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de Repositorio Espe:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8862/1/T-ESPEL-MAI-0473.pdf>
- Vászonez, L. (18 de Septiembre de 2021). *La demanda de escúteres y motos eléctricas aumenta en Quito*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de El comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/demanda-escuterer-motos-electricas-quito-movilidad-motocicletas-negocios.html>
- Velasco, V., & Pilicita, E. (Diciembre de 2014). *Diseño y construcción de un vehículo eléctrico autobalanceado personal (VEAP) de dos ruedas en paralelo estilo segway*. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de Repositorio Espe:

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9181/1/AC-ESPEL-MAI-0493.pdf>

Zumba Rivera, R. (2014). *Ingeniería mecánica: diseño de sistemas y tecnologías*.

Cuenca: Ediciones Abya-Yala.

Anexos