



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT DE BATERÍAS
PARA UN GO KART ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

VICTOR ANDRES RELICA BUSTAMANTE

JOEL NICOLAS SILVA LEON

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT DE BATERÍAS
PARA UN GO KART ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: VICTOR ANDRES RELICA BUSTAMANTE

JOEL NICOLAS SILVA LEON

DIRECTOR: Ing. VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Víctor Andrés Relica Bustamante & Joel Nicolás Silva León

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Víctor Andrés Relica Bustamante y Joel Nicolás Silva León, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de diciembre de 2023



Víctor Andrés Relica Bustamante

C. I: 070644268-8

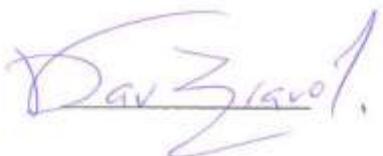


Joel Nicolás Silva León

C. I: 070610969-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT DE BATERÍAS PARA UN GO KART ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **VICTOR ANDRES RELICA BUSTAMANTE** y **JOEL NICOLAS SILVA LEON**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristian David Redroban Dillon PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-11
Ing. Victor David Bravo Morocho DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-11
Ing. Ángel José Quevedo Ríos ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-11

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a Dios, por darme la vida, sabiduría, y por haberme permitido conducir mi carrera, a mis Padres, mis héroes, Víctor y Rosa, por convertirme en la persona que soy hoy por hoy, por su amor y su paciencia, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional y ayudándome a ser una mejor persona, a mis hermanos Josselin y Anthony quienes con sus palabras de aliento no dejaban que decaiga y siempre cumpla con mis ideales, y demás familia en general por el apoyo que me brindaron en el trascurso de mi carrera.

Andrés

El proyecto de titulación está dedicado a todos aquellos que han formado parte de mi camino personal y académico, en primer lugar, a Dios quien me ha brindado sabiduría, fortaleza y una gran familia que siempre ha estado presente para ayudarme durante este proceso, a mi abuelo Silvio que ha sido un pilar fundamental para llegar a concluir esta meta, a mis padres, Manrique y Lida quienes con amor, trabajo y sacrificio me han forjado y tomado de la mano en todo momento para convertirme en la persona que soy ahora y quienes son mi ejemplo para afrontar las adversidades, a mis hermanos, Joselyn y David por su cariño y apoyo incondicional que me permitió no desfallecer, a mis sobrinos, Peython, David Luiz, Isabella y Peggy quienes han sido mi motor y me impulsan a seguir adelante y ser mejor cada día. A todos mis tíos, primos y amigos por sus oraciones, consejos, por el amor y el acompañamiento brindado.

Nicolás

AGRADECIMIENTO

Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, es por eso que mi agradecimiento se dirige a ti que has forjado mi camino y me has dirigido por el sendero correcto. Agradecer de manera especial a mi familia que han creído en mí, dándome su gran ejemplo de superación, humildad y sacrificio, por apoyarme en cada decisión a lo largo de esta gran meta, a mi novia Paula por ser mi motivación y creer en mi capacidad, agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme convertirme en un profesional, a cada Ingeniero que formó parte de este proceso de formación. Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que estuvieron inmersas en la realización de este proyecto de titulación.

Andrés

Mi sincero agradecimiento a Dios que, con su bendición, infinita bondad y amor ha fortalecido mi mente y corazón, quien puso en mi camino a personas correctas que han sido el soporte y compañía durante mi proceso de estudio. Especial reconocimiento merecen mi familia y amigos quienes son promotores de nuestros sueños y siempre han estado presentes ya que de una forma u otra me han animado a seguir adelante y alcanzar mis metas. De igual manera agradecer a los miembros de la carrera de Ingeniería automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que han compartido sus conocimientos durante nuestra preparación profesional. El camino hasta ahora no ha sido fácil, pero gracias a sus aportes, su amor, bondad y apoyo se ha notado menos, gracias por formar parte de este proceso académico.

Nicolás

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.1.1. <i>Evolución energética de la automoción eléctrica</i>	4
2.1.2. <i>Impacto del vehículo eléctrico</i>	6
2.1.2.1. <i>Impacto medioambiental</i>	6
2.1.2.2. <i>Impacto económico</i>	7
2.1.3. <i>Vehículo monoplaza eléctrico</i>	8
2.1.4. <i>Tren de potencia eléctrico</i>	9
2.1.5. <i>Esquema conceptual de un vehículo eléctrico</i>	9
2.1.6. <i>Elementos principales que componen el tren de propulsión eléctrico</i>	10
2.1.6.1. <i>Baterías</i>	10
2.1.6.2. <i>Motor eléctrico</i>	15
2.1.6.3. <i>Controlador</i>	16
2.1.7. <i>Reglamentación CIK/FIA</i>	17
2.1.7.1. <i>Requerimientos</i>	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	21
3.1.	Diagrama de flujo de las etapas del proyecto	21
3.2.	Cronograma de actividades	22
3.3.	Metodología de la investigación	23
3.3.1.	<i>Tipo de estudio</i>	23
3.4.	Reconocimiento de las necesidades	23
3.5.	Equipos	23
3.5.1.	<i>Vbox Sport</i>	23
3.6.	Lugar de ensayo para la recolección de datos	24
3.7.	Parámetros de diseño	25
3.8.	Parámetros dinámicos del Go kart	25
3.8.1.	<i>Masa del Go kart (m)</i>	26
3.8.2.	<i>Coefficiente de arrastre (Cd)</i>	26
3.8.3.	<i>Coefficiente de rodadura (fr)</i>	26
3.8.4.	<i>Área frontal (Af)</i>	27
3.8.5.	<i>Densidad del aire en Riobamba (ρ)</i>	27
3.9.	Análisis de la dinámica longitudinal del vehículo	28
3.9.1.	<i>Parámetros para determinar la demanda energética del Go kart eléctrico</i>	28
3.9.1.1.	<i>Fuerza de arrastre (Fd)</i>	28
3.9.1.2.	<i>Resistencia a la rodadura (Rx)</i>	28
3.9.1.3.	<i>Resistencia a la pendiente (Rg)</i>	29
3.9.1.4.	<i>Velocidad angular (w)</i>	29
3.9.1.5.	<i>Fuerza en rueda (Fx)</i>	29
3.9.1.6.	<i>Torque en rueda (τx)</i>	30
3.9.1.7.	<i>Potencia en rueda (Px)</i>	30
3.9.1.8.	<i>Energía en rueda (E)</i>	30
3.10.	Análisis de los parámetros dinámicos del Go Kart	30
3.11.	Parámetros para la selección de la batería	32
3.11.1.	<i>Eficiencia del motor eléctrico (nme)</i>	32
3.11.2.	<i>Eficiencia del inversor (ni)</i>	33
3.11.3.	<i>Eficiencia de la batería (nb)</i>	33
3.11.4.	<i>Eficiencia transmisión (nt)</i>	33
3.11.5.	<i>Relación de transmisión (Ntd)</i>	33
3.11.6.	<i>Factor de masa (mf)</i>	34
3.11.7.	<i>Masa equivalente (me)</i>	34

3.11.8.	<i>Torque demandado a la salida del motor (τ_m)</i>	34
3.11.9.	<i>Potencia del motor (P_m)</i>	35
3.11.10.	<i>Potencia del inversor (P_i)</i>	35
3.11.11.	<i>Potencia de la batería (P_b)</i>	35
3.12.	Análisis de los resultados del dimensionamiento de selección de batería	35
3.13.	Parámetros de selección de la batería	37
3.13.1.	<i>Comparación de las prestaciones de los distintos tipos de baterías</i>	37
3.13.1.1.	<i>Matriz de selección de batería</i>	39
3.14.	Descripción de la BMS	40
3.15.	Proceso de construcción de bases para implementación de batería	41
3.15.1.	<i>Ensamble de base de batería</i>	41
3.15.2.	<i>Conexión eléctrica</i>	41

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	43
4.1.	Implementación del kit de baterías	43
4.1.1.	<i>Prueba de autonomía</i>	43
4.1.2.	<i>Discusión de resultados de la autonomía de la batería</i>	44
4.1.2.1.	<i>Tiempo de autonomía</i>	44
4.1.2.2.	<i>Autonomía de la batería</i>	44
4.1.3.	<i>Análisis comparativo de las gráficas de velocidad del dispositivo VBOX Sport del Go kart de combustión interna vs eléctrico</i>	45
4.1.4.	<i>Análisis comparativo de las tablas de consumo de energía del Go kart de combustión interna vs eléctrico</i>	46
4.1.5.	<i>Costos</i>	47

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1.	Conclusiones	48
5.2.	Recomendaciones	49

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Balance de consumo.....	8
Tabla 3-1:	Cronograma de actividades	22
Tabla 3-2:	Parámetros del vehículo	25
Tabla 3-3:	Valores del coeficiente de rodadura según el suelo.....	26
Tabla 3-4:	Resultado de la vuelta característica.....	31
Tabla 3-5:	Datos de la energía requerida en el ciclo.....	32
Tabla 3-6:	Datos de los parámetros para la selección de batería	33
Tabla 3-7:	Resultado de datos de potencia de la batería	36
Tabla 3-8:	Resultados de energía consumida en el ciclo	36
Tabla 3-9:	Comparativa de diferentes tipos de batería	37
Tabla 3-10:	Comparación de diferentes marcas de baterías	38
Tabla 3-11:	Características de la batería de litio de marca EVE.....	39
Tabla 4-1:	Datos obtenidos de los parámetros con la implementación de los componentes eléctricos.....	44
Tabla 4-2:	Consumo energético del Go kart de combustión interna.....	46
Tabla 4-3:	Consumo energético del Go kart eléctrico	46
Tabla 4-4:	Costos del proyecto	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913	4
Ilustración 2-2:	Emisiones de CO2 de vehículos eléctricos vs a los de combustión	6
Ilustración 2-3:	Motor de combustión interna vs vehículo eléctrico (ICEV vs BEV).....	7
Ilustración 2-4:	Vehículo eléctrico monoplaza	8
Ilustración 2-5:	Esquema del sistema de propulsión eléctrica	10
Ilustración 2-6:	Composición interna de la batería.....	11
Ilustración 2-7:	Agrupación de la batería	11
Ilustración 2-8:	Conexión en serie.....	12
Ilustración 2-9:	Conexión en paralelo.....	12
Ilustración 2-10:	Batería plomo-acido	14
Ilustración 2-11:	Batería níquel metal hidruro.....	14
Ilustración 2-12:	Batería de ion-litio.....	15
Ilustración 2-13:	Motor eléctrico	16
Ilustración 2-14:	Controlador	16
Ilustración 2-15:	Chasis	18
Ilustración 2-16:	Transmisión.....	18
Ilustración 2-17:	Frenos.....	19
Ilustración 2-18:	Sistema de dirección.....	19
Ilustración 2-19:	Kit de baterías	20
Ilustración 3-1:	Flujograma del procedimiento de diseño	21
Ilustración 3-2:	Dispositivo VBOX SPORT	24
Ilustración 3-3:	Pista para las pruebas	25
Ilustración 3-4:	Valores del coeficiente de arrastre.	26
Ilustración 3-5:	Cálculo del área frontal	27
Ilustración 3-6:	Componentes del sistema eléctrico	32
Ilustración 3-7:	Relación de transmisión	33
Ilustración 3-8:	Energía total consumida.....	36
Ilustración 3-9:	Batería de ion litio de marca EVE.....	39
Ilustración 3-10:	Cargador de la batería	40
Ilustración 3-11:	BMS de marca JBD.....	40
Ilustración 3-12:	Base de la batería.....	41
Ilustración 3-13:	Conexión eléctrica.....	42
Ilustración 4-1:	Implementación de los componentes del tren eléctrico.....	43
Ilustración 4-2:	Gráfica de velocidad del motor de combustión interna.....	45

Ilustración 4-3:	Gráfica de velocidad del motor eléctrico	45
-------------------------	--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE LA BASE DE LA BATERÍA
- ANEXO B:** INSTALACIÓN DE LA BATERÍA EN EL CHASIS DEL GO KART ELÉCTRICO
- ANEXO C:** PESAJE DEL GO KART MAS OCUPANTE
- ANEXO D:** GO KART EN SU ETAPA FINAL

RESUMEN

El presente proyecto técnico trata sobre el dimensionamiento de un kit de baterías para un Go Kart eléctrico, el mismo que está destinado para futuras competiciones en representación de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, logrando hacer uso de energías alternativas con el fin de disminuir la contaminación ambiental como también acústica. El Go kart de la carrera de ingeniería automotriz, no cuenta con un kit de baterías que logren satisfacer la demanda energética requerida, por esta razón el objetivo es dimensionar un kit a partir de un análisis sobre un motor de combustión interna e implementar en el monoplaza. La metodología tiene orientación analítica y comparativa ya que la investigación requiere la recolección y evaluación de los datos con información para el proyecto, mediante la aplicación del dispositivo VBOX sport se obtuvo una serie de parámetros como velocidad, aceleración, altitud, y tiempo. Para proceder a realizar cálculos dinámicos, empleando el método de criterios ponderados que evalúa los datos de importancia mayor, obteniendo un resultado de 1,4 kW de potencia a la salida de la batería, con este valor se selecciona la batería de ion de litio de la marca EVE. Posteriormente se realizó el montaje de la batería en el chasis del Go kart para poder realizar el desplazamiento en pistas. Una vez completado el montaje de los elementos del tren eléctrico se realiza pruebas de autonomía con la finalidad de comparar la eficiencia del Go kart eléctrico. El dimensionamiento deja como resultado una batería de Ion de Litio de marca EVE de 60v y 20A, logrando una potencia de 1,2 kW teniendo como ventaja una alta eficiencia energética y vida útil prolongada y se recomienda realizar monitoreos constantes del SOC, el cual no debe disminuir del 40%, para cuidar la vida útil de la batería.

Palabras clave: <AUTONOMÍA>, <BATERÍA EVE>, <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ>, <DISPOSITIVO VBOX SPORT>, <PARÁMETROS DINÁMICOS>.



SUMMARY

This technical project deals with the sizing of a battery kit for an electric Go Kart, which is intended for future competitions on behalf of Automotive Engineering of ESPOCH, making use of alternative energies in order to reduce environmental pollution as well as noise. The Go kart of the automotive engineering career, does not have a battery kit that can meet the required energy demand, for this reason the objective is to size a kit from an analysis on an internal combustion engine and implement it in the single-seater. The methodology has an analytical and comparative orientation since the research requires the collection and evaluation of data with information for the project, through the application of the VBOX sport device, a series of parameters such as speed, acceleration, altitude, and time were obtained. To proceed to perform dynamic calculations, using the weighted criteria method that evaluates the most important data, obtaining a result of 1.4 kW of power at the output of the battery, with this value the EVE lithium ion battery is selected. Subsequently, the battery was mounted on the Go kart chassis in order to be able to travel on tracks. Once the assembly of the electric train elements was completed, autonomy tests were carried out to compare the efficiency of the electric Go kart. The sizing leaves as a result a Lithium Ion battery of EVE brand of 60v and 20A, achieving a power of 1,2 kW having as an advantage a high energy efficiency and prolonged life and it is recommended to perform constant monitoring of the SOC, which should not decrease from 40%, to take care of the battery life.

Keywords: <AUTONOMY>, <EVE BATTERY>, <AUTOMOTIVE ENGINEERING>, <VBOX SPORT DEVICE>, <DYNAMIC PARAMETERS>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs.
C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

El transporte urbano se ha evolucionado lo largo del tiempo, un claro ejemplo de ello son los vehículos con motor de combustión interna (MCI) que son uno de los mayores logros del automovilismo moderno, sin embargo, a medida que avanza la tecnología, también lo hace la dependencia al automóvil de cada persona, por lo tanto, se ha incrementado el uso de vehículos en el Ecuador y en el resto del mundo, lo que a su vez causa serios problemas al medio ambiente y consecuentemente a la vida humana.

Buscando una solución a la eficiencia energética a través de los diversos factores y el consumo responsable de combustibles se convierten en la base de una nueva perspectiva con propósito desarrollo energético sostenible, que no es más que un equilibrio entre seguridad energética, igualdad social y mitigación ambiental a favor del cuidado de un planeta que tiene la especie humana.

Hoy en día, las fuentes de energía tradicionales son cada vez más limitadas y la normativa de impacto ambiental obliga a cambiar el modelo de consumo energético, perspectivas que apenas comienzan a garantizar la calidad del aire en una sociedad en apuros para los residentes.

La organización internacional de constructores de automóviles (OICA) en su estudio informa que, a nivel mundial, el transporte es responsable del 16% de las emisiones artificiales de CO₂ y en Ecuador el 54,3% de CO₂ en el aire, es proveniente del sector de transporte, cifra realmente alarmante ya que más de la mitad del porcentaje global se debe a la industria automotriz. (CHIQUIANA, 2014)

Es ésta, una de las razones por las que se propone el tema en cuestión ya que al dimensionar un kit de baterías eficiente en un Go kart eléctrico ayudará en la reducción del deterioro medioambiental, sin necesidad de emitir ningún tipo de gas contaminante.

Para lograr un rotundo éxito con este dimensionamiento de un kit de baterías es importante llevar a cabo una investigación a profundidad y la correcta selección de la batería que satisfaga la necesidad que se requiere para la eficiencia y autonomía del Go kart.

El presente trabajo técnico se basa en la selección inteligente de ciertos parámetros bajo criterios ponderados; evitando el sobredimensionamiento y así impedir que los mismos sufran un desgaste prematuro, Por tanto, se presenta este proyecto como una alternativa nueva en los Go kart, implementando lo moderno en baterías.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El parque automotor es uno de los agentes que generan un impacto negativo en el medio ambiente, así como salud y economía, ya que los vehículos al utilizar combustibles fósiles emanan cantidades de componentes tóxicos, por ejemplo, el monóxido de carbono. Actualmente, según la agencia europea de medio ambiente las emisiones del transporte representan alrededor del 25 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de los países miembros de la unión europea. (AGENCY ENVIRONMENT EUROPEAN, 2023)

Es por ello que las industrias apuestan por energías limpias o renovables, como es el caso de vehículos impulsados por motores eléctricos, estos vehículos pueden triplicar la eficiencia a diferencia de los motores de combustión interna.

El Go kart de la carrera de Ingeniería Automotriz no cuenta con un kit de baterías que pueda suplir la demanda energética que se espera para sustituir al motor de combustión interna.

En el dimensionamiento de sistemas motrices eléctricos se requieren parámetros de operación que deben ser determinados mediante la obtención de datos de funcionamiento reales de un vehículo a combustión, para que funcione y sea confiable, ya que debe soportar las condiciones a las que estará expuesto durante las futuras competencias.

1.2. Justificación

El presente proyecto está relacionado con el mundo de la automoción, presenta técnicas aplicadas y conceptos teóricos que presuponen la capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos en diferentes campos durante el proceso de aprendizaje. Se aspira encontrar un equilibrio entre varios aspectos como el rendimiento, la autonomía o la solución más económica para llegar al punto óptimo buscado.

La elección de la propulsión eléctrica para impulsar los Go karts representan un enfoque importante para aumentar la conciencia sobre el impacto ambiental que tienen estos, lo que hace que se determine la necesidad de tener un Go kart eléctrico en la Escuela de Ingeniería Automotriz para ediciones futuras de la copa karting, que se ha venido realizando por movilidad de combustión interna en las instalaciones de la Espoch. Este proyecto se realizará bajo reglamentos

de la Federación Internacional Automovilística (CIK/FIA), donde menciona que un Go kart es un vehículo tubular unipersonal que debe ser impulsado por un motor y no debe poseer suspensión. (ZARUMA & RAMIREZ, 2010)

Para cumplir con las expectativas del Go kart, se realiza el dimensionamiento de la batería, siendo esta una de las partes más importantes para el rendimiento del mismo, por esta razón se deben obtener una serie de parámetros, aplicando dinámica del vehículo, balanceo de baterías, entre otros factores.

La realización de este proyecto permitirá la implementación de los Go karts eléctricos en las carreras de los ingenieros automotrices, sirviendo como pilar fundamental para nuevos proyectos y potenciar los conocimientos de diseño y mecánica de vehículos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Dimensionar un kit de baterías a partir de un análisis de demanda energética generada en un circuito con un motor de combustión interna, e implementar en el Go kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

1.3.2. Objetivos específicos

- Investigar fuentes bibliográficas acerca del dimensionamiento de las baterías para un Go kart eléctrico mediante la revisión de literatura técnica.
- Dimensionar el kit de baterías en base a un análisis de demanda de energía de un Go kart de combustión interna para asegurar la autonomía y cumplir con la normativa vigente de la (CIK/FIA).
- Implementar un kit de baterías basada en tecnologías y recursos apropiados que garanticen tanto la autonomía como el funcionamiento del Go kart siguiendo la reglamentación pertinente.
- Realizar pruebas de autonomía del Go kart eléctrico una vez implementado el kit en el chasis de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Evolución energética de la automoción eléctrica

Los primeros automóviles fueron eléctricos, aunque esto no era lo que se tenía en mente, a lo largo del siglo XIX diversos inventores desarrollaron prototipos de vehículos eléctricos a escala.

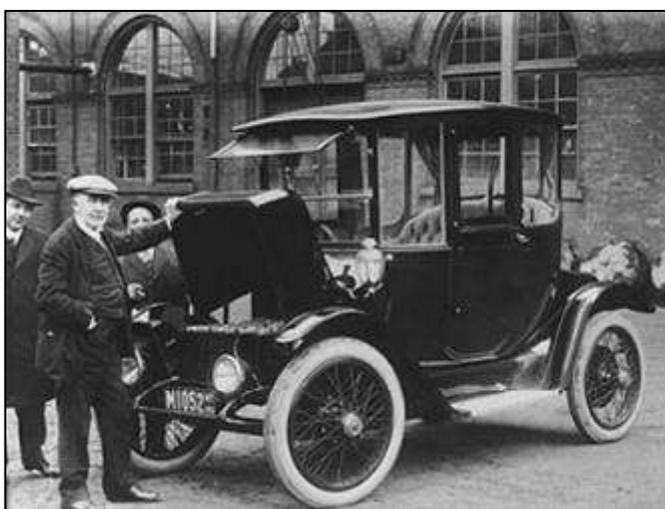


Ilustración 2-1: Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913

Fuente: (Miranda & Iglesias, 2015)

En sus inicios los hubo de dos, tres y cuatro ruedas, y su desarrollo siempre fue precedido por la mejora los beneficios de las baterías eléctricas, desde el descubrimiento de la pila galvánica en el año 1800 por Alejandro Volta.

En los últimos años del siglo XIX, el desarrollo tecnológico de los vehículos eléctricos fue superior al de los vehículos equipados con tecnología de motor de combustión interna.

En 1899, el ingeniero belga Camille Jenatzy construyó el primer automóvil que superaba los 100 km/h. Se trataba de un vehículo eléctrico con carrocería de aleación ligera de aluminio en forma de torpedo, al que llamó "La Jamais Contente".

En los inicios del siglo XX, los vehículos eléctricos disfrutaron de un relativo éxito comercial debido a su conducción limpia y silenciosa y su fácil manejo, principalmente porque eliminaron el ajuste del cigüeñal requerido en los automóviles de gasolina en aquella época.

El arranque eléctrico por parte de la empresa Cadillac en 1913, así como numerosas innovaciones en el campo de los motores de combustión interna y la generalización del sistema de producción en cadena introducido por Ford en 1908, contribuyeron a la caída del vehículo eléctrico, según su especial limitación: la escasa capacidad de las baterías eléctricas. A fines de la década de 1930, la industria de los automóviles eléctricos se había extinguido por completo.

En el periodo histórico entre los años veinte y sesenta del siglo XX y a pesar de dos guerras mundiales, el petróleo era una mercancía con alta estabilidad de precios, fluctuaron constantemente entre 0,5 \$/barril y 3 \$/barril. En gran medida, Estados Unidos ha traído estabilidad global incrementando la producción en 1,2 millones de barriles diarios esto en 1920 a 7 millones de barriles por día en 1960. (Carmona & Jones, 2008)

No obstante, las crisis del petróleo de los años setenta tuvieron como secuela un importante incremento del precio de esta materia prima desde 9,56 \$/barril en 1970 hasta 85,03 \$/barril en 1980 (a precios constantes de 2007), es decir el precio prácticamente se multiplicó por 9 en este periodo. (Carmona & Jones, 2008)

Si bien este precio disminuyó en los años ochenta y noventa hasta llegar en 1998 a un mínimo de 10,82 \$/barril, la experiencia de la primera (1973) y la segunda crisis del petróleo (1979) tuvo enormes consecuencias en la evolución de muchos sectores económicos en las dos últimas décadas del pasado siglo, y supuso el desplazamiento del petróleo en la generación de electricidad. El siglo XXI trajo consigo un alza permanente de los precios del petróleo, que se puede considerar estable en torno a 100 \$/barril, a pesar de la caída del precio del mismo durante los primeros meses de 2015.

Ciertos autores consideran que este proceso supuso una tercera crisis del petróleo, que tendrá como consecuencia su desplazamiento del transporte por carretera, en una evolución lenta, de varias décadas, en la que habrá un largo periodo de coexistencia. (Santamarta, 2009)

La electrificación ha evolucionado tanto que se está produciendo en paralelo a la diversificación de los combustibles utilizados en los automóviles y la promoción de combustibles con mejores propiedades medioambientales, como los eléctricos, híbridos, GLP o pilas de combustible de hidrógeno. (Miranda & Iglesias, 2015)

2.1.2. Impacto del vehículo eléctrico

El efecto negativo que está causando la contaminación vehicular a nivel global ha reforzado año a año el consumo de combustibles fósiles, expulsión de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otras sustancias a la atmósfera. Es por ello que las nuevas tecnologías en automoción como la creación del vehículo eléctrico ha dejado una huella de gran importancia en la sociedad, tanto a nivel ambiental, energético como económico.

2.1.2.1. Impacto medioambiental

La implantación actual del vehículo eléctrico ha conseguido reducir notablemente las emisiones de CO₂ durante su funcionamiento, pero no del todo ya que actualmente representan 1/3 de las emitidas por el vehículo a combustión interna. Actualmente las emisiones de dióxido de carbono que un vehículo de combustión interna de tamaño promedio provoca se encuentran entre 163 y 142 gramos, lo que equivale a un consumo promedio de 7 L a los 100 km y un vehículo eléctrico consume en promedio 17 KWh/100 Km. Con el uso de 1000 vehículos eléctricos en una ciudad, se estimaría que se dejaría de emitir más de 30 000 kg de gases contaminantes anualmente. (Díez, 2019, p. 61)

En la siguiente figura se muestra las emisiones de CO₂ por km durante la conducción en los diferentes tipos de vehículos.

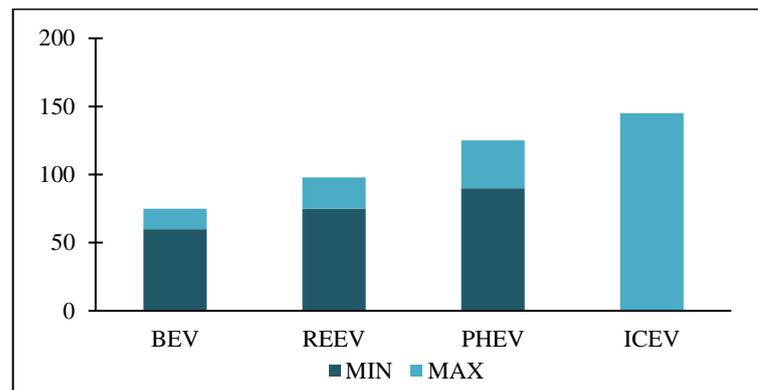


Ilustración 2-2: Emisiones de CO₂ de vehículos eléctricos vs a los de combustión

Fuente: (Díez, 2019)

- BEV: Vehículo eléctrico.
- REEV: Vehículo eléctrico de autonomía extendida.
- PHEV: Vehículo eléctrico híbrido enchufable.

- ICEV: Vehículo de combustión interna

Para hacer un balance en contaminación se debe tener en cuenta el ciclo de vida desde la extracción para su fabricación hasta su reciclaje. La agencia europea de medio ambiente estima en el informe “Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives” que, aunque el impacto de las materias primas y fabricación de las baterías equivale a un 40% de las emisiones totales, es casi tres veces menor que el que genera un vehículo de combustión. Ofreciendo una reducción de hasta un 30%. (Díez, 2019)

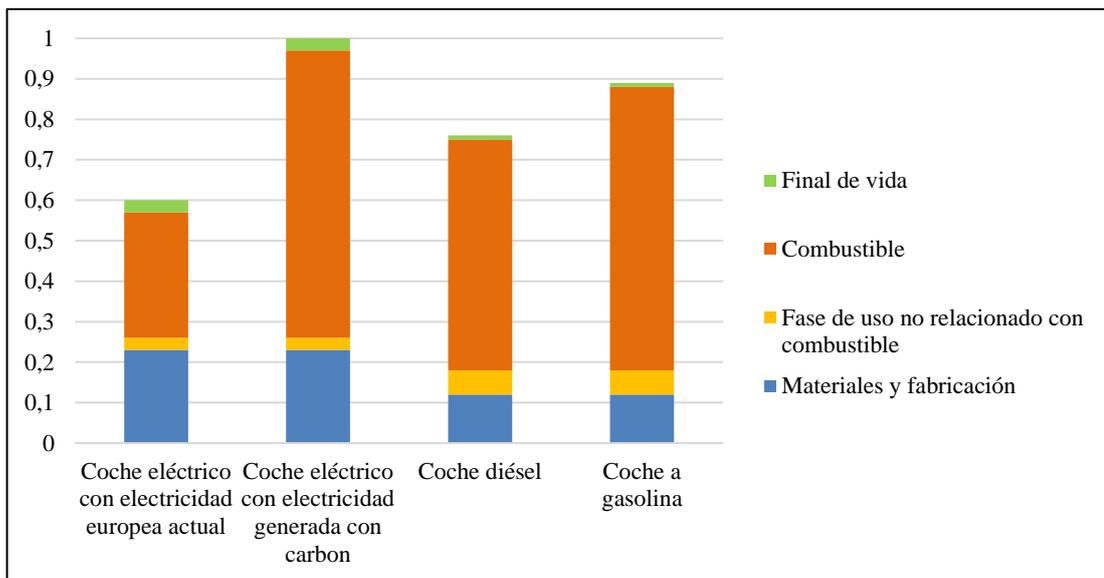


Ilustración 2-3: Motor de combustión interna vs vehículo eléctrico (ICEV vs BEV)

Fuente: (Díez, 2019)

La contaminación provocada durante la generación de energía eléctrica depende de la fuente de energía utilizada para producirla. El carbón y petróleo son las más contaminantes, sin embargo, el gas natural, la energía geotérmica, solar, eólica e hidráulica son las fuentes menos contaminantes.

2.1.2.2. Impacto económico

Uno de los factores que preocupa al consumidor a la hora de adquirir un vehículo de estas características es lo que le representara económicamente ya que la inversión inicial es mayor comparada con un vehículo a combustión debido al precio de las baterías, pero esto no quiere decir que el precio de inversión total vaya a ser mayor que los convencionales, ya que un 60% del precio del vehículo viene representado por las mismas baterías. (Díez, 2019)

Haciendo un balance al consumo del vehículo eléctrico frente al de combustión se puede apreciar un notable ahorro.

Tabla 2-1: Balance de consumo

	Diésel/Gasolina	Eléctrico
Precio	1,20 €/L	0,13 kWh €
Consumo	6 L/100 Km	17 kWh/100 Km
Gasto	7,2 €/100 Km	2,21 €/100 Km
Ahorro	5 €	

Fuente: (Díez, 2019)

En países europeos existen reducciones de impuestos tanto para adquisición, incluso en el impuesto de circulación para incentivar la compra de vehículos eléctricos.

2.1.3. Vehículo monoplace eléctrico

Este tipo de vehículo tiene un diseño más amplio con el fin de mejorar la aerodinámica para permanecer en el suelo, el interior del vehículo cuenta con el espacio necesario para que el cuerpo humano se acople perfectamente y pueda maniobrar el vehículo, que por lo general son utilizados en competiciones.



Ilustración 2-4: Vehículo eléctrico monoplace

Fuente: (Carmelo, 2022)

Los monoplazas convierten esta energía eléctrica en energía mecánica a través de un inversor-motor-eléctrico-caja de cambios, que es el módulo del vehículo que hace que el monoplace se desplace de un lugar a otro. El inversor convierte la corriente continua de la batería en corriente alterna, y que a su vez envía al motor produciendo un par mecánico, que se transmite a los

neumáticos a través de la caja de cambios, que es la responsable de crear movimiento. (Militello, 2022)

2.1.4. Tren de potencia eléctrico

El tren de potencia de un vehículo convencional como el de un vehículo eléctrico ejecutan las mismas funciones, ya que transmiten energía mecánica a los neumáticos y como resultado se da el desplazamiento del vehículo.

Un vehículo eléctrico y un vehículo con motor de combustión convencional están constituidos por diferentes elementos en su construcción, un ejemplo llamativo es que un vehículo eléctrico no necesita caja de cambios. Un vehículo convencional utiliza un sistema de transmisión que proporciona diferentes niveles de torque a ciertas velocidades para ayudar a cambiar las conexiones de entrada y salida de la rueda dentada dentro de la caja.

El proceso en un motor eléctrico se puede realizar mediante un conversor DC-DC o variadores de frecuencia, mismos que se encargan de controlar la potencia del motor. En la actualidad se han desarrollado varios sistemas de propulsión eléctrica, como es el caso de automóviles con motor eléctrico de gran potencia, que, adaptados a un diferencial de las ruedas traseras toman un diseño a manera de un automóvil estándar. (Rosero & Lopez, 2018)

2.1.5. Esquema conceptual de un vehículo eléctrico

Un vehículo eléctrico necesita un motor eléctrico provisto con baterías recargables por corriente para moverse tanto parcial como totalmente.

Dos de las principales características de un automóvil eléctrico son:

- Cuenta con una fuente de energía que puede ser química o electroquímica transportable.
- Un motor eléctrico se encarga de proveer la fuerza de movimiento.



Ilustración 2-5: Esquema del sistema de propulsión eléctrica

Fuente: (Rosero & Lopez, 2018)

2.1.6. Elementos principales que componen el tren de propulsión eléctrico

2.1.6.1. Baterías

Una batería es un elemento que acumula energía a través de procesos electroquímicos. También conocidas como acumuladores, pueden convertir la energía almacenada para generar de electricidad ya que su funcionamiento depende de una carga eléctrica previa, compuesta por dos electrodos, un electrolito y un separador. (Amairany, 2021, p. 18)

- Electrodo positivo: Es un oxido que se reduce durante el proceso de descarga, y cuyos materiales están en estado sólido.
- Electrodo negativo: Es un metal o una aleación que se oxida durante el proceso de descarga, y cuyos materiales están también en estado sólido.
- Electrolito: Es un material que permite la conducción iónica entre el ánodo y el cátodo, y puede ser líquido, gel o sólido y ácido o alcalino.
- Separador: Es una capa de material aislante eléctrico, que tiene por misión separar físicamente el electrodo, almacenar e inmovilizar el electrolito. Normalmente se fabrican de polímeros sintéticos.

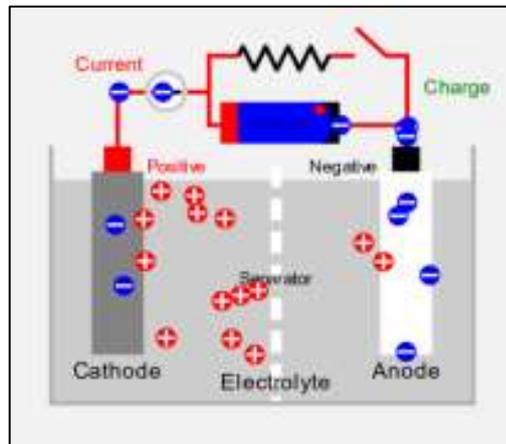


Ilustración 2-6: Composición interna de la batería

Fuente: (Martínez, 2017)

a) Componentes de la batería

La batería se agrupa en tres niveles: celda, modulo y pack (Cepeda & Garzon, 2022, p. 5)

- Celda: Es la unidad más básica y elemental de la batería, cada celda está compuesta por un ánodo, un cátodo y un electrolito.
- Modulo: Es una estructura que contiene un determinado número de celdas, conectadas en serie y/o paralelo, que se insertan en ella con la finalidad de protegerlas contra agentes externos.
- Pack: Es el artefacto final que se designa como batería, es la combinación de varios módulos. Este paquete contiene, además, sistemas de protección, de control y de refrigeración.



Ilustración 2-7: Agrupación de la batería

Fuente: (Gaunoluisa & Bustos, 2022)

b) Configuraciones

Las baterías pueden agruparse en dos configuraciones denominadas serie y paralelo. Estas asociaciones se realizan para alcanzar los voltajes o capacidades deseadas. Para las agrupaciones en serie y paralelo es indispensable que las celdas utilizadas sean del mismo modelo, es decir, que

tengan las mismas características de voltaje y amperaje para evitar desequilibrios en las conexiones.

- **Conexión en serie**

Consiste en unir dos o más celdas con el objetivo de aumentar la tensión. En este tipo de conexiones las pérdidas son menores a lo largo de los cables. Las tensiones se suman y la capacidad a la salida permanece igual.

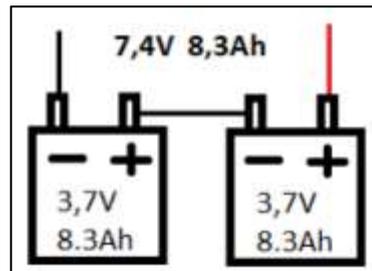


Ilustración 2-8: Conexión en serie

Fuente: (Amairany, 2021)

- **Conexión en paralelo**

Consiste en unir dos o más celdas de forma que se aumenta su capacidad. Es decir, si mayor es la capacidad mayor será el aumento de carga que se puede almacenar.

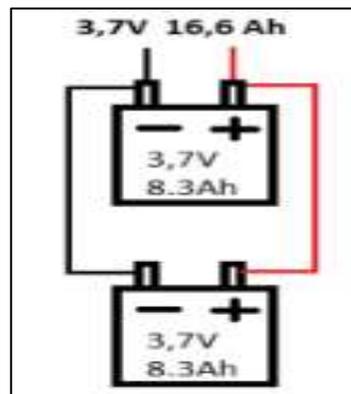


Ilustración 2-9: Conexión en paralelo

Fuente: (Amairany, 2021)

c) **Parámetros característicos del comportamiento de la batería**

La definición e influencia de los distintos parámetros que caracterizan una batería son los que determinaran su comportamiento. (Morente, 2018)

- Voltaje de la batería: tensión entre los bornes de la celda, definida por el potencial de reducción del cátodo.
- Capacidad: La capacidad de una batería es la cantidad medida de amperios hora (Ah), que puede suministrar o aceptar una batería.
- Capacidad nominal: Capacidad que puede entregar una batería desde plena carga.
- Capacidad real: Capacidad que puede entregar una batería desde su estado de plena carga y en condiciones de funcionamiento diferentes a las establecidas para definir la capacidad nominal de la batería, excepto la tensión de finalización de la descarga.
- Resistencia interna: es la resistencia que opone la propia celda como material ante el flujo de corriente, es imposible medir directamente la resistencia interna de una batería, pero ésta puede ser calculada mediante los datos de corriente y voltaje medidos sobre ella.
- Energía Específica: Energía que puede almacenar una batería por unidad de peso (Wh/kg).
- Vida útil: Tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. Definido también como el número de veces que la batería puede ser recargada, para recobrar su capacidad completa después de su uso.
- Eficacia (%): Es la fracción de energía eléctrica que devuelve la batería, en proporción a la energía que ha sido necesaria para cargarla.
- SOC, estado de carga: Capacidad disponible de la batería en función de su capacidad nominal. Se expresa en porcentaje.
- DOD, Profundidad de descarga, o SOD, Estado de descarga: capacidad extraída de una batería en función de su capacidad nominal. Es la variable complementaria al estado de carga.
- SOH, estado de salud: Condición o capacidad de funcionamiento actual de la batería en función de la capacidad nominal o inicial (nueva). No hay una forma de cálculo normalizada.

d) Baterías con mayor aplicación en vehículos de tracción eléctrica

- Batería de Plomo Acido (Pb)

Las baterías de plomo ácido son las más comunes dentro del mercado automotriz, está compuesta por un depósito de ácido sulfúrico y dentro de éste se encuentran un conjunto de placas de plomo, ordenadas según sea su polaridad. La composición que utiliza es plomo en el electrodo positivo y óxido de plomo en el electrodo negativo, que produce una solución de ácido sulfúrico como electrolito.

La característica principal de estas baterías es la gran capacidad de descarga en periodos cortos de tiempo, ideal para el arranque de motores de combustión, están diseñadas para reducir la posibilidad de un cortocircuito interno. Su tensión nominal ronda los 2V y la tensión final se

estima en unos 1,75 V que puede bajar por los consumos extraordinariamente altos como la puesta en marcha del motor.

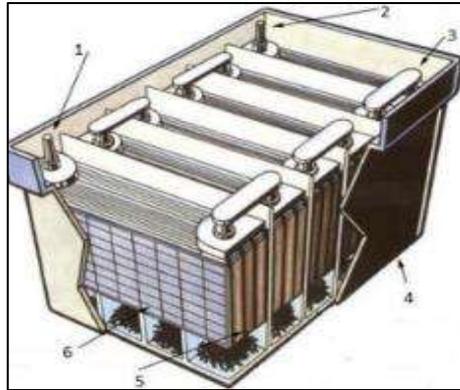


Ilustración 2-10: Batería plomo-ácido

Fuente: (Cabrerá, 2016)

- Baterías de Níquel e Hidruro Metálico (Ni-MH)

Están compuestas por una variedad de elementos metálicos, que representan el 50% del peso, presenta en su electrodo positivo hidróxido de níquel y en el negativo una aleación metálica como el hidruro metálico, reemplazaron a las baterías de níquel cadmio (Ni-Cd) ya que el cadmio es contaminante y por su mayor capacidad energética que es de alrededor de 30% mayor, auto descarga relativamente alta y una mayor vida útil.

La tensión nominal de este tipo de baterías es de 1,2 V que se mantienen durante la descarga produciendo electrones y cae rápidamente al final.



Ilustración 2-11: Batería níquel metal hidruro

Fuente: (Díez, 2019)

- Baterías de Ion de Litio (Li- ion)

Las baterías ion-litio actualmente son las más utilizadas y presentan un gran número de ventajas frente otras del mismo ámbito, está compuesta de dos electrodos de metal inmersos en un

electrolito líquido. En este tipo de baterías el electrodo negativo es de litio intercalado con carbono en forma de grafito. Mientras que el electrodo positivo es óxido de litio y el electrolito es líquido de sal de litio.

La capacidad energética por celda es de 3,5 V según el material de cátodo, el litio es un material atractivo para ánodo por su reactividad, poco peso y alta tensión, lo que favorece su uso en vehículos híbridos.

Sus ventajas principales son alta densidad de energía, descarga plana y permite desconectar las celdas en caso de que ocurran sobre intensidades o sobre temperaturas.



Ilustración 2-12: Batería de ion-litio

Fuente: (Loachamin, 2021)

- Tasa C de la batería

Se conoce como tasa “C” a la unidad para declarar un valor actual que se utiliza para estimar y/o designar el tiempo efectivo esperado de la batería en condiciones variables de carga/descarga. La corriente de carga y descarga de una batería se mide en tasa C. La mayoría de las baterías portátiles tienen una clasificación de 1C.

2.1.6.2. Motor eléctrico

En la Ilustración 2-13 se muestra un motor eléctrico que permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas. Al pasar la corriente eléctrica por la bobina ésta se comporta como un imán cuyos polos se rechazan o atraen con el imán que se encuentra en la parte inferior; al dar media vuelta el paso de corriente se interrumpe y la bobina deja de comportarse como imán, pero por inercia se sigue moviendo hasta que da otra media vuelta ya corriente pasa nuevamente repitiéndose el ciclo haciendo que el motor rote constantemente.



Ilustración 2-13: Motor eléctrico

Fuente: (Gonzales, 2022)

2.1.6.3. Controlador



Ilustración 2-14: Controlador

Fuente: (Mecánica, 2021)

En una aplicación donde se requieren cambios de velocidad, no se puede alimentar el motor de corriente continua directamente de una fuente de voltaje constante como son las baterías.

Como el par generado por el motor es proporcional a la intensidad de corriente que circula por él y esta es función del potencial al que está sometido, será necesario regular este potencial si se quiere regular el par generado por el motor. El dispositivo de la instalación eléctrica que se encarga de la regulación de este voltaje es el controlador. Esta regulación será función, como se verá, de las señales provenientes de acelerador y freno. El controlador se ubica entre el motor y la alimentación (baterías). De este modo a través de sus terminales B+ y M- el controlador es capaz de regular el voltaje entre los bornes del motor.

Esta regulación se realiza internamente en el controlador mediante una técnica conocida como PWM (pulse width modulation), es la misma que utilizan los convertidores DC/DC para recortar el voltaje. Así, esta técnica permitirá, en función de la demanda del acelerador y freno, recortar el voltaje de las baterías un cierto valor para que en entre los terminales del B+ y M- (equivalentes a los terminales del motor) exista el voltaje deseado en cada instante. (Angulo Navarro, 2015)

2.1.7. Reglamentación CIK/FIA

La comisión internacional de Karting (CIK) es una de las comisiones deportivas de la federación internacional del automóvil (FIA), cuyos objetivos son desarrollar, promover, coordinar y regular todas las actividades del Karting, haciendo valer los principios decretados por la Federación Internacional del Automóvil. (Cisneros, 2016)

La CIK-FIA tiene como principales tareas las de elaborar propuestas y presentarlas al consejo mundial con el objetivo de:

- Asegurar la unidad de las actividades del Karting y defender los intereses tanto materiales como morales.
- Fomentar el desarrollo de la práctica de este deporte respetando al mismo tiempo la seguridad, el medio ambiente y las regulaciones internacionales.
- Hacer cumplir los reglamentos internacionales y técnicos en lo que respecta al karting.
- Establecer reglas para cualquier equipo y material utilizado en la práctica del Karting, así como los lugares utilizados para la práctica.

2.1.7.1. Requerimientos

a) Chasis

Construcción de acero tubular estructural magnetizado o aleación de acero estructural de sección cilíndrica. Todas las partes principales del chasis deben estar sólidamente conexas entre sí al chasis-tubular, no podrán ser desmontadas.

Las articulaciones son solamente permitidas para el soporte convencional de la dirección y para girar el timón. Cualquier dispositivo neumático o hidráulico para absorber las vibraciones está prohibido. (Cisneros, 2016)

El eje trasero debe ser de acero magnético y tener un diámetro máximo exterior de 50 mm y un espesor de pared de mínimo 1,9 mm en todos los puntos.

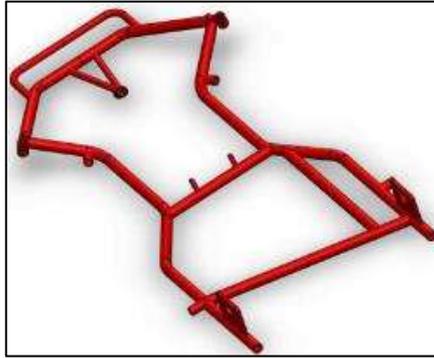


Ilustración 2-15: Chasis

Fuente: (González, 2023)

b) Transmisión

La transmisión debe ser siempre dirigida a las llantas traseras. El método es libre pero cualquier tipo de diferencial (en el eje, en las llantas o en cualquier otro lado) está prohibido. Cualquier caso de lubricación de la cadena está prohibido a menos que este permitido por FIA-CIK. (KART ACADEMI, 2019)

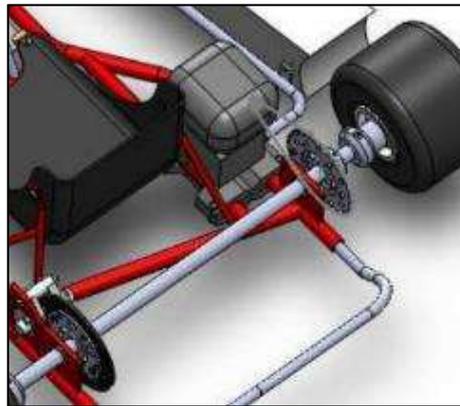


Ilustración 2-16: Transmisión

Fuente: (González, 2023)

c) Frenos

El E-kart se suministra con Sistema delantero y trasero de frenado que podrá ser hidráulicos. El control de freno (si se usa un cable, deberá tener un diámetro mínimo de 1,8 mm). Para las categorías sin caja de cambio, deberán funcionar en al menos ambas ruedas traseras simultáneamente. (REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO, 2021)



Ilustración 2-17: Frenos

Fuente: (Cisneros, 2016)

d) Dirección

Debe estar accionada por un volante de sección circular. Con un perímetro continuo. Por razones de seguridad el volante no debe presentar ninguna parte angular. Todo dispositivo montado en el volante no deberá sobrepasar en más de 20 mm el plano que pasa por encima del volante.

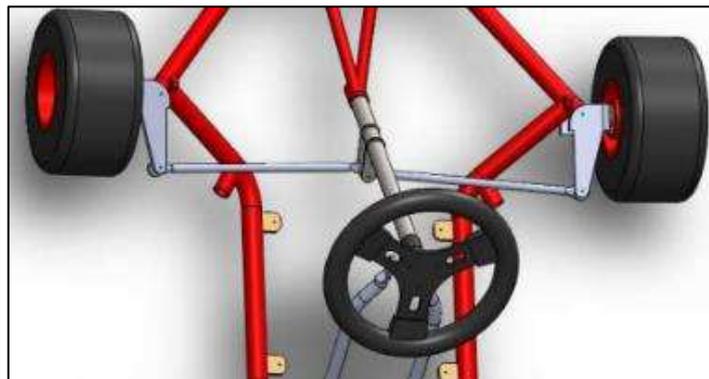


Ilustración 2-18: Sistema de dirección

Fuente: (González, 2023)

e) Batería

Solamente baterías selladas, que no necesiten mantenimiento, que sean anti-fuga son permitidas. El uso apropiado suministrado por el fabricante debe ser respetado. En los karts la batería puede alimentar la luz trasera, la ignición del motor y la bomba de agua. Deben estar ubicadas en el perímetro del chasis (Para KF en una zona ubicada al lado izquierdo de la silla detrás del puntal lateral o detrás de la silla).



Ilustración 2-19: Kit de baterías

Fuente: (García, 2016)

Estas baterías deben estar mecánicamente atadas al marco del chasis o en el kart al piso.

Para categoría V, vehículos clase 1 (Karts-Eléctricos), la tracción de la batería debe ser cambiada durante la carrera si las regulaciones suplementarias lo permiten.

Los siguientes tipos de baterías están permitidos:

- Níquel-hierro
- Níquel-Zinc
- Níquel-Hidruro-Metálico
- Ion-Litio
- Litio-Polímero
- Litio-Hierro-Fosfato

El voltaje está limitado por 1000 voltios (Para los de categoría V, Clase 1 hasta 200 voltios).

- La capacidad C1 es la capacidad de la batería en Ah a una temperatura de 25°C y para una descarga completa de máximo 1 hora. (FIA, 2023)
- La capacidad C5 es la capacidad de la batería en Ah a una temperatura de 25°C y para una descarga completa de máximo 5 horas. (FIA, 2023)
- La capacidad C20 es la capacidad de la batería en Ah a una temperatura de 25°C y para una descarga completa de máximo 20 horas. (FIA, 2023)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de flujo de las etapas del proyecto

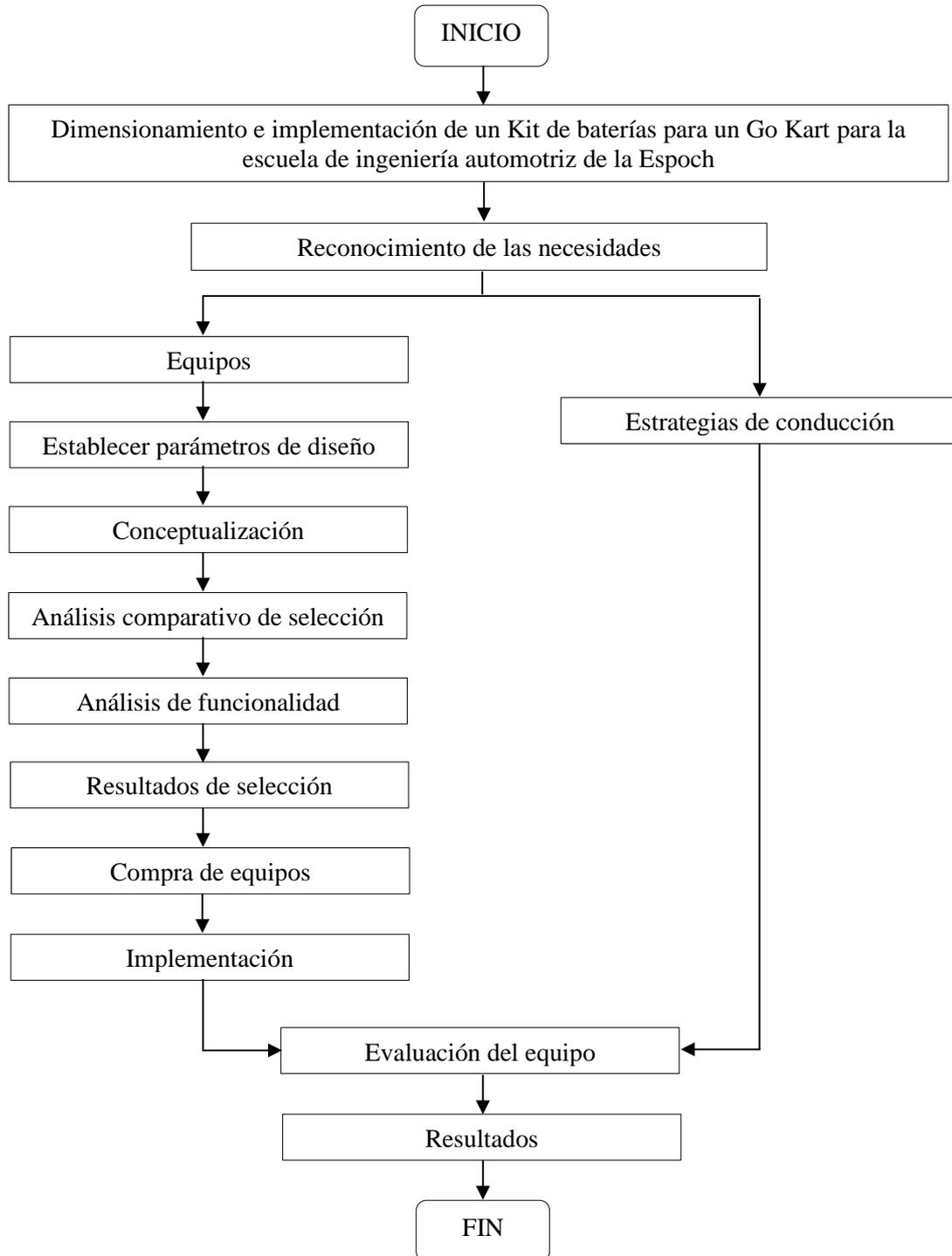


Ilustración 3-1: Flujograma del procedimiento de diseño

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.2. Cronograma de actividades

Tabla 3-1: Cronograma de actividades

Actividad	Fecha	Observación
Búsqueda de fuentes bibliográficas: artículos científicos, trabajos de titulación de pregrado y posgrado	Semana 1	
	Semana 2	
	Semana 3	
Dimensionamiento del kit de baterías en función de los datos requeridos mediante la utilización de dispositivo V-BOX	Semana 4	
	Semana 5	
Análisis y selección de componentes a utilizar según la reglamentación para el montaje de la batería en el prototipo	Semana 6	
	Semana 7	
Compra del kit de baterías según los cálculos realizados.	Semana 8	
	Semana 9	
	Semana 10	
Pruebas de funcionamiento, ciclos de carga y descarga del kit de baterías.	Semana 11	
	Semana 12	
	Semana 13	
Construcción de bases para la implementación del kit de baterías al monoplaza. Pruebas de funcionamiento del vehículo. Mediciones, recolección y análisis de datos de tiempo, velocidades y autonomía de la batería.	Semana 14	
	Semana 15	
	Semana 16	

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Tipo de estudio

Para el presente trabajo denominado ‘‘dimensionamiento e implementación de un Kit de baterías para un Go Kart para la escuela de ingeniería automotriz de la Espoch, se utilizará ciertos tipos de metodologías, una de ellas es el método analítico.

Método analítico. - Este método particular de investigación requiere el uso de la capacidad de pensamiento crítico y la evaluación de los datos y la información oportuna para el proyecto en cuestión. El estudio analítico pretende identificar las causas y los mecanismos que subyacen a la evolución a lo largo de un periodo determinado.

Además, se detalla una metodología comparativa y deductiva, debido a que se centra en investigar todo tipo de información concisa acerca del tema principal del entorno o realidad que serán analizadas, para después formar una descripción clara y organizada para darlo a conocer de una forma fácil y concreta de tal modo que sea entendible y a la vez entretenida para sus receptores dentro del campo automotriz y consumidores en general.

Método comparativo. -El análisis comparativo es un método de investigación, recolección y análisis de información que consiste en la comparación de dos o más procesos, documentos, conjuntos de datos u otros objetos.

3.4. Reconocimiento de las necesidades

En este estudio la necesidad es dimensionar e implementar un kit de baterías que requiere el Go Kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Espoch con el fin de buscar la autonomía necesaria para competir en las futuras ediciones de Karting y además mejorar las prestaciones mediante una selección minuciosa de componentes como: baterías y BMS.

3.5. Equipos

3.5.1. Vbox Sport

Mediante la utilización del instrumento (VBOX SPORT) se procedió a realizar la medición de variables como: Tiempo, altitud, aceleración, velocidad, y distancia recorrida del vehículo, los mismos que son indispensables para el análisis cuantitativo de resultados. Los datos de campo

con los cuales se trabajó para la evaluación de la estrategia corresponden a valores promedios de cada una de las variables de veinte practicas realizadas por cada ensayo

VBOX Sport se puede utilizar con cualquier tipo de vehículo, motos, bicicletas, etc. Podrá registrar datos GPS precisos, como velocidad, aceleración, distancia y tiempo, directamente en la tarjeta SD incluida para que pueda mejorar su rendimiento con el software de análisis Circuit Tools. El VBOX Sport cuenta con la certificación oficial de Apple y se conecta a través de una conexión Bluetooth, lo que mejora la recepción GPS en dispositivos iOS o agrega funcionalidad GPS a aquellos que aún no la tienen.



Ilustración 3-2: Dispositivo VBOX SPORT

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.6. Lugar de ensayo para la recolección de datos

En la Ilustración 3-22, se puede observar la ruta que se escogió para la recolección de datos, el lugar está ubicado en la ciudad de Riobamba, a pocos metros del centro comercial Shopping.

Con la ayuda del VBOX se procedió a montarlo en el Go kart para después empezar el recorrido en nuestra pista y de esta manera obtener los diferentes datos de velocidad, distancia, tiempo, altitud y aceleración que van a servir para el cálculo del dimensionamiento del kit de baterías que se busca.



Ilustración 3-3: Pista para las pruebas

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.7. Parámetros de diseño

El Go kart debe contar con las características óptimas de diseño ingenieril, como aerodinámica del vehículo, que tiene su mayor impacto a través de su contribución a la carga en carretera. Las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el vehículo como arrastre, carga descendente (peso), fuerzas laterales y ruido afectando al consumo de energía, con el estudio de parámetros se podrán garantizar que el monoplaza pueda realizar una conducción eficiente y segura. (Gillespie., 2021)

3.8. Parámetros dinámicos del Go kart

Los parámetros recolectados con el instrumento de medición VBOX del monoplaza y que contribuirán al estudio y dimensionamiento de la batería para suplir la demanda de energía son:

Tabla 3-2: Parámetros del vehículo

Parámetros del vehículo motor		Valor	Unidades
Masa	(m)	135	kg
Coefficiente de arrastre	(Cd)	0,3	-
Coefficiente de rodadura	(fr)	0,025	-
Área frontal	(Af)	0,43	m ²
Gravedad	(g)	9,81	m/s ²
Densidad del aire	(ρ)	0,843	kg/m ³
Radio dinámico	(rd)	0,14	M

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.8.1. Masa del Go kart (m)

Para obtener el valor en kilogramos del Go kart más el ocupante se procedió a pesarlo en una báscula. Obteniendo como resultado 135 kg.

3.8.2. Coeficiente de arrastre (C_d)

El coeficiente de arrastre se determina empíricamente para un automóvil, varía en un amplio rango según la forma, generalmente se encuentra entre $0,2 < C_d < 0,4$ para los Go kart. (Gillespie., 2021)

Para el caso de estudio se tomó un valor medio de 0,3.

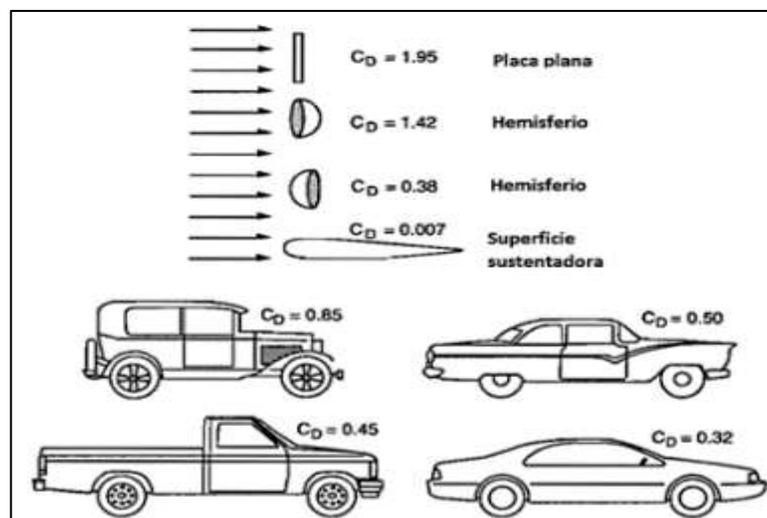


Ilustración 3-4: Valores del coeficiente de arrastre.

Fuente: (Gillespie., 2021)

3.8.3. Coeficiente de rodadura (f_r)

El coeficiente de resistencia a la rodadura es un factor adimensional que expresa el efecto de las propiedades físicas complejas que intervienen entre los neumáticos y el suelo. (Gillespie., 2021)

Se estableció un valor de 0,025 para un vehículo tipo kart desplazándose sobre asfalto.

Tabla 3-3: Valores del coeficiente de rodadura según el suelo

Estado del suelo	Coeficiente de rodadura
Asfalto	0,02 a 0,03
Empedrado seco	0,0015
Cemento	0,00125
Tierra blanda	0,11

Fuente: (QUEZADA, 2018)

3.8.4. Área frontal (A_f)

Para calcular el área frontal del monoplaza más el ocupante se utilizó el software SolidWorks como se observa en la figura, obteniendo un valor de 0.43m^2 .

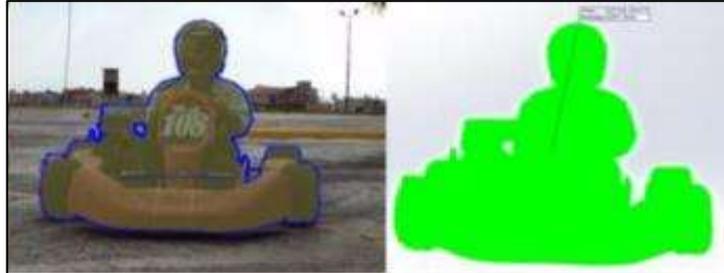


Ilustración 3-5: Cálculo del área frontal

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.8.5. Densidad del aire en Riobamba (ρ)

La densidad del aire es variable dependiendo de las condiciones de temperatura, presión y humedad.

De la ecuación de los gases se tiene:

$$\rho = \frac{P}{287 (T + 273)} \quad \text{Ec. 1}$$

P: Presión atmosférica

T: Temperatura promedio de calentamiento

$$\rho = \frac{73594.16}{287 (((50 + 12)/2) + 273)}$$

$$\rho = 0,843 \text{ kg/m}^3$$

3.9. Análisis de la dinámica longitudinal del vehículo

3.9.1. Parámetros para determinar la demanda energética del Go kart eléctrico

3.9.1.1. Fuerza de arrastre (F_d)

La resistencia es la fuerza aerodinámica más grande e importante que enfrentan los automóviles en carretera, la fuerza de arrastre se deriva del flujo de aire que está en contacto con el vehículo. (Gillespie., 2021).

Por lo tanto, la resistencia aerodinámica de arrastre se caracteriza por la ecuación:

$$F_d = \frac{C_d * A_f * \rho}{2} * V^2 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

C_d : Coeficiente de rodadura.

A_f : Área frontal del vehículo.

ρ : Densidad del aire.

3.9.1.2. Resistencia a la rodadura (R_x)

La resistencia a la rodadura de los neumáticos en asfalto a bajas velocidades es la principal fuerza de resistencia al movimiento y está presente desde el instante en que las ruedas comienzan a girar. Considerando al vehículo como un solo objeto, la resistencia a la rodadura es la suma de todas las resistencias que actúan sobre las ruedas. (Gillespie., 2021)

$$R_x = m * g * \cos(\theta) * f_r \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

m : Masa del vehículo.

g : Gravedad.

f_r : Coeficiente de rodadura.

3.9.1.3. Resistencia a la pendiente (R_g)

El vehículo necesita disponer de fuerza para vencer la resistencia que opone la masa de sí mismo y de la carretera si esta presenta un grado de inclinación, por tanto.

Se calcula por la ecuación:

$$R_g = m * g * \text{Sen}(\theta) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

m: Masa del vehículo

g: Gravedad

3.9.1.4. Velocidad angular (w)

La velocidad angular es la medida de la velocidad de rotación expresada en radianes sobre segundos.

$$w = \frac{V}{R_d} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

V: Velocidad tangencial

R_d: Radio dinámico

3.9.1.5. Fuerza en rueda (F_x)

La suma de la resistencia a la rodadura y las fuerzas aerodinámicas constituyen el empuje del vehículo, se denomina "Fuerza en rueda". (Gillespie., 2021)

Se determina por la ecuación:

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

F_d: Fuerza de arrastre.

R_x: Resistencia a la rodadura.

R_g: Resistencia a la pendiente.

R_i: Resistencia a la inercia.

3.9.1.6. Torque en rueda (τ_x)

El torque entregado a los ejes para girar las ruedas y proporcionar fuerza de tracción en el suelo se determina por:

$$\tau_x = F_x * r_d \quad \text{Ec: 7}$$

Donde:

F_x : Fuerza en rueda.

r_d : Radio dinámico.

3.9.1.7. Potencia en rueda (P_x)

La potencia indica la rapidez a la que trabaja el torque en una cierta cantidad de tiempo.

$$P_x = F_x * V \quad \text{Ec: 8}$$

Donde:

F_x : Fuerza en rueda

V : Velocidad

3.9.1.8. Energía en rueda (E)

Se determina a la energía en rueda como la fuerza que se necesita para poder mover al vehículo.

$$E_x = P_x * \Delta t \quad \text{Ec: 9}$$

Donde:

P_x : Potencia en rueda

Δt : Variación del tiempo

3.10. Análisis de los parámetros dinámicos del Go Kart

Luego de un análisis exhaustivo y de haber recolectado los datos que permiten un óptimo dimensionamiento que requiere el Go Kart, se puede empezar a describir algunos parámetros importantes para lo que será la selección de la batería.

Con la ayuda del equipo Vbox Sport se recolecta datos de veintidós vueltas para posteriormente empezar el análisis dinámico con las fórmulas descritas anteriormente.

El método utilizado para el análisis dinámico en el programa Excel es el denominado “mínimas diferencias ponderadas” que básicamente se utiliza para aplicar dentro de una serie de datos, cuál de ellos tiene una importancia mayor. Por lo tanto, algunos datos se ponderan más que otros y este valor se utiliza para calcular el promedio.

A continuación, en la Tabla 3-5, se describirán los resultados de los datos utilizando el método descrito anteriormente, donde se nota parámetros de la distancia total del ciclo en km, las diferentes velocidades (máxima, mínima y promedio) y así mismo para la aceleración.

Los datos con más relevancia y que van a permitir la selección de la batería óptima para el Go Kart, son la potencia máxima el torque máximo y la energía total consumida durante el ciclo.

Tabla 3-4: Resultado de la vuelta característica.

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia total	0,54	[km]
Velocidad máx.	16,62	[m/s]
Velocidad promedio.	9,89	[m/s]
Aceleración máx.	5,42	[m/s ²]
Aceleración mín.	-6,33	[m/s ²]
Tiempo total	54,50	[s]
Aceleración (+) promedio	1,294	[m/s ²]
Aceleración (-) promedio	-1,83395	[m/s ²]
Potencia máx.	7,85	[kW]
Torque máx.	149,69	[Nm]
Energía positiva total	0,02	[kWh]
Energía negativa total	0,01	[kW/h]
% Regeneración	68,48	%
Rendimiento	29,52	[Km/Kw/h]
Detenido	0,00	[%]
Velocidad cte.	0,73	[%]
Aceleración	58,06	[%]
Desaceleración	41,21	[%]
TOTAL:	100,00	[%]
[a*V] (+) promedio	12,16	[m ² /s ³]
[a*V]. máx.	54,12	[m ² /s ³]

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

Además de los datos descritos en la Tabla 3-5, en la Tabla 3-6, se describe valores de la energía total demandada que se requirió en el ciclo (energía en rueda) y que va a ser determinante para los cálculos finales para determinar la potencia de la batería.

Tabla 3-5: Datos de la energía requerida en el ciclo

Parámetro	Valor	Unidad	Valor en porcentaje	Porcentaje
Energía de fuerza de arrastre (Fd)	0,0007143	[kWh]	3,9074	[%]
Energía de resistencia a la rodadura (Rx)	0,002942	[kWh]	16,0938	[%]
Energía de fuerza a la pendiente (Rg)	0,0008754	[kWh]	4,7886	[%]
Energía de resistencia a la inercia (Ri)	0,01374	[kWh]	75,2110	[%]
Energía en rueda (Ex +)	0,01828	[kWh]	100	[%]

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.11. Parámetros para la selección de la batería

Una vez obtenidos los datos de la vuelta característica, procedió a hacer los cálculos finales que van a permitir seleccionar la batería que requiere el Go Kart eléctrico.

Para ello se necesita consultar valores de eficiencias desde la batería hasta el motor eléctrico, así como la relación de transmisión que van a ser parámetros importantes para los cálculos.

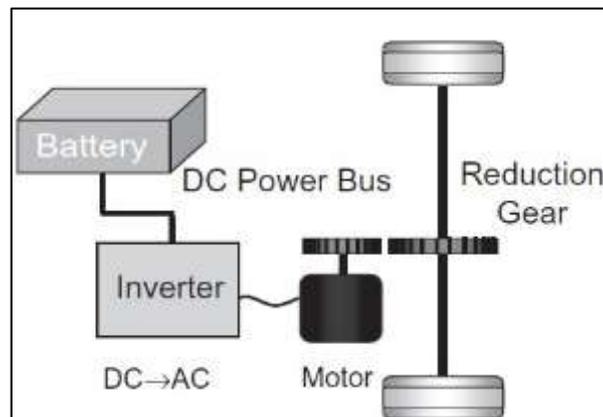


Ilustración 3-6: Componentes del sistema eléctrico

Fuente: (Gillespie., 2021)

3.11.1. Eficiencia del motor eléctrico (n_{me})

La eficiencia del motor eléctrico hace referencia a la proporción de la energía eléctrica que se va a convertir en energía mecánica.

Los motores eléctricos tienen una eficiencia del 90%. (Clavijo, 2017)

3.11.2. Eficiencia del inversor (n_i)

La eficiencia del inversor tiene un valor de entre (90-95) %. (Morocho & Rivera, 2020)

3.11.3. Eficiencia de la batería (n_b)

La eficiencia de la batería eléctrica supera el valor de 90%, para el estudio dinámico se tomó un valor de 92%.

3.11.4. Eficiencia transmisión (n_t)

La eficiencia de la transmisión para un Go kart ronda valores superiores al 90%, para lo cual en el estudio se tomó un valor de 95%.

3.11.5. Relación de transmisión (N_{td})

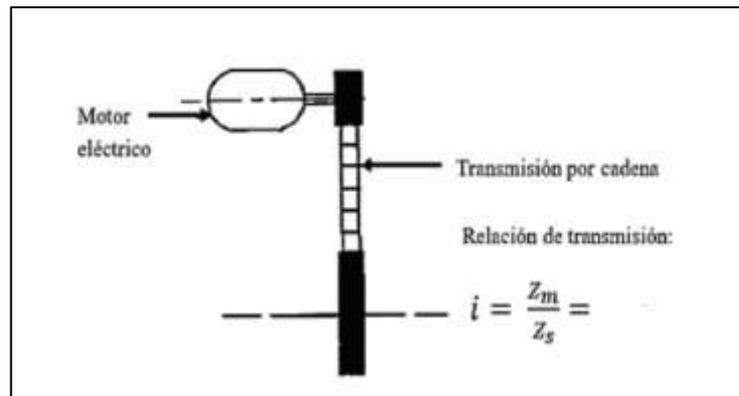


Ilustración 3-7: Relación de transmisión

Fuente: (Morocho & Rivera, 2020)

$$i = \frac{Z_m = \text{dientes de la corona}}{Z_s = \text{Dientes del piñon}}$$

$$\frac{79}{12} = 6,58$$

Ec. 10

Tabla 3-6: Datos de los parámetros para la selección de batería

Parámetros	Abreviatura	Valor	Unidad
Radio dinámico	Rd	0,14	m
Eficiencia transmisión	Nt	0,95	%
Relación de transmisión	Ntd	6,58	-

Eficiencia del motor eléctrico	Nme	0,9	%
Eficiencia del inversor	Ni	0,95	%
Eficiencia batería	Nb	0,92	%
Masa	M	135	Kg
Factor de masa	Mf	1,1482	-
Masa equivalente	Me	20,0125	-

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

Con los datos descritos en la Tabla 3-7, se puede calcular la potencia de salida de la batería, paso a paso desde el torque a la salida como la potencia de salida del motor, para continuar con la obtención de los datos de la potencia de salida del inversor y terminar con los datos de la potencia de salida de la batería, y sacar la energía final que será demandada en el ciclo.

3.11.6. Factor de masa (*mf*)

$$mf = 1,04 + 0,0025 * Ntd^2 \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

Ntd: relación de transmisión

3.11.7. Masa equivalente (*me*)

Hace referencia al valor de la masa por el factor de masa

$$me = M * mf - M \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

M: masa

mf: factor de masa

3.11.8. Torque demandado a la salida del motor (τ_m)

$$\tau_m = \frac{(fx + me * a) * Rd}{Ntd * nt} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

Fx: fuerza en rueda

Me: masa equivalente

a: aceleración

Rd: radio dinámico

Ntd: relación de transmisión

nt: eficiencia de la transmisión

3.11.9. Potencia del motor (P_m)

$$P_m = w * \tau_m \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

w: velocidad angular

τ_m : torque del motor

3.11.10. Potencia del inversor (P_i)

La potencia a la salida del inversor viene a ser la misma que a la entrada del motor por tanto la ecuación es la siguiente.

$$P_{i \text{ out}} = P_{m \text{ in}} = \frac{P_{m \text{ out}}}{n_{me}} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

P_m : potencia del motor

n_{me} : eficiencia del motor eléctrico

3.11.11. Potencia de la batería (P_b)

La potencia a la salida de la batería es igual a la potencia de entrada del inversor por tanto la ecuación es:

$$P_{b \text{ out}} = P_{i \text{ in}} = \frac{P_{i \text{ out}}}{n_i} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

P_i : potencia del inversor

n_i : eficiencia del inversor

3.12. Análisis de los resultados del dimensionamiento de selección de batería

De los resultados obtenidos de los cálculos de selección se crea la Tabla 3-8 donde se resumen los valores máximos, mínimos y promedios, obteniendo los siguientes datos los cuales permitirán proceder con la selección de compra de baterías que cumplan la demanda energética que se necesita.

Tabla 3-7: Resultado de datos de potencia de la batería

Potencia batería	Valor	Unidad
Máximo	10,9981	kW
Mínimo	0	kW
Promedio	1,6534	kW

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

En la Tabla 3-8 se detallan los valores resultantes de potencia, cabe resaltar que esta potencia es la consumida durante el recorrido característico demandado por el vehículo.

Tabla 3-8: Resultados de energía consumida en el ciclo

Energía	Valor	Unidad
Máxima	6,8978	kWh
Mínima	4,1545E-06	kWh
Promedio	0,0126	kWh

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

En la Tabla 3-9, se detalla los valores resultantes de la energía consumida en el tiempo de duración del ciclo, es decir que con este valor máximo que es necesario para la selección de la batería.

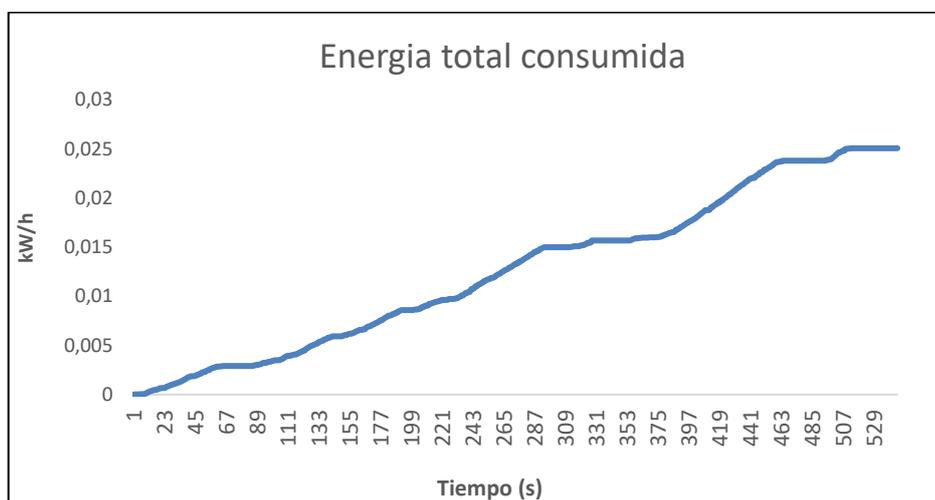


Ilustración 3-8: Energía total consumida

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

En la Ilustración 3-27, se muestra el consumo de la energía total que se va a dar en el ciclo para un viaje.

3.13. Parámetros de selección de la batería

3.13.1. Comparación de las prestaciones de los distintos tipos de baterías

A continuación, en la Tabla 3-10, se muestran las principales características que definen una batería.

Estas características serán las que determinen que tipo de baterías es más adecuada en función de su uso.

Recordar que este proyecto técnico nace de la necesidad de buscar documentación y a si proceder a hacer al dimensionamiento de la batería que se espera obtener en concreto para el Go kart.

Tabla 3-9: Comparativa de diferentes tipos de batería

Tecnología Parámetros	Pb-acido	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Li-Fe	Li-Po
Voltaje (V/celda)	2	1.2	1.2	3.6	3.3	3.7
Autodescarga (%/mes)	3	10	30	8	-	5
Descarga en continua	-	10c	8c	1c	26c	26c
Descarga por picos	-	-	-	-	-	52c
Mantenimiento	Bueno	Malo	Regular	Fácil	Bueno	Fácil
Ciclos de vida	500-800	1500-2000	300-500	400-1200	2000	>1000
Densidad energética [wh/l]	60-75	50-150	140-300	250-360	220	300
Energía específica [Wh/Kg]	30-40	40-60	30-80	100-250	90-110	130-200
Potencia específica [W/Kg]	180	150	250-1000	250-340	3000	7100
Corriente carga rápida [C]	0.4	1-2	1-2	1	4	1-2
Eficiencia. Carga/Desc (%)	50-92	70-90	66	80-90	-	99.8
Tolerancia a sobrecargas	-	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. mala
Robustez a impactos	Buena	M. buena	Buena	M. mala	Media	M. mala

Altas temperaturas	Media	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. mala
Problemas de ecualización	No	No	No	Si	Si	Si
Seguridad	M. buena	M. buena	M. buena	M. buena	M. buena	Buena
Formato	-	Cilíndrico	Cilíndrico	Prisma	Pris/Cilin	Prisma

Fuente: (Angulo Navarro, 2015)

Para cumplir con un óptimo funcionamiento y por ende una mayor autonomía es necesario estudiar los parámetros que contribuyen a mejorar las diferentes prestaciones, entre ellas la eficiencia del Go kart.

- Tensión y corriente eléctrica
- Autonomía
- Peso
- Tecnología
- Efecto memoria
- Vida útil

Tabla 3-10: Comparación de diferentes marcas de baterías

MARCA	GOLDEN MOTOR	BIONX	GOLDEN MOTOR	EVE
Procedencia	china	alemana	china	China
Modelo	36V10-Ah	Bionx limn	48V10Ah	ICR 18650
Voltaje	36V	48V	48V	60V
Material químico	Iones de litio	Litio-oxido de manganeso	Iones de Litio	Iones de Litio
Amperaje nominal	10Ah	6,3Ah	10Ah	20Ah
Corriente de carga	2,5	3	3	3,5
Peso	3,5 kg	5 kg	4,5 kg	5 kg
Precio sin importación	\$ 215.00	\$289.00	396.00	460.00

Fuente: (Gonzáles, 2023)

En la Tabla 3-11, se describen cuatro tipos de baterías eléctricas con características diferentes, tanto en marca, procedencia, forma, voltajes y composición química.

3.13.1.1. Matriz de selección de batería

De acuerdo con los valores obtenidos por la Tabla 3-11, se selecciona la batería eléctrica de marca: EVE, modelo: ICR 18650, compuesta de celdas cilíndricas de Ion Litio.

Se escogió esta batería porque cuenta con prestaciones, dimensiones, eficiencias y valores por arriba de las otras baterías eléctricas descritas en la Tabla 3-11, acordes con el cálculo realizado en el dimensionamiento.

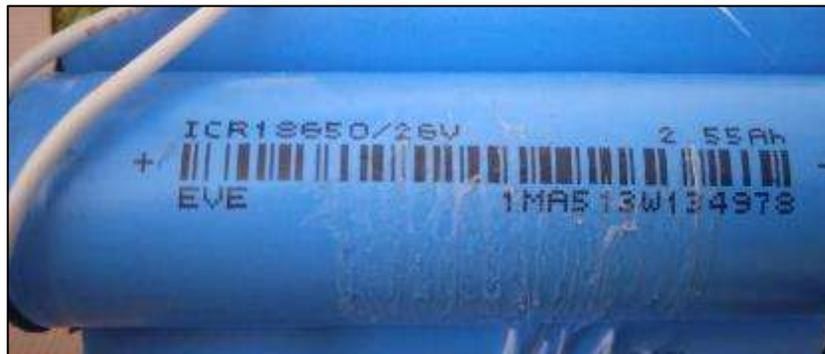


Ilustración 3-9: Batería de ion litio de marca EVE

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

A continuación, en la Tabla 3-12 se detalla las características de la batería seleccionada

Tabla 3-11: Características de la batería de litio de marca EVE

Característica	Valor	Unidad
Tensión	2,8	V
Capacidad	2,55	Ah
Celdas en serie	21	-
Celdas en paralelo	7	-
Tensión nominal	58,8	V
Capacidad nominal	17,8	Ah
Potencia	1,050	kWh
Peso total	5	Kg
Densidad energética	230	Wh/kg
Tamaño	260*150*70	mm

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

La batería de Ion Litio está constituida con material de latón: la capa exterior de la batería está hecha de material de PVC impermeable, aislamiento, anticorrosión, resistente a golpes y al

desgaste. La capa interior cuenta con grandes ventajas como un bajo punto de fusión, sellado impermeable y alta adherencia.

En la ilustración 3-29 se puede observar el cargador de 60V-3A y lo que es más importante, viene incluida con un tablero BMS de 30A para proteger la vida útil de la batería.



Ilustración 3-10: Cargador de la batería

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.14. Descripción de la BMS



Ilustración 3-11: BMS de marca JBD

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

En la ilustración 3-30 se detalla la BMS, la cual es JBD-HP08S001 diseñado para el kit de baterías del Go Kart eléctrico. La placa de protección de la BMS está diseñada para brindar protección de serie de 7-16 celdas, así como varias funciones de protección para la carga y descarga, además, tiene una gran capacidad de carga y la corriente de descarga continua máxima puede alcanzar los 30A.

3.15. Proceso de construcción de bases para implementación de batería.

Una vez finalizada la selección y adquisición de la batería se procede a montarla en el chasis del Go kart para acoplarla con el resto de los elementos del tren motriz y prepararse para realizar las pruebas de autonomía.

3.15.1. Ensamble de base de batería

En la Ilustración 3-31 se observa el proceso de ensamble de la base que se realizó y en donde va a estar ubicada la batería, está base se encuentra unida al chasis del Go kart mediante pernos de fijación los cuales van a permitir que la base no tenga problemas de deslizamiento y que la batería no sufra movimientos ya que esta debe permanecer segura para cualquier tipo de terreno en el que se desplace el Go kart. Las dimensiones de la base son 17*35*7.5 cm, y su material de construcción es el hierro.



Ilustración 3-12: Base de la batería

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

3.15.2. Conexión eléctrica

Una vez ensambladas las bases en el chasis y luego de ubicar los componentes del tren motriz eléctrico en el del Go kart, se debe conectar los terminales de la batería con los del controlador como se muestra en la Ilustración 3-32.



Ilustración 3-13: Conexión eléctrica

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Implementación del kit de baterías

Se implementó los componentes del tren eléctrico, así como también la batería de ion litio de marca EVE en el chasis de la carrera de Ingeniería Automotriz.



Ilustración 4-1: Implementación de los componentes del tren eléctrico

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

Al completar el ensamble de los elementos de tracción eléctrica en el Go kart se plantea realizar pruebas de autonomía en el mismo tramo y con la misma distancia recorrida en las que se tomaron las primeras mediciones con la finalidad de validar que la selección de la batería fue la adecuada para los cálculos de la demanda energética de un Go kart de combustión interna.

4.1.1. Prueba de autonomía

Las pruebas inician con la batería cargada al 100% sometida a varios ciclos de conducción de descarga completa con un peso total de 117 Kg en la pista seleccionada en el capítulo tres, con una variación de velocidad, simulando parámetros iguales al de una carrera de karting, en la Tabla 4-13 se muestran los datos obtenidos en la ruta.

Tabla 4-1: Datos obtenidos de los parámetros con la implementación de los componentes eléctricos

Pruebas	Numero de vueltas	Velocidad promedio (km/h)	Autonomía (km)	Tiempo (min)
1	25	45	15	25
2	25	44,9	15.2	24,3
3	25	44,7	15.3	23
4	25	44	15.7	24,7
5	25	46	15.4	22,9

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

Cabe recalcar que estas pruebas se las realizó precautelando la vida útil de la batería, ya que en total de 25 vueltas el voltaje disminuyo de 64V a 50 V, en un tiempo de 25 minutos aproximadamente.

4.1.2. *Discusión de resultados de la autonomía de la batería*

4.1.2.1. *Tiempo de autonomía*

Los datos tomados en cuenta son:

La potencia del motor $P= 2500$ Watts, el voltaje $V= 60$ voltios, la corriente entregada por las baterías $I_{bat}= 20$ amperios-hora.

Corriente consumida por el motor. Se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P = V * I \quad \text{Ec. 17}$$

$$I = \frac{2500 W}{60 V} = 41,6 Ah$$

4.1.2.2. *Autonomía de la batería*

Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Autonomia (t) = \frac{\text{Potencia en KWh de la batería}}{\text{Potencia de consumo en kW}} \quad \text{Ec. 18}$$

$$Autonomia (t) = \frac{60V * 20Ah}{2,5 kW} = \frac{1,2kWh}{2,5kW} = 0,48h$$

$$\text{Autonomía } (t) = 0,48 \text{ h} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 28,8 \text{ min}$$

De acuerdo con los datos recolectados en la Tabla 4-13, se obtuvo un recorrido promedio de 16 km, un tiempo promedio de 25 min y una velocidad promedio de 46 km/h de todas las pruebas realizadas en el Go kart eléctrico. Además, se puede notar los datos obtenidos en la Ec. 18 de autonomía que son valores similares a los obtenidos en la pista.

4.1.3. *Análisis comparativo de las gráficas de velocidad del dispositivo VBOX Sport del Go kart de combustión interna vs eléctrico*



Ilustración 4-2: Gráfica de velocidad del motor de combustión interna

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.



Ilustración 4-3: Gráfica de velocidad del motor eléctrico

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

En la Ilustración 4-34 e Ilustración 4-35, se puede observar las diferentes curvas de velocidad tanto del Go kart de combustión interna como de propulsión eléctrica, aunque el vehículo de

combustión interna alcanza más velocidad en una trayectoria recta, el monoplaza eléctrico es más eficiente ya que convierte el 80% de la energía en movimiento obteniendo mejores ventajas de velocidad en tramos cerrados que un vehículo a combustión.

Además, se nota que el comportamiento de la gráfica de velocidad del motor de combustión no es constante ya que decrece en varios puntos, esto se debe ya que al llegar a un obstáculo o curva le cuesta llegar a su velocidad final debido a la baja eficiencia al convertir el 17% de la energía en movimiento desde el motor hacia las ruedas.

Es importante mencionar que la eficiencia del motor eléctrico es máxima desde el momento en que se inicia la rotación, gracias al torque que ofrece una respuesta inmediata al pisar el acelerador obteniendo una mejor eficiencia y rendimiento en la conducción.

4.1.4. Análisis comparativo de las Tablas de consumo de energía del Go kart de combustión interna vs eléctrico

Tabla 4-2: Consumo energético del Go kart de combustión interna

Parámetro	Valor	Unidad	Valor en porcentaje	Unidad
Energía de fuerza de arrastre (Fd)	0,0007143	[kWh]	3,9074	[%]
Energía de resistencia a la rodadura (Rx)	0,002942	[kWh]	16,0938	[%]
Energía de fuerza a la pendiente (Rg)	0,0008754	[kWh]	4,7886	[%]
Energía de resistencia a la inercia (Ri)	0,01374	[kWh]	75,2110	[%]
Energía en rueda (Ex +)	0,01828	[kWh]	100	[%]

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

Tabla 4-3: Consumo energético del Go kart eléctrico

Parámetro	Valor	Unidad	Valor en porcentaje	Unidad
Energía de fuerza de arrastre (Fd)	0,0005	[kWh]	4,657	[%]
Energía de resistencia a la rodadura (Rx)	0,0022	[kWh]	21,612	[%]
Energía de fuerza a la pendiente (Rg)	0,0009	[kWh]	8,312	[%]
Energía de resistencia a la inercia (Ri)	0,0068	[kWh]	65,419	[%]
Energía en rueda (Ex +)	0,010371	[kWh]	100	[%]

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

En las Tablas 4-13 y Tabla 4-14 se puede apreciar el consumo energético tanto del Go kart de combustión interna como el de propulsión eléctrica que se obtuvo a través de los cálculos producto de la demanda energética que se dio en ruta que se recorrida con cada uno de ellos.

El vehículo monoplaza de propulsión eléctrica consume menos energía en rueda que el de combustión debido a varios parámetros como el alto torque que tiene el motor, como también la disminución de 18 kilogramos de peso que se logró gracias a que se utilizan componentes más livianos.

4.1.5. Costos

Los costos del proyecto son:

Tabla 4-4: Costos del proyecto

Descripción	Costo
Batería de ion litio de marca EVE y BMS	\$ 400
Base para la batería	\$ 25
Protección o caja de batería	\$ 50
TOTAL	\$ 475

Realizado por: Relica V.; Silva J., 2023.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El dimensionamiento del KIT de baterías que necesitaba el Go kart de la Escuela de Ingeniería Automotriz, se logró mediante el cálculo, simulación y análisis comparativo de consumo de energía.

Por ello, ha sido necesario una búsqueda exhaustiva de fuentes bibliográficas para poder expresar un mensaje crítico y así encontrar una solución óptima y sintetizada para llegar a los lectores de una forma clara y entendible.

Para un excelente dimensionamiento del Kit de baterías para el Go kart se partió de un análisis de demanda energética en un monoplaza de combustión interna, esto con el fin de obtener datos que ayuden a calcular parámetros aerodinámicos, así como dinámicos para asegurar el correcto funcionamiento y la autonomía necesaria del Go kart.

El dimensionamiento y el análisis comparativo entre diferentes tipos de baterías, dando como resultado una batería de Ion de Litio de marca EVE de 60v y 20A, logrando una potencia de 1,2 kW teniendo como ventaja la alta eficiencia energética y vida útil prolongada.

Por último, se realizaron pruebas donde por cada 25 min de recorrido en el mismo tramo con 25 vueltas se tiene aproximadamente 15 km de autonomía, logrando una velocidad promedio de 45 Km/h teniendo mejores ventajas en arranque y en tramos cerrados. Así como también se logró optimizar el consumo de energía en un 0,0079 kWh por vuelta gracias a la disminución de 18 kg y al alto torque que proporciona el motor del Go kart eléctrico.

5.2. Recomendaciones

Para ofrecer protección a los elementos eléctricos como: la batería y BMS, es necesario construir una caja de material impermeable y dieléctrico que permita aislar estos elementos del contacto con otros componentes o el ambiente.

Para prologar la vida útil del tren eléctrico en futuras competiciones se deberá realizar una mejora en el sistema de refrigeración de los equipos no sufran sobrecalentamiento.

Es importante añadir balanceadores de carga a la batería para protegerla de sobrecargas de voltaje. Para prolongar la vida útil de la batería es necesario implementar un sistema de monitoreos de voltaje y amperaje, en el cual el SOC no debe disminuir de 40 voltios.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGENCY ENVIRONMENT EUROPEAN**, *Trasporte y Movilidad*. [En línea]
Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/transport-and-mobility>
2. **AMAIRANY, F.**, *Diseño de la batería de un vehículo eléctrico para Formula Student ULL*.
[En línea] Available at:
<file:///C:/Users/windows%2010/Desktop/tesis/LIBROS/Diseno%20de%20la%20bateria%20de%20un%20vehiculo%20electrico%20para%20Formula%20Student%20ULL..pdf>
3. **ANGULO NAVARRO, E.**, *Diseño eléctrico-electrónico de un kart eléctrico*. [En línea]
Available at: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/77148?locale-attribute=es>
4. **CABRERA, A.**, *Selección del motor eléctrico, controlador y batería para el vehículo formula SAE de la universidad politécnica salesiana*. [En línea]
Available at: <file:///C:/Users/windows%2010/Desktop/tesis/LIBROS/UPS-CT006618.pdf>
5. **CARMONA, R. & JONES, E.**, *Precios altos del petróleo, ¿especulación o fundamentales?*.
[En línea] Available at:
<https://www.potencianatural.com.mx/energia/Articulos/Septiembre2008/CarmonaJonesSep2008.htm>
6. **CEPEDA, S. & GARZON, C.**, *Componentes de la batería*. [En línea]
Available at: [file:///C:/Users/windows%2010/Desktop/tesis/LIBROS/Dialnet-DescripcionDeLasCaracteristicasDeLosDiferentesTipo-8483043%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/windows%2010/Desktop/tesis/LIBROS/Dialnet-DescripcionDeLasCaracteristicasDeLosDiferentesTipo-8483043%20(1).pdf)
7. **CHIQUIANA, E.**, *Diseño e implementación del tren motriz*. [En línea]
Available at: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/9168/T-ESPEL-MAI-0490.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
8. **CISNEROS, L.**, *Diseño y construcción de un kart con especificaciones CIK-FIA para la implementación de un sistema electromotriz plug-in en el sistema de tren de rodaje*. [En línea]
Available at:
https://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/14124/65808_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

9. **CLAVIJO, D.**, *Análisis, simulación e implementación de mejora del rendimiento para un kart eléctrico.* [En línea] Available at: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/61557/12763.pdf?sequence=1>
10. **DÍEZ, P.**, *Principios básicos del vehículo eléctrico.* [En línea] Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/222807924.pdf>
11. **FIA**, *FIA ecoRally Cup Technical Regulations.* [En línea] Available at: https://www.fia.com/sites/default/files/2023_fia_ecorally_cup_-_technical_regulations_clean_wmsc_29_june_2022.pdf
12. **GARCÍA, M.**, *Diseño de un prototipo kart eléctrico.* [En línea] Available at: https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/20076/1/9146_1.pdf
13. **GILLESPIE., T.**, *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* [En línea] Available at: https://www.academia.edu/43470286/Cap%C3%ADtulo_1_2_y_4_Traducci%C3%B3n_de_l_Libro_Fundamentals_of_Vehicle_Dynamics_de_Thomas_D_Gillespie
14. **GONZALES, C.**, *Tipos de motores eléctricos para coche y sus características.* [En línea] Available at: <https://testcoches.es/ayuda/tipos-motores-electricos-coche/>
15. **GONZÁLES, F.**, *Análisis de un kart de competición y de sus componentes.* [En línea] Available at: <https://zaguan.unizar.es/record/5673/files/TAZ-PFC-2011-125.pdf>
16. **GUANOLUISA, E. & BUSTOS, F.**, *Implementacion de un pack de baterías recicladas de ion litio en una motoneta eléctrica de la carrera de ingeniería automotriz.* [En línea] Available at: <file:///C:/Users/windows%2010/Desktop/tesis/LIBROS/65T00467.pdf>
17. **KART ACADEMI**, *Reglamento Kart Academy 2018/2019.* [En línea] Available at: http://kartacademy.es/wp-content/uploads/2019/03/NORMATIVA_KA-2019-v1_CAST_REF-0.pdf
18. **LOACHAMIN, M.**, *Implementación del Sistema del Tren de Potencia Eléctrico y Transmisión de un Go-Kart para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica*

Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. [En línea]
Available at: <file:///C:/Users/windows%2010/Desktop/tesis/LIBROS/M-ESPEL-MAT-0141.pdf>

19. **MARTÍNEZ, J.**, *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas.* [En línea]
Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/87655074.pdf>
20. **MECANICA, T.**, *¿Qué es y para qué sirve un controlador de patinete eléctrico?.* [En línea]
Available at: <https://www.todomecanica.com/noticias/21155-que-es-y-para-que-sirve-un-controlador-de-patinete-electrico.html>
21. **MILITELLO, C.**, *La ULL presenta un vehículo eléctrico que participará en la competición internacional Fórmula Student.* [En línea]
Available at: <https://www.ull.es/portal/noticias/2022/ull-presenta-vehiculo-electrico-formula-student/>
22. **MIRANDA, J. & IGLESIAS, N.**, *Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico.* [En línea]
Available at:
<file:///C:/Users/andyr/Desktop/tesis/ojovol.18.Lasinfraestructurasderecargayeldespeguedelvehiculoelctrico.pdf>
23. **MORENTE, C.**, *Parámetros que caracterizan el comportamiento de la batería.* [En línea]
Available at:
file:///C:/Users/windows%2010/Desktop/tesis/LIBROS/TFG_Carolina_Morente_Fernandez.pdf
24. **MOROCHO, J. & RIVERA, J.**, *Diseño e implementación del tren de propulsión eléctrico de un prototipo para la competencia Eco Shell Marathon.* [En línea]
Available at: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/13825/1/65T00343.pdf>
25. **QUEZADA, P.**, *Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la reglamentación CIK/FIA.* [En línea]
Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15766/1/UPS-CT007735.pdf>

26. **REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO**, *E-Karting Spanish Open 2021*. [En línea]
Available at: <https://www.playanddrive.com/wp-content/uploads/2021/07/Reglamento-Tecnico-eKarting-Spanish-Open-2021-ES.pdf>
27. **ROSERO, D. & LOPEZ, E.**, “*Diseño y construcción del sistema de propulsión para un prototipo de auto eléctrico biplaza UTA-CIM17*”. [En línea] Available at: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27922/1/Tesis%20I.%20M.%20457%20-%20Rosero%20Vargas%20Darwin%20Salom%c3%b3n%20y%20L%c3%b3pez%20Balc%c3%a1zar%20Edwin%20Fernando.pdf>
28. **SANTAMARTA, J.**, *El futuro del automóvil es eléctrico*. [En línea]
Available at: <https://www.tecnicaindustrial.es/el-futuro-del-automovil-es-electrico/>
29. **ZARUMA, G. & RAMIREZ, S.**, *Diseño y construcción de un prototipo KART*. [En línea]
Available at: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/714/1/T-UIDE-0640.pdf>



ANEXOS

ANEXO A: CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE LA BASE DE LA BATERÍA



ANEXO B: INSTALACIÓN DE LA BATERÍA EN EL CHASIS DEL GO KART ELÉCTRICO



ANEXO C: PESAJE DEL GO KART MAS OCUPANTE



ANEXO D: GO KART EN SU ETAPA FINAL





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 22/01/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Victor Andrés Relica Bustamante Joel Nicolas Silva Leon
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
 Ing. Víctor David Bravo Morocho Director del Trabajo de Titulación  Ing. Ángel José Quevedo Ríos Asesor del Trabajo de Titulación