



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

VICTOR PATRICIO SINCHI SINCHI

LUIS ALBERTO TORO AGUAVIL

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TREN ELÉCTRICO  
PARA UN GO KART PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** VICTOR PATRICIO SINCHI SINCHI

LUIS ALBERTO TORO AGUAVIL

**DIRECTOR:** Ing. VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Victor Patricio Sinchi Sinchi & Luis Alberto Toro Aguavil

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, Victor Patricio Sinchi Sinchi y Luis Alberto Toro Aguavil declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi 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, 18 de enero de 2024



**Victor Patricio Sinchi Sinchi**

**C. I: 160059598-5**



**Luis Alberto Toro Aguavil**

**C. I: 235004286-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECANICA**  
**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 TREN ELÉCTRICO PARA UN GO KART PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **VICTOR PATRICIO SINCHI SINCHI** y **LUIS ALBERTO TORO AGUAVIL**, 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. Javier Milton Solís Santamaria  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



2024-01-18

Ing. Victor David Bravo Morocho  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-01-18

Ing. Milton Israel Quinga Morales  
**ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



024-01-18

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	ix
RESUMEN.....	xi
SUMMARY .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Vehículo eléctrico.....	5
2.1.1. <i>Clasificación de los vehículos eléctricos</i> .....	5
2.1.1.1. <i>Vehículo eléctrico de batería (BEV)</i> .....	5
2.1.1.2. <i>Vehículo híbrido no enchufable (HEV)</i> .....	6
2.1.1.3. <i>Vehículo híbrido eléctrico enchufable (PHEV)</i> .....	7
2.1.1.4. <i>Vehículo eléctrico de autonomía extendida (EREV)</i> .....	8
2.1.1.5. <i>Vehículo eléctrico con pila de combustible de hidrogeno (FCEV)</i> .....	8
2.2. Go kart.....	9
2.3. Componentes del Go kart .....	10
2.3.1. <i>Chasis</i> .....	10
2.3.2. <i>Asiento</i> .....	10
2.3.3. <i>Sistema de dirección</i> .....	11
2.3.4. <i>Sistema eléctrico</i> .....	11
2.3.4.1. <i>Motor eléctrico</i> .....	11
2.3.4.2. <i>Controlador</i> .....	16
2.3.4.3. <i>Batería.</i> .....	16

<b>2.3.5.</b>	<b><i>Componentes mecánicos</i></b> .....	19
<b>2.3.5.1.</b>	<i>Sistema de transmisión</i> .....	19
<b>2.3.5.2.</b>	<i>Relación de transmisión</i> .....	19
<b>2.3.5.3.</b>	<i>Ruedas motrices</i> .....	20

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	21
<b>3.1.</b>	<b>Generalidades</b> .....	21
<b>3.2.</b>	<b>Diseño de la investigación</b> .....	21
<b>3.2.1.</b>	<i>Método comparativo</i> .....	21
<b>3.2.2.</b>	<i>Método matematización</i> .....	21
<b>3.2.3.</b>	<i>Método de medición</i> .....	22
<b>3.2.4.</b>	<i>Método inductivo</i> .....	22
<b>3.2.5.</b>	<i>Método deductivo</i> .....	22
<b>3.3.</b>	<b>Descripción de los procesos</b> .....	23
<b>3.3.1.</b>	<i>Revisión bibliográfica</i> .....	24
<b>3.3.2.</b>	<i>Recolección de datos</i> .....	24
<b>3.3.2.1.</b>	<i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	24
<b>3.3.2.2.</b>	<i>Selección de la ruta</i> .....	24
<b>3.3.2.3.</b>	<i>Selección del go kart</i> .....	25
<b>3.3.3.</b>	<i>Dimensionamiento del tren motriz</i> .....	26
<b>3.3.3.1.</b>	<i>Herramientas de procesamiento de datos</i> .....	26
<b>3.3.3.2.</b>	<i>Instrumentación del Go kart MCI</i> .....	27
<b>3.3.3.3.</b>	<i>Adquisición de datos</i> .....	27
<b>3.3.3.4.</b>	<i>Parámetros de estudio</i> .....	30
<b>3.3.3.5.</b>	<i>Cálculos de las fuerzas externas ejercidas en el go kart</i> .....	36
<b>3.3.3.6.</b>	<i>Selección de la vuelta representativa del go kart (MCI)</i> .....	39
<b>3.3.3.7.</b>	<i>Interpretación de los datos obtenido de la vuelta representativa del go kart (MCI)</i> ..	41
<b>3.3.3.8.</b>	<i>Cálculos para la selección del tren eléctrico</i> .....	43
<b>3.3.4.</b>	<b>Selección del tren eléctrico</b> .....	46
<b>3.3.4.1.</b>	<i>Selección del motor</i> .....	46
<b>3.3.4.2.</b>	<i>Selección del controlador</i> .....	49
<b>3.3.4.3.</b>	<i>Selección del pedal de aceleración electrónico</i> .....	50
<b>3.3.5.</b>	<b>Implementación del tren de propulsión eléctrico</b> .....	51
<b>3.3.5.1.</b>	<i>Recursos y herramientas</i> .....	51
<b>3.3.5.2.</b>	<i>Implementación del motor eléctrico</i> .....	51

3.3.5.3.	<i>Implementación del controlador</i> .....	51
3.3.5.4.	<i>Implementación del pedal de aceleración electrónico</i> .....	52
3.3.5.5.	<i>Implementación de la corona, piñón y cadena</i> .....	52
3.3.6.	<i>Estudios realizados en el go kart eléctrico</i> .....	54
3.3.6.1.	<i>Prueba de velocidad</i> .....	55
3.3.6.2.	<i>Capacidad de aceleración</i> .....	59

## **CAPÍTULO IV**

4.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	62
4.1.	<b>Prueba de velocidad</b> .....	62
4.1.1.	<i>Análisis comparativo de velocidad vs tiempo</i> .....	62
4.2.	<b>Cálculo de la capacidad de aceleración</b> .....	65
4.3.	<b>Temperatura del motor eléctrico</b> .....	67

## **CAPÍTULO V**

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	70
5.1.	<b>Conclusiones</b> .....	70
5.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	71

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b>	Valores obtenidos del ciclo de conducción del go kart (MCI) .....	28
<b>Tabla 3-2:</b>	Parámetros de estudio considerados del go kart (MCI) (Tony Kart) .....	30
<b>Tabla 3-3:</b>	Coefficiente de rodadura para diferentes calzadas.....	35
<b>Tabla 3-4:</b>	Factores de ponderación.....	40
<b>Tabla 3-5:</b>	Obtención de la vuelta representativa por el método de las mínimas diferencias ponderadas del go kart MCI. ....	40
<b>Tabla 3-6:</b>	Datos obtenidos de la vuelta representativa 22 del go kart (MCI). ....	41
<b>Tabla 3-7:</b>	Energía demandada por la rueda de la vuelta representativa del go kart MCI..	42
<b>Tabla 3-8:</b>	Parámetros de estudio para la selección del tren eléctrico .....	43
<b>Tabla 3-9:</b>	Resultados obtenidos del torque del motor de combustión interna (MCI).....	47
<b>Tabla 3-10:</b>	Resultados obtenidos de la potencia del motor de combustión interna (MCI)..	47
<b>Tabla 3-11:</b>	Características de los motores eléctricos existentes en el mercado.....	47
<b>Tabla 3-12:</b>	Ponderación de los diferentes motores eléctricos seleccionados.....	48
<b>Tabla 3-13:</b>	Características del motor eléctrico seleccionado.....	49
<b>Tabla 3-14:</b>	Resultados de la potencia del controlador electrónico necesario .....	49
<b>Tabla 3-15:</b>	Controlador electrónico perteneciente a la marca KUNRAY .....	49
<b>Tabla 3-16:</b>	Obtención de la vuelta característica del go kart eléctrico por el método de las mínimas diferencias ponderadas.....	57
<b>Tabla 3-17:</b>	Datos obtenidos de la vuelta representativa del go kart eléctrico.....	58
<b>Tabla 3-18:</b>	Energías demandadas en la rueda del go kart eléctrico .....	59
<b>Tabla 3-19:</b>	Parámetros establecido por la normativa SAE J 1491.....	60
<b>Tabla 4-1:</b>	Datos obtenidos a partir de las vueltas representativa de cada go kart.....	62
<b>Tabla 4-2:</b>	Similitudes del go kart MCI y Eléctrico.....	63
<b>Tabla 4-3:</b>	Ventajas del go kart Eléctrico respecto a MCI.....	63
<b>Tabla 4-4:</b>	Desventajas del go kart Eléctrico respecto a MCI.....	64
<b>Tabla 4-5:</b>	Datos obtenidos de la velocidad máxima alcanzada por el go kart eléctrico ....	65
<b>Tabla 4-6:</b>	Capacidad de aceleración de cada prueba realizada.....	66
<b>Tabla 4-7:</b>	Promedio y desviación estándar tiempo necesario para alcanzar los 44 km/h..	67
<b>Tabla 4-8:</b>	Temperatura del motor eléctrico .....	68

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Elementos que conforma el vehículo eléctrico.....	5
<b>Ilustración 2-2:</b>	Vehículo eléctrico empleado como taxi (Londres) .....	6
<b>Ilustración 2-3:</b>	Estructura del vehículo eléctrico no enchufable (HEV).....	7
<b>Ilustración 2-4:</b>	BMW Serie 3 Hibrido enchufable.....	7
<b>Ilustración 2-5:</b>	Chevrolet Volt 2022 .....	8
<b>Ilustración 2-6:</b>	Go kart LR5.....	9
<b>Ilustración 2-7:</b>	Chasis homologado para un go kart .....	10
<b>Ilustración 2-8:</b>	Asiento del go kart .....	11
<b>Ilustración 2-9:</b>	Motor eléctrico de Corriente Continua.....	11
<b>Ilustración 2-10:</b>	Estator del motor eléctrico .....	12
<b>Ilustración 2-11:</b>	Rotor bobinado con anillos rozantes .....	12
<b>Ilustración 2-12:</b>	Carcaza del motor eléctrico.....	13
<b>Ilustración 2-13:</b>	Motor sincrónico del vehículo Audi.....	14
<b>Ilustración 2-14:</b>	Motor sincrónico de reluctancia.....	15
<b>Ilustración 2-15:</b>	Motor Brushless 72 v .....	16
<b>Ilustración 2-16:</b>	Controlador electrónico DC .....	16
<b>Ilustración 2-17:</b>	Batería de Litio JMT HJT9B-FP.....	17
<b>Ilustración 2-18:</b>	Batería Aokly Plomo acido .....	17
<b>Ilustración 2-19:</b>	Batería NiMH Toyota Prius .....	18
<b>Ilustración 2-20:</b>	Batería Ion de Litio .....	18
<b>Ilustración 2-21:</b>	Sistema de transmisión del go kart.....	19
<b>Ilustración 2-22:</b>	Transmisión Kart Automática.....	19
<b>Ilustración 2-23:</b>	Tamaño de los neumáticos.....	20
<b>Ilustración 3-1:</b>	Estructura del proyecto.....	23
<b>Ilustración 3-2:</b>	GPS, VBOX Sport.....	24
<b>Ilustración 3-3:</b>	Trazado de pista .....	25
<b>Ilustración 3-4:</b>	Go kart Tony Kart .....	26
<b>Ilustración 3-5:</b>	Interfax del VBOX Test Suite .....	26
<b>Ilustración 3-6:</b>	Instrumentación del go kart con el equipo VBOX Sport .....	27
<b>Ilustración 3-7:</b>	Gráfica de velocidad obtenida de la primera vuelta ciclo de conducción ...	28
<b>Ilustración 3-8:</b>	Gráfica de velocidad obtenida de la segunda vuelta ciclo de conducción ...	28
<b>Ilustración 3-9:</b>	Gráfica de velocidad obtenida de cada vuelta realizada en go kart MCI .....	29
<b>Ilustración 3-10:</b>	Ciclo de conducción del go kart del motor de combustión interna (MCI) ...	30
<b>Ilustración 3-11:</b>	Pesaje del go kart MCI con su piloto .....	31

<b>Ilustración 3-12:</b>	Go kart con su piloto .....	32
<b>Ilustración 3-13:</b>	Obtención de las longitudes reales del go kart .....	33
<b>Ilustración 3-14:</b>	Modelado del área frontal .....	33
<b>Ilustración 3-15:</b>	Cálculo del área frontal por medio del software .....	34
<b>Ilustración 3-16:</b>	Coeficiente de arrastre para diferentes vehículos .....	35
<b>Ilustración 3-17:</b>	Sistema de referencia SAE .....	36
<b>Ilustración 3-18:</b>	Ciclo de conducción de la vuelta representativa del go kart (MCI) .....	42
<b>Ilustración 3-19:</b>	Elementos que conforma un go kart eléctrico .....	43
<b>Ilustración 3-20:</b>	Transmisión de la fuerza por engranes .....	44
<b>Ilustración 3-21:</b>	Gráfica de la eficiencia del inversor vs Potencia .....	45
<b>Ilustración 3-22:</b>	Motor Brushless de 2500W .....	48
<b>Ilustración 3-23:</b>	Controlador 24Mosfet .....	50
<b>Ilustración 3-24:</b>	Líneas de conexión del controlador electrónico .....	50
<b>Ilustración 3-25:</b>	Acelerador electrónico universal .....	50
<b>Ilustración 3-26:</b>	Instalación del motor eléctrico al go kart .....	51
<b>Ilustración 3-27:</b>	Instalación del controlador electrónico al go kart .....	52
<b>Ilustración 3-28:</b>	Instalación del pedal electrónico .....	52
<b>Ilustración 3-29:</b>	Corona de 65 dientes .....	53
<b>Ilustración 3-30:</b>	Corona 65 dientes .....	53
<b>Ilustración 3-31:</b>	Piñón de 11 dientes .....	53
<b>Ilustración 3-32:</b>	Cadena de acero .....	54
<b>Ilustración 3-33:</b>	Tren eléctrico instalado en el go kart .....	54
<b>Ilustración 3-34:</b>	Trazado de la pista .....	55
<b>Ilustración 3-35:</b>	Implementación de los accesorios del go kart .....	55
<b>Ilustración 3-36:</b>	Pruebas de funcionamiento del go kart eléctrico .....	56
<b>Ilustración 3-37:</b>	Pesaje del go kart eléctrico con su piloto .....	56
<b>Ilustración 3-38:</b>	Ciclo de conducción de la vuelta representativa .....	58
<b>Ilustración 3-39:</b>	Instrumentación del go kart eléctrico .....	61
<b>Ilustración 3-40:</b>	Ruta establecida para las pruebas de aceleración .....	61
<b>Ilustración 4-1:</b>	Ciclo de conducción del go kart MCI y Tren eléctrico .....	65
<b>Ilustración 4-2:</b>	Curvas de velocidad vs tiempo .....	66
<b>Ilustración 4-3:</b>	Obtención de la temperatura por el medidor de temperatura digital .....	68
<b>Ilustración 4-4:</b>	Temperatura del motor eléctrico .....	69

## RESUMEN

El uso de combustibles derivados del petróleo vehículos es la principal fuente de movilidad del ser humano, sin embargo, dicho combustible es limitado y poco amigable con el medio ambiente debido a las emisiones de monóxido de carbono. Por ello la utilización de fuentes no convencionales de energía es un tema de interés mundial, motivo por el cual se pretende realizar la transición de fuentes alternativas de energía renovables. Por lo tanto el objetivo del presente proyecto fue estudiar e implementar un tren de propulsión eléctrico en un go kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz, basado en la normativa internacional CIK/FIA para reducir las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna empleados en competencias automovilísticas. Para ello se utilizó la metodología empleada se basó en un enfoque deductivo e inductivo donde se buscó estudiar el comportamiento de un go kart con motor de combustión interna MCI, mediante un dispositivo GPS (VBOX SPORT) con la finalidad de establecer una línea base de parámetros de referencia de diseño que permitió realizar cálculos paramétricos para determinar el tren de propulsión eléctrico existentes en el mercado en relación de costo - beneficio para la implementación en un chasis homologado. Donde se obtuvo como resultados, la adquisición de un motor eléctrico con potencia de 2500 W, alcanzando una velocidad máxima de 44 km/h, también se determinó de forma experimental, el go kart eléctrico requiere 13,45 segundos en acelerar de 0 a 44 km/h. Concluyendo que, el go kart eléctrico no fue capaz de superar la velocidad máxima alcanzada por el go kart de combustión interna, pero si supero en torque, lo que resulta beneficioso para tener un mejor arranque y salida de las curvas presentes en el circuito. Además es importante no depender de combustibles fósiles siendo amigable con el medio ambiente.

**Palabras clave:** <TREN ELÉCTRICO>, <GO KART ELÉCTRICO>, <CARRERA>, <VBOX SPOR>, <VELOCIDAD>, <ACELERACIÓN>.

0082-DBRA-UPT-2024



## SUMMARY

The use of fuels derived from petroleum vehicles is the main source of human mobility, however, such fuel is limited and environmentally unfriendly due to carbon monoxide emissions. For this reason, the use of non-conventional sources of energy is a topic of global interest, which is why the transition to alternative renewable energy sources is intended. Therefore, the objective of this project was to study and implement an electric drive train in a go kart of the Automotive Engineering Career, based on the CIK/FIA international standards to reduce pollutant emissions of internal combustion engines used in motor racing competitions. The methodology used was based on a deductive and inductive approach to study the behavior of a go kart with an internal combustion engine MCI, using a GPS device (VBOX SPORT) in order to establish a baseline of design reference parameters that allowed to perform parametric calculations to determine the existing electric drive train on the market in relation to cost - benefit for implementation in a homologated chassis. Where it was obtained as results, the acquisition of an electric motor with power of 2500 W, reaching a maximum speed of 44 km / h. It was also determined experimentally, the electric go kart requires 13,45 seconds to accelerate from 0 to 44 km /h. In conclusion, the electric go kart was not able to surpass the maximum speed reached by the internal combustion go kart, but it did surpass it in torque, which is beneficial to have a better start and exit of the curves present in the circuit. It is also important not to depend on fossil fuels being environmentally friendly.

**Keywords:** <ELECTRIC TRAIN>, <ELECTRIC GO KART>, <RACE>, <VBOX SPOR>, <SPEED>, <SPEED>, <ACCELERATION>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs

C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de combustibles derivados del petróleo es un pilar fundamental para la movilidad del ser humano, debido a que permite adaptarse a cualquier tipo de transporte, no obstante, el uso de dicho combustible es limitado y perjudicial para el medio ambiente debido a las emisiones de monóxido de carbono, motivo por el cual se pretende realizar la transición de fuentes alternativas de energía renovables. El presente trabajo brinda una alternativa de solución a esta problemática mediante el estudio e implementación de un tren eléctrico para un go kart para la carrera de Ingeniería automotriz.

El kartismo empezó en la década de los 50 en Estados Unidos siendo construido con materiales encontrados en una base de aviación, los primeros go kart construidos lograban alcanzar una velocidad aproximada de  $50 \frac{km}{h}$ . Aproximadamente en la década de los 60 el kartismo se expandió a toda Europa consolidándose y evolucionando a un deporte como se lo conoce en la actualidad como karting profesional (Faluga Racing, 2020).

Actualmente la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Epoch, dispone de una go kart con un sistema motriz impulsado por un motor de combustión interna (MCI), el cual utiliza combustible de origen fósil (gasolina), enmarcados en la transición hacia la electrificación de los sistemas motrices de los go kart, en el presente trabajo se analiza el desempeño del go kart con un sistema motriz eléctrico, basado en la normativa de la Federación Internacional de Automovilismo (CIK/FIA), se realizara un estudio a un karting homologado de 125 cc para determinar el correcto tren motriz a partir de su velocidad, aceleración y su disponibilidad en el mercado. Para el desarrollo del proyecto técnico se dividió en 4 capítulos planteados a continuación:

### CAPÍTULO I: Diagnostico del Problema

Se establece la problemática que se desea dar solución, la importancia y los objetivos que tiene el proyecto técnico, así como la contribución que se presente alcanzar con el estudio e implementación del tren eléctrico.

### CAPÍTULO II: Marco Teórico

Se expone todos los principios y fundamentos teóricos para la implementación de un tren eléctrico para un karting: bases teóricas, conceptos, funcionamiento y componentes que conforma un tren eléctrico.

### CAPÍTULO III: Marco Metodológico

Se detalla todo el estudio para la selección del tren eléctrico del go kart que consta de la obtención de datos de velocidad y aceleración de un go kart homologado con motor de combustión interna para posterior evaluación y relación de los distintos trenes eléctricos que se disponga en el mercado. La selección del tren y la implementación del mismo en el go kart. Además, se detalla la planificación del proyecto: cronograma, presupuesto utilizado, herramientas y equipos.

### CAPÍTULO IV: Resultados

Se detalla los resultados obtenidos, los mismos que permitieron cumplir con los objetivos propuestos.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

La utilización de fuentes no convencionales de energía para el transporte es un tema de interés mundial. Si bien desde los inicios de la era del automóvil, existió la disputa entre los vehículos con motores a combustión y los vehículos eléctricos, estos últimos quedaron rezagados debido a las limitaciones de autonomía de sus baterías, esta realidad empezó a cambiar a raíz de la aparición de los vehículos híbridos actuales, que dieron paso a la llegada de los vehículos eléctricos fundamentados en el hecho de que la autonomía de baterías mejoró notablemente y el precio de éstas disminuyó aproximadamente un 85% en la última década (Castells, 2018).

Actualmente la carrera de Ingeniería Automotriz de la Epoch dispone de un go kart con un sistema motriz con motor de combustión interna (MCI), el cual utiliza combustible de origen fósil, enmarcados en la transición hacia la electrificación de los sistemas motrices de los vehículos, en el presente trabajo se aborda la determinación del desempeño del go kart con un sistema motriz eléctrico, basado en la normativa de la Federación Internacional de Automovilismo (CIK/FIA). La implementación de un sistema motriz requiere el análisis de las condiciones de operación del vehículo, esto amerita un dimensionamiento del tren eléctrico, haciendo hincapié a la capacidad de aceleración y demás condiciones que estará expuesto durante las futuras competencias de la copa karting que se realizará en la carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH. Los componentes seleccionados del sistema de propulsión eléctrico se deben adaptar a un chasis homologado y los sistemas de seguridad activa y pasiva del go kart, para la evaluación de su desempeño en rutas de prueba.

### 1.2. Justificación

Actualmente debido a la contaminación ambiental, el planeta está sufriendo cambios climáticos y por esta razón surge la necesidad de encontrar energías alternativas eficientes adaptables a la movilidad humana, tal tecnología se puede aplicar en el sistema de propulsión de un go kart con la capacidad de participar en competencias de la copa karting, que se ha venido realizando con la propulsión de motores de combustión interna en las instalaciones de la ESPOCH. El presente trabajo de titulación se realizará bajo normativa de la (CIK/FIA) federación internacional de automovilismo, que hace referencia que un go kart es un vehículo tubular unipersonal que debe ser impulsado por un motor de combustión interna (MCI) y no debe poseer suspensión.



La realización del trabajo de titulación es de suma importancia ya que permitirá implementar a la Carrera de Ingeniería Automotriz un go kart eléctrico que servirá como pilar para nuevos proyectos, y fortalecer los conocimientos en diseño y mecanismos automotrices.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Estudiar e implementar un tren de propulsión eléctrico en un go kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz, basado en la normativa internacional CIK/FIA para reducir las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna empleados en competencias automovilísticas.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Recopilar información acerca de la implementación de trenes eléctricos usados en go karts, mediante revisiones bibliográficas, para determinar el tren eléctrico óptimo en relación costo beneficio.
- Estudiar el comportamiento de un go kart con motor de combustión interna (MCI) mediante un dispositivo GPS (VBOX SPORT) con la finalidad de establecer una línea base de parámetros de referencia de diseño.
- Realizar cálculos paramétricos que permitan determinar un sistema de propulsión eléctrico para el go kart de la carrera de Ingeniería Automotriz.
- Implementar el sistema de propulsión eléctrico en el chasis del go kart, mediante un ensamble de componentes y piezas siguiendo los lineamientos de la normativa (CIK/FIA) para evaluar su funcionamiento.
- Determinar la capacidad de aceleración del go kart, mediante el sistema implementado de propulsión eléctrico.

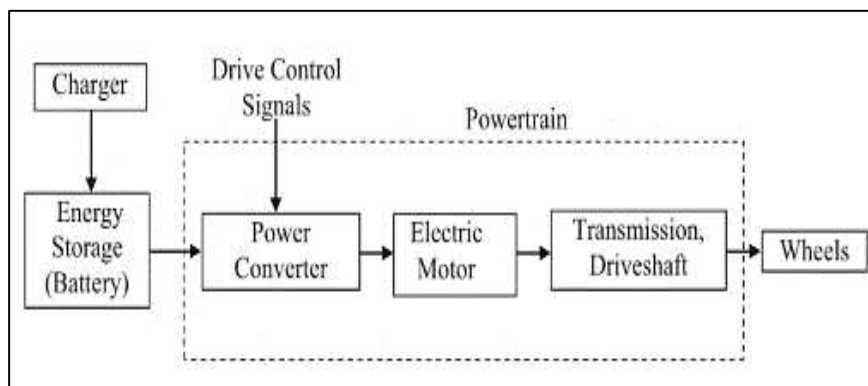
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Vehículo eléctrico

Un vehículo eléctrico (VE) es aquel que es impulsado por la fuerza ejercida por uno o varios motores eléctricos que son alimentados de la energía eléctrica producto de la energía química que almacena los acumuladores (Trashorras, 2019, p.2).

Un vehículo eléctrico consigue su tracción a través de los motores eléctricos lo que de diferencia de los vehículos con motores de combustión interna (MCI), además, de tener un menor tamaño y peso con respecto a los anteriores mencionados. La gran ventaja de utilizar vehículos eléctricos es su alto rendimiento y la poca emisión de gases contaminante debido a que ellos no necesitan consumir combustible fósil para funcionar. Siendo la mejor opción, la utilización de los vehículos eléctricos por no generar ningún tipo de gases contaminantes (Duque y Rocano, 2018, p.1).



**Ilustración 2-1:** Elementos que conforma el vehículo eléctrico

**Fuente:** (Husain, 2021)

##### 2.1.1. Clasificación de los vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos disponen de diferentes formas de propulsión alternativas, la cual se clasifica como:

###### 2.1.1.1. Vehículo eléctrico de batería (BEV)

También conocido como vehículo eléctrico puro (EV). Es aquel vehículo propulsado por uno o varios motores eléctricos que son alimentados principalmente por la energía almacenada de las baterías, es decir, no dispone de un motor de combustión interna (MCI) que se encargue de suministrar energía a los motores. El motor eléctrico es el encargado de convertir la energía eléctrica en energía cinética que lo envía a las ruedas para el desplazamiento del vehículo. Para recargar las baterías se lo realiza por medio de la red eléctrica a través de las estaciones de carga o por medio del freno regenerativo. El mayor aporte que tiene el vehículo eléctrico es su nula emisión de gases contaminantes, así como su alto rendimiento con respecto al motor de combustión interna (MCI), además, siendo que el valor de la electricidad consumida es inferior al precio del combustible fósil (Higueras, 2021; citados en Sharma et al., 2012, p.51).



**Ilustración 2-2:** Vehículo eléctrico empleado como taxi (Londres)

**Fuente:** (Deltón y Pells, 2022)

#### 2.1.1.2. Vehículo híbrido no enchufable (HEV)

Dispone de uno o varios motores eléctricos y un motor de combustión interna (MCI), dependiendo del fabricante dicho motor puede ser a Diesel o gasolina. Estos tipos de vehículos son los que mayor interés despertó al público debido que se puede encontrar con diferentes configuraciones, las cuales pueden ser paralelo, serie y combinado. La principal característica del vehículo híbrido no enchufable es su modo de operación, debido a que le permite funcionar de dos formas: vehículo eléctrico o simplemente utilizar a los motores eléctricos de apoyo para ciertas situaciones como al inicio del arranque o en aceleraciones fuertes. La gran problemática con este tipo de vehículo es su escasa autonomía en modo de vehículo eléctrico debido a su pobre capacidad de sus baterías que disponen. La configuración del vehículo híbrido en serie generalmente es usado para vehículos pesados, en contra parte, de la configuración paralelo o combinado tiende a ser implementado para sectores urbanos y rurales como, por ejemplo, vehículos de transporte de pasajeros (Carignano, 2018, pp.10-12).



**Ilustración 2-3:** Estructura del vehículo eléctrico no enchufable (HEV)

**Fuente:** (Trashorras, 2019)

### 2.1.1.3. Vehículo híbrido eléctrico enchufable (PHEV)

Denominados como híbrido enchufable, son vehículos que cuentan con uno o varios motores eléctricos y un motor de combustión interna (MCI). Lo que le diferencia del vehículo híbrido no enchufable es la gran capacidad de almacenamiento que cuenta la batería lo que le permite tener una mayor autonomía en el modo eléctrico. Para cargar las baterías se lo realiza por medio de la red eléctrica. El vehículo híbrido enchufable aprovecha los dos modos de operación, además de tener la capacidad de combinar los motores eléctricos y de combustión interna para obtener una mejor prestación. (Sarango, 2022; citados en Nanaki, 2021, p.5)



**Ilustración 2-4:** BMW Serie 3 Híbrido enchufable

**Fuente:** (Husain I., 2021)

#### 2.1.1.4. Vehículo eléctrico de autonomía extendida (EREV)

Son vehículos que utilizan uno o varios motores eléctricos y un motor de combustión interna (MCI). La diferencia radica en la implementación del motor de combustión interna debido a que se lo utiliza como un generador de corriente para cargar las baterías aumentando la autonomía del vehículo (Trashorras, 2019, p.3).



**Ilustración 2-5:** Chevrolet Volt 2022

**Fuente:** (General Motors, 2022)

#### 2.1.1.5. Vehículo eléctrico con pila de combustible de hidrogeno (FCEV)

Son vehículos que solo disponen de motores eléctricos y la fuente de energía para dichos motores se lo obtienen a partir de pilas de combustible de hidrógeno. Al operar con la pila de hidrogeno trae grandes ventajas con respecto a los anteriores mencionado como un alto rendimiento y una gran autonomía con un poco nivel de recarga, pero cuenta con poca potencia lo que no le permite obtener una rápida respuesta dinámica. Estos tipos de vehículos se encuentran desarrollados por diferentes marcas de vehículos actuales como lo son Toyota, Hyundai, Honda, Volkswagen y General motor con sus respectivos modelos Toyota Mirai, Tucson, Clarity, Passat Lingyu y Chevrolet Equinox. Con respecto a la lenta repuesta dinámica, las pilas de combustible son forzadas a permanecer en constante variación de potencia en ciertos parámetros (encender o apagar el vehículo), lo que provoca que termine reduciendo la vida útil de la pila, por lo cual, la solución más viable para amortiguar la variación de potencia fue incorporar los super capacitadores que ofrecen una mayor potencia con una gran capacidad de ciclos de carga y un menor peso (Carignano, 2018, pp.12-14).

## 2.2. Go kart

Según CIK-FIA (International Karting Commission - Federation International Automobile) un go kart es considerado como un vehículo terrestre monoplace que dispone o no de una carrocería, de cuatro neumáticos no alineados que se encuentran en conexión con el suelo, los dos neumáticos delanteros son controlados por el sistema de dirección encargados de la maniobrabilidad y los otros dos neumáticos traseros están conectados por un eje encargados de transmitir la potencia. Los principales elementos que conforma el go kart son el chasis, el motor que puede ser de combustión interna o eléctrica y los neumáticos. (CIKFIA, 2018)

Los inicios del go kart se origina en los Estados Unidos en la década de los cincuenta en la base de aviación de California, cuando unos ingenieros decidieron crear el chasis del go kart a base de tubos de calefacción unidos por soldadura para posterior colocar unas ruedas de avión y un motor de combustión interna (MCI) que pertenecía a una máquina corta-césped. Pero no fue hasta el año 1956, cuando la empresa Art Ingels perteneciente de la ciudad de Los Ángeles, construyo lo que hoy en día se conoce como el primer go kart, aunque era un vehículo simple y sencilla, tenía una capacidad de llegar a velocidades máximas de 50 km/h. un año después, gracias a su gran popularidad se empieza a comercializar los go kart (Quezada, 2018; citados en CIKFIA, 2018, pp.6-7).

Con la tendencia creada por los go kart, los señores Boberick y Patchen deciden formar una organización que les permita controlar todas las actividades relacionadas por los go kart para así no infringir las leyes establecidas en el país, en ese momento se crea el club americano de go kart (GKCA). Por los años sesenta, la Federación Internacional del Automóvil toma en consideración al go kart como un vehículo y crea la Comisión Internacional del Kartismo (CIK) conformado por doce naciones en una asamblea decidieron definir y establecer el reglamento técnico. Cabe mencionar que algunas leyes establecidas por el GKCA siguen vigentes en la actualidad (Quezada, 2018; citados en CIKFIA, 2018, pp.6-7).



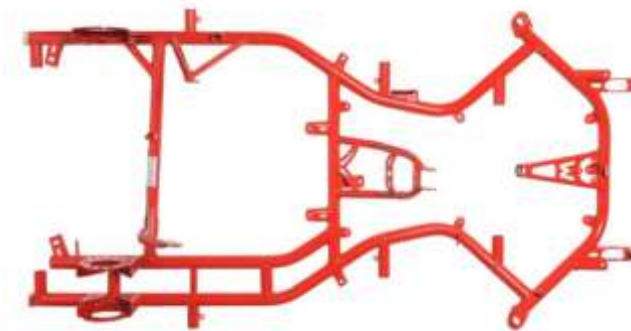
**Ilustración 2-6:** Go kart LR5

**Fuente:** (Castroponce Karting Sport, 2021)

## 2.3. Componentes del Go kart

### 2.3.1. Chasis

El chasis es la estructura base del go kart donde siendo uno de los elementos más importantes del go kart debido que soporta todas las fuerzas implicadas de los componentes tanto mecánicos como eléctricos instalados. El chasis se conforma por el marco y la carrocería. El marco es el esqueleto del chasis, conformado por una sola pieza elaborado de acero tubular de alta ductilidad, mientras la carrocería son todos los elementos que se encuentran en fricción con el aire (Gómez, 2020, p.37).



**Ilustración 2-7:** Chasis homologado para un go kart

**Fuente:** (Solokarting, 2020)

### 2.3.2. Asiento

Según CIK-FIA (International Karting Commission - Federation International Automobile), el asiento es el espacio donde el piloto debe acondicionarse a la postura obteniendo seguridad y confort, impidiendo que el conductor se pueda desplazar hacia los costados. Los miembros superiores e inferiores no deben encontrarse totalmente expandidos, sino que se debe encontrar con una ligera flexión que le permita al piloto maniobrar el volante y alcanzar los pedales sin tener la necesidad de levantarse del asiento. El asiento juega un rol muy importante debido a que su implementación en el go kart influirá en el centro de gravedad para la correcta distribución del peso del piloto. Por lo general el asiento suele ser atornillado al chasis. Disponen de placas de refuerzo indispensables que sujetan la parte superior del asiento, el espesor mínimo de las placas es de 1,5mm (CIKFIA, 2020).



**Ilustración 2-8:** Asiento del go kart

**Fuente:** (Nsmotorsport, 2023)

### **2.3.3. Sistema de dirección**

Todo el sistema está compuesto por el volante que se encarga de transmitir el movimiento del conductor hacia las bieletas, las rotulas con sus respectivos brazos de dirección. La conexión entre el volante y las bieletas se hace por medio de la columna de dirección (Roa, 2019, p.12).

### **2.3.4. Sistema eléctrico**

#### **2.3.4.1. Motor eléctrico**

Es una máquina capaz de convertir la energía eléctrica a energía mecánica o viceversa. Estos tipos de máquinas tienen la capacidad de trabajar como si fuera un motor o como un generador. El principio de funcionamiento de la máquina eléctrica como motor viene dada por la ley de Laplace que en pocas palabras es suministrar la corriente eléctrica al estator para posteriormente generar el campo electromagnético suficiente para iniciar con los primeros giros del motor. Para que una máquina eléctrica funcione como generador, sucede todo lo contrario donde necesita una fuerza externa genere los giros en el rotor para que el estator entregue una corriente de salida (Gómez, 2020, p.2).



**Ilustración 2-9:** Motor eléctrico de Corriente Continua

**Fuente:** (Amazon, 2023).



### 2.3.4.2. Componentes del motor eléctrico

#### **Estator**

Está formado por un conjunto de chapas de un espesor muy minúsculo, aproximadamente de 0,5 milímetros. Dependiendo del fabricante y del tipo de maquina eléctrica, las chapas estarán unidas entre sí y correctamente asiladas con el propósito de alcanzar el correcto dimensionamiento para el núcleo magnético (Gómez, 2020, p.10).

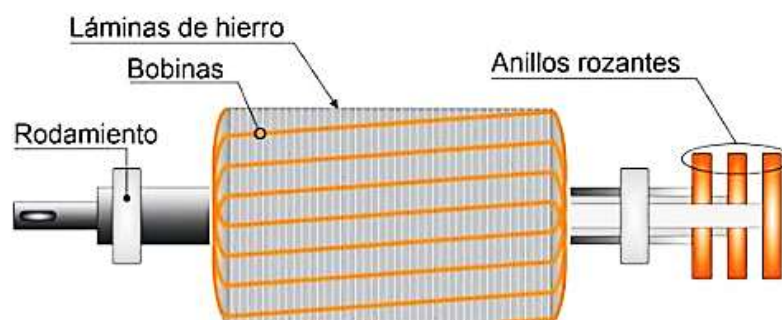


**Ilustración 2-10:** Estator del motor eléctrico

Fuente: (Nuevo, 2020)

#### **Rotor**

Es la parte móvil de la máquina, estos pueden ser de tipo inductor o inducido. El rotor está formado por chapas magnéticas y un eje. En los extremos de los ejes van colocados con cojinetes o rodamientos que le permite al rotor girar libremente (Gómez, 2020, p.11). Según el fabricante o el tipo de maquina el rotor puede ser de jaula de ardilla o bobinado. Es considerado como un elemento importante debido a que es el encargado de realizar la transferencia mecánica (Cruz, 2019, p.28).



**Ilustración 2-11:** Rotor bobinado con anillos rozantes

Fuente: (Nuevo, 2020)

### **Entrehierro**

Es el espacio que existe entre el núcleo ferromagnético y el rotor. Este elemento es importante debido a que es el medio de comunicación entre el flujo eléctrico y la energía mecánica (Gómez, 2020, p.12).

### **Carcaza**

Es la parte externa del motor que está construida de acero que dependiendo de las necesidades mecánicas puede disponer de aletas para la refrigeración del motor eléctrico. En la carcasa va ensamblado la parte fija (estator) (Nuevo, 2020, p.6).



**Ilustración 2-12:** Carcasa del motor eléctrico

**Fuente:** (Alibaba, 2023)

#### *2.3.4.3. Clasificación de los motores eléctricos*

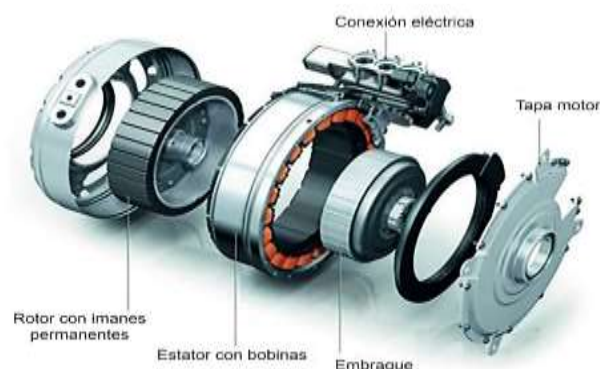
### **Motor asincrónico o de inducción (AC)**

Generalmente, este tipo de motor son los más empleados en la industria automotriz debido a que son propulsores de corriente alterna que funcionan con el principio de funcionamiento de campo magnético giratorio. Dicho principio de funcionamiento se basa en hacer rotar un electroimán o un imán permanente tratando que entre sus polos formen un círculo para generar el campo magnético. El motor asincrónico está compuesto por 3 bobinas que generalmente están ubicadas en el estator, cada bobina se encuentra colocadas a 120 grados con respecto a la otra. Los polos se originan cuando por la bobina circula el flujo eléctrico. Dentro del estator se encuentra el rotor que conforma todo el sistema del inducido del motor. En la actualidad existe dos tipos de rotores que pueden ser implementados en un motor eléctrico, los cuales son el rotor de jaula de ardilla que consiste en colocar a los conductores eléctricos en los aledaños del rotor con la característica que los extremos de los conductores se encuentren cortocircuitados y el rotor de anillos rozantes que se caracteriza porque el devanado se encuentra acoplados sobre anillos colectores que están conectados sobre el eje. Con respecto a la frecuencia de giro del rotor con respecto al estator de un motor asincrónico son diferentes con intervalos menores a la frecuencia

de alimentación motivo por el cual se los nombro asincrónico. Una manera de modificar la frecuencia de giro del motor es por medio del número de polos que disponga. La velocidad del campo magnético giratorio también es conocida como la velocidad de sincronismo y está determinada por la diferencia de velocidades del campo magnético con respecto al rotor. Los motores asincrónicos implementados en la industria automotriz suelen ser trifásicos debido que para generar el campo magnético giratorio solo se lo puede lograr implementando un sistema trifásico (Trashorras, 2019, pp.14-15).

### **Motor sincrónico de imanes permanente (AC)**

Estos tipos de motores cuentan con una velocidad de giro uniforme lo que le permite clasificarse según la posición en la que se encuentre el campo magnético. Estos tipos de motores forman parte de la familia que consume corriente alterna. Se lo considera un motor sincrónico debido su campo magnético es proporcional a la frecuencia de alimentación. Consta del mismo principio de funcionamiento de campo giratorio rotatorio. La gran ventaja que tiene estos tipos de motores con respecto al anterior es su alto rendimiento que comprende aproximadamente entre el 20 % más y la gran precisión de la velocidad de este. Por lo general, estos motores no pueden iniciarse por sí mismo, requiriendo un equipo adicional que lo ayude. Además, el suministro de corriente eléctrica para la activación del rotor proviene de una fuente de corriente continua. Una de las cualidades del estator es su factibilidad de configuración a la hora de determinar la cantidad de números de polos y bobinas que funcionan. La constitución del rotor para estos motores suele ser de hierro debido a su propiedad de permeabilidad magnética que evita la reluctancia. La principal desventaja de estos motores son el alto precio que pueden llegar a ser, además, el campo magnético al ser creado por medio de imanes, no se lo puede controlar necesitando un elemento externo que lo ayude (Elosegui, 2021, pp.8-9).



**Ilustración 2-13:** Motor sincrónico del vehículo Audi

**Fuente:** (Trashorras, 2019)

### **Motor sincrónico de reluctancia variable (AC)**

Son también conocidos como motores SRM. La reluctancia magnética de un material es considerada como la oposición del paso del flujo magnético en el momento que se encuentra presente el campo magnético al que debe enfrentarlo. Los motores sincrónicos de reluctancia están compuestos por un estator de inducción y un rotor que no dispone de imanes permanentes debido a que su construcción fue de un material magnético y bobinado. Al momento de iniciar el proceso de encendido, el motor opera como si fuera asíncrono hasta que el rotor alcance una velocidad de sincronismo aproximadamente del 75%, lo que genera que los devanados se desconecten hasta que solo quede el devanado inicial obligando al motor alcanzar otra vez la velocidad de sincronismo adecuado para generar el par de reluctancia (Carreño, 2022, p.14).



**Ilustración 2-14:** Motor sincrónico de reluctancia

**Fuente:** (Trashorras, 2019)

### **Motor sin escobillas de imanes permanentes (DC)**

También conocidos como motores brushless, son máquinas que incorporan imanes permanentes en el interior del rotor que funcionan al suministrar corriente a cada una de las bobinas del estator de una forma ordenada con la frecuencia del rotor, es decir que disponga de una velocidad de giro constante. Estos motores se caracterizan por no poseer escobillas que se encargue del cambio de polaridad. Estos motores por su composición terminaron siendo más económicos que los anteriores mencionados y mucho menos pesados. Al no poseer escobillas, el motor eléctrico cuenta con un variador electrónico que se encarga de controlar el giro del rotor, más precisamente la posición de dicho elemento para una mejor creación del campo magnético. Son generalmente implementados en vehículos híbridos o totalmente eléctricos por su falta de mantenimiento, no genera contaminación acústica y su robustez (Pascual, 2019, p.29-30).



**Ilustración 2-15:** Motor Brushless 72 v

**Fuente:** (Amazon, 2023)

#### 2.3.4.4. Controlador

Es un elemento sustancial en el sistema de propulsión de un vehículo eléctrico, ya que posee componentes eléctricos y electrónicos, gobernados por la unidad del sistema ECU BEV (vehículo eléctrico por batería); su función es transformar la corriente continua en corriente alterna o de manera inversa, para suministrar energía a un motor. (Heras, 2022, p.71).



**Ilustración 2-16:** Controlador electrónico DC

**Fuente:** (KUNRAY, 2021)

#### 2.3.4.5. Batería

“Este acumulador de energía almacena la electricidad mediante elementos electroquímicos, un proceso con pérdidas mínimas que permite un rendimiento próximo al 100%” (Trashorras, 2019, p.43). El principio de funcionamiento de una batería originalmente es a través de procedimiento de reducción- oxidación, el cual consiste en una transformación química reversible, en donde uno de los elementos pierde electrones y el otro gana electrones.

Los componentes químicos seleccionados para llevar el proceso de reacción dentro de una celda en una batería y la electrónica que inspecciona el proceso de carga y descarga determinan la conducta, rendimiento y durabilidad del acumulador. Existen algunos tipos de baterías, principalmente se dividen por su composición química. (Cepeda Santiago et al., 2022: p.379).



**Ilustración 2-17:** Batería de Litio JMT HJT9B-FP

Fuente: (kpsracing, 2023)

#### 2.3.4.6. Clasificación de las baterías

Las baterías se pueden clasificar según su composición y se clasifica en:

##### **Baterías de Plomo - Ácido**

Actualmente su utilización es muy frecuente en la industria automotriz por su alta fiabilidad, demanda y bajo coste. Estas baterías han conseguido el desarrollo tecnológico y han sobresalido en el mercado automovilístico. Pese a esto, estos acumuladores muestran problemas como la baja densidad energética, elevado peso y alto requerimiento de mantenimiento. (Sánchez, 2021, p.15).



**Ilustración 2-18:** Batería Aokly Plomo ácido

Fuente: (Renova Energía, 2023)

##### **Baterías de Níquel Hidruro Metálico**

Estas baterías se usan de manera habitual en vehículos de tipo híbridos y totalmente eléctricos. Las ventajas que presentan son su mejor densidad energética en relación con las de Plomo-Acido; la cantidad de periodos de carga y descarga que puede afrontar mientras el índice de descarga no sea elevado; permite operar en rangos de temperaturas elevados. (Sánchez, 2021, p.15).



**Ilustración 2-19:** Batería NiMH Toyota Prius

**Fuente:** (Entusiasta Toyota, 2021)

### **Baterías de Ion - Litio**

“Es la más utilizada en los coches eléctricos. Son baterías de iones de litio con electrolito líquido” (Trashorras, 2019, p.44). Las baterías de Ion de Litio son la mejor alternativa, para suministrar los sistemas eléctricos y electrónicos. Es la tecnología que ha revolucionado el mercado automotriz, gracias a su mayor densidad de energía y densidad de potencia en comparación a otras baterías, y brindan una vida útil prolongada. Necesitan de un BMS (Battery Management System), el cual es el encargado de gestionar condiciones de la batería. (Cueva et al., 2018, pp.168-169).



**Ilustración 2-20:** Batería Ion de Litio

**Fuente:** (Iruña Motor, 2022)

### **Baterías de Litio - Polímero**

Son una modificación de las baterías de iones de litio. Poseen una elevada densidad energética y modificaciones en la contribución de descarga.



### 2.3.5. Componentes mecánicos

#### 2.3.5.1. Sistema de transmisión

Este sistema es el encargado de transferir el torque y la potencia generado en el motor hacia las ruedas de un vehículo. El sistema de transmisión de un go kart automático está compuesto por corona, cadena y piñón. (Heras, 2022, p.59).

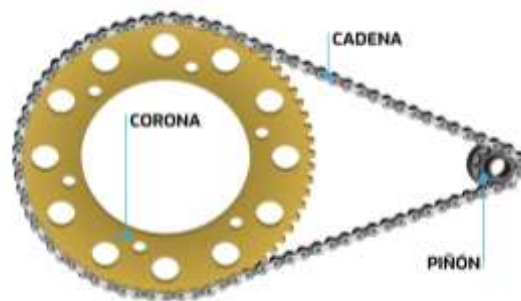


**Ilustración 2-21:** Sistema de transmisión del go kart

Fuente: (TKART, 2019)

#### 2.3.5.2. Relación de transmisión

La rueda motriz (piñón) y rueda conducida (corona) son las encargadas de transmitir la potencia del motor al eje del go kart. Para conseguir un mayor par en los neumáticos la relación de transmisión se debe reducir, esto se consigue aplicando una corona con un diámetro mayor al del piñón. Por consiguiente, para lograr una mayor potencia (velocidad final) en los neumáticos la relación se debe aumentar, aplicando una corona con un diámetro menor. (Heras, 2022, p.59).



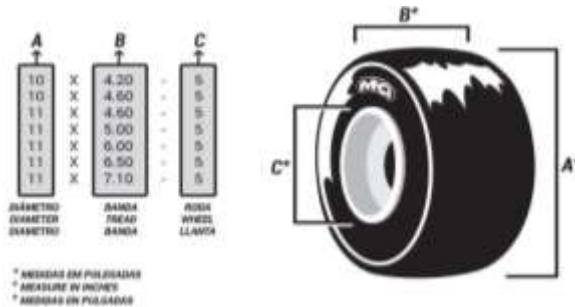
**Ilustración 2-22:** Transmisión Kart Automática

Fuente: (TKART, 2021)



### 2.3.5.3. Ruedas motrices

Los neumáticos traseros utilizados en un go kart tienen un diámetro exterior de 11 pulgadas o 279.4 mm, el radio es de 139.7 mm, el ancho de la banda es de 7.1 pulgadas. Mientras que los neumáticos delanteros poseen un diámetro exterior de 10 pulgadas o 254 mm, el ancho de rodadura es de 4.6 pulgadas. El diámetro del aro es de 5 pulgadas y es igual para ambos neumáticos. Con esto se garantiza que cualquier neumático normalizado puede adaptarse en el aro. (Carrión, 2019, p.42).



**Ilustración 2-23:** Tamaño de los neumáticos

Fuente: (Carrión, 2019)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Generalidades

“La metodología de la investigación puede definirse como el conjunto de procedimientos y técnicas que se aplican de manera ordenada, sistemática y rigurosa en la realización de un proceso de investigación” (Guerrero y Guerrero, 2020: p.5). En otras palabras, la metodología es el desarrollo de la investigación en donde se selecciona las técnicas y métodos que se usarán para llevar a cabo las acciones correspondientes con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados.

#### 3.2. Diseño de la investigación

El objetivo de la investigación será la implementación de un tren de propulsión eléctrico para un go kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz (CIA) de la ESPOCH, que cumpla con la normativa internacional CIK/FIA proyectado en reducir las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna (MCI) empleados en competencias de go kart. En el trabajo de investigación se manejarán métodos generales de la investigación científica. Se utilizarán los siguientes métodos al momento del desarrollo: comparativo, matematización, medición, inductivo y deductivo.

##### 3.2.1. *Método comparativo*

Este método permitirá establecer las semejanzas y desigualdades de: motores eléctricos, controladores, y trenes de propulsión eléctricos adecuados en go karts. (Heras, 2022, p.34).

##### 3.2.2. *Método matematización*

En el presente trabajo este método permitirá realizar los cálculos de las fuerzas dinámicas del go kart y la selección del tren de propulsión eléctrico ya que se basará en un modelo matemático denominado mínimas diferencias ponderadas construido a partir de ecuaciones de dinámica del vehículo. (Heras, 2022, p.34).

### **3.2.3. Método de medición**

El método de medición se utilizará para obtener valores numéricos de potencia, torque, velocidad, distancia, aceleración, en tiempo real del go kart con motor de combustión interna (MCI) determinado en la ruta (trazado) que se seleccionó en la ciudad de Riobamba

### **3.2.4. Método inductivo**

“Con este método se utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares que son aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general”(Navarro y César, 2018: p.194).

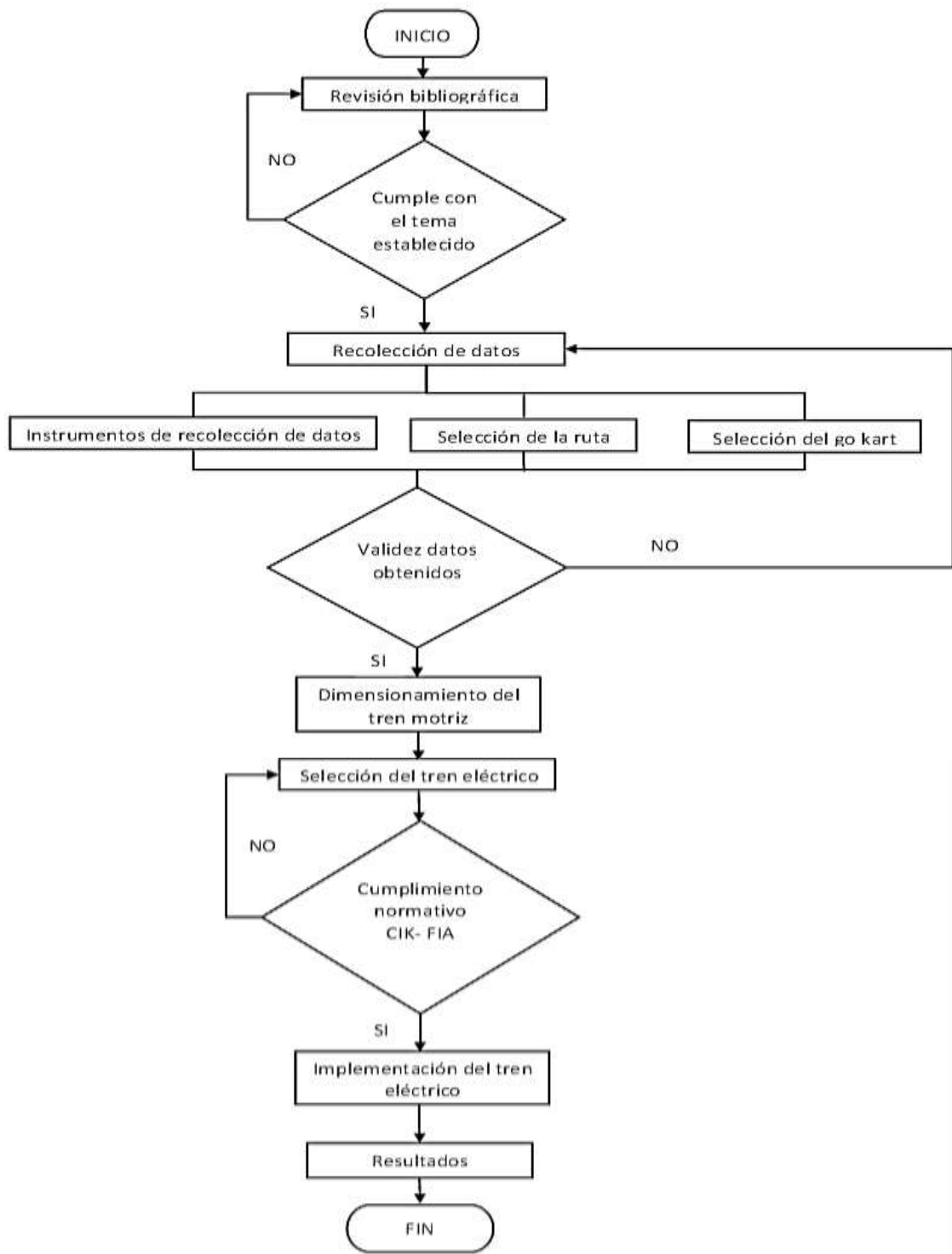
En la investigación el método inductivo permitirá evaluar la variación de la potencia en función del tiempo del go kart con el motor de combustión interna (MCI) en el trazado seleccionado, lo que permitirá seleccionar de manera adecuada el motor eléctrico para el dimensionamiento del tren de propulsión eléctrico. (Heras, 2022, p.35).

### **3.2.5. Método deductivo**

Es un método de razonamiento que se enfoca en tomar resoluciones generales para aclaraciones particulares. Se inicia con el estudio de los postulados, teoremas, leyes, principios, etc. De aplicación general, para emplearlos a soluciones específicas.

“El método deductivo consiste en obtener conclusiones particulares a partir de una proposición general”(Navarro y César, 2018: p.194). El análisis del método deductivo posibilitará analizar en base a los resultados conseguidos los valores de potencia, torque, distancia, velocidad, aceleración, consumo de energía, con relación al tren de propulsión eléctrico implementado en el go kart. (Heras, 2022, p.35).

### 3.3. Descripción de los procesos



**Ilustración 3-1:** Estructura del proyecto

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### 3.3.1. *Revisión bibliográfica*

El presente trabajo se realizará en base a información de estudios realizados en los últimos 5 años, que hayan aportado al dimensionamiento de un tren de propulsión eléctrico para un go kart. Asimismo, se recolectará información de tesis y normativas de varios países en los que se han implementado trenes de propulsión eléctrica, siempre que estas normativas estén bajo la aprobación de la CIK-FIA. Finalmente se buscará información en libros afines a la dinámica vehicular los cuales tengan fundamentos para sustentar el dimensionamiento de la selección del tren de potencia.

### 3.3.2. *Recolección de datos*

#### 3.3.2.1. *Instrumentos de recolección de datos*

VBOX Sport, es un registrador de datos GPS autónomo, su principal función es analizar el rendimiento de un vehículo, permite obtener datos como tiempos por vuelta, distancia recorrida, aceleración, velocidad, altura, etc. Se puede utilizar como un registrador independiente y posteriormente analizar los datos con el software VBOX Test Suite o se puede conectar mediante bluetooth a un dispositivo iOS para visualizar los datos en tiempo real. Su batería posee una autonomía de alrededor de 6 horas, además de ser utilizado bajo condiciones de lluvia.



**Ilustración 3-2:** GPS, VBOX Sport

**Fuente:** (Racelogic, 2022)

#### 3.3.2.2. *Selección de la ruta*

En vista que la ciudad de Riobamba no cuenta con un kartódromo oficial, el trazado que se selecciona es en base a dos dimensiones la primera al kartódromo dos hemisferios de la ciudad de Quito, mismo que posee diferentes trazados con una distancia de aproximadamente 1300

metros de distancia, según Santiago Zúñiga director del Kartódromo dos hemisferios y la segunda es a los trazados callejeros que se realiza en la ciudad de Riobamba mismos que cuentan con aproximadamente 600 metros de distancia y aproximadamente 5 metros de ancho según el reglamento del tercer campeonato denominado copa karting Colta 2023 auspiciado por el Club de automovilismo de Chimborazo (CADECH) y organizado por el “Chimborazo Karting Club”. Es así como se identifica un trazado en las instalaciones junto al Paseo Shopping Riobamba el cual consta con aproximadamente 600 metros de distancia, se seleccionó el trazado debido a la similitud de los circuitos callejeros, ofreciendo un conjunto de curvas y rectas los cuales permitirán determinar el comportamiento del go kart con motor de combustión interna (MCI) y la disponibilidad para usar el espacio.



**Ilustración 3-3:** Trazado de pista

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

#### *3.3.2.3. Selección del go kart*

Se seleccionó un go kart disponible del equipo de karting Black Bull ESPOCH de la carrera de Ingeniería Automotriz, marca Tony Kart modelo extreme del año 1999 homologado, equipado con sus componentes y un motor Rotax Max Junior 125 CC.



**Ilustración 3-4:** Go kart Tony Kart

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### 3.3.3. Dimensionamiento del tren motriz

#### 3.3.3.1. Herramientas de procesamiento de datos

Vbox Test Suite es un software libre perteneciente a la compañía VBOX Automotive que permite analizar los datos adquiridos por el equipo VBOX sport de una forma fácil con disponibilidad de hasta 10 idiomas para una mejor comprensión. Esto permite analizar los datos en tiempo real para comprobar si no existe nada fuera de lo común. El software da la opción de realizar un análisis de varios datos en forma simultánea ahorrando al investigador tiempo, además, que permite personalizar el interfaz del software con Tablas, graficas, mapas y videos para un mejor estudio. Entre las pruebas que se puede ejecutar con el software son la prueba de aceleración, desaceleración, tiempo de vuelta, prueba de neumáticos, prueba de frenos, entre otros (Racelogic, 2022).



**Ilustración 3-5:** Interfaz del VBOX Test Suite

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### 3.3.3.2. Instrumentación del Go kart MCI

Con la adquisición del equipo VBOX Sport, se llevó el go kart del equipo de karting Black Bull ESPOCH a la pista ya previamente seleccionada en el apartado anterior para realizar las mediciones correspondientes teniendo en cuenta las condiciones climáticas, condición de la pista y el tiempo en la que se lo realizó para posterior realizar las mismas pruebas, pero con un go kart con motor eléctrico.

El VBOX Sport al ser un equipo GPS necesitaba ser colocado en un espacio donde no pueda generar interferencia por elementos como árboles, edificios, etc., por lo que opto colocar el equipo en el volante, lugar donde el piloto del go kart lo pueda manipular sin interferir en su modo de conducción para la obtención de datos más precisos.



**Ilustración 3-6:** Instrumentación del go kart con el equipo VBOX Sport

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### 3.3.3.3. Adquisición de datos

Se escogió la opción de datos en línea para que los datos se encuentren almacenados en el equipo GPS para posterior realizar el análisis de estos con el software Vbox Test Suite. Una vez culminada la prueba de manejo del go kart conformado por un conjunto de 24 vueltas donde se obtuvo los siguientes datos que fueron representados en una gráfica de velocidad vs tiempo, adicional el software Vbox Test Suite, entrega la gráfica de distancia, datos de velocidad máxima alcanzada con su respectiva distancia y tiempo.

En la Ilustración 3-7 se refleja la gráfica de velocidad vs tiempo obtenida por el go kart de combustión interna (MCI) en su primera vuelta conducida.





**Ilustración 3-7:** Grafica de velocidad obtenida de la primera vuelta del ciclo de conducción

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Los datos recopilados de la primera vuelta fueron que alcanzo una velocidad máxima de 59,98 [Km/h] en una distancia total recorrida de 0,53 [km] en un tiempo aproximado de 57 [segundos].

Con respecto a la segunda vuelta conducida se obtuvo una velocidad máxima de 60,91 [Km/h] en una distancia total recorrida de 0,54 [km] en un tiempo aproximado de 55,3 [segundos].



**Ilustración 3-8:** Grafica de velocidad obtenida de la segunda vuelta del ciclo de conducción

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Para la representación de los datos obtenidos de tiempo, distancia, velocidad y aceleración a partir de las 24 vueltas conducidas se encuentran representados en la Tabla 3-1.

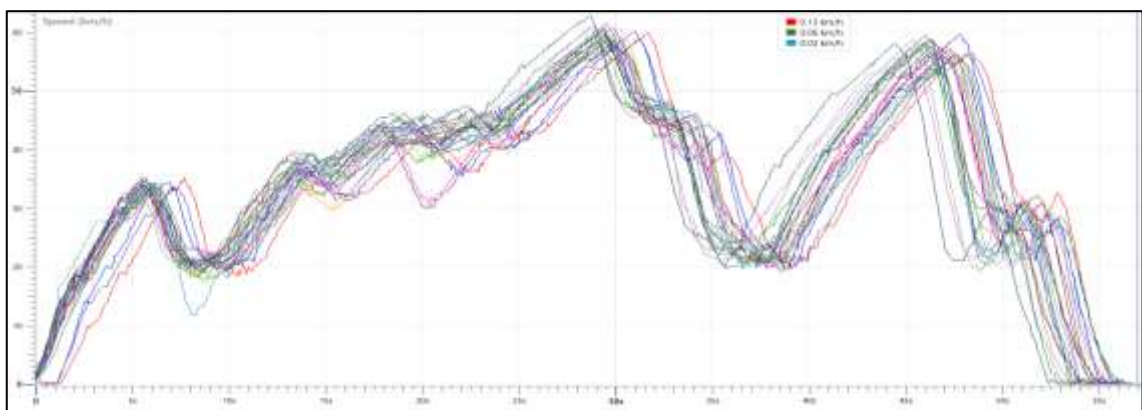
**Tabla 3-1:** Valores obtenidos del ciclo de conducción del go kart (MCI)

VUELTA	DISTANCIA	TIEMPO	VELOCIDAD	ACELERACION
	(Km)	(s)	(m/s)	(m/s <sup>2</sup> )
1	0,530	57,000	16,660	5,920
2	0,540	55,300	16,920	8,780
3	0,490	53,900	17,710	5,970

4	0,530	55,700	16,880	60,770	5,140
5	0,540	55,300	16,920	60,910	8,780
6	0,540	55,900	16,360	58,900	5,250
7	0,530	55,600	16,220	58,380	5,530
8	0,530	55,200	16,360	58,900	5,670
9	0,530	56,800	16,390	59,000	5,390
10	0,540	57,300	15,990	57,570	5,330
11	0,540	56,500	16,700	60,110	5,000
12	0,530	56,000	16,560	59,630	4,580
13	0,540	54,500	16,860	60,700	7,360
14	0,530	55,900	16,390	59,000	6,110
15	0,530	54,300	16,980	61,130	6,080
16	0,530	55,000	16,830	60,590	6,330
17	0,540	56,500	16,160	58,180	6,030
18	0,540	55,900	16,280	58,610	6,420
19	0,540	57,100	16,180	58,250	6,140
20	0,540	55,400	16,290	58,640	3,970
21	0,540	56,300	17,120	61,630	4,330
22	0,540	54,500	16,620	59,830	5,420
23	0,540	55,300	16,470	59,290	5,030
24	0,540	53,600	17,480	62,930	5,220
<b>TOTAL</b>	<b>12,820</b>	<b>1334,800</b>	<b>16,639</b>	<b>59,900</b>	<b>5,824</b>

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

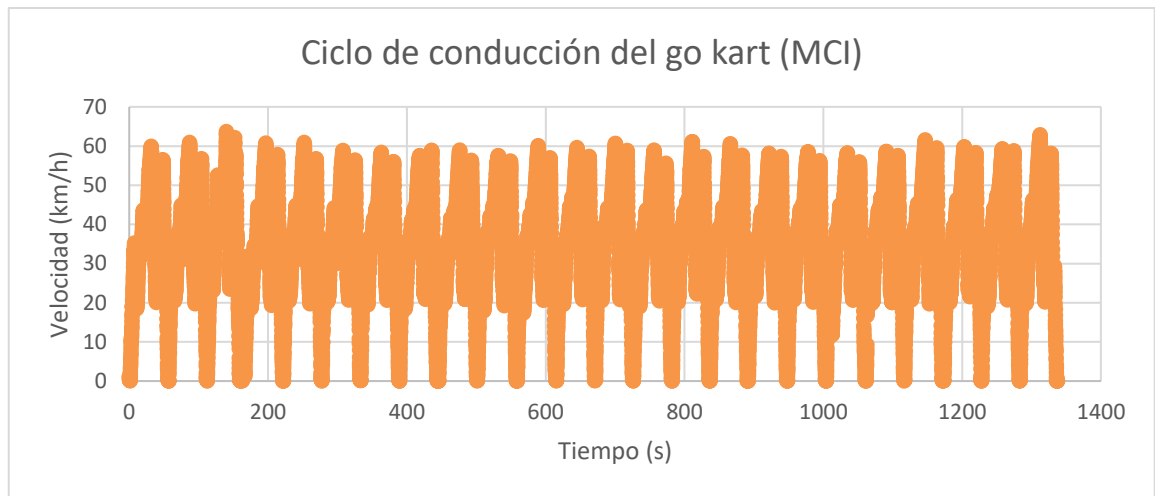
Además de representar los datos en una tabla, se expresó en una gráfica de velocidad, con el fin de reflejar la similitud que poseen los mismos para cada vuelta conducida.



**Ilustración 3-9:** Gráfica de velocidad obtenida de cada vuelta realizada en go kart MCI

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

En la Ilustración 3-10, se muestra el ciclo de conducción obtenido a partir del go kart de motor de combustión interna con una distancia recorrida de 12,82 [km] en un tiempo de 1334,8 [segundos].



**Ilustración 3-10:** Ciclo de conducción del go kart del motor de combustión interna (MCI)

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### 3.3.3.4. Parámetros de estudio

Los datos obtenidos se los procesa en una hoja de cálculo, donde se toma en cuenta ciertos parámetros como tiempo, velocidad, altura, densidad del aire, peso del vehículo incluido el piloto, radio dinámico del neumático, entre otros, para realizar el análisis dinámico longitudinal del go kart.

**Tabla 3-2:** Parámetros de estudio considerados del go kart (MCI) (Tony Kart)

Parámetros	Valor	Unidades
Masa (M)	135	[kg]
Densidad aire (p)	0,843	[kg/m <sup>3</sup> ]
Área frontal (Af)	0,43	[m <sup>2</sup> ]
Coefficiente de arrastre (Cd)	0,3	[-]
Coefficiente de rodadura (fr)	0,025	[-]
gravedad (g)	9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
Radio dinámico (rd)	0,14	[m]

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### Masa

Según la Real Academia Española (RAE, 2022), la masa es considerada como “la cantidad de materia de un cuerpo” y se lo puede medir en kilogramos.

Para obtener los valores reales de masa del go kart, se lo peso en una balanza junto a su piloto. Se obtuvo un valor aproximado de 135 Kg.



**Ilustración 3-11:** Pesaje del go kart MCI con su piloto

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### **Densidad del aire ( $\rho$ )**

La densidad del aire se lo puede definir como la cantidad de “masa por unidad de volumen”(Peña y Ferreira, 2022, p. 53).

Dicho valor depende de varios parámetros como la altitud, presión y la temperatura ambiente.

### **Ecuación 3-1:** Densidad del aire

$$\rho = \frac{P}{R * T}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad en [ kg/m<sup>3</sup>]

P = Presión atmosférica en [ KPa]

R = Constante de los gases

T = Temperatura ambiente en [ K]

$\rho$  = densidad en [ kg/m<sup>3</sup>]

Para el caso de estudio de recopiló los siguientes valores de presión y temperatura en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo.

Presión= 73,594 [Kpa]

Temperatura ambiente= 31°C

$$p = \frac{73,594 \text{ Kpa}}{0,287 * (273,15 + 33)}$$

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

### Área frontal (AF)

Para determinar el área frontal de un vehículo se puede realizar por dos métodos empíricos:

El primer método es aplicar una ecuación matemática donde necesita tener constancia de algunos valores como la altura y el ancho del vehículo, datos que se obtiene a partir de las especificaciones técnico del vehículo. Adicional, de obtener la constante del vehículo que suele encontrarse entre los rangos de 0,775 y 0,85 (Cabrera, 2023, p.15).

**Ecuación 3-2:** Calculo del área frontal de un vehículo

$$Fa = \mu * h * B$$

Donde:

$Fa$  = Área frontal del vehiculo en  $[m^2]$

$\mu$  = Coeficiente del vehiculo

$h$  = Altura del vehiculo en  $[m]$

$B$  = Ancho del vehiculo en  $[m]$

Al no tener el mismo dimensionamiento un go kart con respecto a un vehículo convencional, no se puede implementar el valor de la constante anteriormente mencionado, lo cual deja como opción, la segunda forma que es el modelado del perfil del go kart.

El modelado del perfil del go kart se realiza por medio de un software CAD con el objetivo que permita calcular de forma aproximada el área frontal. Para implementar dicho método se sigue una serie de pasos descritos a continuación:

Primero se obtiene una imagen donde se pueda visualizar la parte frontal del go kart con su piloto.



**Ilustración 3-12:** Go kart con su piloto

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Con el software CAD Solid Works, se crea un nuevo documento donde se inserta la imagen a utilizar en un plano de referencia (alzado). La imagen debe ser dimensionada con las longitudes reales del go kart para obtener el área lo más preciso posible.

Ancho del go kart: 1,10 m

Alto del go kart: 0,87 m



**Ilustración 3-13:** Obtención de las longitudes reales del go kart

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Con todas las opciones disponibles de croquis del software Solid Works, se dibuja la parte frontal del go kart.



**Ilustración 3-14:** Modelado del área frontal

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

En la barra de herramientas de Solid Works, se ingresa a la herramienta calcular donde se despliega varias opciones como estudio de diseño, sensor, evaluación de rendimiento y medir.

La opción medir es muy importante para el estudio debido a que permite calcular las distancias de los elementos seleccionados, en este caso, el software calcula de forma automática varios parámetros como se muestra a continuación:

```
Propiedades de sección de Croquis1 de AREA KARTING SI

Área = 0.43 metros^2

Centro de gravedad relativo al origen de croquis: ( metros )
  X = 0.49
  Y = 0.30

Centro de gravedad relativo al origen de pieza: ( metros )
  X = 0.49
  Y = 0.30
  Z = 0.00

Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: ( metros ^ 4 )
  Lxx = 0.01          Lxy = 0.00          Lxz = 0.00
  Lyx = 0.00          Lyy = 0.02          Lyz = 0.00
  Lzx = 0.00          Lzy = 0.00          Lzz = 0.03

Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 0.03 metros ^ 4

Ángulo entre ejes principales y ejes de croquis = -6.92 °.

Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: ( metros ^ 4 )
  Mx = 0.01
  My = 0.02
```

**Ilustración 3-15:** Cálculo del área frontal por medio del software

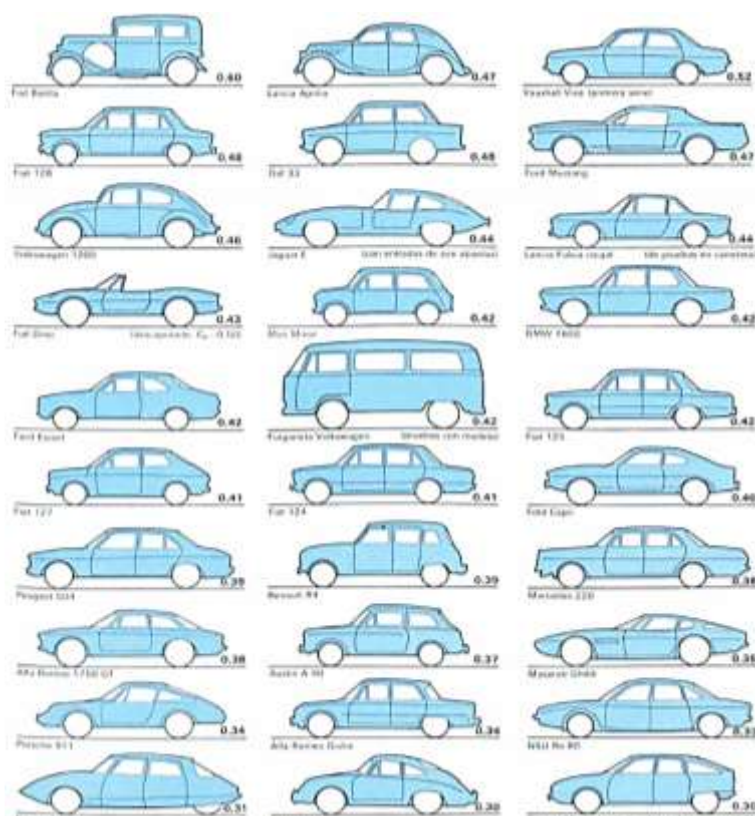
**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

El valor calculado por el software Solid Work es de  $0,43 \text{ m}^2$ , valor con el que se trabajó en los cálculos posteriores.

### **Coefficiente de arrastre (CD)**

El coeficiente de arrastre es considerado como la resistencia que proporciona un cuerpo al circular por un fluido, esto a razón de la forma del cuerpo. En la Ilustración 3-16 se presentan los coeficientes de arrastre para algunos vehículos en particular. Los vehículos actuales constan de un valor alrededor de 0,25 a 0,40 y los vehículos experimentales a 0,20. En caso de no encontrar el coeficiente de arrastre del vehículo en estudio, se tendrá en cuenta el valor según lo más parecido a su carrocería. En este caso, se optó por el valor de 0,30 (Cabrera, 2023, p.15).





**Ilustración 3-16:** Coeficiente de arrastre para diferentes vehículos

Fuente: (Technicalcourses)

### Coeficiente de rodadura (fr)

Dependiendo del tipo de calzada donde se realice el estudio, el coeficiente de rodadura variara en su valor. Si la superficie en contacto tiende a ser dura o seco su valor a la oposición al movimiento será pequeño, al contrario de estar en contacto con superficies irregulares, su valor podrá aumentar. En la Tabla 3-3 se refleja algunos valores de coeficiente de rodadura para diferentes calzadas.

**Tabla 3-3:** Coeficiente de rodadura para diferentes calzadas

Coeficiente de resistencia a la rodadura	
Condición	Valor
Neumáticos de coche en una carretera de hormigón o asfalto	0,013
Neumáticos de coche en un camino de ripio laminado	0,02
Carretera asfaltada	0,025
carretera sin asfaltar	0,05
Campo	0,1 - 0,35
neumático de camión en una carretera de hormigón o asfalto	0,006 - 0,01
Rueda sobre rastro de hierro	0,001 - 0,002

Fuente: (Maldonado, et al., 2020, citado en Researchgate.com)

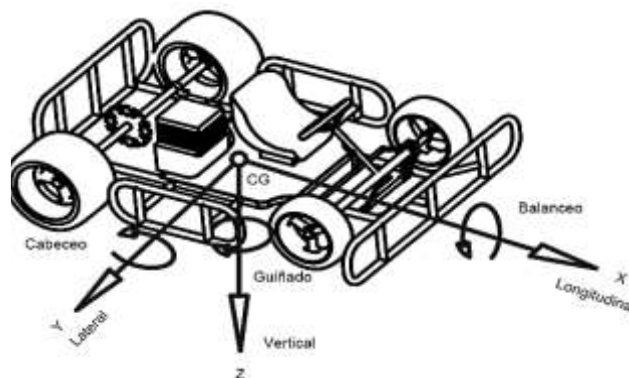


Al realizar el estudio en una calzada de asfalto, el valor usado en los cálculos fue de 0,025.

### 3.3.3.5. Cálculos de las fuerzas externas ejercidas en el go kart

El comportamiento del go kart está rígido por las acciones tomadas por el conductor y los factores externos que lo afecta. Los factores externos son todas las fuerzas que ejercen oposición para el desplazamiento del go kart y que pueden ser calculadas por medio de diferentes expresiones matemáticas.

Las fuerzas externas son las siguientes: Fuerza aerodinámica, Fuerza de rodadura, Resistencia a la pendiente y la resistencia a la inercia.



**Ilustración 3-17:** Sistema de referencia SAE

**Fuente:** (Rojas, et al, 2003)

### **Resistencia aerodinámica (Fd)**

La resistencia aerodinámica es la oposición generada por el aire al movimiento de un objeto donde se lo representa por la presión dinámica tendiendo a ser proporcional al cuadrado de la velocidad en la que se encuentre en ese momento. En bajas velocidades se puede considerar la resistencia aerodinámica como despreciable (Gillespie, 2021, p.44).

### **Ecuación 3-3:** Fuerza aerodinámica

$$Fd = \frac{1}{2} * d_{aire} * A_{frontal} * Cd * V^2$$

Donde:

$Fd$  = Fuerza aerodinámica en [N]

$d$  = densidad del aire en [ $kg/m^3$ ]

$A$  = Área frontal del vehículo en [ $m^2$ ]

$Cd$  = coeficiente de resistencia aerodinámica

$Vel$  = velocidad en [m/s]

### **Fuerza de rodadura (Rx)**

Cuando el vehículo está en movimiento, la parte en contacto del vehículo con la calzada es el neumático, más precisamente la parte inferior del mismo, que es comprimido constantemente lo que genera que consuma energía en el momento que es deformado y trata de recuperar su forma original. Tal consumo de energía se lo considera como la fuerza de rodadura que se encarga de la resistencia al movimiento del vehículo. El nivel de deformación del neumático depende del peso del vehículo (Kwang, 2019, p.491).

#### **Ecuación 3-4:** Fuerza de rodadura

$$R_x = u_f * m * g * \cos \theta$$

Donde:

$R_x$  = Fuerza de rodadura en [N]

$u_f$  = coeficiente de rodadura

$m$  = masa en [Kg]

$g$  = gravedad en [ $m/s^2$ ]

$\theta$  = pendiente en [rad]

### **Resistencia a la pendiente (Rg)**

La resistencia a la pendiente viene dada como la fuerza opuesta que se genera al peso del vehículo a la pendiente (Grijalva, 2019, p.115).

#### **Ecuación 3-5:** Resistencia a la pendiente

$$R_g = m * g * \sin \theta$$

Donde:

$R_g$  = Resistencia a la pendiente en [N]

$m$  = masa en [Kg]

$g$  = gravedad en [ $m/s^2$ ]

$\theta$  = pendiente en [rad]

### **Resistencia a la inercia (Ri)**

La resistencia a la inercia se lo puede calcular como la diferencia de la fuerza del neumático o también conocido como tracción producida por el tren de motriz del vehículo y las fuerzas de arrastres que efectúan sobre el objeto. Dicha fuerza es el resultado de la aceleración lineal con la que se encuentra el vehículo y la masa de este, y está dada por la siguiente ecuación (Grijalva, 2019, p.116).

**Ecuación 3-6:** Resistencia a la inercia

$$RI = m * a$$

Donde:

$RI =$  Resistencia a la inercia en  $[N]$

$M =$  masa en  $[Kg]$

$a =$  aceleración en  $[m/s^2]$

**Fuerza de tracción (Fx)**

La fuerza del neumático es igual a la sumatoria de todas las fuerzas de arrastre.

**Ecuación 3-7:** Fuerza de tracción

$$Fx = \sum \text{Fuerzas de arrastres}$$

$$Fx = F_d + R_x + R_g + R_i$$

**Torque en rueda (Tx)**

El torque según Serway R., es “una fuerza que actúa sobre un objeto y un vector de posición de un punto elegido O al punto de aplicación de la fuerza, con una fuerza perpendicular a la posición” (Serway, 2018, p.236).

**Ecuación 3-8:** Torque en rueda

$$Tx = Fx * R_{neumatico}$$

Donde:

$Tx =$  Torque en  $[N * m]$

$Fx =$  Fuerza de tracción en  $[N]$

$R =$  Radio dinamico del neumatico en  $[m]$

**Potencia en rueda (Px)**

Según Serway R., la potencia es “la relación de transferencia de energía con el tiempo”, es decir la potencia se lo puede definir como el trabajo realizado por un objeto cualquiera en un determinado periodo de tiempo (Serway, 2018, p.).

**Ecuación 3-9:** Potencia en rueda

$$Px = \frac{Fx * Vel}{1000}$$

Donde:

$Px = \text{Potencia de la rueda en [Kw]}$

$Fx = \text{Fuerza de tracción en [N]}$

$Vel = \text{velocidad en } \left[ \frac{m}{s} \right]$

### **Energía en rueda (Ex)**

Energía es considerado como la capacidad de ejecutar una determinada tarea en un intervalo de tiempo (Deltón y Pells, 2022).

#### **Ecuación 3-10: Energía en rueda**

$$Ex = \frac{Px * (t_2 - t_1)}{3600}$$

Donde:

$Ex = \text{energía en [Kw * h]}$

$Px = \text{Potencia de la rueda en [Kw]}$

$t = \text{tiempo en [s]}$

#### *3.3.3.6. Selección de la vuelta representativa del go kart (MCI)*

Para determinar la vuelta representativa se lo realizó por el método de las mínimas diferencias ponderadas. La ponderación es considerada como un método estadístico que se emplea para la corrección de las desigualdades en los datos obtenidos a partir de una muestra con la finalidad de conseguir un valor que pueda representar de mejor manera a la muestra. La ponderación estadística está constituida por un valor que representara la importancia de cada elemento (Ortega, 2023).

Para la obtención de la vuelta representativa con la que se realiza el dimensionamiento den tren eléctrico, se determinó con respecto a la vuelta más cercana a la media de toda la muestra obtenida en la recolección de datos a partir de un go kart de combustión interna (MCI). Para lograrlo, se determina “minimizando los promedios ponderados de la diferencia de cada parámetro con respecto a la media” (Restrepo,2007, p.232), como se muestra en la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 3-11: Mínimas diferencias ponderadas**

$$Y = \sum f_i * (x_i - \bar{x})$$

Donde:

$f_i$  = factor de ponderación

$x_i - \bar{x}$  = desviación estándar

El factor de ponderación es un valor numérico implementado para dar un grado de mayor o menor importancia a un grupo de datos. Para el caso de estudio se optó por calcular el valor utilizando las energías consumidas por las fuerzas externas como parámetros del estudio. Dicho valor se obtiene a partir de la división del promedio de cada energía obtenida que conforma el ciclo de conducción entre 100 con la finalidad de obtener valores que se encuentren en el rango de 0 a 1. En la Tabla 3-4 se muestra los factores de ponderación utilizados para el estudio.

**Tabla 3-4:** Factores de ponderación

Factores de ponderación				
Energía Fd [%]	Energía Rx [%]	Energía Rg [%]	Energía Ri [%]	[%]
0,038	0,160	0,053	0,749	1,000

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

En la Tabla 3-5, se refleja los valores obtenidos al implementar la ecuación 3-10 para cada vuelta que conforma el ciclo de conducción, donde el parámetro establecido por el método es la selección del valor más pequeño, obteniendo como resultado la vuelta número 22.

**Tabla 3-5:** Obtención de la vuelta representativa por el método de las mínimas diferencias ponderadas del go kart MCI.

Número de vueltas	Energía Fd	Energía Rx	Energía Rg	Energía Ri	Total, Energía	Sumatoria
[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	3,473	15,182	5,532	75,813	100,000	0,799
2	3,409	14,833	6,958	74,800	100,000	0,396
3	2,824	11,155	4,533	81,488	100,000	5,750
4	3,601	15,434	5,559	75,407	100,000	0,451
5	3,409	14,833	6,958	74,800	100,000	0,396
6	3,613	16,268	4,168	75,952	100,000	0,863
7	3,704	16,569	9,521	70,205	100,000	3,874
8	3,986	17,015	6,345	72,654	100,000	1,948
9	3,992	17,570	3,689	74,749	100,000	0,498
10	3,908	17,154	5,886	73,051	100,000	1,645
11	3,705	15,976	5,813	74,506	100,000	0,362
12	4,036	17,259	1,240	77,465	100,000	2,316
13	3,887	16,016	3,819	76,278	100,000	1,085

14	3,700	16,070	1,834	78,396	100,000	2,784
15	3,806	15,738	5,938	74,518	100,000	0,397
16	3,784	15,894	6,079	74,243	100,000	0,585
17	3,690	16,112	6,944	73,254	100,000	1,380
18	3,902	16,569	6,502	73,027	100,000	1,602
19	3,672	16,302	6,584	73,443	100,000	1,250
20	3,851	16,302	7,620	72,227	100,000	2,217
21	4,157	16,656	4,554	74,633	100,000	0,399
22	3,907	16,094	4,789	75,210	100,000	0,247
23	4,105	16,794	3,043	76,059	100,000	1,095
24	4,125	15,833	3,454	76,588	100,000	1,365

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### 3.3.3.7. Interpretación de los datos obtenido de la vuelta representativa del go kart (MCI)

Con la obtención de la vuelta representativa y los cálculos de las fuerzas externas ya realizados, se puede interpretar algunos datos relevantes para el estudio como la distancia recorrida, el tiempo que le tomo recorrer el circuito, la velocidad y aceleración máxima alcanzada, potencia y torque máximo obtenido en las ruedas, entre otros factores. En la Tabla 3-6 se presentan los factores más importantes de la vuelta representativa para el estudio.

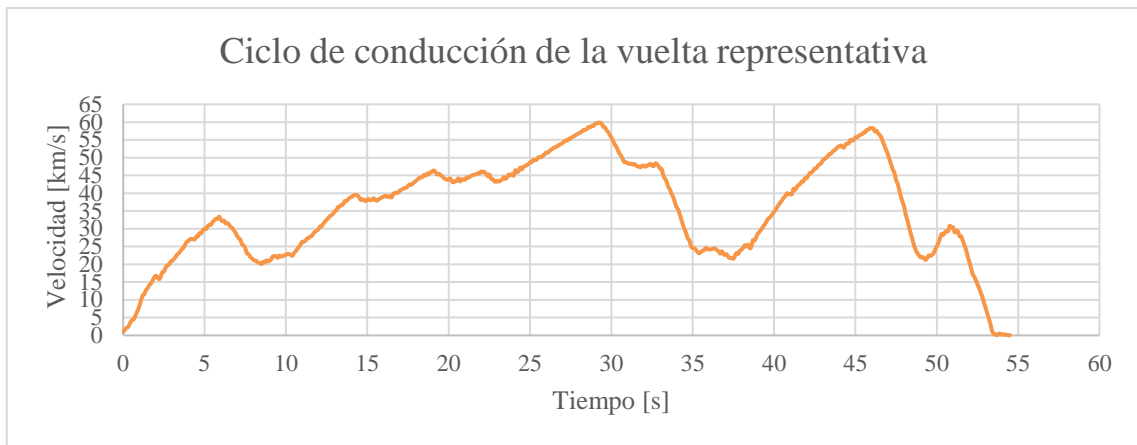
**Tabla 3-6:** Datos obtenidos de la vuelta representativa 22 del go kart (MCI).

<b>Distancia total</b>	<b>0,54</b>	<b>[km]</b>
<b>V.máx</b>	59.83	<b>[km/h]</b>
<b>V.promedio</b>	35.59	<b>[km/h]</b>
<b>a.máx</b>	5,42	<b>[m/s<sup>2</sup>]</b>
<b>a.mín</b>	-6,33	<b>[m/s<sup>2</sup>]</b>
<b>Tiempo total</b>	54,50	<b>[s]</b>
<b>Potencia máx</b>	7,85	<b>[kw]</b>
<b><math>\tau x</math> máx</b>	149,69	<b>[N.m]</b>

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Todo el circuito está conformado por 0,54 [Km], recorridos con un tiempo total aproximado de 55 [segundos] alcanzando una velocidad máxima de 59.83 [Km/h] con una aceleración de 5,42 [m/s<sup>2</sup>]. Con respecto al torque generado en el neumático, se consiguió alrededor de 149,69 [Nm] y una potencia en la rueda de 7,85 [KW]. Estos datos de torque y potencia en la rueda serán utilizados más adelante para determinar la potencia requerida para el motor eléctrico.

En la Ilustración 3-18 se refleja el ciclo de conducción típico del go kart para la ruta seleccionada en el apartado 3.3.2.2 representada en una gráfica de velocidad vs tiempo.



**Ilustración 3-18:** Ciclo de conducción de la vuelta representativa del go kart (MCI)

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Como un estudio adicional, se obtiene los valores de energía demandada por cada una de las fuerzas externas que afectan en el go kart (MCI), esto con el fin de determinar cuál de todas las fuerzas tiene mayor efecto en el ciclo de conducción.

**Tabla 3-7:** Energía demandada por la rueda de la vuelta representativa del go kart MCI

FUERZAS EXTERNAS		UNIDAD	PORCENTAJE	UNIDAD
Energía de fuerza aerodinámica (Fd)	0,0007	[kWh]	3,907	[%]
Energía de la Resistencia a la rodadura (Rx)	0,002	[kWh]	16,093	[%]
Energía a la Resistencia a la pendiente (Rg)	0,0008	[kWh]	4,788	[%]
Energía de la Resistencia a la inercia (Ri)	0,0137	[kWh]	75,210	[%]
Sumatoria de Energías	0,0182	[kWh]	100	[%]

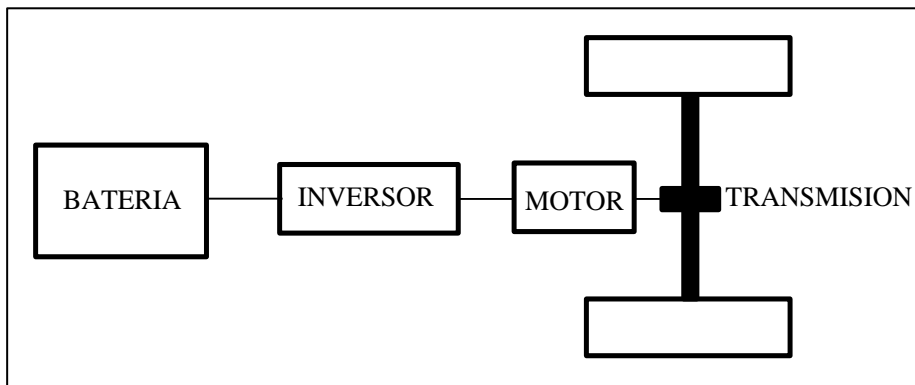
**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

De la Tabla 3-7, se visualiza las energías consumidas por cada fuerza externa con su respectivo porcentaje. La fuerza aerodinámica consume alrededor de 3,91 % de toda la demanda de energía. La resistencia a la rodadura consume alrededor de 16,09 %, esto a razón de la fricción producida por el neumático y la calzada; al usar neumáticos desinflados o que no dispongan de una gran adherencia, dicho porcentaje deberá aumentar. La resistencia a la pendiente consume el 4,78 % de toda la demanda de energía, esto debido a que el estudio se lo realizo en una ruta

plana. La resistencia a la inercia consume el 75,21 % de toda la demanda de energía, siendo esta la de mayor consumo, esto a razón que el go kart constantemente está acelerando.

### 3.3.3.8. Cálculos para la selección del tren eléctrico

Para seleccionar correctamente el tren eléctrico, se necesita obtener los valores de torque y potencia del motor de combustión interna (MCI) por lo cual, se realizará una serie de cálculos que permita pasar la potencia y torque obtenido de las ruedas a la transmisión y posterior al motor.



**Ilustración 3-19:** Elementos que conforma un go kart eléctrico

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Se establece como base algunos parámetros necesarios para el proceso de selección del tren eléctrico como, por ejemplo: eficiencia del motor eléctrico, eficiencia del inversor, eficiencia de la transmisión, relación de transmisión. Los datos obtenidos se procesan en una hoja de cálculo, donde se toma en cuenta para realizar la regresión necesaria de la potencia de la rueda hasta obtener la potencia del motor.

**Tabla 3-8:** Parámetros de estudio para la selección del tren eléctrico

PARAMETROS DE ESTUDIO	VALOR	UNIDADES
Radio dinámico (rd)	0,14	m
Eficiencia transmisión ( $\eta_t$ )	95	%
Relación de transmisión (Rdt)	5,90	
Eficiencia del motor eléctrico ( $\eta_{me}$ )	90	%
Eficiencia del inversor ( $\eta_i$ )	95	%
Masa (M)	135,00	Kg

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

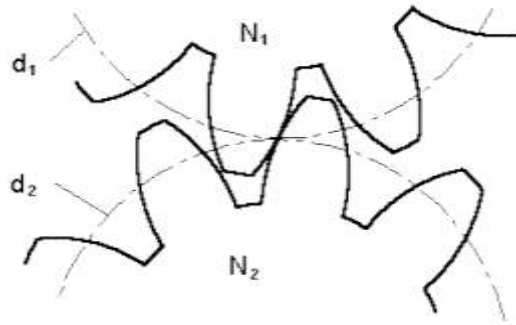
### Eficiencia de transmisión ( $\eta_t$ )



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

### Relación de transmisión (Rdt)

La relación de transmisión de un engrane se lo puede expresar en función de sus diámetros primitivos o en función del número de dientes que posea (De Diego, 2023).



**Ilustración 3-20:** Transmisión de la fuerza por engranes

Fuente: (De Diego, 2023)

### Ecuación 3-12: Relación de transmisión

$$Rdt = \frac{N2}{N1} = \frac{Z2}{Z1}$$

Donde:

Rtd = Relación de transmisión

Z = Número de dientes

N = Diámetro primitivo

Para el caso de estudio de recopiló los siguientes con respecto al número de dientes que posee cada engrane que conforma la transmisión:

Corona = 79 dientes

Piñón = 12 dientes

$$Rtd = \frac{79}{12}$$

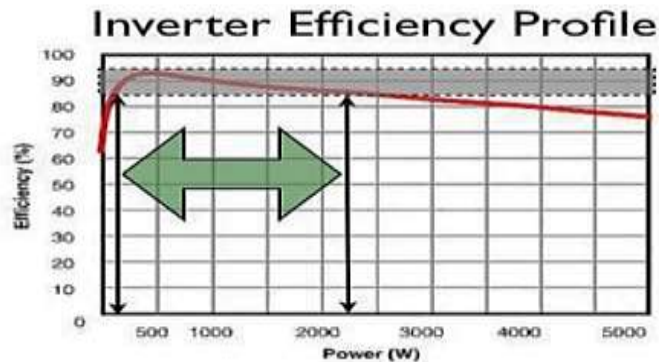
$$Rdt = 6,58$$

### Eficiencia del motor eléctrico ( $\eta_{me}$ )

Todo motor eléctrico cuenta con una eficiencia superior al 90 %, es decir, tiene una gran capacidad de convertir la energía eléctrica suministrada en energía mecánica. Con respecto al 10 % de la energía eléctrica restante, se disipa en forma de calor (Gutiérrez, 2019).

### Eficiencia del inversor ( $\eta$ )

Cabe recalcar que la eficiencia del inversor no tiende a ser un valor constante siempre, todo depende de la potencia que le ingresa. Dependiendo del modelo y marca a la que pertenece, tendrá su propia eficiencia. Los mejores inversores que existen en la actualidad son capaces de tener una eficiencia del 99%. Para el caso de estudio de tomo en consideración una eficiencia aproximada del 95 % (AUBO CHINA, 2020).



**Ilustración 3-21:** Grafica de la eficiencia del inversor vs Potencia

Fuente: (AUBO CHINA, 2020)

### Velocidad angular

Se define como el número de rotaciones realizado por un cuerpo en un determinado periodo de tiempo (Salvado, 2022, p.33) .

**Ecuación 3-13:** Velocidad angular

$$w = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Donde:

$\Delta\theta$  = desplazamiento angular en [rad]

$\Delta t$  = Tiempo en [s]

### Torque del motor

El torque según Serway R., es “una fuerza que actúa sobre un objeto y un vector de posición de un punto elegido O al punto de aplicación de la fuerza, con una fuerza perpendicular a la posición” (Serway, 2018, p.236).

**Ecuación 3-14:** Torque del motor

$$\tau_m = \frac{(fx + me * a) * Rd}{Rtd * \eta t}$$

Donde:

Fx: fuerza en rueda

Me: masa equivalente  
a: aceleración  
Rd: radio dinámico  
td: relación de transmisión  
 $\eta_t$ : eficiencia de la transmisión

### **Potencia del motor**

La potencia es “la relación de transferencia de energía con el tiempo”, es decir la potencia se lo puede definir como el trabajo realizado por un objeto cualquiera en un determinado periodo de tiempo (Serway, 2018).

### **Ecuación 3-15: Potencia del motor**

$$P_m = \omega * \tau_m$$

Donde:

$\omega$ : velocidad angular  
 $\tau_m$ : torque del motor

### **Potencia del inversor**

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.

### **Ecuación 3-16: Potencia del inversor**

$$P_{i\ out} = P_{m\ in} = \frac{P_{m\ out}}{\eta_{me}}$$

Donde:

$P_m$ : potencia del motor  
 $\eta_{me}$ : eficiencia del motor eléctrico

## **3.3.4. Selección del tren eléctrico**

### **3.3.4.1. Selección del motor**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de los respectivos cálculos paramétricos para la correcta selección del tren de propulsión eléctrico para el go kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz (CIA).

**Tabla 3-9:** Resultados obtenidos del torque del motor de combustión interna (MCI)

TORQUE MOTOR	UNIDADES [Nm]
Máximo	25.50296006
Promedio	3.153221012

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

**Tabla 3-10:** Resultados obtenidos de la potencia del motor de combustión interna (MCI)

POTENCIA MOTOR	UNIDADES [KW]
Máxima	9.403441325
Promedio	1.413691847

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Siendo el punto de partida los resultados obtenidos se proceden a comparar kits de motores eléctricos existentes en el mercado teniendo en cuenta la relación costo-beneficio y que cumpla con la normativa internacional CIK-FIA E-Karting

La CIK/FIA establece que un go kart debe poseer un solo motor eléctrico, con una potencia máxima de 20 Kilowatts y un voltaje máximo de 60 voltios, con un accionamiento directo del motor a través de una cadena o correa. (Federación Internacional del Automóvil y Comisión Internacional de Karting). Seguidamente, se detallan características específicas de kits de motores eléctricos existentes en el mercado dentro de las características correspondientes y que pueden implementarse en el go kart.

**Tabla 3-11:** Características de los motores eléctricos existentes en el mercado

Modelo	BM1109	KUNRAY	MY1020
Tipo	BLDC Brushless	BLDC Brushless	BLDC Brushless
Potencia continua (W)	1800	2500	3000
Torque (Nm)	4.5	5.42	5.84
RPM máx.	4500	4400	4900
Voltaje de operación (V)	48	60	60
Corriente Nominal (Amps)	38	45	45
Peso (Kg)	4.5	4	4.10

Fuente: (Amazon, 2023)

A través de una técnica estadística como la ponderación permite obtener un valor más representativo de la muestra cuando la población termina convergiendo en sus variables.

Como factores de ponderación se consideró como base de estudio el torque y potencia promedio obtenido, por normativa el voltaje máximo permitido, el costo y la accesibilidad que disponga cada kit de motores eléctricos con el fin de imponerle un valor número entre 0 a 100 que represente la importancia de cada factor para el estudio. En la Tabla 3-12 se refleja la ponderación realizada para los tres kits de motores eléctricos.

**Tabla 3-12:** Ponderación de los diferentes motores eléctricos seleccionados

FACTOR	PONDERACION DEL FACTOR		KIT BM1109		KIT KUNRAY		KIT MY1020	
			PUNTAJE	PONDERACION	PUNTAJE	PONDERACION	PUNTAJE	PONDERACION
POTENCIA Y TORQUE REQUERIDA	35		6	210	7	245	8	280
MAX 60 V DE CONSUMO	30		8	240	10	300	10	300
COSTO	20		9	180	8	160	7	140
ACCESIBILIDAD	15		8	120	9	135	5	75
	TOTAL	100	SUMA	750		840		795

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

El criterio de selección viene determinado por el número mayor de la sumatoria obtenida de los factores para cada kit siendo el ganador el kit perteneciente a la marca Kunray.

El motor eléctrico escogido para la implementación del tren de propulsión eléctrico del go kart será un motor de corriente continua sin escobillas (BLDC por sus siglas en ingles), de la empresa KUNRAY de 2500w. Estos motores se están implementando actualmente en este tipo de aplicaciones por su facilidad para realizar el control.



**Ilustración 3-22:** Motor Brushless de 2500W.

Fuente: (KUNRAY, 2021)

En la Ilustración 3-22 se muestra el motor descrito y la Tabla 3-13, se observa las características a detalles que posee el motor eléctrico seleccionado.

**Tabla 3-13:** Características del motor eléctrico seleccionado

Motor	
Modelo	KUNRAY
Tipo	BLDC Brushless
Potencia continua (W)	2500
Torque (Nm)	5.42
RPM máx.	4400
Voltaje de operación (V)	60
Corriente Nominal (Amps)	45
Peso (Kg)	4

Fuente: (KUNRAY,2021)

#### 3.3.4.2. Selección del controlador

De igual manera, se presentan la Tabla de resultados obtenidos del controlador a partir de los respectivos cálculos paramétricos para el correcto dimensionamiento del tren de propulsión eléctrico para un go kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz (CIA).

**Tabla 3-14:** Resultados de la potencia del controlador electrónico necesario

POTENCIA CONTROLADOR [KW]	
Máxima	10.44826814
Promedio	1.570768719

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Se seleccionará controlador eléctrico el óptimo para satisfacer las necesidades de los componentes como: motor eléctrico, pedal de aceleración electrónico y que pueda satisfacer la demanda de energía proporcionada por las baterías.

**Tabla 3-15:** Controlador electrónico perteneciente a la marca KUNRAY

Modelo	24MOSFET
Compatible	Motor BLDC
Voltaje de operación (V)	60
Potencia Máxima (W)	2500
Amperaje (A)	45
Protección	Alta temperatura

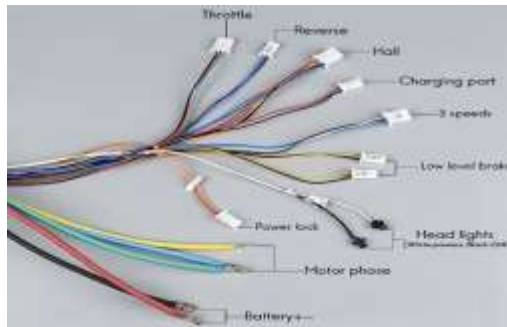
Fuente: (Amazon,2023)

El controlador electrónico 24 mosfet cumple con las características demandadas y satisface las necesidades requeridas por el motor KUNRAY de 2500 w.



**Ilustración 3-23:** Controlador 24Mosfet

Fuente: (KUNRAY, 2021)



**Ilustración 3-24:** Líneas de conexión del controlador electrónico

Fuente: (KUNRAY, 2021)

#### 3.3.4.3. Selección del pedal de aceleración electrónico

Para concluir con la implementación del tren de propulsión eléctrico y que su funcionamiento sea el óptimo, se requiere de un pedal de aceleración electrónico, el cual tiene la función de informar al controlador la acción que solicita el piloto, ajustando la velocidad que se requiere. El acelerador que se selecciono es un acelerador universal, el cual facilita la compatibilidad con el controlador mosfet24, que también es parte del kit KUNRAY.



**Ilustración 3-25:** Acelerador electrónico universal

Fuente: (KUNRAY, 2021)

### 3.3.5. Implementación del tren de propulsión eléctrico

Para instalar los componentes del tren de propulsión eléctrico: motor eléctrico, controlador electrónico, pedal de aceleración electrónico, se utilizó soportes emperrados en la estructura del chasis homologado del go kart.

#### 3.3.5.1. Recursos y herramientas

Para la implementación de los componentes del go kart eléctrico, se utilizó de varias herramientas descritas a continuación: Hexagonales en T, juego de llaves y dados, calibrador pie de rey, flexómetro, destornilladores estrella y plano.

#### 3.3.5.2. Implementación del motor eléctrico

El motor adquirido consta de dos bases de fijación que permite instalar en los soportes diseñados para el go kart de la carrera de Ingeniería Automotriz (CIA), en concordancia con el trabajo denominado: DISEÑO DE SOPORTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TREN DE POTENCIA ELÉCTRICO SOBRE UN CHASIS DE KARTING HOMOLOGADO BAJO LA NORMA CIK-FIA 30/CA/14 Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE ELEMENTO FINITOS realizado por la tesista Valeria Kamila Mejía Bolaños.



**Ilustración 3-26:** Instalación del motor eléctrico al go kart

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

#### 3.3.5.3. Implementación del controlador

La ubicación del controlador en el go kart se encuentra frente al motor, y a la derecha del asiento ya que en ese espacio originalmente el go kart no posee de ningún componente y facilita el direccionamiento del arnés. Se construyó una base emperrada para anclar el controlador de una manera óptima y cerca al motor.





**Ilustración 3-27:** Instalación del controlador electrónico al go kart

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

#### *3.3.5.4. Implementación del pedal de aceleración electrónico.*

El pedal de aceleración electrónico debe estar ubicado debajo del pie derecho del piloto en posición de conducción normal y que se ajuste a los requerimientos del piloto, para aprovechar el máximo rendimiento proporcionada por el tren de propulsión eléctrico.



**Ilustración 3-28:** Instalación del pedal electrónico

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

#### *3.3.5.5. Implementación de la corona, piñón y cadena*

Para la implementación del sistema de transmisión se utilizó una corona de 65 dientes y un piñón de 11 dientes, conectados por una cadena de acero con el mismo paso de los engranes.

En la Ilustración 3-29, 3-30 y 3-31, se refleja la corona, el piñón y la cadena utilizado para análisis posterior:



**Ilustración 3-29:** Corona de 65 dientes

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.



**Ilustración 3-30:** Corona 65 dientes

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.



**Ilustración 3-31:** Piñón de 11 dientes

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.



**Ilustración 3-32:** Cadena de acero

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

En la Ilustración 3-33, se refleja todo el conjunto del tren eléctrico ya instalados en el go kart eléctrico.



**Ilustración 3-33:** Tren eléctrico instalado en el go kart

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### **3.3.6. Estudios realizados en el go kart eléctrico**

Para el estudio del comportamiento del tren eléctrico implementado en el go kart de la carrera de Ingeniería Automotriz, se utilizó la misma ruta con la que se determinó el dimensionamiento del tren eléctrico.



**Ilustración 3-34:** Trazado de la pista

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

#### 3.3.6.1. Prueba de velocidad

Para realizar la prueba de velocidad se implementó los accesorios necesarios al go kart para un correcto funcionamiento, con la finalidad de comparar con el go kart de combustión interna (MCI), y determinar la velocidad máxima que puede alcanzar con el tren de propulsión eléctrico.



**Ilustración 3-35:** Implementación de los accesorios del go kart

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### Recolección y tratamiento de los datos

Para la recolección y tratamiento de datos, se instrumentó el go kart con el dispositivo VBOX Sport para obtener datos en tiempo real de la velocidad, aceleración y tiempo para posterior tratarlos con el software de VBOX test suite y la hoja de cálculo. El conjunto de datos está representado en un ciclo de conducción conformado por 21 vueltas manejadas donde se escogerá la vuelta representativa para realizar el análisis comparativo de la velocidad obtenida del go kart con motor de combustión interna (MCI) respecto a go kart con el tren eléctrico.



**Ilustración 3-36:** pruebas de funcionamiento del go kart eléctrico

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Para el tratamiento de los datos, se tendrá en cuenta los parámetros establecidos en el apartado 3.3.3.4 (Parámetros de estudio), a excepción de la masa del go kart debido a la diferencia de pesos que existe entre los motores usados en el estudio.

La masa obtenida a partir del go kart eléctrico y su piloto es de 117 kg, pero debido algunos elementos faltantes que conforma todo el conjunto del go kart, se asumió un adicional de 5 kg. Para tener la nueva masa de estudio de 122 kg.

El peso adicional es producto a la inexistencia de los bumpers frontales y laterales.



**Ilustración 3-37:** Pesaje del go kart eléctrico con su piloto

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.



Para la obtención de la vuelta representativa se realiza el procedimiento previamente descrito en el apartado 3.3.3.6 Selección de la vuelta representativa del go kart.

En la Tabla 3-16 se refleja todos los valores obtenidos al implementar el método para cada vuelta que conforma el ciclo de conducción, donde el parámetro establecido por el método es la selección del valor más pequeño, obteniendo como resultado la vuelta número 21.

**Tabla 3-16:** Obtención de la vuelta característica del go kart eléctrico por el método de las mínimas diferencias ponderadas

<i>Número de viajes</i>	<i>Energía Fd</i>	<i>Energía Rx</i>	<i>Energía Rg</i>	<i>Energía Ri</i>	<i>Total Energía</i>	<i>Sumatoria</i>
<i>[-]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	
1	4,404	21,530	6,794	67,271	100,000	1,117
2	4,746	22,396	6,633	66,225	100,000	0,532
3	4,300	21,043	8,409	66,247	100,000	0,509
4	4,558	21,262	8,647	65,532	100,000	0,338
5	4,589	21,381	7,344	66,685	100,000	0,714
6	4,144	20,029	10,973	64,854	100,000	1,255
7	4,491	20,711	9,117	65,681	100,000	0,400
8	4,723	22,140	7,531	65,605	100,000	0,241
9	4,767	22,049	10,007	63,178	100,000	1,959
10	4,333	20,572	9,452	65,643	100,000	0,489
11	4,569	21,508	9,250	64,673	100,000	0,896
12	4,585	21,621	5,265	68,529	100,000	2,039
13	4,919	22,812	7,954	64,315	100,000	1,222
14	4,913	22,824	7,116	65,147	100,000	0,732
15	4,157	21,152	7,306	67,386	100,000	1,246
16	4,373	21,490	7,261	66,876	100,000	0,831
17	4,986	23,487	5,901	65,625	100,000	0,661
18	4,701	22,657	7,328	65,315	100,000	0,559
19	4,779	22,862	6,256	66,104	100,000	0,585
20	4,426	21,714	8,721	65,140	100,000	0,510
21	4,471	21,640	8,328	65,561	100,000	0,215

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### **Vuelta representativa del go kart eléctrico**

Con la selección de la vuelta representativa obtenido por el método de las mínimas diferencias ponderadas, se puede interpretar algunos datos relevantes para el estudio como la distancia recorrida, el tiempo que le tomo recorrer el circuito, la velocidad y aceleración máxima alcanzada, potencia y torque máximo obtenido en las ruedas, entre otros factores. En la Tabla 3-17 se presentan los factores más importantes de la vuelta representativa para el estudio.

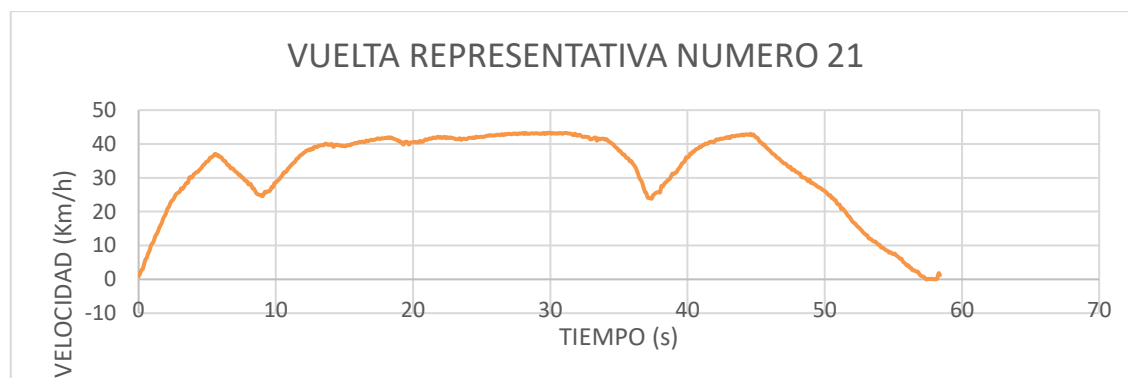
**Tabla 3-17:** Datos obtenidos de la vuelta representativa del go kart eléctrico

TABLA		
<b>DISTANCIA</b>	0,526	(Km)
<b>V MAX</b>	12,028	(m/s)
<b>V PRO</b>	8,984	(m/s)
<b>A MAX</b>	5,222	(m/s <sup>2</sup> )
<b>A MIN</b>	-3,750	(m/s <sup>2</sup> )
<b>TIEMPO</b>	58,400	(s)
<b>P MAX</b>	5,133	(Kw)
<b>T MAX</b>	208,397	(N*m)
<b>% Regeneración</b>	50,750	(%)
<b>Rendimiento</b>	48,702	(Km/Kwh)

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Todo el circuito está conformado por 0,54 kilómetros recorridos con un tiempo total aproximado de 58.40 segundos alcanzando una velocidad máxima de 43 km/h y una aceleración máxima de 5,22 m/s<sup>2</sup>. Con respecto al torque generado en el neumático, se consiguió alrededor de 199,86 Nm y una potencia en la rueda de 4.92 KW.

En la Ilustración 3-38 se refleja el ciclo de conducción típico del go kart para la ruta seleccionada en el apartado 3.3.6.1.1 representada en una gráfica de velocidad vs tiempo.



**Ilustración 3-38:** Ciclo de conducción de la vuelta representativa

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Como un estudio adicional, se obtiene los valores de energía demandada por cada una de las fuerzas externas que afectan en el go kart eléctrico, esto con el fin de determinar cuál de todas las fuerzas tiene mayor efecto en el ciclo de conducción.

**Tabla 3-18:** Energías demandadas en la rueda del go kart eléctrico

FUERZAS EXTERNAS	VALOR	UNIDAD	PORCENTAJE	UNIDAD
Energía de fuerza aerodinámica (Fd)	0,0005	[kWh]	4,657	[%]
Energía de la Resistencia a la rodadura (Rx)	0,0022	[kWh]	21,612	[%]
Energía a la Resistencia a la pendiente (Rg)	0,0009	[kWh]	8,312	[%]
Energía de la Resistencia a la inercia (Ri)	0,0068	[kWh]	65,419	[%]
Sumatoria de Energías	0,0104	[kWh]	100	[%]

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

De la Tabla 3-18, se visualiza las energías consumidas por cada fuerza externa con su respectivo porcentaje. La fuerza aerodinámica consume alrededor de 4,65 % de toda la demanda de energía. La resistencia a la rodadura consume alrededor de 21,62 %, esto a razón de la fricción producida por el neumático y la calzada; al usar neumáticos desinflados o que no dispongan de una gran adherencia, dicho porcentaje deberá aumentar. La resistencia a la pendiente consume el 8,31 % de toda la demanda de energía, esto debido a que el estudio se lo realizó en una ruta plana. La resistencia a la inercia consume el 56,42 % de toda la demanda de energía, siendo esta la de mayor consumo, esto a razón que el go kart constantemente está acelerando.

### 3.3.6.2. Capacidad de aceleración

La Norma SAE J1491 establece las distancias, velocidades, condiciones del vehículo y parámetros ambientales, son indispensables para llevar a cabo el correcto procedimiento para realizar pruebas de aceleración en superficies planas y con una pendiente no superior al 0.5 % (Morales y Pozo, 2019: p.31).

#### **Determinación de la aceleración en el plano**

El go kart implementado con el sistema de propulsión eléctrico debe partir en reposo hasta alcanzar la velocidad máxima, en un recorrido recto y plano o con una pendiente inferior al 0.5%, se deben registrar datos pertinentes a los tiempos en el que el go kart le toma alcanzar velocidades de 20, 40, 60 y 80 km/h y la potencia transmitida en las velocidades mencionadas. (Morales y Pozo, 2019, p.31).

En la ecuación 3-17 se muestra el cálculo para obtener la aceleración



### Ecuación 3-17: Aceleración

$$a = \frac{v}{t}$$

Donde:

$a = \text{aceleracion}$

$v = \text{velocidad}$

$t = \text{tiempo}$

En la Tabla 3-19 se presentan parámetros establecidos por la normativa SAE J1491, para el desarrollo del estudio.

**Tabla 3-19:** Parámetros establecido por la normativa SAE J 1491

ASPECTO	CONDICIÓN
Temperatura ambiente	Debe estar entre los rangos de $-1^{\circ}\text{C}$ y $32^{\circ}\text{C}$ .
Condiciones climáticas	No puede ser un día llovisoso, con niebla y nieve.
Velocidad del viento	Debe tener una velocidad promedio inferior a 24 km/h, y velocidades pico menor a 32 km/h.
Presión absoluta	La presión atmosférica debe estar en el rango de 90 a 102 kpa.
Humedad relativa	Debe permanecer debajo del 95%.
Condiciones de la vía	La vía debe estar seca, limpia, lisa, continua y lo más posible pendientes máximas del 05%. Los acabados deben ser de concreto o rodadura de asfalto.

Fuente: (Society of Automotive Engineers. SAE J1491)

### Recolección y tratamiento de los datos

Para la recolección y tratamiento de datos, se instrumentó el go kart eléctrico con el dispositivo VBOX Sport para obtener datos en tiempo real de la velocidad, aceleración y tiempo para posterior tratarlos con el software de VBOX test suite y la hoja de cálculo. El conjunto de datos está representado en 6 pruebas manejadas (3 pruebas de ida y tres pruebas de regreso). Para determinar la aceleración del go kart eléctrico, se realizó las pruebas de manejo pisando a fondo el acelerador hasta que alcance la velocidad máxima permitida por el motor eléctrico que resulto ser de 43 km/h, velocidad máxima que se obtuvo en la prueba de velocidad.



**Ilustración 3-39:** Instrumentación del go kart eléctrico

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

La selección de la ruta para realizar las pruebas de aceleración, se lo determino a partir de lo establecido por la Tabla 3-19, sección condiciones de vía.



**Ilustración 3-40:** Ruta establecida para las pruebas de aceleración

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Prueba de velocidad

##### 4.1.1. Análisis comparativo de velocidad vs tiempo.

Se realizó la comparativa de las velocidades alcanzadas en función del tiempo a partir del go kart con motor de combustión interna (MCI), perteneciente a la escudería Black Bull ESPOCH y el go kart con el tren de propulsión eléctrico perteneciente a la Carrera de Ingeniería Automotriz.

En Tabla 4-1 se reflejan los valores de velocidad, aceleración y tiempo alcanzados por los go karts.

Nota: La distancia recorrida por los go karts será la misma debido a que las pruebas se realizaron en la ruta seleccionada en el apartado 3.3.2.2 (Selección de la ruta).

**Tabla 4-1:** Datos obtenidos a partir de las vueltas representativas de cada go kart

<b>PARÁMETROS</b>	<b>MCI</b>	<b>ELÉCTRICO</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Distancia total</b>	0,54		<b>[km]</b>
<b>V.máx</b>	16,619	12,028	<b>[m/s]</b>
	59,830	43,300	<b>[km/h]</b>
<b>V.promedio</b>	9,886	8,984	<b>[m/s]</b>
	35,588	32,341	<b>[km/h]</b>
<b>a.máx</b>	5,417	5,222	<b>[m/s<sup>2</sup>]</b>
<b>a.mín</b>	-6,333	-3,750	<b>[m/s<sup>2</sup>]</b>
<b>Tiempo total</b>	54,500	58,400	<b>[s]</b>
<b>Potencia máx</b>	7,850	5,133	<b>[kw]</b>
<b><math>\tau x</math> máx</b>	149,691	208,397	<b>[N.m]</b>
<b>% Regeneración</b>	68,476	50,750	<b>%</b>
<b>Rendimiento</b>	29,524	48,702	<b>[Km/Kwh]</b>

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Todos los datos obtenidos de la Tabla 4-1 se los agruparon en tres diferentes Tablas para una mejor explicación.

**Tabla 4-2:** Similitudes del go kart MCI y Eléctrico

<i>PARÁMETROS</i>	<i>MCI</i>	<i>ELÉCTRICO</i>	<i>UNIDADES</i>
<b>Distancia total</b>	0,54		[km]
<b>V. promedio</b>	9,886	8,984	[m/s]
	35,588	32,341	[km/h]
<b>a. máx</b>	5,417	5,222	[m/s <sup>2</sup> ]

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

La Tabla 4-2 reflejan los datos que poseen una relación entre, es decir, que se encuentran próximos o prácticamente son iguales.

La distancia para los dos go kart tiende a ser la misma debido a que se utilizó la misma ruta planeada. La velocidad promedio del go kart eléctrico en el circuito tiende a ser inferior a la del MCI, pero no por mucho debido a que la diferencia de velocidades solo es de  $1 \frac{m}{s}$  lo que resulta aceptable. Respecto a la aceleración, el go kart eléctrico alcanza una aceleración máxima de  $5,2 \frac{m}{s^2}$  con respecto a los  $5,4 \frac{m}{s^2}$  del MCI lo que resulta aceptable porque en un circuito compuesto por curvas y obstáculos se prioriza la capacidad de salida que posee estos vehículos.

**Tabla 4-3:** Ventajas del go kart Eléctrico respecto a MCI

<i>PARÁMETROS</i>	<i>MCI</i>	<i>ELÉCTRICO</i>	<i>UNIDADES</i>
<b><math>\tau x</math> máx</b>	149,691	208,397	[N.m]
	100	139,2	[%]
<b>Rendimiento</b>	29,524	48,702	[Km/Kwh]

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

La Tabla 4-3 reflejan los datos que poseen una superioridad con respecto a los otros, es decir, datos del Eléctrico mayores a los del MCI respectivamente.

La principal ventaja que posee el go kart eléctrico es su torque máximo que resulta ser de 208,3 Nm equivalente al 39% más con respecto al MCI siendo beneficioso debido a dicho torque adicional le proporcionara una mejor salida y alcanzar la velocidad máxima de una forma más rápida. Otro punto importante, es el rendimiento que posee cada go kart siendo el más beneficiado el Eléctrico con un aprovechamiento del 48,7 % de la energía suministrada para completar el circuito a diferencia del MCI que solo aprovecha el 29,5 de toda la energía.

**Tabla 4-4:** Desventajas del go kart Eléctrico respecto a MCI

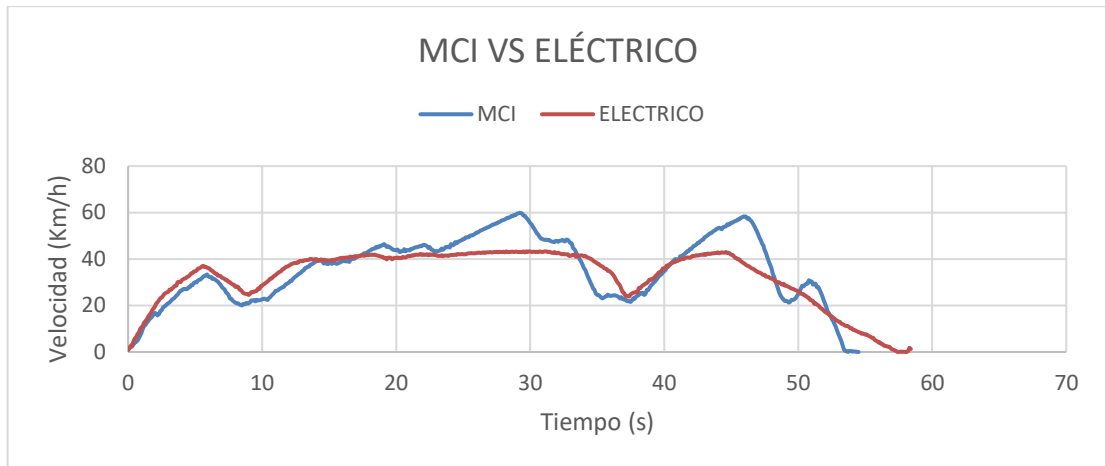
<i>PARÁMETROS</i>	<i>MCI</i>	<i>ELÉCTRICO</i>	<i>UNIDADES</i>
<b>V.máx</b>	16,619	12,028	[m/s]
	59,830	43,300	[km/h]
<b>V.promedio</b>	9,886	8,984	[m/s]
	35,588	32,341	[km/h]
<b>Tiempo total</b>	54,500	58,400	[s]
<b>Potencia máx</b>	7,850	5,133	[kw]
<b>% Regeneración</b>	68,476	50,750	%

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

La Tabla 4-4 reflejan los datos que poseen una inferioridad con respecto a los otros, es decir, datos del Eléctrico inferiores a los del MCI.

Existe una gran diferencia con las velocidades máximas alcanzadas por los dos go kart. El go kart eléctrico alcanza una velocidad máxima de 43 km/h, 16 km/h menos con respecto al MCI que alcanzó los 59 km/h, esto debido a que se decidió adquirir un motor eléctrico con una potencia nominal de 2,5 kW donde en la Tabla 4-4 muestra que el MCI necesita 7, 8 KW de potencia para alcanzar dicha velocidad mientras que el motor eléctrico solo alcanzo una potencia de 5,1 kW. La solución más viable para solucionar el problema está encaminada en la relación de transmisión, al aumentar la relación de transmisión para ganar velocidad a costo de perder algo de torque.

En la Ilustración 4-1, se representa la gráfica de velocidad de la vuelta representativa de cada go kart que compone el estudio donde la curva de color azul representa al go kart MCI y el color rojo representa al go kart eléctrico. El go kart eléctrico en el mayor parte del circuito alcanza su velocidad máxima y lo mantiene debido a su torque que le permitía recuperarse de una forma rápida en las curvas.



**Ilustración 4-1:** Ciclo de conducción del go kart MCI y Tren eléctrico

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

#### 4.2. Cálculo de la capacidad de aceleración

Con la obtención de los datos reportados en cada prueba, se refleja en la Tabla 4-2, en la cual se registra la velocidad máxima alcanzada por el go kart eléctrico con su respectivo tiempo, en cada una de las 6 pruebas realizadas.

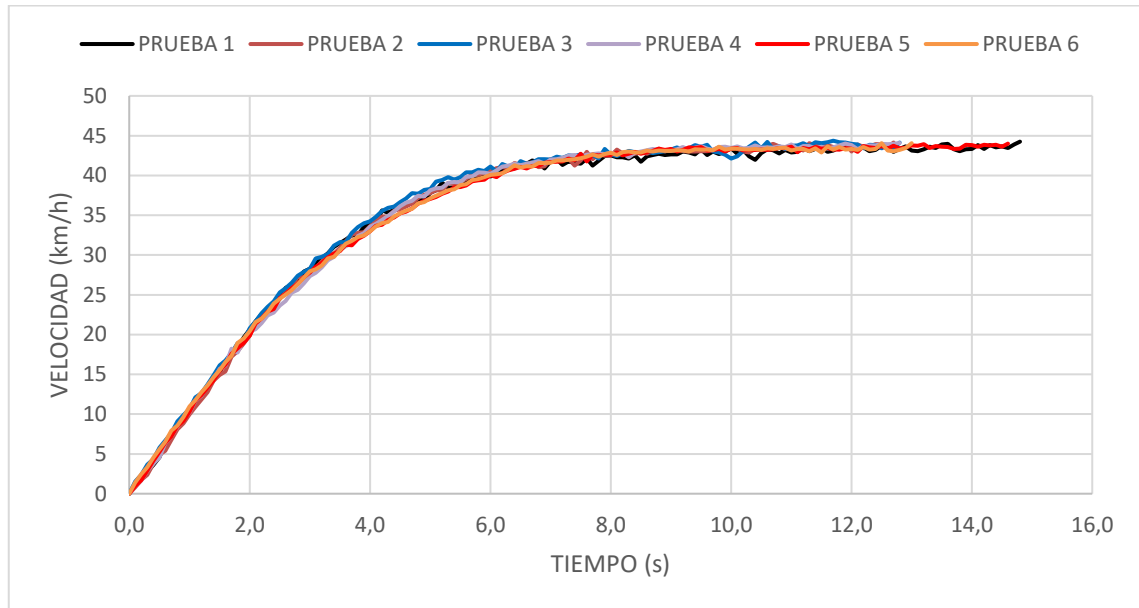
**Tabla 4-5:** Datos obtenidos de la velocidad máxima alcanzada por el go kart eléctrico

PRUEBA REALIZADAS						
TIEMPO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	PRUEBA 6
(s)	Velocidad (km/h)	Velocidad (km/h)	Velocidad (km/h)	Velocidad (km/h)	Velocidad (km/h)	Velocidad (km/h)
0.0	0	0	0	0	0	0
1.0	10.290	9.960	10.647	10.220	10.279	10.965
2.0	20.630	19.870	20.795	20.358	19.874	20.433
3.0	28.290	27.940	28.300	27.344	27.813	27.943
4.0	33.970	33.640	34.248	33.547	32.973	32.999
5.0	37.810	37.780	38.316	38.133	37.034	37.117
6.0	39.850	40.590	41.122	40.207	40.025	40.056
7.0	41.780	42.060	41.997	41.997	41.692	41.583
8.0	42.510	42.500	42.597	42.831	42.568	42.847
9.0	42.630	43.300	43.248	43.166	43.316	43.079
10.0	43.430	43.370	42.109	43.441	43.359	43.374
11.0	42.870	43.650	43.746	43.908	43.615	43.110
12.0	43.360	43.020	43.990	43.797	43.380	43.342
12.7	42.980	44.140	43.431	43.980	43.733	43.058
12.8	43.350		44.153	44.081	43.412	43.195

<b>13.0</b>	43.130				43.765	44.037
<b>14.0</b>	43.340				43.808	
<b>14.6</b>	43.450				44.000	
<b>14.8</b>	44.250					

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

A partir de la Tabla 4-5 se representa los datos en una gráfica de velocidad vs tiempo, para todas las pruebas realizadas.



**Ilustración 4-2:** Curvas de velocidad vs tiempo

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Con la obtención de la gráfica de velocidad, se observa una similitud de los datos. Al go kart eléctrico le toma alrededor de 6 segundos en alcanzar los 40 km/h y a partir de los 10 segundos la gráfica pasa a ser lineal hasta que alcance su velocidad máxima estimada en 44 km/h.

Para determinar el tiempo estimado que necesita el go kart alcanzar su velocidad máxima, se opta por sacar el promedio de todo el conjunto de pruebas

**Tabla 4-6:** Capacidad de aceleración de cada prueba realizada

NUMERO DE PRUEBA	TIEMPO	VELOCIDAD
	(s)	(Km/h)
<b>1</b>	14.800	44.250
<b>2</b>	12.700	44.140
<b>3</b>	12.800	44.153
<b>4</b>	12.800	44.081
<b>5</b>	14.600	44.000

<b>6</b>	13.000	44.037
----------	--------	--------

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Se calcula el valor promedio y la desviación estándar del tiempo registrado de cada prueba para alcanzar la velocidad máxima de los datos reportados en la Tabla 4-6. Obteniendo un valor de 13,45 segundos y una desviación estándar de 0,082, un valor cercano a cero, indicando que los datos obtenidos se encuentran muy próximo a la media.

En la Tabla 4-7 se muestra el tiempo promedio y la desviación de este estudio.

**Tabla 4-7:** Promedio y desviación estándar del tiempo necesario para alcanzar los 44 km/h

PROMEDIO (s)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
13.450	0.082

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

### 4.3. Temperatura del motor eléctrico

Es importante llevar un control de la temperatura del motor eléctrico debido que los motores Brushless no poseen un sistema de refrigeración por lo que un excesivo aumento de corriente generará un incremento de calor. Al sobrepasar la temperatura máxima permitida, el bobinado del motor tiende a perder su aislamiento producto de aquello se deforman y puede generarse contactos entre ellos lo que provocaría un cortocircuito (Maxon Motor Ibérica, 2021).

Maxon es una empresa fabricante de motores Brushless y establece “Los motores Dc o Brushless tienen una temperatura ambiente máxima de 85°C a 100°C ”(Maxon Motor Ibérica, 2021).

Para obtener los datos de temperatura, se adquirió un medidor de temperatura digital y se registraba cada cinco vueltas completadas. En la Tabla 4-8 se presenta todas las mediciones realizadas con su distancia recorrida.





**Ilustración 4-3:** Obtención de la temperatura por el medidor de temperatura digital

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

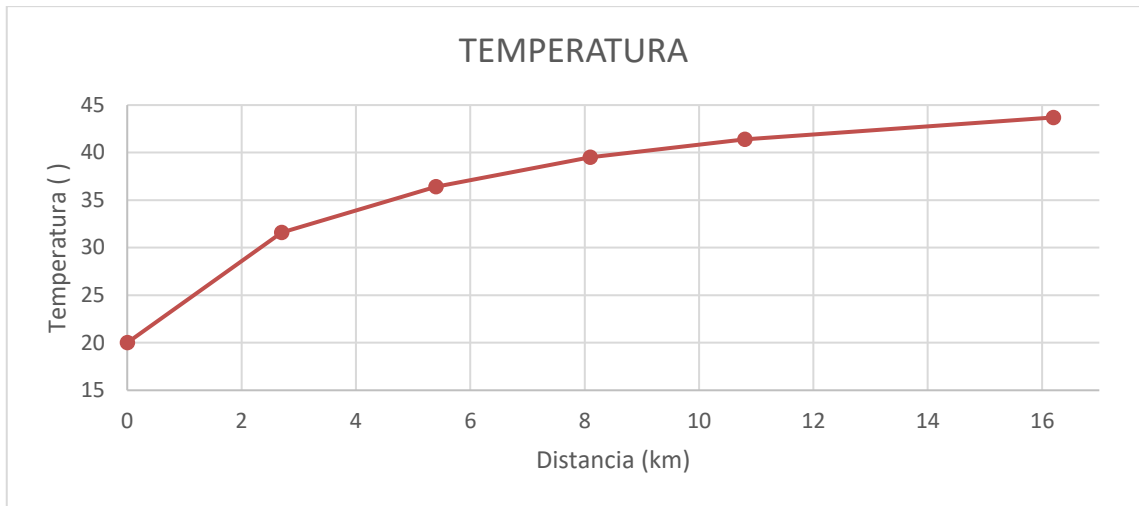
Nota: La distancia recorrida de cada vuelta es de 0,54 km debido a que las mediciones se realizaron en la ruta seleccionada en el apartado 3.3.2.2 (Selección de la ruta).

**Tabla 4-8:** Temperatura del motor eléctrico

MEDICIONES	Temperatura	Distancia
	(°C)	(km)
1	20	0
2	31,6	2,7
3	36,4	5,4
4	39,5	8,1
5	41,4	10,8
6	43,7	16,2

Realizado por: Sinchi, V; Toro, L. 2023.

A partir de la Tabla 4-8 se representa los datos en una gráfica de temperatura vs distancia para todas las mediciones realizadas.



**Ilustración 4-4:** Temperatura del motor eléctrico

**Realizado por:** Sinchi, V; Toro, L. 2023.

Se recorrió una distancia total de 16,2 km conformado por 30 vueltas manejadas por el circuito,

Se empezó con una temperatura de 20°C y se terminó con 43,7°C, teniendo una diferencia de 23,7 °C. En los 8 km recorridos, se observa que el motor ya alcanzó una temperatura 40 °C aproximadamente, mientras que los 8 km finales su temperatura solo aumenta en 3,7 °C.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

A través de fuentes bibliográficas consultadas tanto físicas como digitales se ha obtenido la información necesaria sobre trenes eléctricos, misma que ayudó a implementar en nuestro trabajo evitando datos erróneos.

Mediante el dispositivo GPS VBOX Sport permite registrar datos en vivo del go kart eléctrico como velocidad, aceleración máxima, tiempo por vuelta y distancia recorrida dándonos como resultados una velocidad final de 43.30 [km/h], una aceleración máxima de 5.22 [m/s<sup>2</sup>], un tiempo por vuelta de 58.40 [segundos] y una distancia recorrida de 0.54 [km].

La selección del tren de propulsión eléctrico se realizó mediante el análisis de los datos obtenidos de potencia y torque alcanzado por el motor de combustión interna en el circuito trazado. Se obtuvo una potencia y torque promedio de 1,41 KW y 3,15 Nm respectivamente. Por lo cual, el motor eléctrico que se selecciono es de la marca Kunray con una de potencia nominal de 2,5 KW y un torque de 5 Nm con un voltaje de funcionamiento de 60 Voltios cumpliendo con la normativa FIA-CIK la cual establece que el motor eléctrico deberá tener una alimentación máxima de 60 voltios.

El motor y controlador están situados en la parte lateral derecha del go kart junto al asiento del piloto, con la finalidad de facilitar la óptima refrigeración del motor eléctrico por medio de la circulación de aire al momento de conducción. Las baterías que suministran la energía al motor eléctrico se ubicaron en la parte delantera del piloto, detrás de la columna de dirección, lo que permite que estén libres de algún tipo de accidentes en competencia, lo que afectaría al piloto por su alto amperaje. Cumpliendo con lo establecido a la normativa FIA-CIK para la implementación de trenes eléctricos.

Se determinó de forma experimental la capacidad de aceleración del go kart con tren de propulsión eléctrico mismo que se evidencio que se requiere aproximadamente 13,45 [segundos] para conseguir una aceleración de 0 a 44 [km/h].

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda analizar diferentes metodologías para la obtención, recopilación y análisis de datos al momento de implementar trenes de propulsión eléctricos.

Al momento de implementar trenes de propulsión eléctrico, se recomienda revisar normativas actualizadas por la FIA-CIK, para ajustarse año a año a la normativa vigente.

Se recomienda a la carrera de Ingeniería Automotriz adquirir dispositivos de telemetría actualizados con el fin de mejorar los trabajos de titulación futuros, orientados al dimensionamiento de trenes de propulsión eléctrico.

Al trabajar con valores de corriente elevados, se recomienda trabajar con todos los equipos e implementos de protección para evitar riesgos a la salud.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ADALIS, Fábregas & Márquez. J.** *Simulación de un Aerogenerador para Uso Doméstico en el Departamento del Cesar*. Universidad de Santander , Valledupar, Colombia : 2022.
2. **ANE, Elosegui.** *Diseño de un motor síncrono de imanes permanentes para la propulsión de aviones regionales*. Tecnun Universidad de Navarra, San Sebastián, España : 2021.
3. **AUBO, China.** Aubo, China . *Tipos De Eficiencia Del Inversor Y Su Máxima Eficiencia*. [En línea] 15 de 06 de 2020. <https://www.vfdcn.com/news/types-of-inverter-efficiency-and-its-peak-effi-39489202.html>.
4. **BERNARDI, Max.** TKart . *Cómo montar la transmisión en los go karts automáticos* . [En línea] 03 de 09 de 2019. <https://tkart.it/es/magazine/como-hacer-para/montar-relacion-de-transmision-kart/#1>.
5. **CABRERA, José.** *Manual para el cálculo dinámico y consumo de combustible de automóviles*. Chapingo, México : s.n., 2022.
6. **CÁRDENAS, Xavier, CÁRDENAS, Edwin & CÁRDENAS, Paúl.** *Diseño, gestión y construcción de un puente de estructura mixta*. *ResearchGate*. 2021.
7. **CARIGNANO, Mauro.** *Optimización Energética de Vehículos Eléctricos Híbridos*. Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina : 2018.
8. **CARREÑO, Jesús.** *Comparativa de motores AC implementados sobre un vehículo eléctrico de batería*. Universidad Politécnica de Valencia , s.l. : 2022.
9. **CARRIÓN, Marco.** *Diseño y construcción de go-kart para personas con discapacidad física en sus extremidades inferiores*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador : 2019.
10. **CEPEDA, Santiago, et. al.** Polo del Conocimiento . *Descripción de las características de los diferentes tipos de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos*. 2022, Vol. 7, 4.
11. **CIK-FIA.** *CIK-FIA E-KARTING Guidelines*.

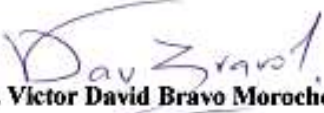

12. **COVINI, Gianluca.** TKart . *La transmisión del go kart.* [En línea] 22 de 06 de 2021. <https://tkart.it/es/magazine/tecnica/transmision-kart-corona-cadena-pinion/#1>.
13. **CRUZ, Federman.** *Banco didáctico para prueba de motores eléctricos bifásicos y trifásicos en laboratorio de electrónica de la universidad católica de Colombia.* Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia : 2019.
14. **CUEVA, Eduardo, et, al.** Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices. 2018, Vol. 9, 1.
15. **DUQUE, Diego & ROCANO, Jaime.** *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados.* Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador : 2018.
16. **FIA-CIK.** *Electric Karts Technical Regulations.* 2020.
17. **GÓMEZ, Iván.** *Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos.* Madrid, España : Paraninfo, SA, 2020.
18. **GÓMEZ, Salvado & JACOBO, López.** *Material para el curso de Programa de Apoyo al Egreso PAE.* Universidad Nacional Autónoma de México, s.l. : 2022.
19. **GRIJALVA, Edwin.** *Gestión energética para flotas de vehículos eléctricos e híbridos con pila de combustible.* Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, s.l. : 2019.
20. **GUERRERO, Guadalupe & GUERRERO, Maria.** *Metodología de la investigación.* Cd. de México : Grupo Editorial Patria, 2020.
21. **GUILLESPIE, Thomas.** *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* 2021.
22. **HEE, Kwang.** *AC Motor Control and Electrical Vehicle Applications Second Edition.* Boca Ratón, Estados Unidos : Taylor & Francis Group, LLC, 2019.
23. **HERAS, José.** *Estudio del comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de implementación.* Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador : 2022.

24. **HIGUERAS, Elena.** *Modelización del comportamiento del consumidor en la adopción de vehículos eléctricos e híbridos.* Universidad de Granada, s.l. : 2021.
25. **MORALES, Cristian & POZO, Willam.** *Análisis del consumo energético del vehículo eléctrico byd e5 300 a diferentes grados de gradiente.* Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador : 2019.
26. **NUEVO, Antonio.** *Montaje y mantenimiento eléctrico-electrónico.* Madrid, España : Paraninfo, SA, 2020.
27. **PASCUAL, Antonio.** *Comparativa entre motores Brushed y Brushless.* Universidad Oberta de Cataluña, s.l. : 2019.
28. **QUEZADA, Pablo.** *Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA.* Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador : 2018.
29. **RACELOGIC.** *VBOX Sport Datasheet.* 2022.
30. **ROA, Juan.** *Modelamiento del chasis de un kart eléctrico como un objeto flexible por medio del software MSC Adams.* Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia : 2019.
31. **SÁNCHEZ, Julia.** *Modelado de sistemas de gestión térmica en baterías para vehículos híbridos mediante el uso de nanofluidos.* Universidad Politécnica de Valencia, s.l. : 2021.
32. **SARANGO, Diego.** *Caracterización tecnológica del vehículo eléctrico híbrido a través de la definición de su tren de potencia y modelo matemático.* Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador : 2022.
33. **TRASHORRAS, Jesús.** *Vehículos eléctricos.* Madrid, España : Ediciones Paraninfo, SA, 2019.



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

**Fecha de entrega:** 18/01/ 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Victor Patricio Sinchi Sinchi Luis Alberto Toro Aguavil
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Mecánica
<b>Carrera:</b> Ingeniería Automotriz
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Automotriz
 <b>Ing. Victor David Bravo Morocho</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>  <b>Ing. Milton Israel Quinga Morales</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>