



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

**“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PACK DE  
BATERÍAS DE ION-LITIO EN UN VEHÍCULO PROTOTIPO  
KARTING ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**EDDY RONALDO HERNÁNDEZ REQUENA**

**JOSEPH JOAN VERA VEGA**

Riobamba – Ecuador

2024



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

**“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PACK DE  
BATERÍAS DE ION-LITIO EN UN VEHÍCULO PROTOTIPO  
KARTING ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** EDDY RONALDO HERNÁNDEZ REQUENA

JOSEPH JOAN VERA VEGA

**DIRECTOR:** ING. CELIN ABAD PADILLA PADILLA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Eddy Ronaldo Hernández Requena & Joseph Joan Vera Vega

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, Eddy Ronaldo Hernández Requena y Joseph Joan Vera Vega, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de Nuestra autoría y los resultados de este 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, 25 de junio de 2024



**Eddy Ronaldo Hernández Requena**

**110544241-0**





**Joseph Joan Vera Vega**

**070484309-3**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PACK DE BATERÍAS DE ION-LITIO EN UN VEHÍCULO PROTOTIPO KARTING ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **EDDY RONALDO HERNÁNDEZ REQUENA y JOSEPH JOAN VERA VEGA**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Cristian David Redroban Dillon <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-06-25
Ing. Celin Abad Padilla Padilla <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-25
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-25

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto de titulación a Dios por ser mi guía en este difícil y largo camino, y de una manera muy especial a mis padres Alfredo Vera y Janeth Vega pues ellos fueron los pilares fundamentales en mi formación profesional y de la persona que hoy en día soy, a ellos que fueron el ejemplo esfuerzo, dedicación y superación, ese ejemplo de no darse por vencido, aunque todo parezca perdido. A ellos que me inculcaron responsabilidad, valores y ganas de seguir adelante y por eso y mucho más tienen todo mi respeto y admiración. Le doy las gracias a Dios por darme a los mejores padres. Finalmente dedico este trabajo a todos mis amigos por brindarme una mano en los momentos difíciles cuando más lo necesitaba, queridos amigos mil gracias, por ser mi familia durante mi vida estudiantil.

**Joseph**

Dedico el presente proyecto de titulación primeramente a Dios por siempre guiarme a lo largo de mi vida y especialmente en este largo trayecto académico, a mis padres Yony Hernández y Betti Requena por estar siempre a mi lado apoyándome en cada paso de mi vida, forjándome por el camino correcto e inculcándome valores, haciéndome lo que hoy en día soy, a ellos que fueron mi ejemplo a seguir desde muy pequeño, demostrándome que en la vida todo se puede con esfuerzo y dedicación y nada es imposible. También dedico este trabajo a todos aquellos amigos que se convirtieron en mi familia durante mi vida estudiantil, a ellos por ayudarme cuando los necesitaba y finalmente dedico este trabajo a mi novia, que me apoyó y estuvo para mí en cada parte importante del transcurso de mi formación profesional y por nunca dejarme solo en los momentos más difíciles. A todos ustedes mil gracias.

**Eddy**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por brindarnos salud y las fuerzas necesarias para lograr completar nuestro proyecto de titulación. A los Ingenieros Celin Padilla y Luis Buenaño quienes con su sabiduría y paciencia supieron guiarnos en la elaboración de nuestro proyecto. A nuestros padres que siempre nos brindaron apoyo incondicional, y que nos enseñaron que todo esfuerzo y trabajo duro al final tarde o temprano tiene su recompensa y el cual fue convertirnos en profesionales. Así mismo, agradecemos a las Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por habernos brindado la oportunidad de pertenecer a esta gloriosa Institución, Institución que forma día a día profesionales de calidad para la sociedad y que ahora nos ha permitidos ser parte de esos profesionales.

**Eddy & Joseph**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY / ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3

## CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Referencias Teóricas .....	4
2.1.1 Estado del arte .....	4
2.1.2 Definición de un kart eléctrico.....	5
2.1.3 Baterías.....	6
2.1.4 Principales baterías para uso automotriz .....	6
2.1.5 Tipo de baterías de litio.....	13
2.1.6 Comparativas de las características de los tipos de batería de litio.....	16



2.1.7	Sistema de carga de las baterías .....	16
2.1.8	Estado de carga.....	17
2.1.9	Problemática de las baterías de Ion-Litio .....	18
2.1.10	Sistema De Gestión De La Batería (BMS).....	19
2.1.11	Controlador .....	20
2.1.12	Marco Legal (Normativa, Reglamentos y Leyes) .....	21

### CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO .....	23
3.1	Diagrama de etapas del proyecto .....	23
3.2	Metodología de la investigación a realizar .....	23
3.3	Planificación o cronograma de actividades .....	25
3.4	Recursos o materiales.....	26
3.4.1	Materiales.....	26
3.5	Equipos y herramientas .....	27
3.6	Recursos humanos.....	28
3.7	Desarrollo del proyecto .....	29
3.7.1	Desarrollo del modelo para determinar el consumo energético del prototipo.....	29
3.7.2	Dimensionamiento de las baterías del karting.....	34
3.7.3	Selección de la batería.....	39
3.7.4	Selección del modelo de celda .....	45
3.7.5	Simulación de cantidad de consumo energético con baterías escogidas .....	46
3.7.6	Construcción de la base para la batería .....	48
3.7.7	Instalación y ubicación de los componentes en el chasis del prototipo .....	53

### CAPITULO IV

4.	ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	55
----	---	----

4.1	Pruebas por realizar .....	55
4.1.1	Prueba de consumo de accesorios .....	55
4.1.2	Pruebas dinámicas .....	56
4.2	Análisis de resultados .....	57
4.2.1	Resultados de la prueba de consumo de accesorios .....	57
4.2.2	Resultados de las pruebas dinámicas.....	58

## CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	91
5.1	Conclusiones .....	91
5.3	Recomendaciones.....	92

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Características generales de las baterías Plomo-ácido.....	7
Tabla 2-2: Característica generales de las baterías Níquel-cadmio.....	8
Tabla 2-3: Característica generales de las baterías Níquel-hidruro metálico.....	9
Tabla 2-4: Característica generales de las baterías de Litio.....	12
Tabla 2-5: Parámetros generales de los tipos de baterías de Litio.....	16
Tabla 2-6: Pesos permitidos por la FIA para cada tipo de batería de Litio.....	22
Tabla 3-1: Metodologías aplicadas en base a los objetivos.....	23
Tabla 3-2: Cronograma de actividades.....	25
Tabla 3-3: Materiales ocupados en el prototipo.....	26
Tabla 3-4: Colaboradores en la ejecución del proyecto.....	28
Tabla 3-5: Valores característicos del neumático.....	36
Tabla 3-6: Características del vehículo y sus respectivos valores.....	37
Tabla 3-7: Valores correspondientes para la potencia de operación.....	37
Tabla 3-8: Propiedades del motor incorporado en el prototipo karting eléctrico.....	39
Tabla 3-9: Calificación de las baterías a base de ion litio.....	41
Tabla 3-10: Especificaciones técnicas de la celda de Óxido de litio-níquel-manganeso y cobalto (NMC).....	45
Tabla 4-1: Valores de energía consumida prueba 1.....	74
Tabla 4-2: Valores de energía consumida prueba 2.....	76
Tabla 4-3: Valores de energía consumida prueba 3.....	77
Tabla 4-4: Valores de energía consumida prueba 4.....	79
Tabla 4-5: Valores de energía consumida prueba 5.....	80
Tabla 4-6: Valores de energía consumida prueba 6.....	82
Tabla 4-7: Valores de energía consumida prueba 7.....	83
Tabla 4-8: Valores de energía consumida prueba 8.....	85
Tabla 4-9: Valores de energía consumida prueba 9.....	86
Tabla 4-10: Valores de energía consumida prueba 10.....	88
Tabla 4-11: Promedio de la energía consumida en las 10 pruebas.....	88

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Primer prototipo Kart fabricado en 1956.....	4
Ilustración 2-2: Prototipo Kart eléctrico fabricado por el grupo investigativo SAPIA.....	5
Ilustración 2-3: Batería VRLA para vehículos convencionales.....	6
Ilustración 2-4: Sistema de funcionamiento de una batería plomo-ácido.....	7
Ilustración 2-5: Batería de Níquel-cadmio fabricadas por Panasonic.....	8
Ilustración 2-6: Baterías Níquel-hidruro metálico.....	9
Ilustración 2-7: Batería AGM de la empresa BOSH.....	10
Ilustración 2-8: Batería de Gel telecomunicaciones.....	11
Ilustración 2-9: Batería de ciclo profundo de la empresa OMEGA.....	11
Ilustración 2-10: Batería de Li-Ion, fabricada por Varta.....	12
Ilustración 2-11: Batería de Litio- cobalto.....	13
Ilustración 2-12: Batería para cámaras de Litio-manganeso.....	13
Ilustración 2-13: Victron Energy Batería LiFePO4.....	14
Ilustración 2-14: Baterías comúnmente usada en los vehículos eléctricos.....	14
Ilustración 2-15: Baterías usadas y fabricadas únicamente por TESLA y PANASONIC.....	15
Ilustración 2-16: Baterías de titanato de litio.....	15
Ilustración 2-17: Mecanismo de carga de una batería de iones de litio.....	17
Ilustración 2-18: Mecanismo de descarga de una batería de iones de litio.....	17
Ilustración 2-19: Balanceo en una batería con tres celdas en serie.....	19
Ilustración 2-20: FICOSA empresa dedicada a fabricar BMS.....	20
Ilustración 2-21: Controlador.....	21
Ilustración 3-1: Diagrama de las etapas del proyecto.....	23
Ilustración 3-2: Bloque de datos de entrada para el modelo.....	35
Ilustración 3-3: Bloque con los datos de las características del neumático del vehículo.....	36
Ilustración 3-4: Bloque con los datos de las características del vehículo.....	36
Ilustración 3-5: Bloque de los parámetros para la potencia de operación.....	37
Ilustración 3-6: Resultados obtenidos de la simulación.....	38
Ilustración 3-7: Esquema del modelo para la obtención de la energía consumida.....	39
Ilustración 3-8: Densidad de energía volumétrica en función de la densidad de energía másica de las baterías.....	40
Ilustración 3-9: Celda cilíndrica y módulo compuesto por celdas cilíndricas de ion litio.....	43
Ilustración 3-10: Celda prismática y módulo compuesto por celdas prismáticas de ion litio.....	44
Ilustración 3-11: Celda tipo bolsa y módulo compuesto por bolsas de ion litio.....	44

Ilustración 3-12: Bloque de datos con las nuevas características del vehículo .....	47
Ilustración 3-13: Parámetros de la batería seleccionada .....	47
Ilustración 3-14: Resultados obtenidos con la batería seleccionada .....	48
Ilustración 3-15: Registro de medidas para el diseño de la base.....	49
Ilustración 3-16: Diseño completo en programa SolidWorks .....	50
Ilustración 3-17: Formato DXF para la maquina CNC.....	50
Ilustración 3-18: Máquina CNC para corte mediante diseño.....	51
Ilustración 3-19: Cortadora CNC cortando la base .....	51
Ilustración 3-20: Diseño de base final cortada.....	52
Ilustración 3-21: Soldadura de acoples en la base para la batería.....	53
Ilustración 3-22: Conexión de la batería con el motor y otros componentes.....	54
Ilustración 3-23: Conexión de los sensores al Datalogger.....	54
Ilustración 4-1: Pinza amperimétrica AC/DC.....	55
Ilustración 4-2: Instrumento de recolección de datos de consumo (Datalogger).....	56
Ilustración 4-3: Circuito establecido para las pruebas de resistencia.....	56
Ilustración 4-4: Ruta establecida para las pruebas de máxima velocidad .....	57
Ilustración 4-5: Valor del consumo de amperaje de los accesorios .....	57
Ilustración 4-6: Consumo de voltaje en las primeras diez pasadas por el circuito.....	58
Ilustración 4-7: Consumo de corriente en las primeras diez pasadas por el circuito .....	59
Ilustración 4-8: Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger en las primeras diez pasadas por el circuito .....	60
Ilustración 4-9: Potencia en base al modelo matemático en las primeras diez pasadas por el circuito .....	61
Ilustración 4-10 Consumo de voltaje en las siguientes diez pasadas por el circuito.....	61
Ilustración 4-11: Consumo de corriente en las siguientes diez pasadas por el circuito .....	62
Ilustración 4-12: Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger en las siguientes diez pasadas por el circuito.....	63
Ilustración 4-13: Potencia en base al modelo matemático en las siguientes pasadas por el circuito .....	63
Ilustración 4-14: Consumo de corriente de la primera parada por el circuito.....	64
Ilustración 4-15: Consumo de voltaje de la primera parada por el circuito .....	65
Ilustración 4-16: Consumo de voltaje de la segunda parada por el circuito.....	65
Ilustración 4-17: Consumo de corriente de la segunda parada por el circuito .....	66
Ilustración 4-18: Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger de la segunda parada por el circuito.....	67
Ilustración 4-19: Consumo de voltaje de la prueba completa por el circuito.....	68

Ilustración 4-20: Consumo de corriente de la prueba completa por el circuito .....	68
Ilustración 4-21: Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger de la prueba completa por el circuito.....	69
Ilustración 4-22: Potencia en base al modelo matemático de la prueba completa por el circuito.....	69
Ilustración 4-23: Comparativa de SOC de la prueba completa entre el modelo matemático y el Datalogger.....	70
Ilustración 4-24: Comparativa de Energía Consumida de la prueba completa entre el modelo matemático y el Datalogger .....	71
Ilustración 4-25: Gráfico de dispersión de las energías consumidas.....	72
Ilustración 4-26: Consumos de corriente y voltaje de la primera prueba de velocidad .....	73
Ilustración 4-27: Velocidad y Consumo de corriente de la primera prueba de velocidad .....	74
Ilustración 4-28: Energía Consumida de la primera prueba de velocidad .....	74
Ilustración 4-29: Consumos de corriente y voltaje de la segunda prueba de velocidad.....	75
Ilustración 4-30 Velocidad y Consumo de corriente de la segunda prueba de velocidad.....	75
Ilustración 4-31: Energía Consumida de la segunda prueba de velocidad.....	76
Ilustración 4-32: Consumos de corriente y voltaje de la tercera prueba de velocidad .....	76
Ilustración 4-33: Velocidad y Consumos de corriente de la tercera prueba de velocidad .....	77
Ilustración 4-34: Energía Consumida de la tercera prueba de velocidad .....	77
Ilustración 4-35: Consumos de corriente y voltaje de la cuarta prueba de velocidad .....	78
Ilustración 4-36: Velocidad y Consumos de corriente de la cuarta prueba de velocidad.....	78
Ilustración 4-37: Energía Consumida de la cuarta prueba de velocidad .....	79
Ilustración 4-38: Consumos de corriente y voltaje de la quinta prueba de velocidad.....	79
Ilustración 4-39 Velocidad y Consumos de corriente de la quinta prueba de velocidad .....	80
Ilustración 4-40: Energía Consumida de la quinta prueba de velocidad .....	80
Ilustración 4-41: Consumos de corriente y voltaje de la sexta prueba de velocidad.....	81
Ilustración 4-42: Velocidad y Consumos de corriente de la sexta prueba de velocidad .....	81
Ilustración 4-43: Energía Consumida de la sexta prueba de velocidad.....	82
Ilustración 4-44: Consumos de corriente y voltaje de la séptima prueba de velocidad .....	82
Ilustración 4-45: Velocidad y Consumos de corriente de la séptima prueba de velocidad.....	83
Ilustración 4-46: Energía Consumida de la séptima prueba de velocidad .....	83
Ilustración 4-47: Consumos de corriente y voltaje de la octava prueba de velocidad .....	84
Ilustración 4-48: Velocidad y Consumos de corriente de la octava prueba de velocidad.....	84
Ilustración 4-49: Energía Consumida de la octava prueba de velocidad .....	85
Ilustración 4-50: Consumos de corriente y voltaje de la novena prueba de velocidad .....	85
Ilustración 4-51: Velocidad y Consumos de corriente de la novena prueba de velocidad.....	86
Ilustración 4-52: Energía Consumida de la novena prueba de velocidad .....	86

Ilustración 4-53: Consumos de corriente y voltaje de la décima prueba de velocidad .....	87
Ilustración 4-54: Velocidad y Consumos de corriente de la décima prueba de velocidad.....	87
Ilustración 4-55: Energía Consumida de la décima prueba de velocidad .....	88

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO A: PLANOS DE LA BASE PARA LA BATERIA

ANEXO B: ESQUEMA COMPLETO DEL MODELO MATEMATICO EN SIMULINK

ANEXO C: PRUEBAS DEL PROTOTIPO EN LA PISTA DESIGNADA

ANEXO D: OBTENCION DEL PESO DEL PROTOTIPO KARTING ELÉCTRICO

ANEXO E: ESPECIFICACIONES DE LA BATERIA DE 72V Y 32Ah



## RESUMEN

El objetivo de este proyecto técnico fue el dimensionamiento e implementación de un pack de baterías de ion-litio en un vehículo prototipo karting eléctrico para la carrera de ingeniería automotriz, para el cual se inició con la recopilación teórica de información por medio de libros, tesis y artículos científicos, con el propósito de conocer los tipos de baterías de Ion-litio y demás componentes involucrados, se seleccionó el tipo de batería de ion lito más apropiado basados en los parámetros que rige la normativa CIA/FIA. Para el dimensionamiento del pack de batería se realizó un cálculo mediante un modelo matemático para determinar la capacidad de la batería más adecuada, el cual indicó que el consumo necesario para el prototipo debía tener una capacidad energética de 0.823 kWh referente a 4 tandas de 10 vueltas de una competencia oficial, por lo tanto, se selección una batería de 72V y 32Ah. Además, se realizó pruebas de pista obteniendo una velocidad aproximada de 10m/s, así mismo se realizó un recorrido de 39,34km donde obtuvo un consumo de 1,7 kWh y un estado de carga (SOC) final de 26,23%. En conclusión, tanto la batería de Ion-litio como el motor trabajan y cumple su función satisfactoriamente salvo que el motor es insuficiente para aprovechar la máxima la capacidad que puede entregar la batería. Se recomienda mejorar el sistema de tracción con él se obtendrá el mayor potencial de la batería.

**Palabras clave:** <PROTOTIPO KARTING ELECTRICO>, <BATERÍA ION-LITIO>, <CONSUMO>, <ESTADO DE CARGA>, <CAPACIDAD ENERGÉTICA >



12-06-2024

0731-DBRA-UPT-2024

## SUMMARY / ABSTRACT

The objective of this technical project was the sizing and implementation of a lithium-ion battery pack in an electric kart prototype vehicle for the automotive engineering career, for which began with the theoretical collection of information through books, theses and scientific articles, to know the types of lithium-ion batteries and other components involved. The most appropriate type of lithium-ion battery was selected based on the parameters governing the CIA/FIA regulations. For the sizing of the battery pack, a calculation was made using a mathematical model to determine the capacity of the most appropriate battery, which indicated that the necessary consumption for the prototype should have an energy capacity of 0.823 kWh referring to 4 runs of 10 laps of an official competition, therefore, a 72V and 32Ah battery was selected. In addition, track tests were performed, obtaining an approximate speed of 10m/s, and a run of 39.34km where a consumption of 1.7 kWh and a final state of charge (SOC) of 26.23% was obtained. In conclusion, both the lithium-ion battery and the motor work and fulfill their function satisfactorily except that the motor is insufficient to take advantage of the maximum capacity that the battery can deliver. It is recommended to improve the traction system with it will get the most potential from the battery.

**Keywords:** <ELECTRIC KART PROTOTYPE>, <LITHIUM-ION BATTERY>, <CONSUMPTION>, <STATE OF CHARGE>, <ENERGY CAPACITY>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema MsC.

C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto de titulación va dirigido al dimensionamiento y la implementación de un pack de batería litio en un karting eléctrico, el cual pertenece a la carrera de ingeniería automotriz, Carrera comprometida a la formación de Profesionales con la capacidad de dar soluciones a problemas referentes a su campo, lo cual sirve de motivación para el estudiante para que sea investigador, trabajador y un profesional capaz de innovar el mundo automotriz.

Según CIK-FIA (International Karting Commission Federation International Automobile), el Kart o Karting es un vehículo terrestre con o sin carrocería con cuatro ruedas no alineadas en contacto con el suelo, dos de las cuales controlan la dirección mientras la otra transmite la potencia. Los karts surgieron después de la posguerra de 1950 por parte de los aviadores para pasar el tiempo. Arts Ingles es conocido como el padre del karting. (Krishnamoorthi ... Akram, 2020)

El interés a nivel global se centra en la exploración de fuentes de energía no convencionales para el transporte. A lo largo de la historia del automóvil, la competencia entre vehículos de motor a combustión y vehículos eléctricos ha dejado a estos últimos rezagados debido a las limitaciones de autonomía de sus baterías. Sin embargo, esta situación ha experimentado un cambio significativo debido a la introducción de los vehículos híbridos actuales, el cual dio el inicio de la era de los vehículos eléctricos.

Cada año en la ESPOCH en la Carrera de Ingeniería automotriz se realiza una competencia de karting de gran prestigio entre diferentes universidades invitadas, donde cada Universidad muestra los avances que ha realizados en sus Prototipos. En los últimos años la competencia ha incorporado una nueva categoría “Karting Eléctrico”, donde cada universidad busca a través de los resultados mejorar sus prototipos eléctricos sobre todo en la autonomía de las baterías para obtener un mejor rendimiento y menor consumo energéticos.

Los resultados que obtendremos al realizar este proyecto de titulación nos permitirán comparar el desempeño del karting eléctrico con el karting de combustión interna. Esta comparación de desempeño será de utilidad para un posible proyecto a futuro para repotenciar y mejorar la alimentación energética del prototipo.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

El principal problema de un kart con motor de combustión interna es la parte mecánica. Esto debido a la necesidad de combustible y lubricantes que se necesitan para su funcionamiento. Además de la necesidad de elevadas revoluciones para conseguir su torque máximo. (Rozic, 2023) Actualmente con los avances de la tecnología y con las nuevas normativas medioambientales se ha buscado construir nuevos prototipos Kart amigables con el ambiente, por lo que su principal cambio sería su matriz energética, donde las fuentes de energía no convencionales son las más estudiadas.

El proyecto impulsado por la Carrera de Ingeniería Automotriz y por el Grupo de Investigación en Sistemas Alternativos de Propulsión e Impacto Ambiental “SAPIA”, el cual es el diseño y construcción de un prototipo de karting eléctrico, dicho proyecto se ha desarrollado en varias fases, donde, ya se cuenta con el chasis en fibra de carbono, el sistema de dirección y frenos y el sistema de propulsión eléctrico, sin embargo, el prototipo aún no cuenta con un sistema de alimentación de baterías que satisfaga las demandas energéticas del vehículo, impidiendo el rendimiento óptimo que se debería tener durante una competencia.

### 1.2 Justificación

El desarrollo de esta investigación pretende realizar un dimensionamiento de las baterías de ion-litio con el fin de optimizar el consumo durante una competencia, cumpliendo así con las demandas que genera completar un circuito, además que el dimensionamiento nos ayudará a evitar un sobrecalentamiento en las baterías lo cual podría generar una inflamación y dañar gran parte de la infraestructura del vehículo, ya que como se mencionó anteriormente el chasis de este prototipo de karting está fabricado a base de fibra de carbono.

La implementación de dichas baterías en un prototipo de karting eléctrico muestra varias ventajas respecto a la comúnmente tracción por combustión a gasolina. El uso de energías alternativas como medio de impulsión del vehículo eléctrico ayuda principalmente a disminuir la emisión de gases que genera un motor a combustión interna, al igual que, disminuir enfermedades relacionadas con la contaminación.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Dimensionar e implementar un pack de baterías de Ion-Litio en un vehículo prototipo kart eléctrico para la Carrera de Ingeniería Automotriz.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Recopilar información bibliográfica sobre baterías de Ion-Litio mediante la búsqueda en revistas y repositorios científicos aplicadas a vehículos karting eléctricos prototipos con el fin de obtener parámetros de un mejor diseño para el sistema de alimentación de energía.
- Determinar la demanda energética del prototipo de karting eléctrico para competición mediante simulaciones, cálculos matemáticos y otras estrategias, con el fin de dimensionar adecuadamente las baterías que le permitan alcanzar su máximo rendimiento.
- Realizar pruebas de pista utilizando herramientas especiales de medición y recolección de datos, para corroborar el rendimiento energético que el prototipo eléctrico karting puede alcanzar.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Referencias Teóricas

##### 2.1.1 Estado del arte

###### 2.1.1.1 Historia del kart

El Karting nació en marzo de 1956 en una base aérea de California, Estados Unidos. Los soldados de aquella base durante su fin de semana de permiso, se encontraba aburridos y tristes por tener tiempo libre en el trabajo, algunos soldados decidieron hacer algo que les permitiera disfrutar del aeródromo existente. (Villacreses, 2010)



**Ilustración 2-1:** Primer prototipo Kart fabricado en 1956

**Fuente:** (Ariza Racing Circuit, 2023)

El resto eran simples tubos de calor soldados, una rueda de cola de avión, un motor de cortadora de césped y un volante de un viejo avión abandonado fueron suficientes para hacer un kart. Así nació el kart con un equipamiento muy tosco en aquella época y podía alcanzar una velocidad de 50 km/h. El primer kart comercial en California fue construido en agosto de 1956 por Art Ingels utilizando un motor de cortadora de césped de la West Bend Company (1911-2003), fundada en West Bend, Wisconsin. Pronto el karting se consolidó en otras bases americanas y se celebraron las primeras carreras "Salvajes". Los karts alcanzaron velocidades de más de 50 km/h y rápidamente se introdujeron muchas mejoras técnicas. (Villacreses, 2010)

La moda de los karts rápidamente ganó seguidores en todo Estados Unidos antes de cruzar el océano hacia Europa, y tres años después de su bautizo en California, se estaban construyendo en América del Norte más de 300 marcas diferentes de pequeños vehículos recreativos. De manera igualmente deslumbrante, el karting se convirtió en un nuevo deporte en el automovilismo, atrayendo a miles de fanáticos. (Villacreses, 2010)

A lo largo de 50 años, el karting se ha ganado el respeto y el reconocimiento como deporte completo y como una sólida escuela de conducción. Michael Schumacher, Mika Hakkinen, Kimi Räikönen, Fernando Alonso y muchos otros grandes pilotos durante sus carreras deportivas. La cooperación mutua ha hecho del karting uno de los deportes más populares del mundo y, sobre todo, su base más importante. Deportivos, coches actuales.(Villacreses, 2010)

### **2.1.2 Definición de un kart eléctrico**

Un kart es un vehículo terrestre monoplaza sin techo ni cabina, sin suspensión, con o sin carrocería, y con 4 ruedas no regulables en contacto con el suelo, 2 de las cuales son las delanteras para el control direccional, y las otras 2 son las ruedas traseras. Ruedas de dirección, transmite potencia a través de una conexión de eje integrada. Los componentes principales son el bastidor (incluida la carrocería), los neumáticos, el motor eléctrico y la batería.(FIA SPORT, 2020)



**Ilustración 2-2:** Prototipo Kart eléctrico fabricado por el grupo investigativo SAPIA

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

### 2.1.3 Baterías

Según (Padrón Fernando, 2013) una batería es un conjunto de celdas electroquímicas que almacenan energía eléctrica mediante una reacción química. En el proceso de descarga, cuando los electrodos se conectan a través de un circuito externo, la reacción química se invierte espontáneamente, produciendo una corriente eléctrica. (Morales y De la Portilla, 2023) afirman que independientemente del nivel de carga, se suministra la máxima energía al vehículo y su vida útil es mayor que la de las baterías tradicionales. Su principio de funcionamiento radica en la diferencia de potencia que se produce cuando el electrolito va del electrodo positivo al electrodo negativo. Cuando la batería proporciona energía, los electrones del electrodo negativo se liberan a través de un circuito externo y fluyen hacia el electrodo positivo. Por otro lado, durante la carga de energía, los electrones viajan del electrodo positivo al electrodo negativo, provocando que se genere un voltaje dentro de la batería.



**Ilustración 2-3:** Batería VRLA para vehículos convencionales

Fuente: (DELCOBAT, 2020)

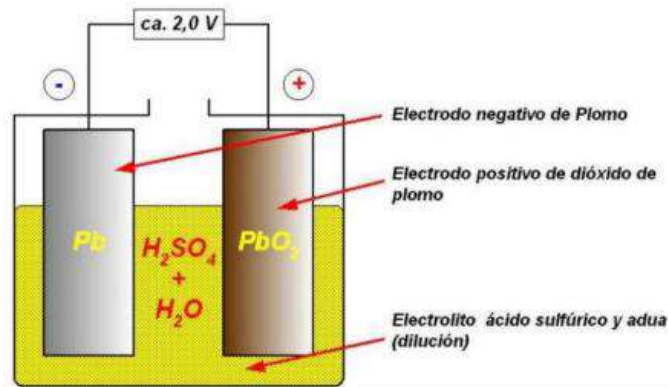
### 2.1.4 Principales baterías para uso automotriz

#### 2.1.4.1 Baterías de plomo-ácido

Es una de las baterías más comunes y consta de un cátodo de dióxido de plomo y un ánodo de plomo sumergidos en una solución de ácido sulfúrico y agua destilada como electrolito. Como ya se ha comentado, esta es una batería muy común en el mercado y según datos históricos existe desde el siglo XIX. Como ya es común, es más económico y proporciona a los usuarios un alto rendimiento. Entre sus desventajas podemos destacar su elevado peso y baja densidad energética, además su recuperación energética tarda mucho y lo más importante entre las desventajas



encontramos que su producción es provocada por elementos muy tóxicos fabricados con elementos muy perjudicial para el cuerpo humano y ambiente.(Loachamin, 2021)



**Ilustración 2-4:** Sistema de funcionamiento de una batería plomo-ácido

Fuente: (Martínez, 2019)

A continuación, se describe las características principales de la batería plomo-ácido:

**Tabla 2-1:** Características generales de las baterías Plomo-ácido

Especificación	Valor	Observaciones
Energía Específica [Wh/kg]	20-35	(Depende del uso)
Densidad energética [Wh/l]	54-95	
Potencia específica [W/kg]	~250	(Antes de que la eficiencia caiga)
Voltaje nominal de celda [V]	2	(Varia con la tasa de descarga y la temperatura)
Eficiencia Ah	80%	
Resistencia interna	A 1Ah en la celda se tienen ~0.022 Ω	
Disponibilidad comercial	De fácil acceso	
Temperatura de operación	Temperatura ambiente, bajo rendimiento en fríos extremos	
Autodescarga	~2% por día	
Numero de ciclos de vida	Hasta 800 ciclos al 80% de su capacidad	
Tiempo de carga	8h	(puede cargarse el 90% en 1h)

Fuente: (Chuquimarca y Suin, 2017)

## 2.1.4.2 Batería de Níquel

### 2.1.4.2.1 Níquel-cadmio

Actualmente se vio este tipo de baterías en la industria automotriz porque contienen altos niveles de cadmio, que es altamente tóxico. Estas baterías utilizan hidróxido de níquel como cátodo y cadmio como ánodo. Las ventajas incluyen un alto rendimiento a bajas temperaturas, una larga vida útil y un corto tiempo de carga. Su principal desventaja es que tienen efecto memoria, por lo que es seguro que pueden sufrir altas pérdidas de potencia y otras características si no se sigue correctamente el ciclo de carga y descarga. (Loachamin, 2021)



**Ilustración 2-5:** Batería de Níquel-cadmio fabricadas por Panasonic

Fuente: (Loachamin, 2021)

A continuación, se describe las características principales de la batería níquel-cadmio:

**Tabla 2-2:** Característica generales de las baterías Níquel-cadmio

Especificación	Valor	Observaciones
Energía Específica [Wh/kg]	40-55	(Depende de la corriente)
Densidad energética [Wh/l]	70-90	(Depende de la corriente)
Potencia específica [W/kg]	~125	(Antes de ser muy insuficiente)
Voltaje nominal de celda [V]	1.2	
Eficiencia Ah	Buena	
Resistencia interna	A 1Ah en la celda se tienen ~0.06 $\Omega$	
Disponibilidad comercial	De fácil acceso en pequeñas baterías. De difícil acceso para baterías grandes.	
Temperatura de operación	-40-80	
Autodescarga	~0.5% por día	(Muy buena)
Numero de ciclos de vida	Hasta 1200 ciclos al 80% de su capacidad	
Tiempo de carga	1h	(puede cargarse el 60% en 20min)

Fuente: (Chuquimarca y Suin, 2017)

#### 2.1.4.2.2 *Níquel-hidruro metálico*

Se podría decir que estas baterías son un desarrollo de las baterías de níquel-cadmio de las que hablamos anteriormente. El cátodo sigue siendo níquel y el cadmio del ánodo ha sido sustituido por materiales de aleación menos tóxicos y contaminantes. Este cambio parece simple en principio, pero da como resultado una disminución significativa en el rendimiento y un aumento en la sensibilidad a la temperatura, pero como se mencionó anteriormente, este cambio reduce significativamente el impacto negativo en el medio ambiente. No están disponibles en el mercado, pero algunos coches híbridos del mercado están equipados con ellos, como algunas versiones del Toyota Prius. (Loachamin, 2021)



**Ilustración 2-6:** Baterías Níquel-hidruro metálico

**Fuente:** (AliExpress, [sin fecha])

A continuación, se describe las características principales de la batería níquel-hidruro metálico:

**Tabla 2-3:** Característica generales de las baterías Níquel-hidruro metálico

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Específica [Wh/kg]</b>	~65	(Depende de la potencia)
<b>Densidad energética [Wh/l]</b>	~150	
<b>Potencia específica [W/kg]</b>	~200	
<b>Voltaje nominal de celda [V]</b>	1.2	
<b>Eficiencia Ah</b>	Bastante Buena	
<b>Resistencia interna</b>	A 1Ah en la celda se tienen ~0.06 $\Omega$	
<b>Disponibilidad comercial</b>	De fácil acceso en pequeñas baterías. De difícil acceso para baterías grandes.	
<b>Temperatura de operación</b>	Temperatura ambiente	
<b>Auto-descarga</b>	~5% por día	(Baja)
<b>Numero de ciclos de vida</b>	Hasta 1000 ciclos al 80% de su capacidad	
<b>Tiempo de carga</b>	1h	(puede cargarse el 60% en 20min)

**Fuente:** (Chuquimarca y Suin, 2017)

### 2.1.4.3 Batería VRLA (AGM y Gel).

#### 2.1.4.3.1 Batería AGM (batería de fibra de vidrio absorbente)

En estas baterías, desarrolladas originalmente para la aviación, el ácido estaba inmovilizado en fibra de vidrio (a veces llamadas baterías “secas” debido al contenido reducido de ácido). Se utilizan cada vez más en sistemas de energía solar y eólica. Las ventajas son una alta resistencia en climas fríos, una mínima autodescarga con el tiempo y la mayor eficiencia de cualquier batería de plomo-ácido (hasta un 95%). Tienen una baja resistencia interna que permite altas corrientes. La desventaja, además del precio, es que es más propenso a sufrir descargas profundas. Dependiendo de la calidad, la vida útil puede variar mucho. Existe una tendencia creciente a utilizar tipos AGM debido a su buena vida útil y operación conveniente con menos peligro. Las baterías VRLA (batería de ácido-plomo regulada por válvula) son las únicas baterías de plomo que se permiten transportar en aviones.(Escobar, 2018)



**Ilustración 2-7:** Batería AGM de la empresa BOSH

Fuente: (Bosh, 2021)

#### 2.1.4.3.2 Batería de gel

En estas baterías "selladas", el ácido se encuentra en forma de gel. Su principal ventaja es que ya no se pueden escapar fluidos, están sellados y pueden funcionar en cualquier posición. La corrosión es reducida y más resistente a las bajas temperaturas. Duran mucho más que las baterías líquidas y se ven mínimamente afectadas por una descarga profunda en comparación con otras baterías. La desventaja es que la resistencia interna es ligeramente mayor, lo que reducirá el caudal máximo. Actualmente, son más frágiles de transportar y más caros. Estas baterías por su larga vida se utilizan a menudo en las industrias y las telecomunicaciones.(Escobar, 2018)



**Ilustración 2-8:** Batería de Gel telecomunicaciones

Fuente: (COSOSTENIBLE, [sin fecha])

#### 2.1.4.4 *Batería de ciclo profundo.*

Las baterías de ciclo profundo son resistentes a ciclos repetidos y contienen plomo de mayor pureza (95%). Su característica principal es la formulación del material activo. El uso de separadores absorbentes especiales (AGM) es fundamental en el diseño debido al electrolito en todas las placas. La distribución es más uniforme y también se utiliza una válvula para regular la respiración del gas. También existen versiones con tapón roscado en la parte superior para probar y añadir agua desmineralizada debido al consumo de agua por reacciones químicas y altas temperaturas. Estas baterías se utilizan en barcos, tractores eléctricos, grúas, UPS (sistemas de alimentación ininterrumpida), centrales telefónicas, señalización, sistemas de refrigeración, maquinaria agrícola, militar, etc. (Barreiro, 2020)



**Ilustración 2-9:** Batería de ciclo profundo de la empresa OMEGA

Fuente: (PRIME POWER, [sin fecha])

#### 2.1.4.5 *Batería de litio*

El voltaje de funcionamiento de las baterías de iones de litio suele oscilar entre 3,3 V y 3,7 V. Estas baterías tienen alta energía específica, alta densidad de energía. Aunque ofrecen enormes

ventajas sobre otras baterías, también sufren de sobrecalentamiento y costes elevados. (Chuquimarca y Suin, 2017)



**Ilustración 2-10:** Batería de Li-Ion, fabricada por Varta

**Fuente:** (Chuquimarca y Suin, 2017)

El electrodo positivo está formado por óxido metálico de litio, que almacena iones de litio. El electrolito utilizado en las baterías de iones de litio no es a base de agua como las baterías de níquel. Los electrolitos consisten en sales disueltas en disolventes orgánicos. Cuando se utiliza grafito para el cátodo, el disolvente orgánico se limita a compuestos basados en carbonato de etileno. (Chuquimarca y Suin, 2017)

A continuación, se describe las características principales de la batería litio:

**Tabla 2-4:** Característica generales de las baterías de Litio

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Energía Específica [Wh/kg]</b>	~140	
<b>Densidad energética [Wh/l]</b>	250-620	
<b>Potencia específica [W/kg]</b>	300-1500	
<b>Voltaje nominal de celda [V]</b>	~3.5	
<b>Eficiencia Ah</b>	Muy Buena	
<b>Resistencia interna</b>	Muy Baja	
<b>Disponibilidad comercial</b>	Las baterías de ion litio se han convertido en las baterías estándar de los vehículos eléctricos	
<b>Temperatura de operación</b>	Temperatura ambiente	
<b>Autodescarga</b>	~10% por mes	
<b>Numero de ciclos de vida</b>	>1000	
<b>Tiempo de carga</b>	1h	(Carga el 80% en menos de 1h)

**Fuente:** (Chuquimarca y Suin, 2017)

## 2.1.5 Tipo de baterías de litio

### 2.1.5.1 Litio y óxido de cobalto

La principal característica de este material es su alta energía específica, lo que lo convierte en la primera opción para teléfonos móviles, tabletas, portátiles y cámaras. Sin embargo, la disponibilidad de cobalto es baja, lo que genera mayores costos de producción. La batería está separada por un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de carbono grafitado. Además, su vida útil es corta, la disposición de carga es limitada y no se pueden realizar cargas y descargas de alta corriente. En términos de trabajo, no se utilizan en el sector de la automoción, ya que soportan unos 500 ciclos de carga, lo que las convierte en baterías para uso doméstico y técnico. (Álvarez y Mendez, 2022)



**Ilustración 2-11:** Batería de Litio- cobalto

**Fuente:** (VTBatteries, 2021)

### 2.1.5.2 Óxido de Litio-Manganeso

Son baterías muy estables a altas temperaturas, seguras en todas las situaciones de funcionamiento, con una densidad energética de 90-110 Wh/kg y soportan hasta 1500 ciclos de carga. El manganeso es fácil de encontrar y barato, por lo que no produce emisiones contaminantes, lo que la convierte en una batería respetuosa con el medio ambiente. Se utilizan ampliamente en herramientas eléctricas, equipos médicos, bicicletas eléctricas y automóviles híbridos. (Morales y De la Portilla, 2023)



**Ilustración 2-12:** Batería para cámaras de Litio-manganeso

**Fuente:** (DURACELL, 2024)

### 2.1.5.3 Litio -Fosfato de Hierro

Los descubrimientos iniciales muestran una capacidad compuesta menor, de aproximadamente 120 mAh/g, pero el material ha atraído más interés que el níquel y el cobalto debido a su bajo costo y propiedades benignas. Además, el compuesto tiene una distribución de voltaje plana con un único pico de 3,55 V, lo que hace que el material sea más estable en soluciones de electrolitos no acuosas. Soporta altas temperaturas y soporta hasta 2000 ciclos de carga. Los valores bajos de voltaje de funcionamiento (3 o 4 V) garantizan una larga vida útil y el único factor limitante para una celda completa es el cátodo de grafito. Debido a todas estas buenas propiedades, el fosfato de hierro y litio ha despertado mucho interés y se utiliza en la producción de determinados tipos de vehículos eléctricos.(Navarro, 2021)



**Ilustración 2-13:** Victron Energy Batería LiFePO4

Fuente: (Victron Energy, 2024)

### 2.1.5.4 Litio níquel manganeso óxido de cobalto

La combinación de níquel y manganeso muestra un buen rendimiento general debido a la alta energía específica del níquel y al bajo efecto de resistencia interna del manganeso. La combinación de níquel y manganeso varía de un fabricante a otro y determina en gran medida las características de la batería, proporcionando soluciones personalizadas para una amplia gama de aplicaciones. Las baterías NMC tienen una gran demanda en aplicaciones de vehículos eléctricos debido a su alta energía específica y su baja tasa de autocalentamiento. También se utiliza en electrónica portátil, herramientas eléctricas y equipos médicos.(Abreu, 2020)



**Ilustración 2-14:** Baterías comúnmente usada en los vehículos eléctricos

Fuente: (Hu ... Ye, 2020)



#### 2.1.5.5 Litio níquel cobalto óxido de aluminio

La tecnología NCA tiene la misma alta energía específica, alta capacidad específica y larga vida útil que las baterías NMC. Sin embargo, las baterías NCA no proporcionan el mismo nivel de seguridad como las baterías NMC, requieren cautelas de seguridad y monitoreo especiales para su uso en vehículos eléctricos, ya que la estabilidad térmica moderada de los electrodos dificulta su uso a altas tasas de corriente. Las baterías NCA son mayormente utilizadas en vehículos eléctricos, especialmente fabricados por Tesla, para aumentar la autonomía hasta unos 500 kilómetros. Además, hay predicciones para las conexiones de red (para respaldo y cambio de carga). (Abreu, 2020)



**Ilustración 2-15:** Baterías usadas y fabricadas únicamente por TESLA y PANASONIC

Fuente: (Arcos, 2020)

#### 2.1.5.6 Titanato de litio

Debido a la plataforma de carga/descarga plana y al hecho de que los electrodos LTO no reaccionan con electrolitos como el grafito, las baterías fabricadas con este material pueden funcionar de forma fiable y funcionar bien a bajas temperaturas. Sin embargo, debido al valor de voltaje nominal más bajo, su energía específica no es alta y el rendimiento se degrada a niveles de potencia altos. Debido a su alta seguridad, las baterías de titanato de litio se utilizan en dispositivos médicos y aplicaciones energéticas donde la densidad energética no es particularmente importante (por ejemplo, vehículos eléctricos). Los coches eléctricos Mitsubishi i-MiEV y algunas versiones de los coches eléctricos Honda Fit utilizan baterías de titanato de litio. (Abreu, 2020)



**Ilustración 2-16:** Baterías de titanato de litio

Fuente: (Fácil Electro, 2019)

### 2.1.6 Comparativas de las características de los tipos de batería de litio.

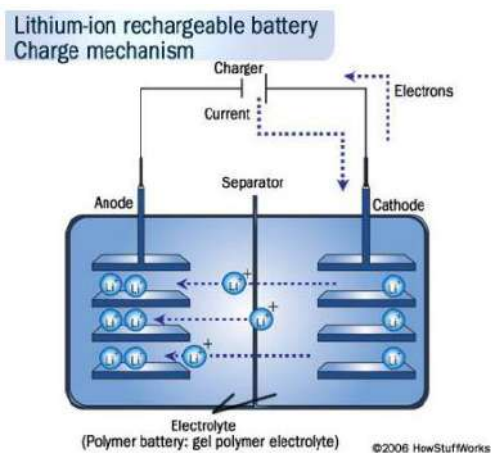
**Tabla 2-5:** Parámetros generales de los tipos de baterías de Litio

Especificaciones	Li-Co	Li-Mn	Li-Fosfat.	NMC	NCA	LTO
<b>Voltaje</b>	3,6V	3,8V	3,3V	3,6/3,7V	3,6V	3,6V
<b>Límite de carga</b>	4,2V	4,2V	3,6V	4,2V	4,2V	4,2V
<b>Ciclo de vida</b>	500	500-1500	1000-2000	1000-2000	500	3000-7000
<b>Temp. trabajo</b>	Media	Media	Buena	Buena	Media	Buena
<b>Energía especif.</b>	150-190Wh/kg	100-135Wh/kg	90-120Wh/kg	140-180Wh/kg	200-260Wh/kg	60-110Wh/kg
<b>Poder específico</b>	1C	10C, 40C pulso	35C continuo	10C	10C	2C
<b>Seguridad</b>	Media. Requiere de circuito de protección y equilibrio celular de paquete de celdas multinivel.	Muy seguro. Necesita equilibrio celular y la protección de V	Más seguro que las Litio-Cobalto necesitan equilibrio celular y protección	Media. Requiere de circuito de protección y equilibrio celular.	Muy segura. Necesita equilibrio celular y la protección de V	
<b>Fuga térmica</b>	150°C	250°C	270°C	210°C	150°C	200°C
<b>Coste</b>	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto
<b>Uso desde</b>	1994	1996	1999	2003	1999	1972

Fuente:(Romero, 2016)

### 2.1.7 Sistema de carga de las baterías

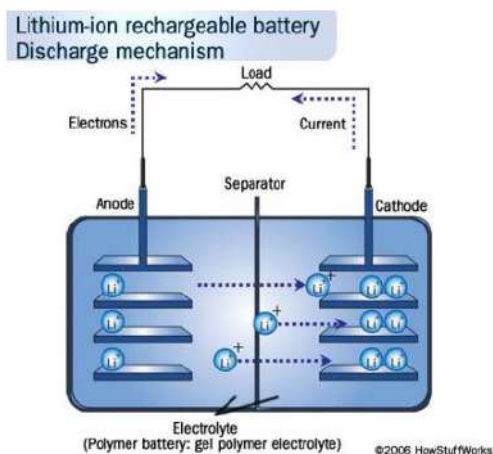
En las baterías de ion litio, el electrodo negativo está compuesto de litio y el electrodo positivo está formado por un comportamiento de anfitrión, comúnmente usado el carbono, permitiendo la inserción de los iones de litio. Cuando la batería se carga, los iones de litio se mueven a través del electrolito desde el cátodo hasta el ánodo y se fijan al carbono.(Pérez y Walteros, 2016)



**Ilustración 2-17:** Mecanismo de carga de una batería de iones de litio

Fuente: (Pérez y Walteros, 2016)

Durante la descarga, los iones de litio se mueven de nuevo hacia el  $\text{LiCoO}_2$  a partir del carbono debido a la oxidación en el electrodo negativo del litio. (Pérez y Walteros, 2016)



**Ilustración 2-18:** Mecanismo de descarga de una batería de iones de litio.

Fuente: (Pérez y Walteros, 2016)

### 2.1.8 Estado de carga

El estado de carga (SOC) de una batería o celda es el porcentaje de la capacidad energética total que todavía está disponible en un momento determinado. No existe una forma directa de medir el SOC de una batería, ya que factores como la edad, el voltaje de carga, la temperatura, la tasa de descarga y el manejo inadecuado pueden afectar la medición. Establecer una medición del estado de carga es un proceso muy complejo, por lo que a menudo se define como una estimación en lugar de una medición o determinación per se. No existe un único proceso adecuado para medir el SOC. (Pérez y Walteros, 2016)

Generalmente, el SOC de una batería se define como la relación entre la capacidad actual  $Q(t)$  (correspondiente a la medida de Wh) y la capacidad nominal  $Q_n$ . La capacidad nominal la determina el fabricante y representa la cantidad máxima de energía que se puede almacenar en la batería. (Pérez y Walteros, 2016)

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q_n} \quad (Ec. 1)$$

#### 2.1.8.1 Medición

Los diferentes métodos matemáticos de estimación se clasifican según la metodología de la siguiente manera:

- Medición directa: utiliza las propiedades físicas de la batería, como su voltaje e impedancia. Entre los diferentes métodos que se pueden encontrar en esta categoría se tienen el método de voltaje de circuito abierto, método de voltaje de terminal, método de medición de impedancia y método de espectroscopia de impedancia. (Pérez y Walteros, 2016)
- Estimación Book-keeping: este método utiliza la corriente de descarga como entrada y toma en cuenta la corriente de descarga a lo largo del tiempo para calcular el SOC. (Pérez y Walteros, 2016)
- Sistemas adaptativos: pueden ajustar automáticamente el SOC según las diferentes condiciones de descarga y las características de la batería. Se han desarrollado varios nuevos sistemas adaptativos para la estimación de SOC. (Pérez y Walteros, 2016)
- Métodos híbridos: combinan dos o más métodos de estimación y permiten un rendimiento mejor. Generalmente producen una buena estimación de SOC. (Pérez y Walteros, 2016)

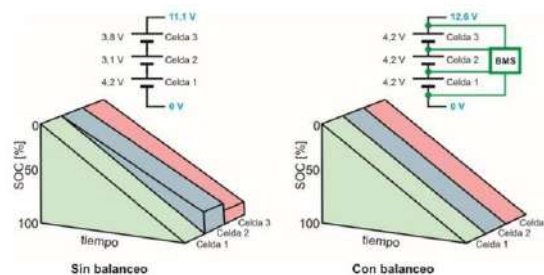
#### 2.1.9 Problemática de las baterías de Ion-Litio

Aunque las baterías de litio tienen una alta densidad de capacidad y son livianas, pueden explotar si se sobrecalientan porque están hechas de materiales inflamables. Por lo tanto, se necesitan circuitos electrónicos (BMS) adicionales para “monitorear” el estado de la batería, lo que, por supuesto, encarece el producto. Además, la autodescarga es ligeramente más rápida gracias a la adición de dicho circuito. Aunque son peligrosas, recientemente se han logrado muchos avances en este campo y ahora se puede decir que la tecnología es lo suficientemente segura como para evitar que ocurran las explosiones descritas anteriormente. (Valdivia, 2018)

Las baterías de iones de litio prácticamente no tienen efecto memoria y no soportan los cambios de temperatura ya que pueden causar problemas tanto a bajas como a altas temperaturas. A temperaturas bajas, las reacciones se ven afectadas por la migración y difusión de iones. Las altas temperaturas pueden provocar formación de gases o corrosión. El rango de funcionamiento

es de  $-20$  a  $60^{\circ}\text{C}$  durante la descarga y de  $0$  a  $40^{\circ}\text{C}$  durante la carga. Este tipo de baterías sufren un envejecimiento debido a su uso y al calor generado en la batería. Por tanto, el envejecimiento de la batería será más visible cuanto más alta sea la temperatura ambiente. (Valdivia, 2018)

Por lo general, se deben conectar varias baterías en serie o en paralelo para lograr la capacidad y el voltaje deseados. Si las baterías se conectan en serie, lo ideal es que la tensión del cargador se distribuya equitativamente entre todas las baterías. Sin embargo, debido a las estrictas tolerancias en la fabricación de baterías, este no suele ser el caso. Esto no es un problema con las baterías de plomo-ácido, ya que son más resistentes a los cambios de voltaje. Pero en las baterías de litio, si quieres el máximo rendimiento, todas deben tener el mismo voltaje. Porque de lo contrario, una batería puede alcanzar su capacidad máxima durante el proceso de carga, mientras que las otras baterías aún no la han alcanzado. En este caso, para garantizar la integridad de esta batería, el BMS detendrá el proceso de carga y las baterías restantes no alcanzarán su capacidad máxima. Por lo tanto, para asegurar la máxima capacidad total de la batería, el BMS debe utilizar un método (equilibrio) que haga que ralentice la carga de la batería con mayor voltaje para poder cargar las baterías restantes a su máxima capacidad. Existen muchos algoritmos para lograr este proceso de equilibrio. (Valdivia, 2018)



**Ilustración 2-19:** Balanceo en una batería con tres celdas en serie.

**Fuente:** (Valdivia, 2018)

### 2.1.10 Sistema De Gestión De La Batería (BMS)

Un sistema de gestión de baterías (BMS) es una herramienta indispensable en aplicaciones que implican el uso de baterías de iones de litio. BMS es una herramienta que proporciona información sobre el estado de la batería mediante el monitoreo de corriente y voltaje de entrada y salida, temperatura, resistencia, pérdida de energía, sistema de control de carga y descarga, control de gestión, etc. Además, el BMS también es responsable del diagnóstico de fallas y la evaluación de parámetros como el estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH). (Quintero De Obaldía, 2021)



**Ilustración 2-20:** FICOSA empresa dedicada a fabricar BMS

**Fuente:** (FICOSA, [sin fecha])

#### *2.1.10.1 Sistema de monitoreo*

Se pueden monitorear varios parámetros relacionados con la batería, como corriente, voltaje, temperatura, resistencia interna, etc., mediante BMS. La información recibida de estas variables es esencial para garantizar el rendimiento y la durabilidad de la batería. Hay diversas herramientas disponibles para ayudar a monitorear dichas variables relacionadas con la batería. Por ejemplo, dispositivos comercialmente usados como cargas programables, unidades de fuente y medida (SMU), potenciómetros/galvanostatos, cámaras de temperatura y más. La carga programable es un dispositivo que permite cargar y descargar una batería utilizando diferentes perfiles de corriente. Este tipo de prueba le permite estudiar el comportamiento y determinar el número de ciclos de la batería. Las corrientes y las unidades de medida actúan como fuente de corriente y al mismo tiempo como instrumento de medida de tensión y corriente. (Quintero ... De Obaldía, 2021)

#### *2.1.11 Controlador*

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de controlar, gestionar o regular el funcionamiento de otro sistema con el fin de reducir el riesgo de fallo y conseguir los resultados deseados en el vehículo. Para ello dispone de varios cerebros llamados interruptores o unidades centrales de procesamiento. Estos dispositivos de control, utilizando información de variables de entrada (sensores), saben siempre qué comandos dar a los distintos sistemas y subsistemas para que toda la máquina funcione correctamente. Para que el sistema funcione de manera óptima, el controlador debe tener una buena interfaz y poder comunicarse y conectarse al motor de manera correcta y eficiente. A menudo, los reguladores se adaptan a un motor o tipo de motor individual, por lo que la lista de reguladores es limitada y, a veces, la recomienda el fabricante del motor. (Cabrera y Calle, 2016)



**Ilustración 2-21:** Controlador

Fuente: (KELLY, 2022)

### ***2.1.12 Marco Legal (Normativa, Reglamentos y Leyes)***

De acuerdo con la Normativa Internacional de la FIA (Federación Internacional del Automovilismo) en colaboración con la CIK (Comisión Internacional de Kartismo) y la comisión de Campeonatos de Electricidad y Nuevas Energías de la FIA acordó cooperar lo más estrechamente posible con el fin de lograr un máximo de reglas técnicas idénticas para ambos tipos de Go karts. (FIA SPORT, 2020)

Por tanto, por consentimiento mutuo, el encargado del reglamento técnico para karts de gasolina como se ya se ha vendido haciendo en el pasado será la CIK el cual se encuentra publicado en el reglamento técnico para karts y para las regulaciones técnicas de los karts eléctricos será regulada por la Comisión de Campeonatos Eléctricos y de la Nueva Energía de la FIA. Como resultado la Comisión de Campeonatos Eléctricos y de la Nueva Energía de la FIA se encargará de las regulaciones para karts eléctricos presentados en la normativa vigente. La Comisión de Campeonatos Eléctricos y de la Nueva Energía de la FIA integrará, donde sea aplicable: tantos artículos como sea posible del Reglamento Técnico de Karts de CIK. (FIA SPORT, 2020)

#### ***2.1.12.1 Tipos de baterías***

El dimensionamiento e implementación de la batería deberá regirse a ciertas características.

Basado en (FIA SPORT, 2020) el artículo 1.1 de la Comisión de Campeonatos Eléctricos y de la Nueva Energía de la FIA los karts eléctricos utilizados en competición se dividen en los siguientes grupos:

**Grupo 1:** Válido para baterías de Plomo-Ácido (Pb-Ácido), y Níquel-Hierro (Ni-Fe).

**Grupo 2:** Válido para baterías de Níquel-Zinc (Ni-Zn), Níquel-Metal-Hidruro (Ni-MH), Litio-Ion (Li-Ion) y Polímero de Litio (Li-Po)

#### 2.1.12.2 *Peso de acuerdo con el tipo de batería*

Basado en (FIA SPORT, 2020) el artículo 2.2 de la Comisión de Campeonatos Eléctricos y de la Nueva Energía de la FIA los karts eléctricos utilizados en competición se dividen en los siguientes grupos:

##### **Grupo 1**

Karts eléctricos con baterías de Plomo-Ácido (Pb-Ácido), y Níquel-Hierro (Ni-Fe):

Peso mínimo: chasis de kart de 70 kg, 230 kg total (kart, baterías y conductor)

Peso máximo: 270 kg total (kart, baterías y conductor)

##### **Grupo 2**

Karts eléctricos con baterías de Níquel-Zinc (Ni-Zn), Níquel-Metal-Hidruro (Ni-MH), Litio-Ion (Li-Ion) y Polímero de Litio (Li-Po):

Peso mínimo: Chasis de kart de 60 kg, 175 kg total (kart, baterías y conductor)

Peso máximo: 185 kg total (kart, baterías y conductor)

El peso de la batería del grupo 1 o 2 se la clasifica de la siguiente manera dependiendo de la composición química que tenga:

**Tabla 2-6:** Pesos permitidos por la FIA para cada tipo de batería de Litio

<b>Grupos</b>	<b>Celda Química</b>	<b>Mínimo peso (a partir de 01-01-2020)</b>	<b>Máximo peso (a partir de 01-01-2020)</b>
1	Pb-ácido	90 [kg]	
	Ni-Fe	73 [kg]	110 [kg]
2	Ni-Zn	54 [kg]	81 [kg]
	Ni-MH	50 [kg]	75 [kg]
	Li-Ion	15 [kg]	22 [kg]
	Li-Po	15 [kg]	22 [kg]

Fuentes: (FIA SPORT, 2020)



## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Diagrama de etapas del proyecto



**Ilustración 3-1:** Diagrama de las etapas del proyecto

Fuente: (Hernandez & Vera, 2023)

#### 3.2 Metodología de la investigación a realizar

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, es esencial realizar un análisis detallado de los objetivos específicos. El análisis proporcionará una comprensión más profunda del resultado deseado, lo que permitirá la formulación de preguntas clave que orientará a la elección precisa del método de investigación, así como de las técnicas e instrumentos necesarios para su implementación. A continuación, se generará una tabla que documentará la metodología empleada en el proyecto.

**Tabla 3-1:** Metodologías aplicadas en base a los objetivos

Objetivos	Preguntas	Metodología	Técnicas	Instrumentos
Recopilar información bibliográfica sobre baterías de Ion-Litio	¿Qué son las baterías de Ion-Litio? ¿Qué tipos de variantes de	Revisión de las fuentes bibliográficas acorde al proyecto,	Búsqueda y recopilación de datos e información.	Libros Digitales y físicos. Proyectos de titulación.

mediante la búsqueda en revistas y repositorios científicos aplicadas a vehículos karting eléctricos prototipos con el fin de obtener parámetros de un mejor diseño para el sistema de alimentación de energía.	batería a base de Ion-Litio existen? ¿Qué tipo de baterías son las más usadas en vehículos eléctricos? ¿De qué materiales están fabricadas las baterías usadas en vehículos eléctricos? ¿Qué tipo de batería a base de Ion-Litio puede ofrecer un mayor rendimiento para el karting eléctrico?	aplicando el método inductivo.		Artículos Científicos. Revistas científicas.
Determinar la demanda energética del prototipo de karting eléctrico para competición mediante simulaciones, cálculos matemáticos y otras estrategias, con el fin de dimensionar	¿Qué modelo matemático se debe elaborar para la determinación del consumo energético del prototipo? ¿Qué herramienta de programación se puede ocupar para determinar la demanda	Revisión bibliográfica referente a dimensionamiento de baterías. Revisión bibliográfica referente a modelos matemáticos de configuración eléctrica en vehículos alternativos.	Búsqueda y recopilación de datos e información.	Software o plataforma de programación MATLAB

adecuadamente las baterías que le permitan alcanzar su máximo rendimiento.	energética del prototipo, a partir del modelo matemático?	Método explicativo.		
Realizar pruebas de pista utilizando herramientas especiales de medición y recolección de datos, para corroborar el rendimiento energético que el prototipo eléctrico karting puede alcanzar.	¿Qué tipo de pruebas se van a realizar? ¿Qué herramienta de medición y recolección de datos se ocupará? ¿Qué parámetros se pueden mejorar?	Método experimental.	Recorrido de pista de pruebas.	Datalogger para recolección de datos de consumo energético de un vehículo eléctrico.

Realizado por: (Hernández & Vera, 2023)

### 3.3 Planificación o cronograma de actividades

**Tabla 3-2:** Cronograma de actividades

ID	NOMBRE DE LA TAREA	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN
1	Revisión bibliográfica	10/10/2023	14/10/2023
2	Desarrollo del marco teórico	16/10/2023	27/10/2023
3	Dimensionamiento y evaluación del pack de baterías para el karting eléctrico	30/10/2023	17/11/2023
4	Implementación y ajuste del pack de baterías	20/11/2023	05/01/2024
5	Prueba de ruta	08/01/2024	12/01/2024
6	Mejoras y corrección de errores	15/01/2024	19/01/2024
7	Validación de datos	22/01/2024	26/01/2024

8	Corrección de observaciones del trabajo final	29/01/2024	02/02/2024
9	Presentación del trabajo final	05/02/2024	09/02/2024

Realizado por: (Hernández & Vera, 2023)

### 3.4 Recursos o materiales

#### 3.4.1 Materiales

**Tabla 3-3:** Materiales ocupados en el prototipo

Material	Especificación	Descripción
Placa metálica	Placa de acero de 4mm de espesor.	Placa utilizada para obtener la base de la batería que irá en el chasis.
Cortadora CNC	Máquina cortadora de acero mediante laser.	Usada cortar la base de la batería por medio de planos.
Cable de alimentación	Cable de alimentación para pc estándar.	Usado para conectar la batería la batería con el sistema de tracción.
Disco de corte	Disco de corte para metal.	Usado para cortar los acoples para la batería.
Amoladora	Máquina para corta cualquier tipo de material	Usado para cortar los acoples para la batería.
Taladro	Máquina para realizar perforaciones	Usado para realizar perforaciones para ajustar los componentes de involucrados en la alimentación y tracción.
Soldadora	Máquina que se utiliza para la fijación de materiales	Utilizados para unir los acoples con la placa base.
Electrodos	Electrodos 6011.	Utilizados para unir los acoples con la placa base.
Silicona	Silicona líquida para vidrio	Utilizadas para fijar los componentes del Datalogger.
Correas	Correas plásticas de 15 cm	Utilizadas para sujetar los cables.

Pernos y arandelas	Pernos y arandelas de diferentes medidas.	Utilizados para fijar el controlador y otros componentes.
Llaves	Juegos de herramientas	Utilizados para ajustar las tuercas y pernos
Multímetro	Máquina usada para medir dos o más valores eléctricos.	Usado para medir el voltaje de la batería.
Pinza amperimétrica	Máquina de medición eléctrica.	Utilizada para medir la energía de accesorio
Lata de pintura	Aerosol de color negro	Utilizado para pintar las uniones de la base y los acoples

**Realizador por:** (Hernández & Vera, 203)

### 3.5 Equipos y herramientas

Durante la ejecución del proyecto, se emplearán una variedad de equipos y herramientas, que abarcan desde instrumentos de medición y ordenadores hasta equipos especializados para la evaluación de componentes eléctricos, así como instrumentos para ajuste y desajuste.

Para iniciar con este proyecto, enfocándonos directamente en el dimensionamiento, las principales herramientas a usar serán informáticas, ya es el caso de Excel, que es un programa informático que nos ayuda a ejecutar cálculos de una manera rápida y sencilla.

Una vez generados los cálculos en Excel se procede a ingresar dichos datos en la herramienta Simulink, proporcionada por el programa MATLAB. Esta herramienta albergará el modelo matemático previamente realizado y luego, en base a los datos de Excel, arrojará datos aproximados y nos permitirá entender el comportamiento del vehículo y establecer los niveles de consumo energético que las baterías deberán cumplir posteriormente.

Ya que la batería requiere su espacio dentro del karting es necesario una base metálica que ayude a contenerla. Esta base irá fijada en la parte trasera del chasis del vehículo y para su construcción se necesitará la ayuda del Software SolidWorks para su modelado, cortadora laser CNC, amoladora, soldadora y lima para completar el proceso y ubicarlo en el lugar correspondiente.

Durante el proceso de montaje de la batería en el monoplaza y la ejecución de las pruebas, resulta imperativo utilizar un Datalogger. Su función primordial radica en la recopilación de datos relativos al consumo energético exhibido por la batería durante las pruebas llevadas a cabo. Este

módulo realiza un seguimiento constante de diversos parámetros, tales como la longitud, latitud, altura, velocidad del vehículo, voltaje de la batería, corriente de la batería, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y temperatura ambiente. El propósito es proporcionar datos exhaustivos que posteriormente se utilizarán para realizar un análisis detallado de los mismos.

### 3.6 Recursos humanos

La realización exitosa de un proyecto depende de la colaboración estrecha entre las partes involucradas. Por lo tanto, una gestión eficiente de los recursos humanos desempeña un papel fundamental en este proceso. Durante del desarrollo del proyecto de titulación, se involucraron diversas personas, donde cada una desempeñó roles y funciones específicas, todos esenciales para el éxito del proyecto. A continuación, se detallan con mayor precisión las responsabilidades que asumieron las personas comprometidas.

**Tabla 3-4:** Colaboradores en la ejecución del proyecto

<b>ROLES</b>	<b>OCUPACION</b>	<b>ENCARGADOS</b>
Investigador	Buscar y recopilar información de fuentes bibliográficas fiables referentes al tema del proyecto. Presentar ideas o avances correspondientes al proyecto a realizar.	Hernández Eddy Vera Joseph
Planificador	Elaborar un plan de cómo se desarrollarán las actividades del proyecto de titulación. Establecer fechas para la realización de las actividades.	Hernández Eddy Vera Joseph
Operador	Ejecutar puntualmente todas las actividades previamente planificadas con el fin de alcanzar los objetivos establecidos.	Hernández Eddy Vera Joseph
Revisión y seguimiento	Solicitar informes y evidencia del progreso del proyecto. Proponer mejoras o correcciones en la elaboración del proyecto. Revisar de manera periódica los avances del proyecto.	Ing. Celin Padilla Ing. Luis Buenaño

Consulta externa	Ofrecer sugerencias basadas en la experiencia laboral para mejorar la claridad en el desarrollo del proyecto.  Aportar herramientas especializadas para la ejecución del trabajo.	Ing. Celin Padilla Ing. Luis Buenaño
------------------	---	---

Realizador por: (Hernández & Vera, 2023)

### 3.7 Desarrollo del proyecto

#### 3.7.1 Desarrollo del modelo para determinar el consumo energético del prototipo

La concepción de esta herramienta se fundamentó en la labor previamente realizada por (Buenaño ... Coello, 2022) en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, específicamente bajo la égida del grupo de investigación de Sistemas Alternativos de Propulsión e Impacto Ambiental (SAPIA) de la institución. El producto resultante es un modelo multifuncional que posibilita, entre otras capacidades, la precisa determinación del consumo energético en una ruta preestablecida. Este proyecto ha sido elaborado empleando el software Matlab y su herramienta especializada Simulink, orientada al modelado, simulación y análisis de sistemas dinámicos.

Para el cálculo del consumo energético en vehículos de propulsión eléctrica es necesario el uso de la dinámica vehicular, es decir, ecuaciones matemáticas capaces de describir todas las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, en otras palabras, las resistencias que el vehículo debe vencer para moverse. Estas resistencias son la aerodinámica que hace referencia a la fuerza del viento que impacta sobre la superficie frontal del vehículo y se opone al movimiento; la resistencia a la rodadura que se da entre el neumático y la calzada; y, por último, la resistencia gravitatoria que influye en las pendientes del perfil de la vía que debe superar el vehículo.

Calcular estas resistencias nos brindará la capacidad de determinar la demanda de potencia del prototipo en cada instante. (Calderón, 2020)

- **Potencia y fuerza en rueda**

$$P_t = F_t * v \left[ \frac{Nm}{s} \right] \quad (Ec. 2)$$

Donde:

$P_t =$  Potencia en rueda

$F_t = \text{Fuerza de tracción [N]}$

$v = \text{Velocidad del vehículo } \left[ \frac{m}{s} \right]$

Según (Calderón, 2020), para el cálculo de las fuerzas de tracción se puede obtener mediante la aplicación de la segunda ley de Newton y el teorema de Euler.

$$\gamma_m * m * a = F_t - \sum R \quad (Ec. 3)$$

$$F_t = \gamma_m * m * a + \sum R \quad (Ec. 4)$$

Donde:

$\gamma_m = \text{Coeficiente de masas rotativas}$

$\sum R = \text{Resistencias que se oponen al movimiento}$

Para (Buenaño ... Coello, 2022) el factor de masa puede estimarse de la siguiente manera:

$$\gamma_m = 1,04 + 0,0025 * \xi_0^2 [-] \quad (Ec. 5)$$

Donde  $\xi_0$  representa la relación de reducción global de la transmisión del vehículo, la cual, en la mayoría de los coches eléctricos, permanece constante durante el funcionamiento.

De acuerdo con (Calderón, 2020) y (Korobkov y Ufimtseva, 2016) las fuerzas que se oponen al movimiento son:

- **Resistencia gravitacional ( $R_g$ )**

$$R_g = M * g * \sin(\theta) [N] \quad (Ec. 6)$$

Donde:

$M = \text{Masa del vehículo [kg]}$

$g = \text{Valor de la gravedad} = 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

$\theta = \text{Valor de la pendiente [rad]}$



- **Resistencia a la rodadura ( $R_r$ )**

$$R_r = fr * M * g * \cos(\theta) [N] \quad (Ec. 7)$$

Donde:

$fr =$  Coeficiente de resistencia a la rodadura

$$fr = 0,0136 + 0,40 \times 10^{-7} * v^2 [-] \quad (Ec. 8)$$

De acuerdo con (De Gennaro ... Genovese, 2015) la resistencia aerodinámica implementada para un vehículo prototipo eléctrico se formula de la siguiente manera:

- **Resistencia aerodinámica ( $R_a$ )**

$$F_d = \frac{1}{2} * \rho_a * Cd * A_f * (v + v_{viento})^2 [N] \quad (Ec. 9)$$

Donde:

$Cd =$  Coeficiente de arrastre

$A_f =$  Area frontal del vehículo [ $m^2$ ]

$v =$  Velocidad del vehículo [ $\frac{m}{s}$ ]

$v_{viento} =$  Velocidad del viento [ $\frac{m}{s}$ ]

$\rho_a =$  Densidad del aire [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]

Para el cálculo de la densidad del aire nos valemos de la siguiente formula:

$$\rho_a = \frac{P * PM}{R * T} \quad (Ec. 10)$$

Donde:

$P =$  Presion atmosférica [KPa]

$PM =$  Peso molecular del aire = 28,97 [ $\frac{Kg}{Kmol}$ ]

$R =$  Constante universal de los gases = 8,314472 [ $\frac{KPa * m^3}{Kmol * K}$ ]

$T =$  Temperatura atmosférica [K]

Conjuntamente, y en concordancia con (Buenaño ... Coello, 2022), se consideraron las siguientes ecuaciones de distancia recorrida para el modelo:

$$d = \int_0^t v dt \text{ [m]} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$a = \frac{dv}{dt} \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad (\text{Ec. 12})$$

Utilizando las expresiones previamente presentadas y empleando Simulink, se creó un modelo para calcular la distancia total recorrida por el vehículo a lo largo del circuito, la aceleración y la potencia en cada instante. Estas variables se determinarán en función de datos de entrada como la velocidad y la pendiente.

- **Potencia de descarga ( $P_{dch}$ )**

Es la cantidad de potencia que la batería debe suministrar para propulsar el vehículo, ya que el desplazamiento del vehículo se percibe como un evento que conduce a la descarga de esta. De acuerdo con (Gao ... Ward, 2017), es posible aplicar la siguiente fórmula para determinar la potencia liberada durante este proceso:

$$P_{dch} = P_{acc} + \frac{P_t}{\eta_{wh} * \eta_{fd} * \eta_{mot} * \eta_{bat}} \text{ [W]} \quad (\text{Ec. 13})$$

Ecuación en la cual:

$P_{acc}$  = Potencia de accesorios

$\eta_{wh}$  = Eficiencia del neumático

$\eta_{fd}$  = Eficiencia de la transmisión

$\eta_{mot}$  = Eficiencia del motor

$\eta_{bat}$  = Eficiencia de la batería

En lo que respecta a la potencia requerida para los accesorios, el valor de esta es muy pequeño, ya que el vehículo carece de componentes que consuman una cantidad sustancial de energía. En términos teóricos, se presume que la totalidad de la energía estará dedicada exclusivamente al desplazamiento del prototipo.

- **Potencia de carga ( $P_{ch}$ )**

Para el cálculo de la potencia de carga, se modifica la ecuación de la potencia de descarga y obtendremos la siguiente ecuación:

$$P_{ch} = |P_t| * \eta_{wh} * \eta_{fd} * \eta_{mot} * \eta_{bat} - P_{acc} [W] \quad (Ec. 14)$$

- **Potencia de operación ( $P_{ope}$ )**

Los resultados obtenidos de estos parámetros simulados representan la potencia de operación, la cual se puede expresar como la diferencia entre la potencia de descarga y la potencia de carga. La propuesta de (Fiori, Ahn y Rakha, 2016) plantea esta relación de la siguiente manera:

$$P_{ope} = P_{dch} - P_{ch} [W] \quad (Ec. 15)$$

- **Estado de carga (SOC)**

Esta variable resulta crucial para el análisis, ya que posibilita la comprensión de la variación en la capacidad de la batería a través de un indicador porcentual conocido como el estado de carga (SOC). Este estado se puede calcular utilizando la siguiente ecuación, según lo propuesto por (Fiori, Ahn y Rakha, 2016):

$$SOC = SOC_{ini} - \frac{\int_0^t (P_{ope} + Ch_{fst}) dt}{C_{bat}} [\%] \quad (Ec. 16)$$

Donde:

$SOC_{ini}$  = Estado de carga inicial

$Ch_{fst}$  = Potencia de carga rápida

$C_{bat}$  = Capacidad de la batería [kWh]

- **Demanda energética**

Representa la cantidad total de energía consumida en la pista durante varias vueltas al circuito. Para calcular este valor, se utilizó la siguiente ecuación propuesta por los autores, (Fiori, Ahn y Rakha, 2016):

$$D_E = \frac{1}{3600000} * \left( \int_0^t (P_{ope} + Ch_{fst}) dt \right) [kWh] \quad (Ec. 17)$$

- **Consumo energético**

Corresponde a un índice de consumo energético por cada kilómetro recorrido, en línea con la propuesta de (Fiori, Ahn y Rakha, 2016), y puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$C_E = \frac{1}{3600} * \left( \int_0^t (P_{ope} + Ch_{fst}) dt \right) * \frac{1}{d} \left[ \frac{kW}{km} \right] \quad (Ec. 18)$$

Donde:

$d =$  Distancia total recorrida

### 3.7.2 Dimensionamiento de las baterías del karting

#### 3.7.2.1 Datos de entrada para el modelo

Para implementar efectivamente el modelo matemático en la plataforma Simulink, fue esencial recopilar datos de conducción, específicamente relacionados con la velocidad y la pendiente, tal como se indicó previamente. Para abordar esta necesidad, se realizó una investigación en diversas fuentes bibliográficas en busca de un ciclo de conducción de un vehículo que compartiera características sustanciales con nuestro prototipo.

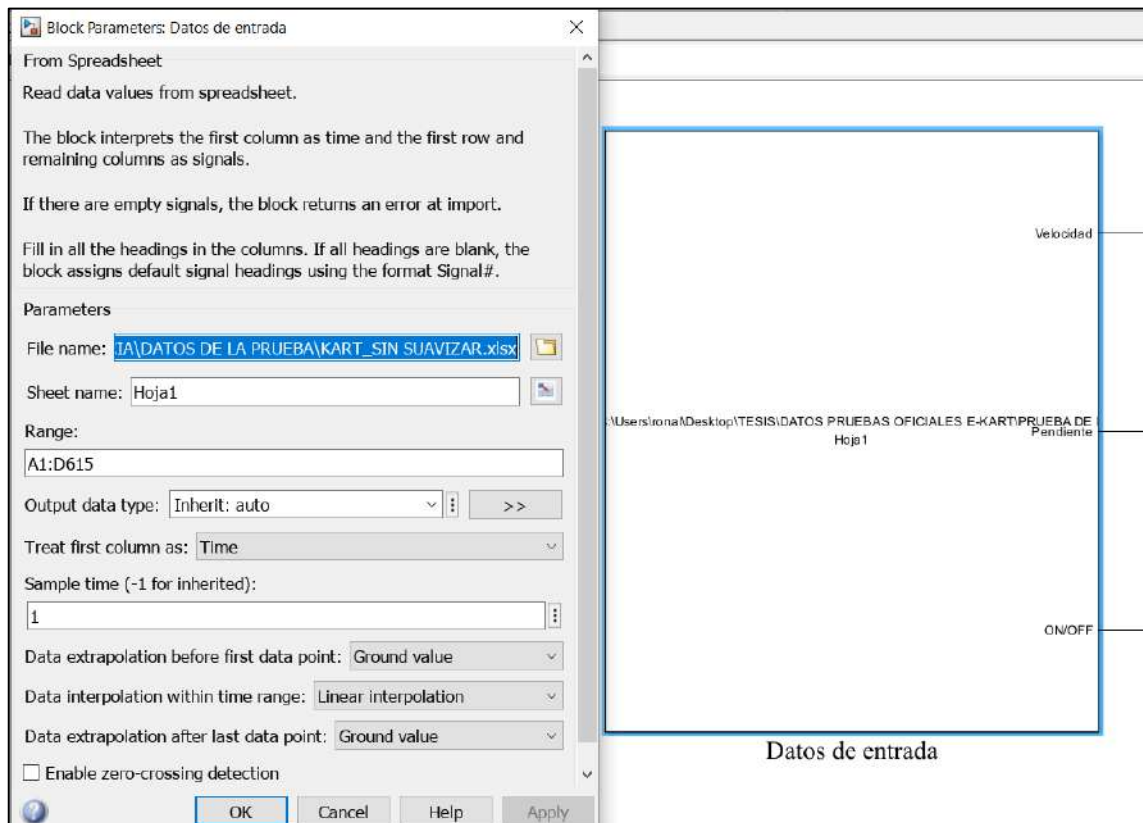
En esta búsqueda, se identificó un ciclo de conducción previamente registrado por (Alfonso Cortez y Darwin Toapanta en su proyecto de titulación “DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA EN UN VEHICULO PROTOTIPO KARTING PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”) en el kartódromo “2 hemisferios” de Quito, en el cual se empleó un kart propulsado por un motor de combustión interna. La elección de este ciclo se basó en la similitud que presentaba en términos de parámetros similares con nuestro vehículo prototipo, lo que lo hizo idóneo para nuestros propósitos de simulación y análisis.

Este ciclo de conducción se ejecutó mediante 10 pasadas completas en la pista, brindando un conjunto integral de datos sobre el rendimiento del vehículo. En esta prueba, se logró calcular que el vehículo realizó un recorrido total de 3,598 kilómetros de distancia en un tiempo de 10,21 minutos (equivalente a 613 segundos) y se registró una velocidad máxima de 37,84 km/h. La relevancia de este ciclo radica en la obtención de datos específicos, principalmente la velocidad

y la pendiente, son esenciales para alimentar y validar el modelo de simulación que se utilizó en el programa.

### 3.7.2.2 Características del vehículo para el dimensionamiento de las baterías

Primero se ingresan los datos correspondientes al ciclo de conducción obtenido anteriormente, en este bloque de parámetros se ingresa una hoja de cálculo con los datos de, tiempo, velocidad del vehículo, pendiente y el estado on/off que nos indica que el vehículo está en funcionamiento.



**Ilustración 3-2:** Bloque de datos de entrada para el modelo

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

Seguido de eso se procede a ingresar los datos del neumático, como se puede observar en la Ilustración 3-3, los valores colocados corresponden al ancho del neumático, el porcentaje de altura del flanco del neumático y el diámetro interior de la rueda, para así de esta manera obtener el cálculo respectivo al radio dinámico de la rueda.



**Ilustración 3-3:** Bloque con los datos de las características del neumático del vehículo

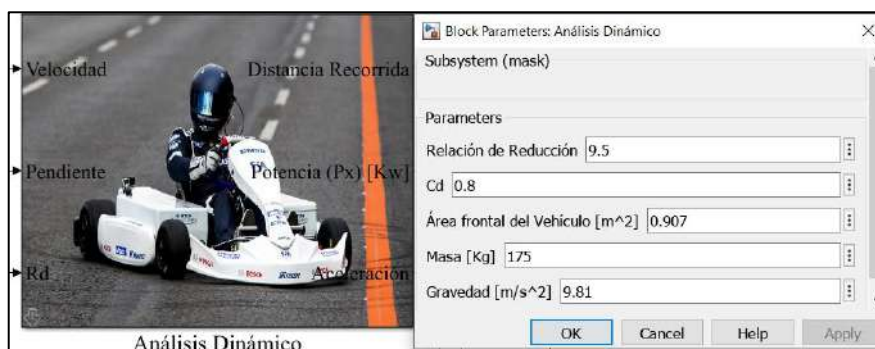
Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 3-5:** Valores característicos del neumático

parámetro	Valor	Fuente
Ancho del neumático	180 mm	(Furlan, 2023)
Altura de flanco	42 %	(Furlan, 2023)
Diámetro interior	5 in	(Furlan, 2023)

Realizado por: (Hernández & Vera, 2023)

Luego de ingresar los datos relativos al radio dinámico de la rueda, se procedió a incorporar las especificaciones del vehículo. Esto incluyó la relación de reducción del diferencial, el coeficiente aerodinámico del vehículo, el área frontal, masa total del vehículo y la constante de gravedad. El dato de relación de reducción del diferencial fue extraído de un trabajo de titulación previamente realizado en el prototipo, el coeficiente aerodinámico fue extraído de fuentes bibliográficas relacionadas al karting y la masa fue extraída del artículo 2.2 de la Comisión de Campeonatos Eléctricos y de la Nueva Energía de la FIA, (FIA SPORT, 2020). Los otros datos fueron tomados por cálculos realizados por nosotros.



**Ilustración 3-4:** Bloque con los datos de las características del vehículo

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 3-6:** Características del vehículo y sus respectivos valores.

Parámetro	Valor	Fuente
Relación de reducción del diferencial	9,5	(TDPRO99, 2023)
Coefficiente aerodinámico (Cd)	0,8	(Idrovo, 2020)
Masa total	175 kg	(FIA SPORT, 2020)
Área frontal	0,907 m <sup>2</sup>	(Hernandez & Vera, 2023)
Fuerza gravitacional	9,81 m/s <sup>2</sup>	(Hernandez & Vera, 2023)

Realizado por: (Hernández y Vera, 2023)

En este bloque, se aprecia que, conforme a lo indicado en la Ilustración 3-4, la potencia necesaria para el desplazamiento del prototipo debe ser suministrada por la batería, teniendo en cuenta, no obstante, la eficiencia de cada uno de los componentes involucrados. Para los parámetros de energía de regeneración se coloca un valor de cero (0) debido a que no se cuenta con esta función dentro del prototipo.



**Ilustración 3-5:** Bloque de los parámetros para la potencia de operación

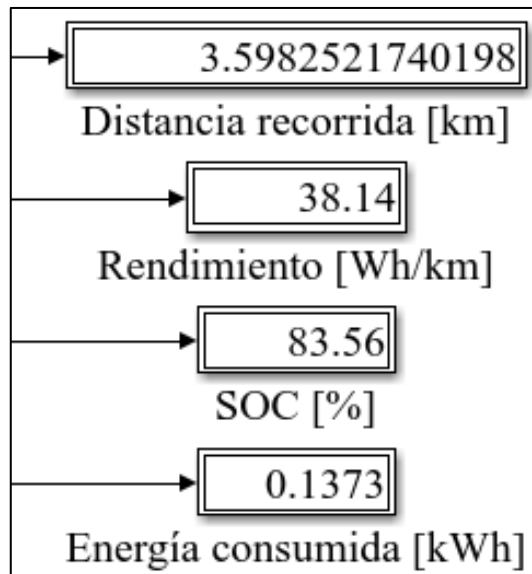
Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 3-7:** Valores correspondientes para la potencia de operación

Parámetro	Valor	Fuente
Rendimiento del neumático	0,98	(Hernandez & Vera, 2023)
Rendimiento de la transmisión	0,98	(Hernandez & Vera, 2023)
Rendimiento del motor	0,98	(Hernandez & Vera, 2023)
Rendimiento de la batería	0,98	(Hernandez & Vera, 2023)
Potencia de accesorios (Kw)	0,03	(Hernandez & Vera, 2023)
Aceleración máxima para la regeneración	0	(Hernandez & Vera, 2023)
Velocidad mínima de regeneración	0	(Hernandez & Vera, 2023)

Realizado por: (Hernández & Vera, 2023)

Finalmente, los resultados obtenidos a partir de la simulación en el modelo construido en Simulink fueron los siguientes:



**Ilustración 3-6:** Resultados obtenidos de la simulación

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

El resultado de la simulación revela un consumo energético de 0,1373 KWh y un rendimiento de 0.03814 KWh/Km. Estos datos indican que la batería que se elija para la implementación debe satisfacer eficazmente estas demandas y poseer las características necesarias para alcanzar dicho desempeño. Sin embargo, dado que una simulación no abarca todos los problemas que podrían afectar en una competición oficial de Karting eléctrico, se hace necesario establecer un factor de seguridad para prevenir posibles imprevistos durante la competencia.

El valor seleccionado para este factor de seguridad es un 50% adicional al valor de consumo simulado para evitar contratiempos y extender la vida útil de las baterías al enfrentarse a descargas significativas. Además, este consumo energético es para una tanda y como se sabe, en una competencia de karting oficial por lo general suelen ser de 3 a 4 tandas por evento, por esto al valor final se le multiplicara por el número de tandas más alto.

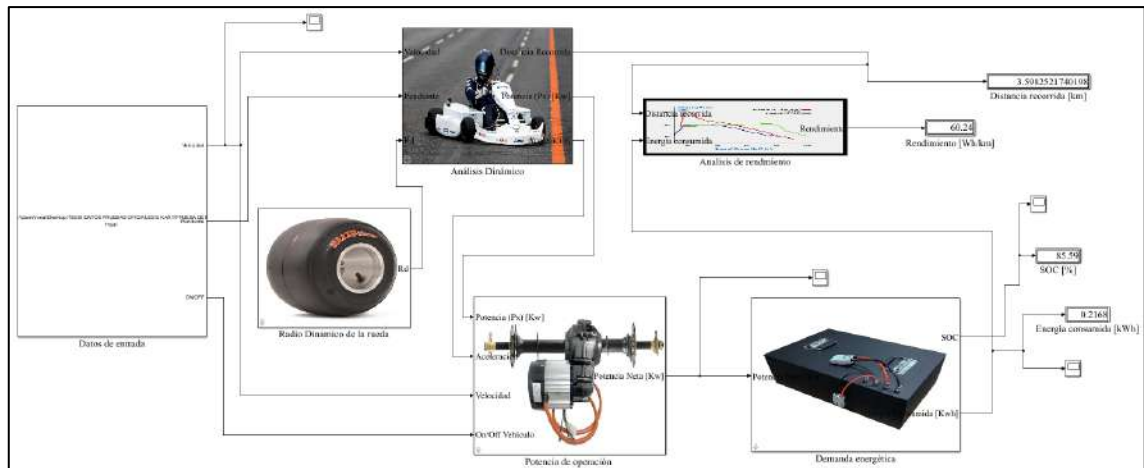
*Consumo energético final = Consumo energético simulado \* F. de seguridad (Ec. 19)*

$$\text{Consumo energético final} = 0,1373 \text{ KWh} * 1,5 * 4$$

$$\text{Consumo energético final} = 0,8238 \text{ KWh}$$

Así, el valor del consumo energético tomado en cuenta para la selección de los acumuladores sería de 0,8238 KWh.





**Ilustración 3-7:** Esquema del modelo para la obtención de la energía consumida

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

### 3.7.3 Selección de la batería

Como se evidenció anteriormente, de acuerdo con la simulación realizada en el modelo basado en la potencia, se requiere un acumulador capaz de suministrar 0,8238 KWh para que el vehículo pueda superar un evento de competencia oficial. Considerando este valor, antes de enfocarse en la elección de la batería, se examinaron las características del motor instalado en el prototipo para obtener una comprensión más precisa de los rendimientos que debía poseer. La tabla 3-8 presenta las especificaciones de este.

**Tabla 3-8:** Propiedades del motor incorporado en el prototipo karting eléctrico

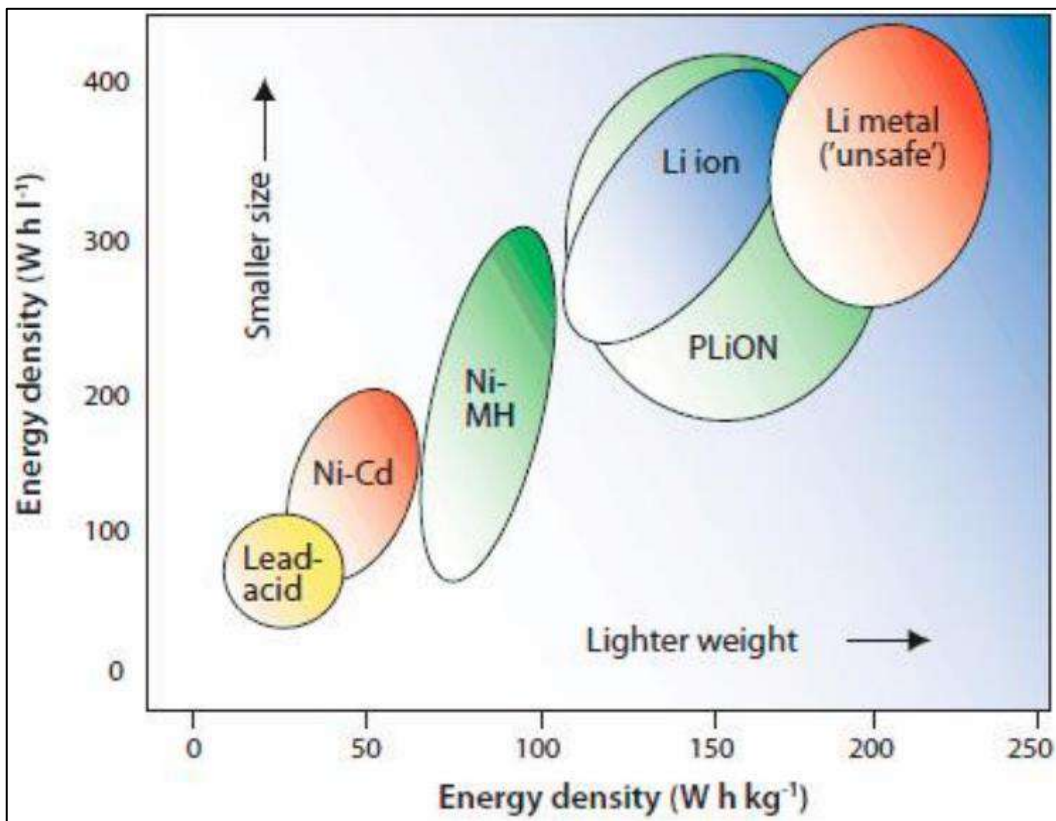
<b>Modelo</b>	Brushless 48V 1000W DC Motor
<b>Voltaje</b>	48 – 72 V
<b>Potencia nominal</b>	1000 W
<b>Eficiencia</b>	$\geq 85\%$
<b>Corriente nominal</b>	18 – 35 A
<b>Velocidad</b>	4800 rpm
<b>Peso</b>	8 kg
<b>Longitud</b>	300 mm
<b>Altura</b>	200 mm

Fuente: (TDPRO99, 2023)

Después de comprender las características del motor disponible y las restricciones técnicas establecidas por las normativas de la competición, se procedió a la elección de la batería para su compra.

### 3.7.3.1 Selección química de la batería

Para seleccionar la química óptima de la batería se escogen mediante aspectos como la aplicación específica, la densidad de energía, la durabilidad, la seguridad y el costo. Cada tipo de batería tiene sus propias ventajas y desventajas, y la elección se realiza dependiendo de los requisitos particulares del proyecto. Se tomó en cuenta dos aspectos cruciales: la energía específica, que muestra la capacidad de almacenar energía por unidad de peso, y la densidad energética, que señala la cantidad de energía que una batería puede almacenar por unidad de volumen. A pesar de la variedad de opciones disponibles en el mercado, la selección se lleva a cabo meticulosamente para cumplir con las necesidades específicas del proyecto.



**Ilustración 3-8:** Densidad de energía volumétrica en función de la densidad de energía másica de las baterías.

Fuente: (Idrovo, 2020)

La Ilustración 3-8 expone una representación comparativa de la densidad de energía entre distintos tipos de baterías. En el gráfico, el eje X ilustra la densidad de energía en vatios-hora por kilogramo (Wh/kg), mientras que el eje Y representa la densidad de energía en vatios-hora por litro (Wh/L). Se observa que las baterías con mayor densidad de energía son más compactas y livianas que aquellas con menor densidad, una característica crucial para la aplicación en nuestro

proyecto. Las baterías de Litio-Metal y Litio-Ion se destacan como las de mayor densidad de energía en el gráfico. Sin embargo, las de Li-Metal son más propensas a incidentes como incendios o explosiones debido a la reactividad del litio, mientras que las de Li-Ion, aunque ligeramente menos densas en energía que las de Li-Metal, son considerablemente más seguras y tienen una vida útil más extensa. En síntesis, el gráfico indica que las baterías de litio-ion ofrecen una combinación óptima entre densidad de energía, seguridad y costo, razón por la cual han sido seleccionadas para la implementación en la energización y propulsión del prototipo.

### 3.7.3.2 Selección de celdas de ion litio

En cuanto a las baterías que utilizan celdas de ion litio, se encuentran diversas composiciones químicas basadas en este elemento. Con el objetivo de seleccionar correctamente la química específica para la batería a implementar en el prototipo, se evaluaron detenidamente los aspectos más relevantes de las variantes de las celdas de ion litio. La tabla 3-9, compara las características más importantes de estas variantes y las califica según sus rendimientos y ventajas, asignando puntajes que van desde 1 (poco favorable) hasta 5 (muy favorable).

**Tabla 3-9:** Calificación de las baterías a base de ion litio

<b>Variante</b>	<b>Energía específica</b>	<b>Duración</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Costo</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>Suma total</b>
Titanato de litio (LTO)	3	5	5	5	2	2	<b>22</b>
Fosfato de litio y hierro (LFP)	4	5	4	4	2	5	<b>24</b>
Óxido de litio y manganeso (LMO)	4	3	3	4	4	2	<b>20</b>
Óxido de litio-níquel-manganeso y cobalto (NMC)	5	4	4	4	4	5	<b>26</b>
Óxido de litio y cobalto (LCO)	5	3	4	3	4	3	<b>22</b>
Óxido de litio-níquel-cobalto y aluminio (NCA)	5	4	4	4	2	3	<b>22</b>

Fuente: (Chuquimarca y Suin, 2017)

Después de identificar las características clave de diversas baterías basadas en ion litio, se llevó a cabo un análisis detallado para determinar la química específica a utilizar en el proyecto, como se presenta en la tabla 3-9. Las baterías LTO se destacan por ser altamente seguras, con una larga vida útil y alto rendimiento, pero presentan una baja energía específica y un elevado costo. Son ideales para operar a bajas temperaturas. Las baterías LFP tienen una densidad energética moderada y ciclo de vida prolongado, pero muestran un índice de auto descarga elevado. Ofrecen un alto nivel de seguridad. Las baterías LMO presentan una potencia y densidad específica moderada, pero su rendimiento y duración son limitados, siendo utilizadas principalmente en herramientas eléctricas. Las baterías NMC tienen una elevada densidad energética y potencia específica moderada, siendo versátiles y aplicables en bicicletas y autos eléctricos. Ofrecen un buen equilibrio. Las baterías LCO, empleadas en dispositivos electrónicos, tienen una alta energía específica, rendimiento moderado y potencia específica limitada. Las baterías NCA cuentan con una elevada densidad energética y potencia específica moderada, pero su mayor inconveniente es el costo elevado. Se utilizan en la industria y vehículos eléctricos. En resumen, según la tabla 3-9, las baterías NMC destacan por ofrecer una excelente relación costo-prestaciones. Aportan una alta densidad energética y potencia específica moderada, siendo accesibles en términos de costo. Por ende, se decide emplear este tipo de celdas en la batería de alto voltaje del vehículo. (Chuquimarca y Suin, 2017)

### *3.7.3.3 Selección de la geometría de la celda*

#### *3.7.3.3.1 Factores claves al elegir una celda de litio*

Al seleccionar el tipo de celda más adecuado, es crucial tener en cuenta diversos factores que influyen en el rendimiento y la eficiencia del sistema. Estos factores incluyen:

1. **Velocidad de descarga:** Determina la capacidad de una celda para suministrar corriente a un voltaje dado. Una velocidad de descarga más alta es esencial para aplicaciones con motores potentes, ya que facilita una aceleración eficiente y el manejo de pendientes pronunciadas.
2. **Densidad de energía:** Indica la cantidad de energía que una celda puede almacenar en relación con su volumen o masa. Las celdas con mayor densidad de energía permiten la creación de paquetes de baterías más compactos y ligeros, lo que es especialmente crucial en dispositivos portátiles y vehículos eléctricos.
3. **Clasificación de celdas:** Involucra categorizar y agrupar celdas de iones de litio según características como capacidad, resistencia interna y voltaje. La clasificación asegura que

los paquetes de baterías se ensamblen con celdas que tengan un rendimiento similar, mejorando así el rendimiento general y la durabilidad del paquete.

4. **Vida útil:** La duración de la celda es un factor crítico, considerando el número de ciclos de recarga que puede soportar antes de experimentar una degradación significativa. Por ejemplo, las celdas de litio polímero pueden tener una vida útil de alrededor de 500-600 ciclos de recarga.
5. **Aplicación específica:** Es esencial tener en cuenta las demandas y requisitos específicos de la aplicación para la cual se utilizará la celda de litio. Cada aplicación tiene necesidades particulares, y la elección de la celda debe ajustarse a estas para lograr un rendimiento óptimo y una mayor eficiencia energética. (Baterías y Amperios, 2020)

#### 3.7.3.3.2 Diferencias entre los tipos de celdas de baterías de Litio

- **Celdas cilíndricas**

Destacan por su diseño compacto y capacidad para manejar presiones internas, lo que las hace apropiadas para la producción en volumen a un menor costo. Su estabilidad y diseño las vuelven ideales para aplicaciones que requieren producción masiva, como las celdas de iones de litio recargables, que pueden generar entre 2Ah y 6Ah, siendo adecuadas para diversos dispositivos. Estas celdas poseen un terminal positivo y otro negativo, y están disponibles en tamaños universales.



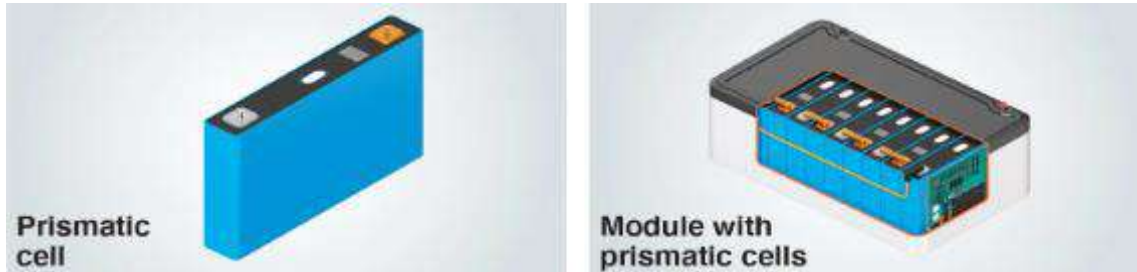
**Ilustración 3-9:** Celda cilíndrica y módulo compuesto por celdas cilíndricas de ion litio

Fuente: (Baterías y Amperios, 2020)

- **Celdas prismáticas**

Se caracterizan por su capacidad de apilamiento en capas, ofreciendo ventajas como mayor tolerancia a la sobrecarga y descarga excesiva. Aunque su fabricación es más complicada y costosa, presentan beneficios como una mayor densidad de energía en comparación con las celdas cilíndricas. Esto proporciona flexibilidad al fabricante y una potencial reducción de peso en la

batería completa. Las celdas prismáticas son comúnmente utilizadas en diversas aplicaciones, como en baterías de montacargas, gracias a su alta densidad de energía y capacidad para manejar presiones internas. (Baterías y Amperios, 2020)



**Ilustración 3-10:** Celda prismática y módulo compuesto por celdas prismáticas de ion litio

Fuente: (Baterías y Amperios, 2020)

- **Celdas tipo bolsa**

Ofrecen ventajas notables en el diseño y fabricación de paquetes de baterías debido a su geometría y flexibilidad moderada. Estas celdas, revestidas de aluminio, son más ligeras que otros tipos de celdas, a pesar de tener un precio más elevado. No poseen una estructura rígida, lo que requiere una gestión térmica adecuada y un sistema de refrigeración para prevenir problemas relacionados con la generación de gases y el aumento de temperatura. (Chuquimarca y Suin, 2017)



**Ilustración 3-11:** Celda tipo bolsa y módulo compuesto por bolsas de ion litio

Fuente: (Baterías y Amperios, 2020)

Una vez identificadas las disparidades, el objetivo de este proyecto es equipar con baterías el prototipo de karting eléctrico de la escuela de ingeniería automotriz. Por ello los acumuladores fueron adquiridos siguiendo los requisitos y análisis previamente realizados. Mencionado anteriormente, se optó por la química de Óxido de litio-níquel-manganeso y cobalto para las celdas, y la elección de la geometría de las celdas fue de tipo prismáticas, basándonos en la accesibilidad en el mercado y las cotizaciones previas obtenidas.

### 3.7.4 Selección del modelo de celda

Con la química y la geometría de las celdas ya determinadas, se procedió a calcular la cantidad exacta necesaria para cumplir con los requisitos energéticos obtenidos a través de la simulación. Según el proceso de simulación en el modelo de potencia desarrollado, el acumulador seleccionado debía ser capaz de suministrar 0,8238 kWh para completar una competición de karting oficial. Considerando este valor y las características del motor instalado en el vehículo, se determinó, según la siguiente ecuación proveniente del trabajo de (MARCEL DEKKER.INC, 2003), que:

$$\text{Capacidad energética [Wh]} = \text{Capacidad de la batería [Ah]} * \text{Voltaje [V]} \quad (\text{Ec. 20})$$

Al conocer el valor de la energía y considerando un voltaje de 72V, procedimos a despejar la capacidad, dejando la ecuación de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\text{Capacidad energética (Consumo energético final)}}{\text{Voltaje}}$$

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{823,8 \text{ Wh}}{72 \text{ V}}$$

$$\text{Capacidad de la batería} = 11,44 \text{ Ah}$$

El valor del voltaje utilizado en el cálculo anterior corresponde al voltaje máximo con el que el motor del vehículo puede operar. El cálculo realizado indicó que la capacidad de la batería para satisfacer los requisitos establecidos debe ser de 11,44 Ah. Por lo tanto, las celdas seleccionadas deben tener una capacidad nominal aproximada o superior a este valor. Luego de una búsqueda exhaustiva se encontró un acumulador con la química y geometría requeridas. Este acumulador presentaba las siguientes características:

**Tabla 3-10:** Especificaciones técnicas de la celda de Óxido de litio-níquel-manganeso y cobalto (NMC)

<b>Especificaciones individuales de la celda</b>	
<b>Capacidad nominal</b>	32Ah
<b>Tensión nominal</b>	3,6V
<b>Densidad de energía</b>	130,17 Wh/Kg
<b>Dimensiones (mm)</b>	27*148*101
<b>Peso</b>	0,885 kg
<b>Máxima corriente de carga continua</b>	15A
<b>Máxima corriente de descarga continua</b>	32A

<b>Corriente de descarga de pulso</b>	60A
<b>Ciclos de descarga y carga (90% DoD)</b>	>2000
<b>Temperatura de trabajo (descarga)</b>	-20°C ~45°C
<b>Temperatura de trabajo (carga)</b>	0°C ~ 45°C

Fuente: (HUNAN CTS TECNOLOGÍA CO., 2021)

Estas prestaciones aseguran que los módulos seleccionados sean adecuados para satisfacer las demandas de energía durante la competición de karting oficial. El acumulador consta de 20 celdas conectadas en serie cada una. Esto implica que, al estar conectadas en serie las celdas, el acumulador tiene un voltaje nominal de 72 V y una capacidad de 32 Ah, según los datos proporcionados en la tabla 3-10. De acuerdo con la ecuación (Ec. 20), la capacidad energética requerida para satisfacer el consumo nominal era:

$$\text{Capacidad energética [Wh]} = \text{Capacidad nominal de la batería [Ah]} * \text{Voltaje [V]}$$

Este cálculo asegura que los módulos elegidos cuenten con la capacidad suficiente para cubrir el consumo energético previamente estimado en la simulación. En este caso, para los valores referentes a la capacidad de la batería se usaron los 32Ah que posee cada celda y para el voltaje 72V, puesto que contaba con 20 celdas colocadas en serie para obtener un voltaje adecuado. Quedando de la siguiente forma:

$$\text{Capacidad energética} = 32\text{Ah} * 72\text{V}$$

$$\text{Capacidad energética} = 2304\text{Wh}$$

$$\text{Capacidad energética} = 2,304\text{kWh}$$

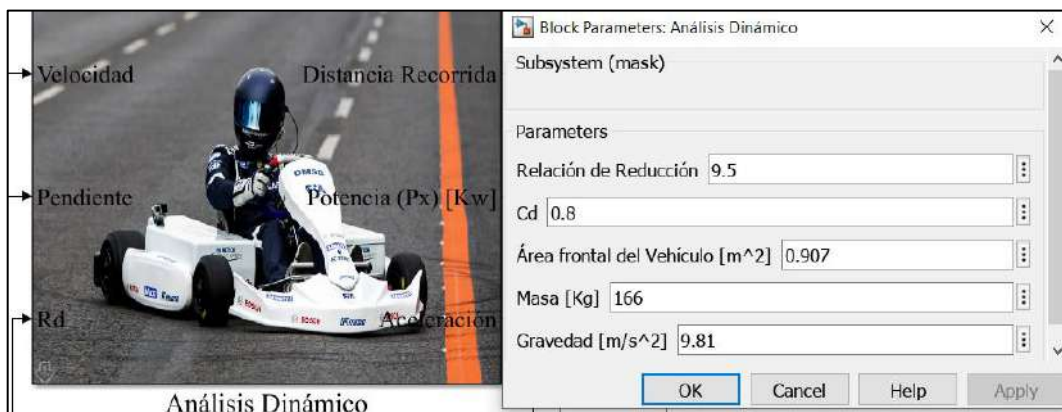
Posteriormente realizado el cálculo referente a la capacidad energética que los acumuladores eran capaces de brindar, se pudo inferir que esta cifra era la idónea para cumplir con las exigencias previamente trazadas.

### 3.7.5 Simulación de cantidad de consumo energético con baterías escogidas

Para concluir, una vez realizadas las elecciones definitivas en cuanto a la química, geometría y modelo de las baterías, se procedió a introducir los valores correspondientes en el modelo matemático previamente desarrollado en Matlab. Este paso se llevó a cabo con el objetivo de obtener una comprensión más precisa del consumo energético al que estarían sometidas las baterías seleccionadas.



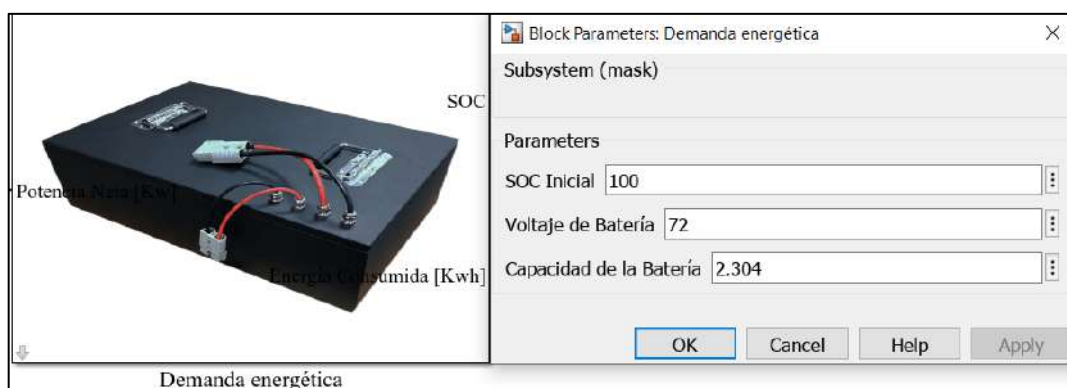
En este proceso, la mayoría de los valores en los bloques se mantuvieron según la configuración inicial, con excepción del parámetro de la masa total del vehículo y el bloque relacionado con las características de la batería, los cuales fueron ajustados según las elecciones finales. Se ajustó el valor de la masa total del vehículo, considerando el aumento debido a la inclusión de los acumuladores adquiridos para el vehículo. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el peso del piloto, el cual rondaba los 66 kilogramos. Este ajuste en la masa total es crucial para una simulación más precisa, ya que refleja con precisión la carga total que las baterías y el piloto agregarán al vehículo durante su operación en pista.



**Ilustración 3-12:** Bloque de datos con las nuevas características del vehículo

Fuente: (Hernández y Vera, 2023)

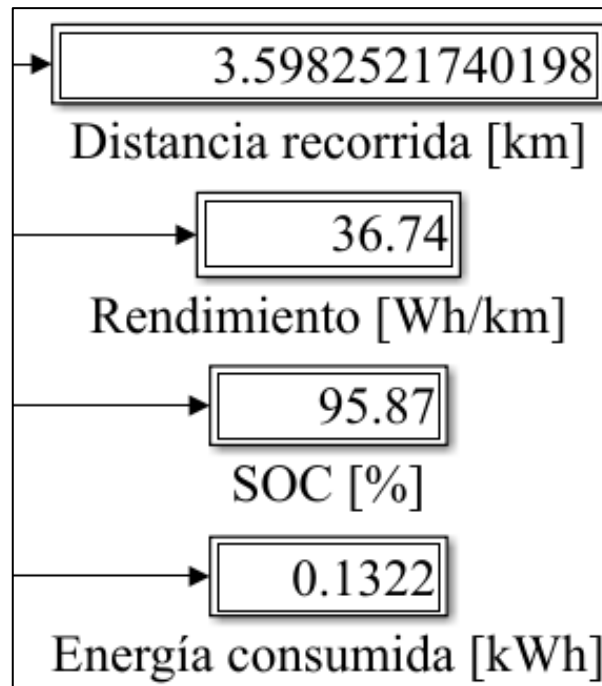
Para definir las propiedades de los acumuladores, fue esencial incorporar las características específicas de los módulos adquiridos. Esto permitió evaluar a través del programa su desempeño en condiciones simuladas. En este contexto, se estableció un estado de carga inicial del 100%, un voltaje nominal de la batería de 72V y una capacidad energética de 2,304 kWh, proporcionando así los parámetros necesarios para la simulación y análisis detallado del comportamiento de las baterías en el sistema.



**Ilustración 3-13:** Parámetros de la batería seleccionada

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

La simulación del consumo energético en la pista fue nuevamente llevada a cabo para obtener una estimación más precisa de la cantidad de energía que las baterías implementadas podrían consumir después de recorrer la pista. Los resultados finales de consumo y los parámetros simulados, teniendo en cuenta las características de los acumuladores adquiridos, fueron los siguientes:



**Ilustración 3-14:** Resultados obtenidos con la batería seleccionada

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

Como se puede observar en la Ilustración 3-14 la distancia recorrida es la misma, puesto que se usó el mismo ciclo de conducción, pero con respecto al SOC si hay una gran diferencia, puesto que la batería elegida tiene mejor capacidad de almacenamiento y la energía consumida es relativamente menor. Este proceso proporciona información valiosa sobre el rendimiento real de las baterías en condiciones de operación específicas, permitiendo una evaluación más detallada de su eficiencia y capacidad en el contexto del prototipo de karting eléctrico.

### 3.7.6 Construcción de la base para la batería

#### 3.7.6.1 Toma de medidas para la base

Una vez identificada la zona trasera del asiento del kart como el lugar ideal para ubicar la batería debido a sus dimensiones y para no causar molestias al piloto, se procedió a tomar medidas de esta área utilizando un flexómetro, se registraron las dimensiones de la zona disponible para la batería, asegurándose de considerar el espacio disponible tanto horizontal como verticalmente.

Antes de proceder con el diseño en el programa de diseño asistido por ordenador, se revisó y verifico las medidas asegurar que todas las mediciones fueran las correctas y que la ubicación de la batería fuera óptima en términos de distribución de peso y accesibilidad para el piloto.



**Ilustración 3-15:** Registro de medidas para el diseño de la base

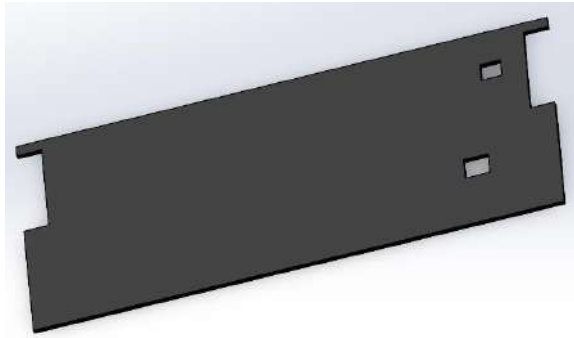
**Fuente:** (Hernández y Vera, 2023)

### 3.7.6.2 *Diseño de la base en SolidWorks*

Una vez completadas todas las mediciones y elaborado el boceto inicial, se avanzó hacia el diseño detallado en el software SolidWorks. Este proceso implicó trabajar con las medidas específicas del lugar donde se iba a ubicar la base, teniendo en cuenta las limitaciones inherentes, como la imposibilidad de modificar la estructura del chasis. El uso de SolidWorks permitió modelar con precisión la base dentro de las restricciones dadas, asegurando un ajuste perfecto y una integración adecuada con la estructura existente del chasis.

Se tuvieron en cuenta tanto los aspectos funcionales como estéticos durante el diseño, garantizando que la base se adapte de manera óptima al entorno del vehículo y que cumpla con todos los requisitos de rendimiento y seguridad necesarios. Una vez finalizado el diseño en SolidWorks, se procedió con la fabricación de la base, confiando en que el proceso de diseño

había considerado meticulosamente todas las variables relevantes y había generado un producto final que cumplía con las expectativas y necesidades del proyecto.

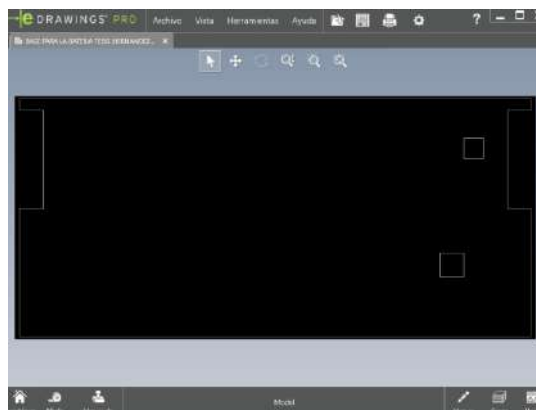


**Ilustración 3-16:** Diseño completo en programa SolidWorks

**Fuente:** (Hernandez & Vera, 2023)

Una vez completado el diseño de la base en SolidWorks, el siguiente paso fue guardar el archivo en formato DXF. Este formato es ampliamente utilizado para el intercambio de datos de diseño con software de corte, como el utilizado en cortadoras láser o de agua. Al guardar el diseño en formato DXF, se asegura la compatibilidad y la capacidad de importación directa en el software de la cortadora, lo que facilita el proceso de fabricación.

Después de guardar el archivo en formato DXF, se llevó fácilmente a la cortadora para proceder con el corte preciso de los materiales según las especificaciones del diseño. Este paso es crucial para garantizar que la base se fabrique con la máxima precisión y se ajuste perfectamente al chasis del vehículo, asegurando así un ensamblaje sin problemas y un funcionamiento óptimo del sistema.



**Ilustración 3-17:** Formato DXF para la maquina CNC.

**Fuente:** (Hernández y Vera, 2023)

### 3.7.6.3 *Fabricación de la base con ayuda de una máquina herramienta*

Después de obtener el diseño de la base en formato DXF, se inició la búsqueda de lugares equipados con una máquina CNC de plasma capaz de llevar a cabo el corte de la base según las especificaciones del diseño. Tras una exhaustiva búsqueda, se logró encontrar un lugar que contaba con la maquinaria necesaria para realizar esta tarea.



**Ilustración 3-18:** Máquina CNC para corte mediante diseño

**Fuente:** (Monteguez, 2024)

Una vez en el lugar que contaba con la máquina CNC, se solicitó el corte de la placa base según el diseño presentado. Mediante un análisis se estableció el espesor que tendría la placa metálica, esto garantizará que la base sea lo suficientemente resistente y duradera para su aplicación en el prototipo. Posteriormente, se utilizó la máquina CNC de plasma para llevar a cabo el corte de la base. Para ello, se introdujo el archivo DXF que se había preparado previamente en el sistema de la máquina. Esta acción permitió que la máquina CNC realizara automáticamente todos los cortes necesarios de acuerdo con el diseño cargado, asegurando la precisión y la fidelidad del resultado final.



**Ilustración 3-19:** Cortadora CNC cortando la base

**Fuente:** (Hernández y Vera, 2023)

Luego de un par de minutos, se logró obtener la base cortada de manera eficiente y exacta, tal como se había planificado en el diseño inicial. Este paso marcó un avance significativo en el proceso de fabricación del prototipo, acercándolo un paso más hacia su completitud.



**Ilustración 3-20:** Diseño de base final cortada

**Fuente:** (Hernández y Vera, 2023)

#### 3.7.6.4 *Ubicación de la batería sobre la base*

Una vez que la placa de la base fue cortada, se procedió a ubicar la placa base en el chasis y se corroboró que encajara correctamente. Este paso es crucial para garantizar una integración adecuada entre la base y el resto del vehículo. Después de verificar que la placa encajaba correctamente, procedimos a ubicar la batería en la base. Para ubicar la batería, se consideró cuidadosamente la distribución de pesos del kart, asegurando de no afectar su equilibrio. También se dejó espacio suficiente para ubicar otros componentes necesarios.

Una vez decidida la ubicación óptima para la batería en la base, se marcó los puntos donde se realizarían los acoples. Estos acoples están diseñados para mantener la batería firmemente en su lugar y evitar movimientos no deseados durante el funcionamiento del vehículo. Al marcar los puntos para los acoples, se aseguró que la batería quede correctamente fijada en su posición designada, lo que contribuye a la estabilidad y seguridad del prototipo. Este proceso garantiza que la batería se mantenga estable y segura, sin comprometer la funcionalidad ni la seguridad del kart eléctrico.

### 3.7.6.5 Soldadura de los acoples de la base

Una vez definidos los acoples, se procedió a cortar cuatro ángulos con medidas de 6 cm cada uno. Estos ángulos servirán para fijar la batería en su lugar en la base. Luego, en el taller de mecánica de la ESPOCH, se llevó a cabo el proceso de soldadura de estos ángulos en los lugares previamente marcados en la base. La soldadura de los ángulos en la base garantizará una sujeción sólida y segura de la batería, evitando que se mueva o se desplace durante el funcionamiento del kart eléctrico. Este proceso se realiza con el objetivo de mantener la estabilidad y seguridad de la batería, así como del vehículo en su conjunto. Una vez que se completó la soldadura de los ángulos en la base, se procedió a instalar la batería en su posición final con la certeza de que estará firmemente sujeta y no se moverá durante el uso del kart.



**Ilustración 3-21:** Soldadura de acoples en la base para la batería.

**Fuente:** (Hernández y Vera, 2023)

## 3.7.7 Instalación y ubicación de los componentes en el chasis del prototipo

### 3.7.7.1 Ubicación y conexión de los componentes del vehículo

El prototipo Kart Eléctrico desarrollado en este proyecto ha servido como base para varios proyectos de grado anteriores. En el cual, se ha empleado el mismo diagrama eléctrico que había sido utilizado como referencia en trabajos anteriores para garantizar la eficiencia y precisión en la instalación del sistema de alimentación del vehículo, La siguiente ilustración se observa las conexiones específicas realizadas, lo que contribuye a una mejor comprensión y documentación de la instalación del sistema de tracción con la batería en el prototipo Kart Eléctrico.



**Ilustración 3-22:** Conexión de la batería con el motor y otros componentes.

**Fuente:** (Hernández y Vera, 2023)

### 3.7.7.2 *Ubicación y conexión del equipo de recolección de datos (Datalogger)*

Una vez completado el proceso de montaje y conexión de las baterías a su base en el chasis, así como al motor del prototipo de kart eléctrico, se propuso llevar a cabo una recopilación de datos sobre el consumo de los accesorios. Este paso es crucial para comprender y optimizar el rendimiento energético del vehículo. Además, se planeó realizar una prueba dinámica exhaustiva para verificar el correcto funcionamiento del sistema de alimentación en condiciones de operación real. Esta prueba permitirá evaluar la eficiencia del sistema, su capacidad para satisfacer las demandas de energía durante el funcionamiento del vehículo y la integridad de todas las conexiones eléctricas. Al llevar a cabo estas actividades, se podrá asegurar que el prototipo cumple con los estándares de rendimiento esperados y se podrán identificar posibles áreas de mejora para futuras iteraciones del diseño.



**Ilustración 3-23:** Conexión de los sensores al Datalogger.

**Fuente:** (Hernández y Vera, 2023)



## CAPITULO IV

### 4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

#### 4.1 Pruebas por realizar

Una vez concluido el proceso de ensamblaje de la batería en su base sobre el chasis, así como la conexión de esta con los diversos componentes integrantes del vehículo prototipo y la correspondiente conexión con el Datalogger, encargado de registrar los datos de las pruebas a realizar, los datos incluyen la medición del consumo de voltaje y la medición del consumo de corriente durante el desplazamiento del vehículo. Las pruebas para realizar serán, una prueba de consumo de los accesorios y pruebas dinámicas que se llevarán a cabo en distintos escenarios con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de nuestro sistema de alimentación, es decir, se realizará una prueba de resistencia y pruebas de velocidad Max.

##### 4.1.1 Prueba de consumo de accesorios

Esta prueba consiste en medir el amperaje que demanda el vehículo cuando está en condiciones de reposo, la cual también nos es útil para saber la cantidad de potencia que será requerida para la alimentación de los accesorios.

##### 4.1.1.1 Instrumento usado para la medición del consumo de accesorios

Para la medición del consumo de accesorios, el instrumento destinado es una pinza amperimétrica, esta tomara el dato de amperaje cuando el vehículo se encuentra en reposo. Este valor de amperaje arrojado por la pinza será multiplicado por el voltaje total de las baterías y de esta manera se obtendrá la cantidad de potencia que los accesorios del vehículo demandan.



**Ilustración 4-1:** Pinza amperimétrica AC/DC

Fuente: (GRUPO ELECTROSTORE, 2024)

#### 4.1.2 Pruebas dinámicas

En este apartado se llevarán a cabo las pruebas antes mencionadas con el fin de cerciorarse el correcto funcionamiento del vehículo en movimiento, además de obtener los datos correspondientes de los consumos que el vehículo realiza.

##### 4.1.2.1 Instrumento empleado para el registro y obtención de datos

Para el registro y la obtención de datos correspondientes a los consumos tanto de voltaje como amperaje mientras el vehículo se encuentra en movimiento se hizo uso de un equipo que recolecta datos de consumo energético de un vehículo eléctrico (Datalogger).

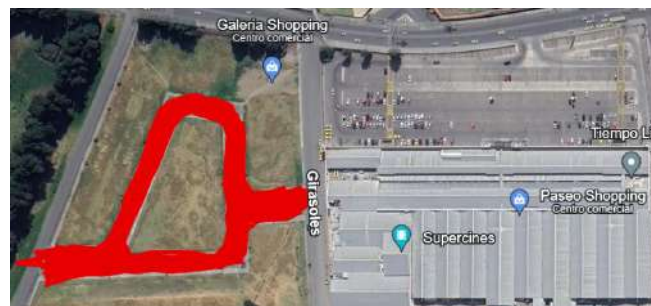


**Ilustración 4-2:** Instrumento de recolección de datos de consumo (Datalogger)

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

##### 4.1.2.2 Circuito recorrido por el vehículo

El circuito planteado para el recorrido del prototipo karting eléctrico se ubicó en una zona cerca del centro comercial “Paseo Shopping” en la ciudad de Riobamba, la cual contaba con características apropiadas similares a las de un circuito oficial de competición para karting.



**Ilustración 4-3:** Circuito establecido para las pruebas de resistencia

**Fuente:** (Hernandez & Vera, 2023)

La siguiente ruta establecida fue para la obtención de los resultados de las pruebas de máxima velocidad del vehículo, la cual está ubicada en la misma zona que la anterior ruta.



**Ilustración 4-4:** Ruta establecida para las pruebas de máxima velocidad

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

## 4.2 Análisis de resultados

### 4.2.1 Resultados de la prueba de consumo de accesorios

Como se indicó previamente, esta prueba implicó la utilización de una pinza amperimétrica en el polo positivo del pack de baterías del vehículo durante su funcionamiento y en condiciones de reposo. La Ilustración 4-5 muestra el resultado obtenido mediante dicho dispositivo.



**Ilustración 4-5:** Valor del consumo de amperaje de los accesorios

**Fuente:** (Hernandez & Vera, 2023)

La pinza amperimétrica registró un consumo de 0,2 amperios. Utilizando este valor junto con el voltaje del pack de baterías de 72V, se calculó el consumo de accesorios del prototipo mediante la fórmula de potencia, que es el producto del voltaje por la intensidad. De este modo, se determinó que el consumo de accesorios del prototipo es de 14,4W. Lo equivalente a 0,0144 KW que es la unidad de medida que se debe ingresar al modelo realizado en Simulink para su simulación.

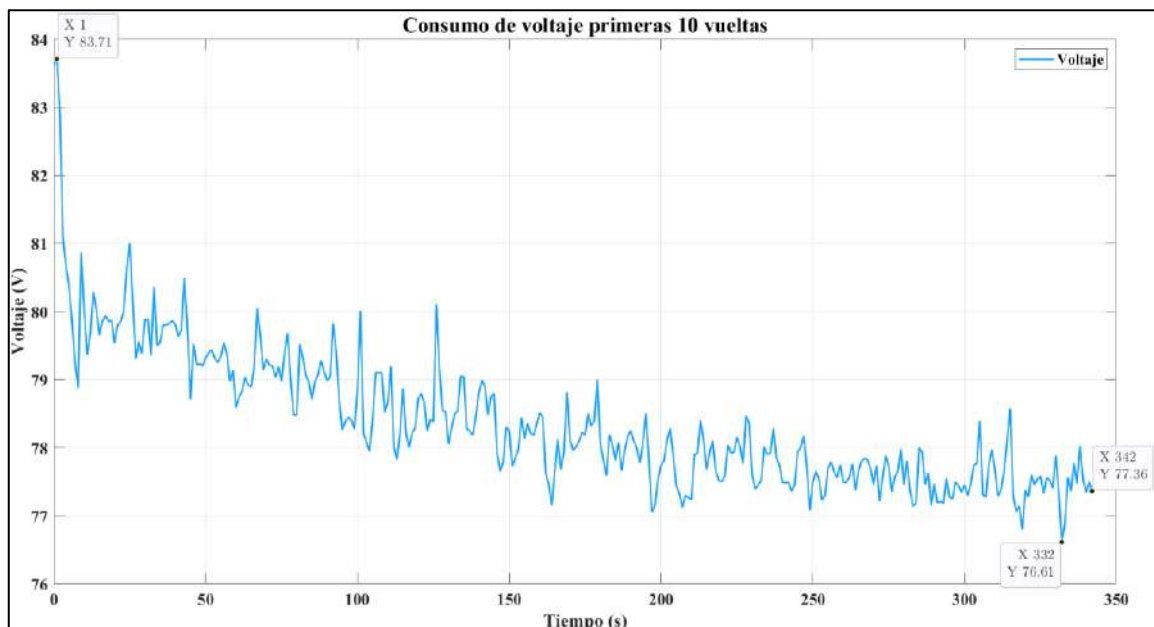
#### 4.2.2 Resultados de las pruebas dinámicas

Con el fin de adquirir información precisa sobre el rendimiento del vehículo, se empleó el equipo de recolección de datos previamente mencionado. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis detallado de los datos recopilados con el fin de extraer conclusiones sólidas sobre el desempeño general del prototipo, centrándose especialmente en su sistema de alimentación. Para esto se realizaron pruebas dinámicas en distintos escenarios.

##### 4.2.2.1 Prueba de resistencia

En esta prueba se realizaron varias pasadas al circuito previamente establecido (ilustración 4-3), con el fin de obtener datos que nos refleje cuan óptima es la batería frente a parámetros de autonomía. En esta prueba se contó con dos paradas en el circuito, esto con el fin de realizar una revisión general del prototipo, es decir, revisar neumáticos, chasis, pontones y lo más importante revisar si el equipo de recolección de datos seguía funcionando con normalidad. La duración total de esta prueba fue de 4098 segundos.

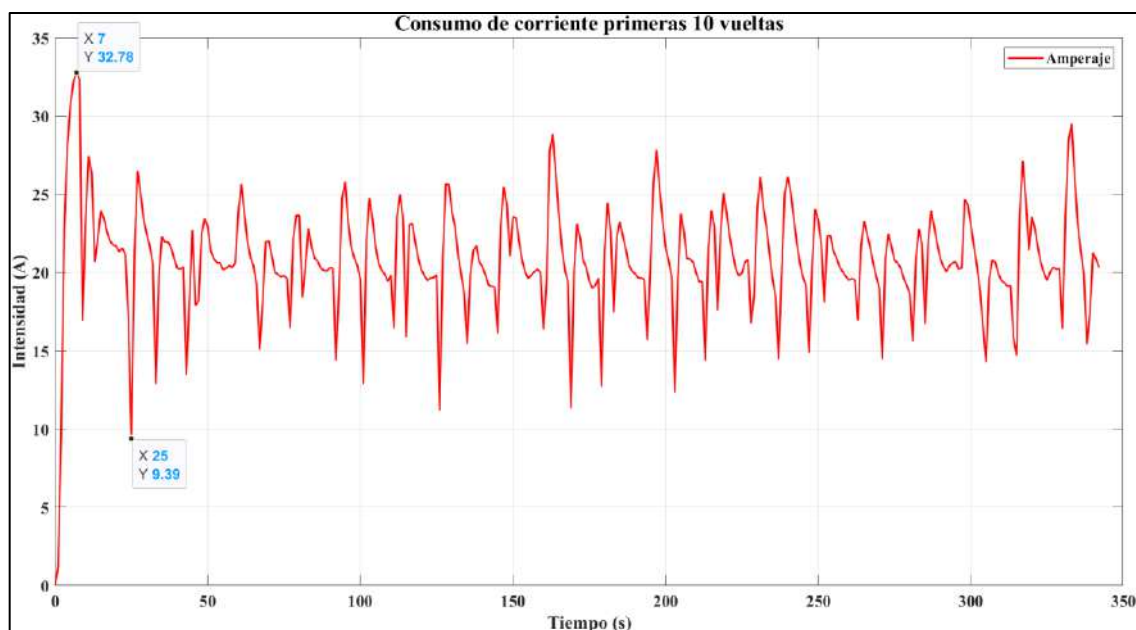
##### 4.2.2.1.1 Primera parada en el circuito



**Ilustración 4-6:** Consumo de voltaje en las primeras diez pasadas por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

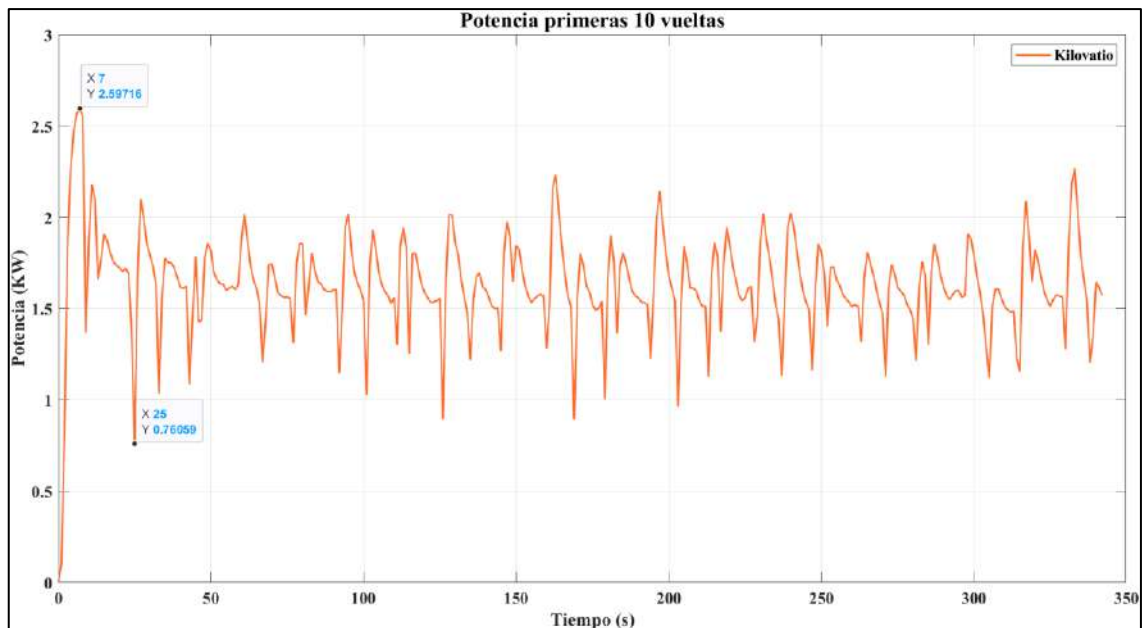
En la ilustración 4-6 se aprecia el consumo de voltaje del vehículo al realizar diez pasadas por el circuito establecido, en estas primeras pasadas el vehículo arrancó desde el reposo, dando como resultado un tiempo de 342 segundos. Antes de iniciar el trayecto, la batería muestra un voltaje inicial de 83,71, indicando su carga máxima. Sin embargo, tras transcurrir 7 segundos desde el desplazamiento del vehículo, se observa una notable caída de la tensión, aproximadamente a 79V. A partir de este punto, los valores de voltaje experimentan fluctuaciones con cambios evidentes. En las primeras diez vueltas al circuito, se puede notar que a medida que transcurre el tiempo, el voltaje de la batería disminuye gradualmente dentro de rangos aceptables, fluctuando en  $\pm 1V$ . Se registra un voltaje mínimo de 76,61 durante estas diez pasadas, y al concluir, se observa un voltaje residual de 77,36.



**Ilustración 4-7:** Consumo de corriente en las primeras diez pasadas por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-7 se muestra el consumo de corriente durante las primeras diez pasadas al circuito, comenzando desde el reposo. Se destaca un pico máximo de consumo, registrado por el Datalogger, de 32,78A a los 7 segundos después de que el vehículo inició su desplazamiento. Este incremento se atribuye a la necesidad de energía del vehículo para superar la resistencia al movimiento y aumentar su velocidad. Asimismo, se identifica un valor mínimo de consumo de corriente de 9,39A a los 25 segundos, indicando situaciones en las que el vehículo alcanza velocidades máximas y no requiere demandas extremas de corriente.

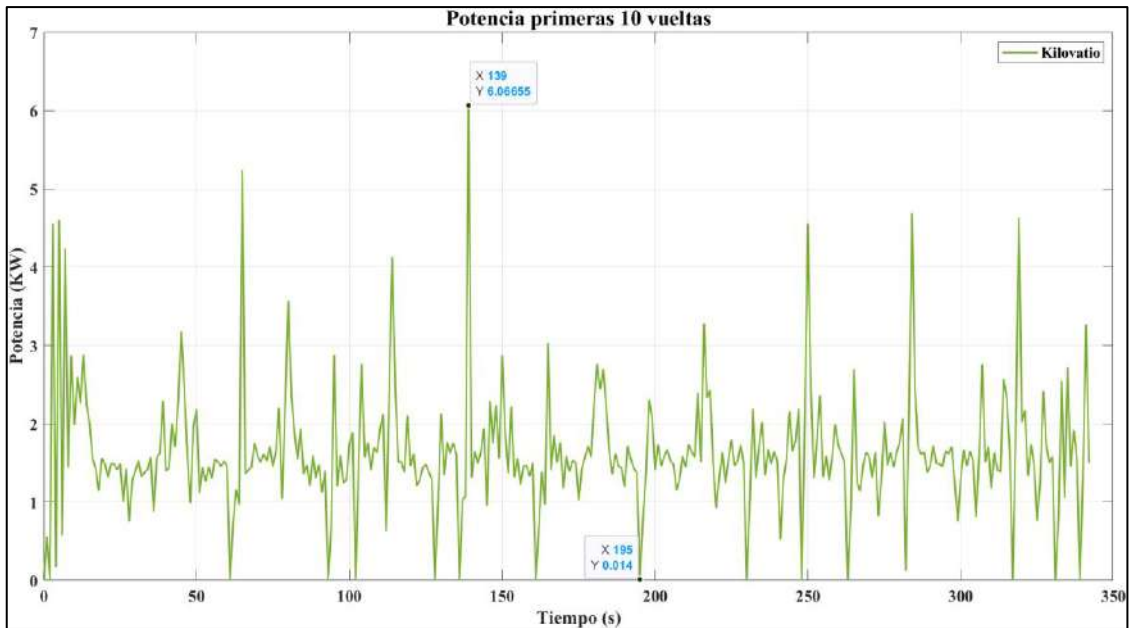


**Ilustración 4-8:** Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger en las primeras diez pasadas por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

La representación gráfica de la potencia consumida en la Ilustración 4-8 exhibe similitudes con la gráfica de consumo de corriente, ya que la potencia está directamente relacionada con el amperaje suministrado al vehículo para generar movimiento. Además, la descarga de una batería se cuantifica en la cantidad de amperaje demandado durante un período específico. Los datos indican un pico máximo de consumo de 2,59KW a los 7 segundos, coincidiendo con el momento de máximo consumo de corriente. Se registra también un valor mínimo de consumo de potencia de 0,76KW a los 25 segundos, correlacionado con el instante de mínimo consumo de corriente. A partir de este punto, el consumo de potencia se mantiene dentro de rangos aceptables.

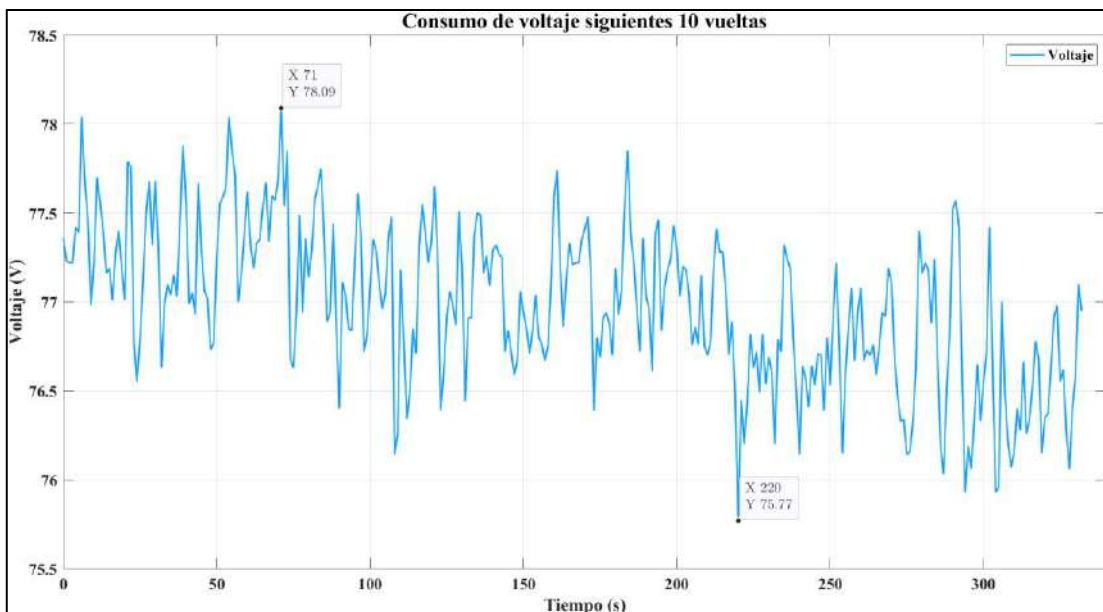
En la Ilustración 4-9 se representa la potencia consumida simulada según el modelo matemático. Se observa un valor máximo de consumo de 6,06KW y un mínimo de 0,014KW en esta representación.



**Ilustración 4-9:** Potencia en base al modelo matemático en las primeras diez pasadas por el circuito

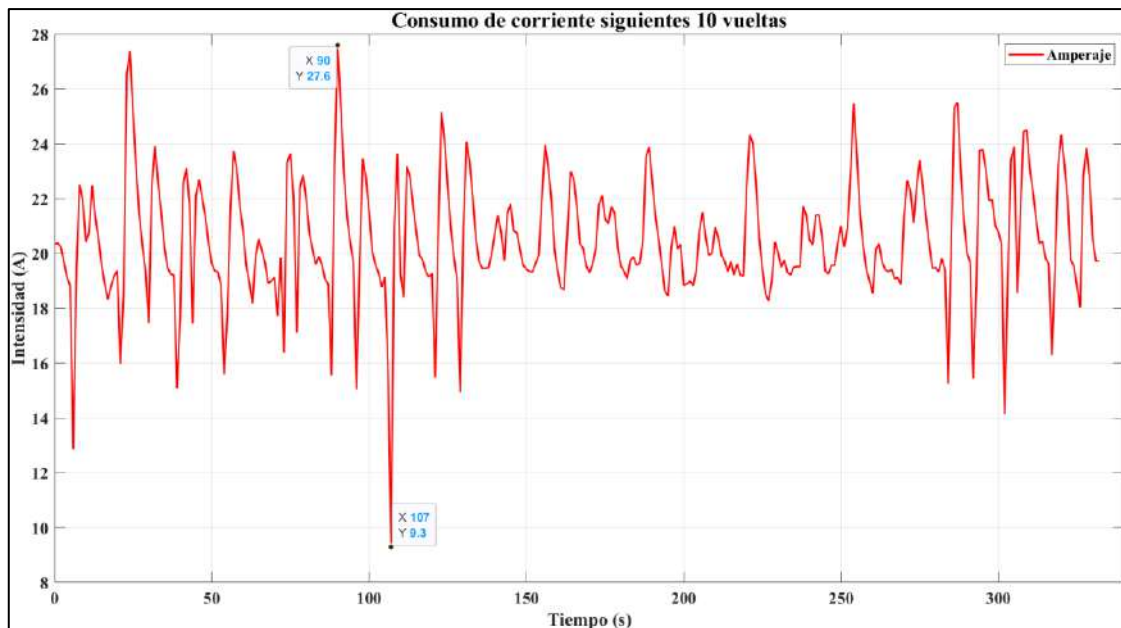
**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-10 se muestra el consumo de voltaje del vehículo durante las siguientes diez vueltas al circuito. En esta ocasión, el vehículo no partió desde el reposo; en cambio, se utilizó como velocidad inicial el valor de la velocidad final alcanzada en las primeras diez pasadas. Este enfoque resultó en un tiempo total de 332 segundos, 10 segundos menos que el registrado en las primeras diez vueltas.



**Ilustración 4-10** Consumo de voltaje en las siguientes diez pasadas por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)



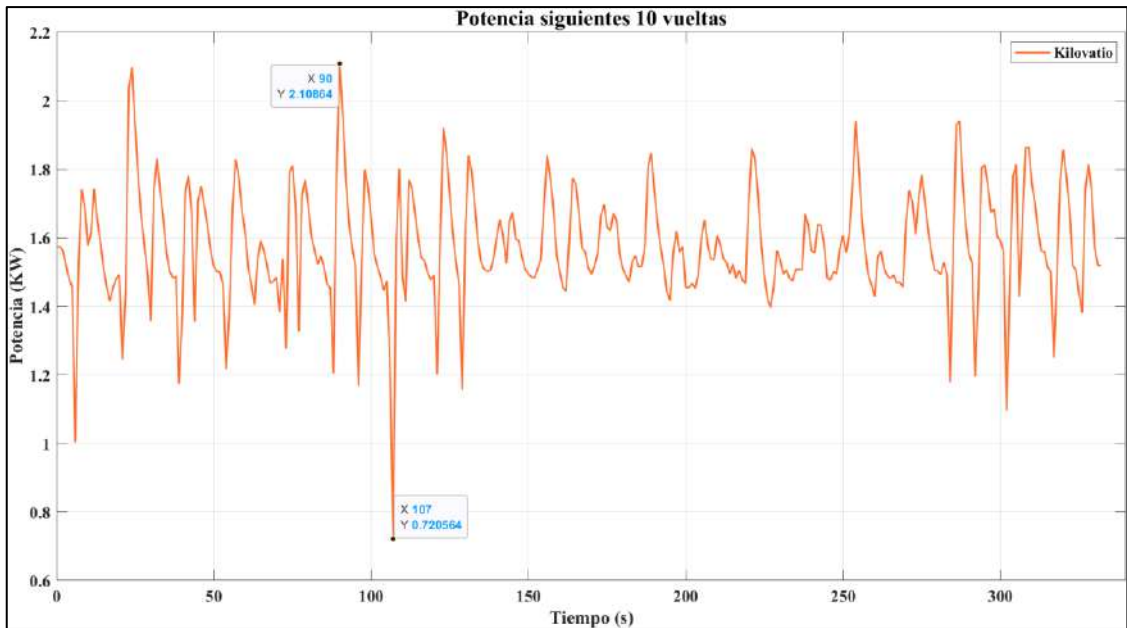
**Ilustración 4-11:** Consumo de corriente en las siguientes diez pasadas por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-11 se presenta el consumo de corriente durante las diez vueltas subsiguientes al circuito, con la particularidad de que el vehículo no parte desde el reposo, como se explicó previamente. Se destaca un pico máximo de consumo, registrado por el Datalogger, alcanzando los 27,76A a los 90 segundos después de iniciar estas diez pasadas. Además, se identifica un valor mínimo de consumo de corriente de 9,3A a los 107 segundos, lo que evidencia un promedio estable de consumo de 20,49A a lo largo de este período.

En la Ilustración 4-12, que representa la potencia consumida, se observa un pico máximo de consumo de 2,10KW a los 90 segundos, coincidiendo con el momento de máximo consumo de corriente. Además, se registra un valor mínimo de consumo de potencia de 0,72KW a los 107 segundos, correlacionado con el instante de mínimo consumo de corriente. Estos datos resultan en un consumo promedio de potencia de 1,57KW.

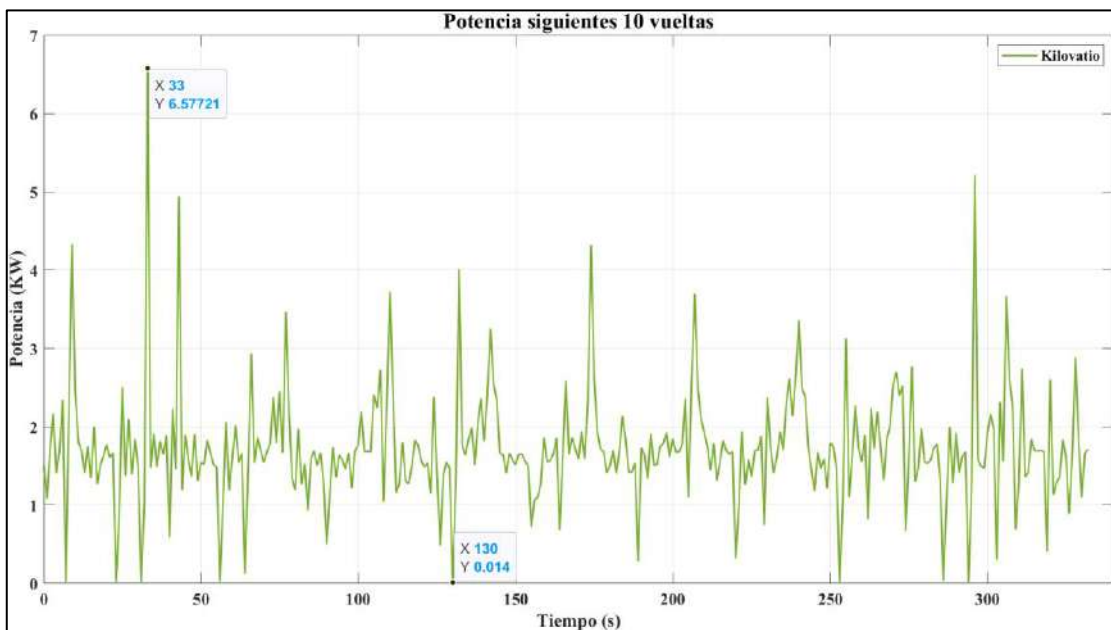




**Ilustración 4-12:** Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger en las siguientes diez pasadas por el circuito

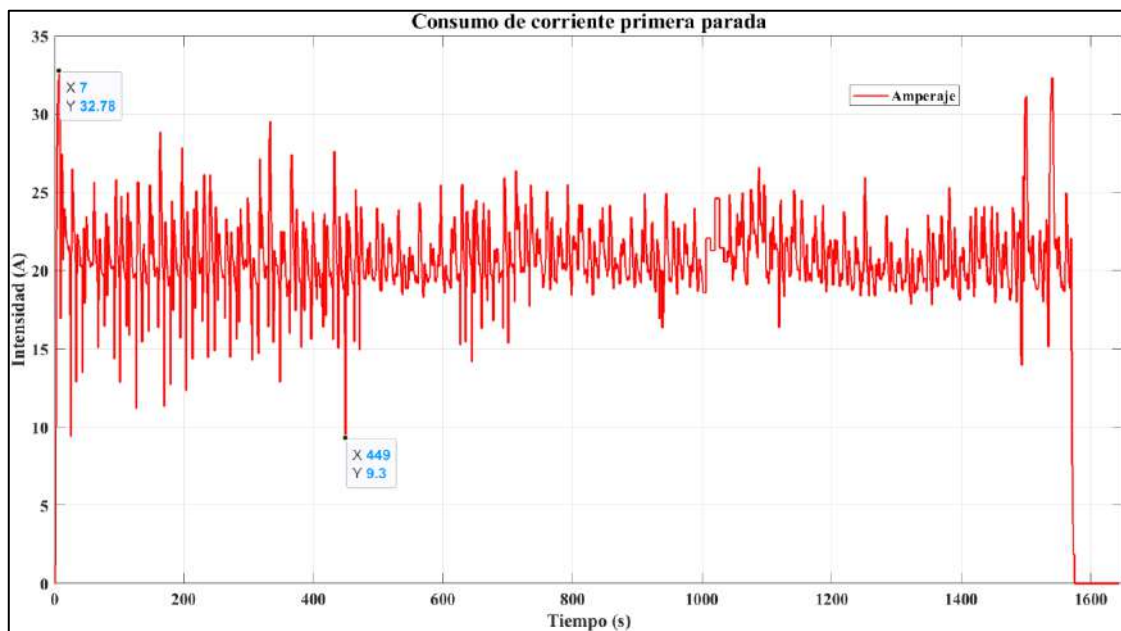
**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-13, se presenta la potencia consumida simulada conforme al modelo matemático. En esta representación, se destaca un valor máximo de consumo de 6,57KW a los 33 segundos y un mínimo de 0,014KW. El consumo de potencia se mantiene en un rango aceptable, con un valor promedio de 1,72KW.



**Ilustración 4-13:** Potencia en base al modelo matemático en las siguientes pasadas por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

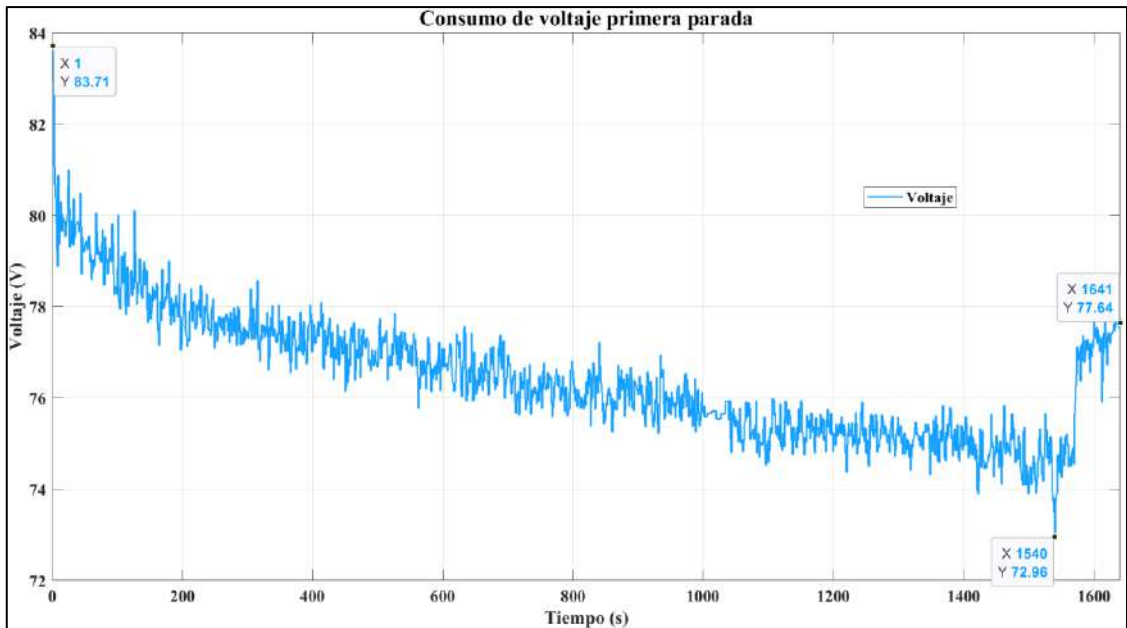


**Ilustración 4-14:** Consumo de corriente de la primera parada por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-14 se muestra el consumo de corriente durante la primera parada. Se destaca un pico máximo de consumo, registrado por el Datalogger, que alcanza los 32,78A a los 7 segundos desde el inicio de la prueba. Esta demanda energética elevada se atribuye al arranque del vehículo desde el reposo, donde se requiere una cantidad significativa de energía para superar la resistencia al movimiento. Además, se observa un valor mínimo de consumo de corriente de 9,3A a los 449 segundos. Esto refleja un promedio estable de consumo de corriente de 20,81A a lo largo de este período. También es notable que, después de las primeras 20 vueltas, las fluctuaciones en la corriente se mantienen en un rango menor. Este comportamiento se debe a factores aerodinámicos, como mantener una velocidad estable alta al calentarse los neumáticos mejorando la adherencia a la pista, generando así un mejor coeficiente de arrastre.

En la Ilustración 4-15 se presenta el consumo de voltaje del vehículo durante la primera parada. Antes de iniciar el trayecto, se constata un voltaje inicial de la batería de 83,71V, indicando su carga máxima. Según las observaciones, se identificó un voltaje mínimo de 72,96V durante este periodo. Además, se observa que a medida que transcurre el tiempo, el voltaje de la batería experimenta una disminución gradual dentro de rangos aceptables, fluctuando en  $\pm 1V$ . En promedio, se sitúa alrededor de los 76,42V, señalando una degradación controlada del voltaje a lo largo del periodo analizado. Al concluir la primera parada, se registra un voltaje residual de 77,12V.

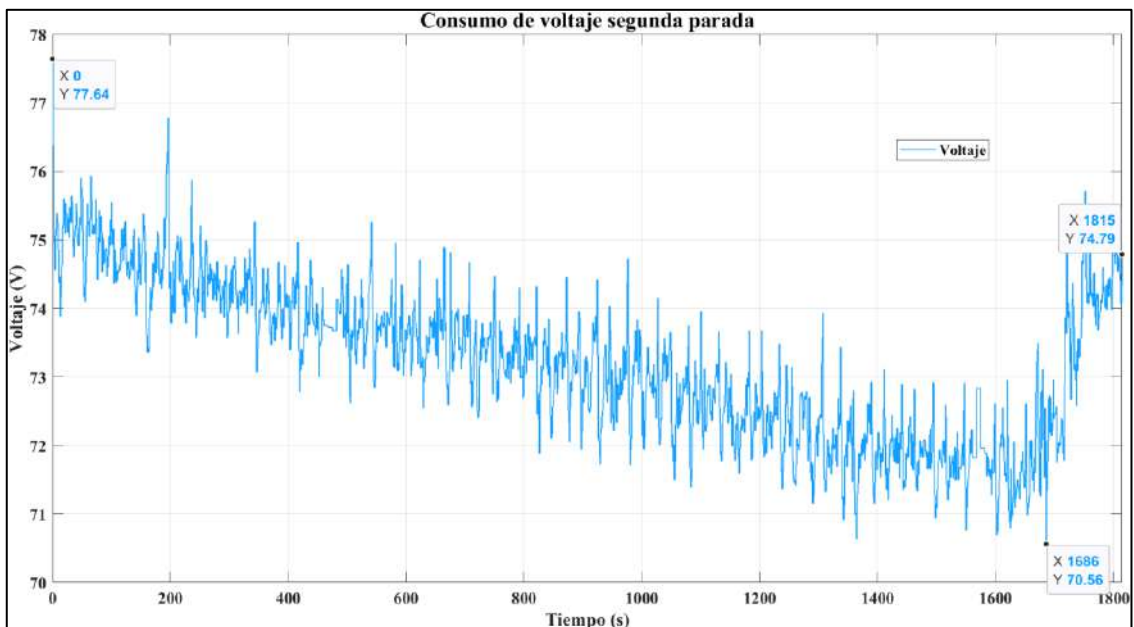


**Ilustración 4-15:** Consumo de voltaje de la primera parada por el circuito

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

#### 4.2.2.1.2 Segunda parada en el circuito

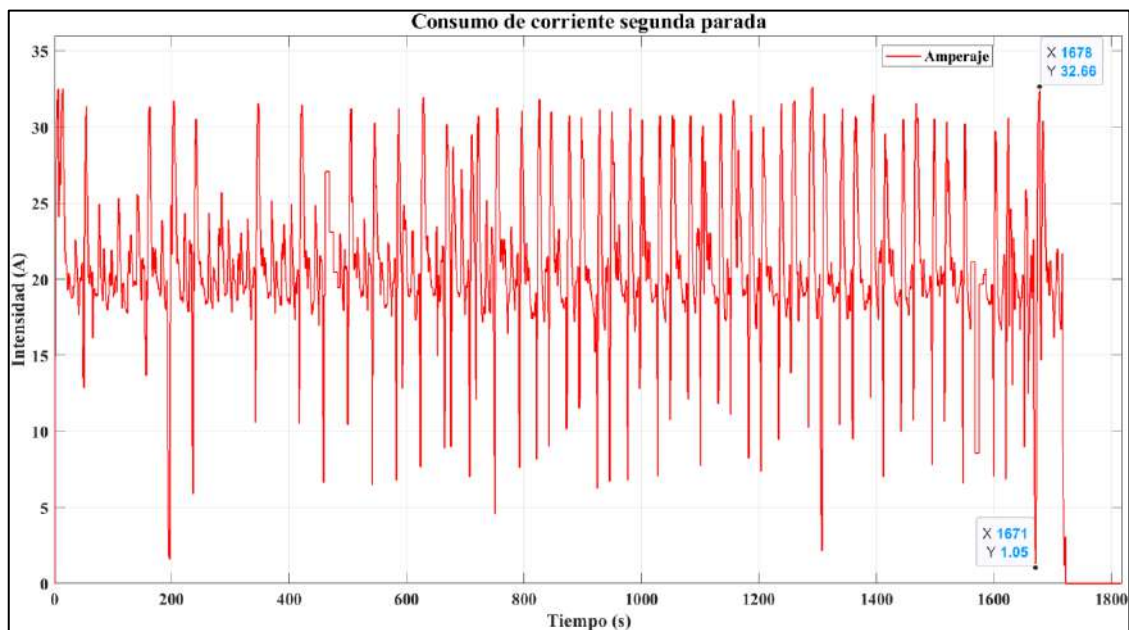
En este ensayo se analizará la segunda parada en el circuito, la cual tuvo una duración de 1721 segundos, partiendo el vehículo del reposo.



**Ilustración 4-16:** Consumo de voltaje de la segunda parada por el circuito

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

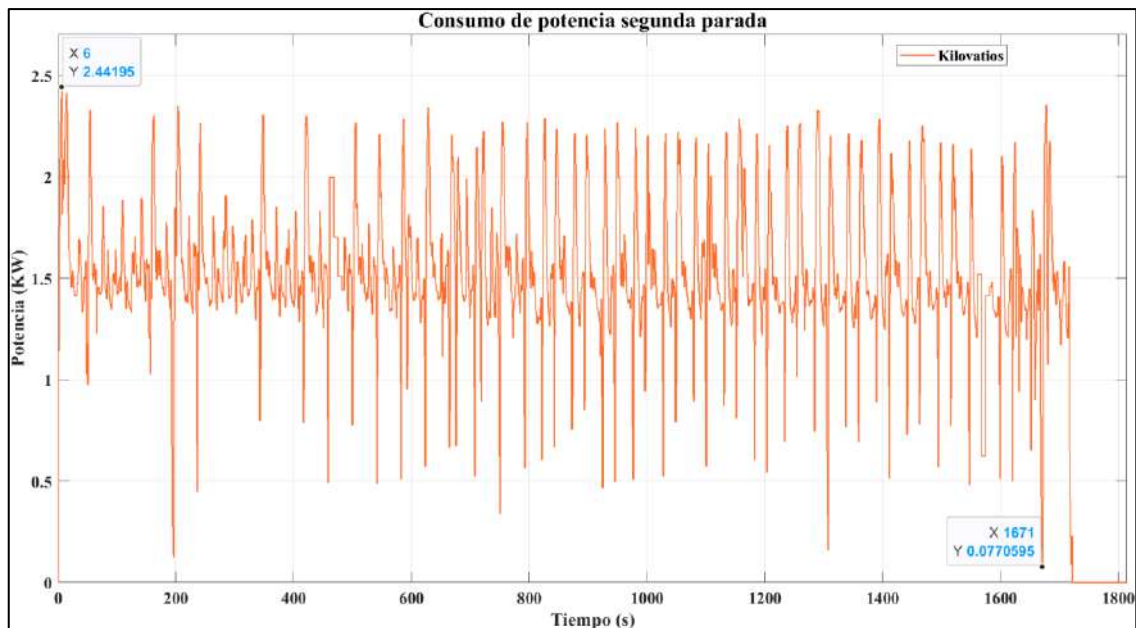
En la Ilustración 4-16 se presenta el consumo de voltaje del vehículo durante la segunda parada. Antes de iniciar el trayecto, se constata un voltaje inicial de la batería de 77,12V correspondiente al voltaje residual al finalizar la primera parada. Según las observaciones, se identificó un voltaje mínimo de 70,56V durante este lapso. Además, se observa que a medida que transcurre el tiempo, el voltaje de la batería disminuye de manera gradual dentro de rangos aceptables, y continúa fluctuando en  $\pm 1V$  como se ha venido observando y analizando anteriormente. En promedio, se sitúa alrededor de los 73,16V, señalando una degradación controlada del voltaje a lo largo del periodo analizado. Al concluir la segunda parada, se registra un voltaje residual de 75,17V.



**Ilustración 4-17:** Consumo de corriente de la segunda parada por el circuito

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-17 se muestra el consumo de corriente durante la segunda parada. Se destaca un pico máximo de consumo, que alcanza los 32,66A a los 1678 segundos de haber iniciado la prueba. Además, se observa un valor mínimo de consumo de corriente de 1,05A a los 1671 segundos. Esto refleja un promedio estable de consumo de corriente de 20,90A a lo largo de este período. También es notable que, las fluctuaciones en la corriente van de 6A a 32A. Este comportamiento se debe a que el voltaje de la batería va disminuyendo y la demanda energética para mover el vehículo es mayor o alteraciones en los factores aerodinámicos debido a las condiciones climáticas presentadas en ese instante.



**Ilustración 4-18:** Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger de la segunda parada por el circuito

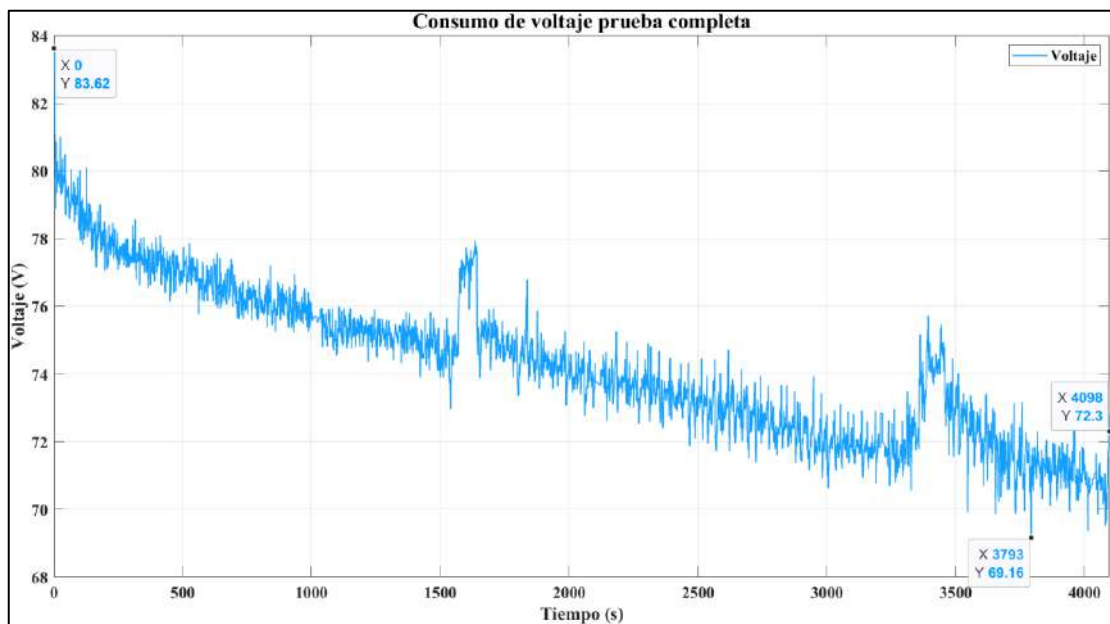
**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-18 se muestra el consumo de potencia durante la segunda parada. Se destaca un pico máximo de consumo, que alcanza los 2,44KW a los 6 segundos de haber iniciado la prueba. Además, se observa un valor mínimo de consumo de potencia de 0,07KW a los 1671 segundos. Esto refleja un promedio estable de consumo de corriente de 1,52KW a lo largo de este período.

#### 4.2.2.1.3 Prueba completa en el circuito

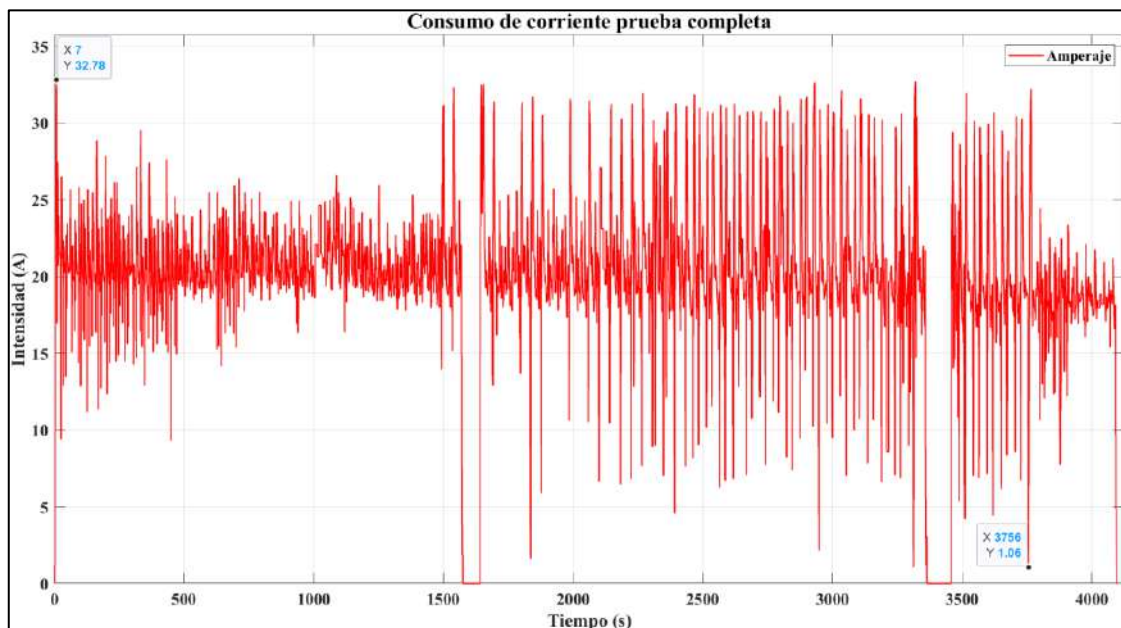
Para culminar con la prueba de resistencia, en este ensayo se analizará la prueba completa en el circuito, en la cual ya se encuentra involucrada la primera y segunda parada analizadas previamente.

En la Ilustración 4-19 se presenta el consumo de voltaje de la prueba completa. Antes de iniciar el trayecto, se constata un voltaje inicial de la batería de 83,62V indicando su carga máxima. Según las observaciones, se identificó un voltaje mínimo de 69,16V durante este lapso. Además, se observa que a medida que transcurre el tiempo, el voltaje de la batería disminuye gradualmente dentro de rangos aceptables, fluctuando en  $\pm 1V$ . En promedio, se sitúa alrededor de los 74,21V, señalando una degradación controlada del voltaje a lo largo del periodo analizado. Al concluir la prueba completa de resistencia, se registra un voltaje residual de 72,3V.



**Ilustración 4-19:** Consumo de voltaje de la prueba completa por el circuito

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

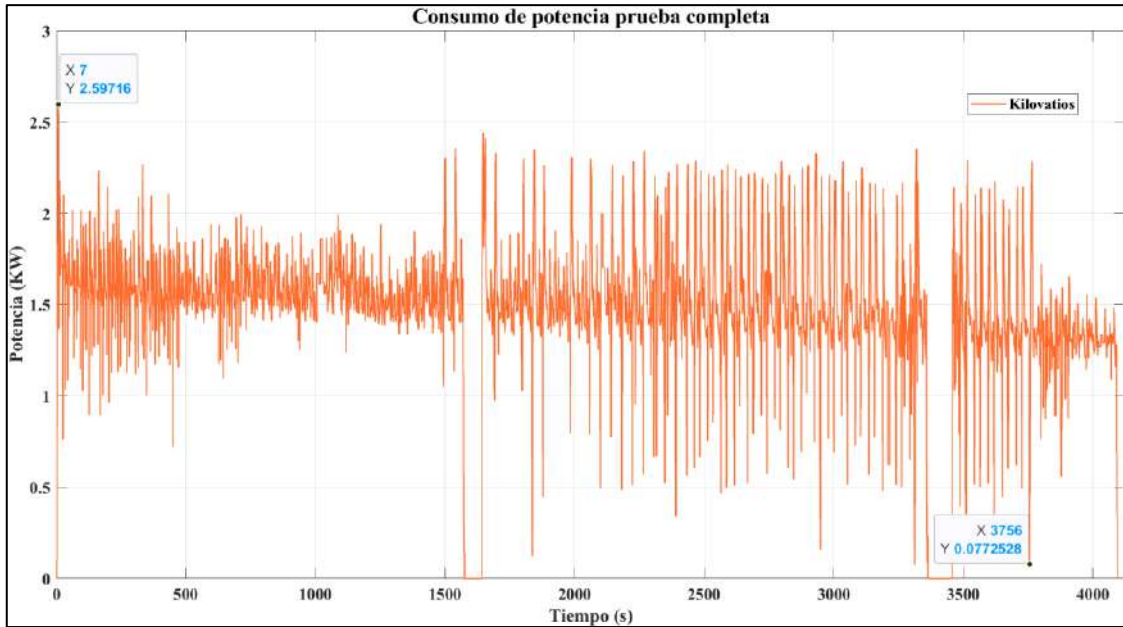


**Ilustración 4-20:** Consumo de corriente de la prueba completa por el circuito

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

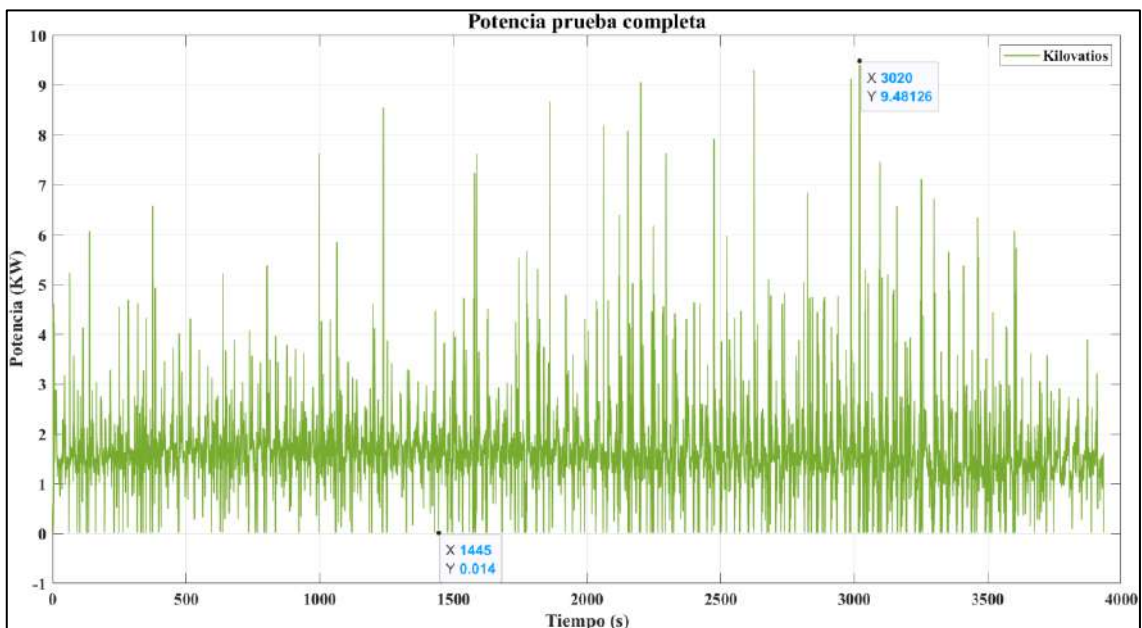
En la Ilustración 4-20 se muestra el consumo de corriente de la prueba completa. Se destaca un pico máximo de consumo, que alcanza los 32,7A a los 7 segundos de haber iniciado la prueba. Además, se observa un valor mínimo de consumo de corriente de 1,06A a los 3756 segundos. Esto refleja un promedio estable de consumo de corriente de 20,54A a lo largo de este período. También es notable que, las fluctuaciones en la corriente varían considerablemente a partir de los

1574 segundos correspondientes a la segunda parada hasta los 3756 segundos. Este comportamiento se debe a que el voltaje de la batería va disminuyendo y la demanda energética para mover el vehículo es mayor o alteraciones en los factores aerodinámicos debido a las condiciones climáticas presentadas en ese instante.



**Ilustración 4-21:** Potencia en base a los datos obtenidos del Datalogger de la prueba completa por el circuito

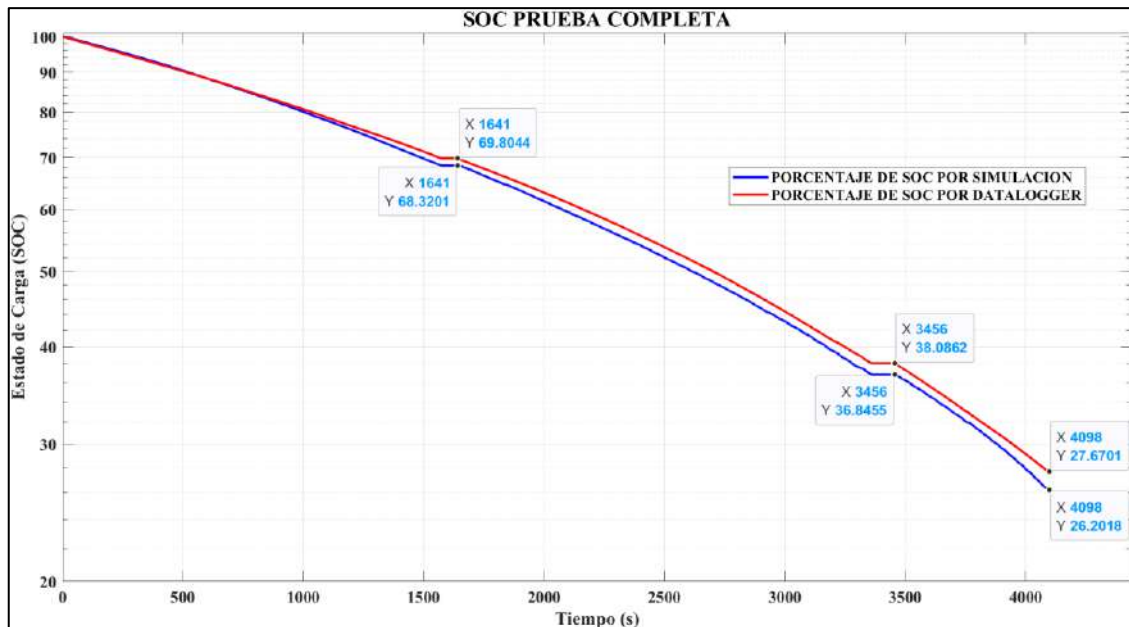
Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-22:** Potencia en base al modelo matemático de la prueba completa por el circuito

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-22, se presenta la potencia consumida de la prueba completa simulada conforme al modelo matemático. En esta representación, se destaca un valor máximo de consumo de 9,48KW a los 3020 segundos y un mínimo de 0,014KW. El consumo de potencia se mantiene en un rango aceptable, con un valor promedio de 1,66KW.

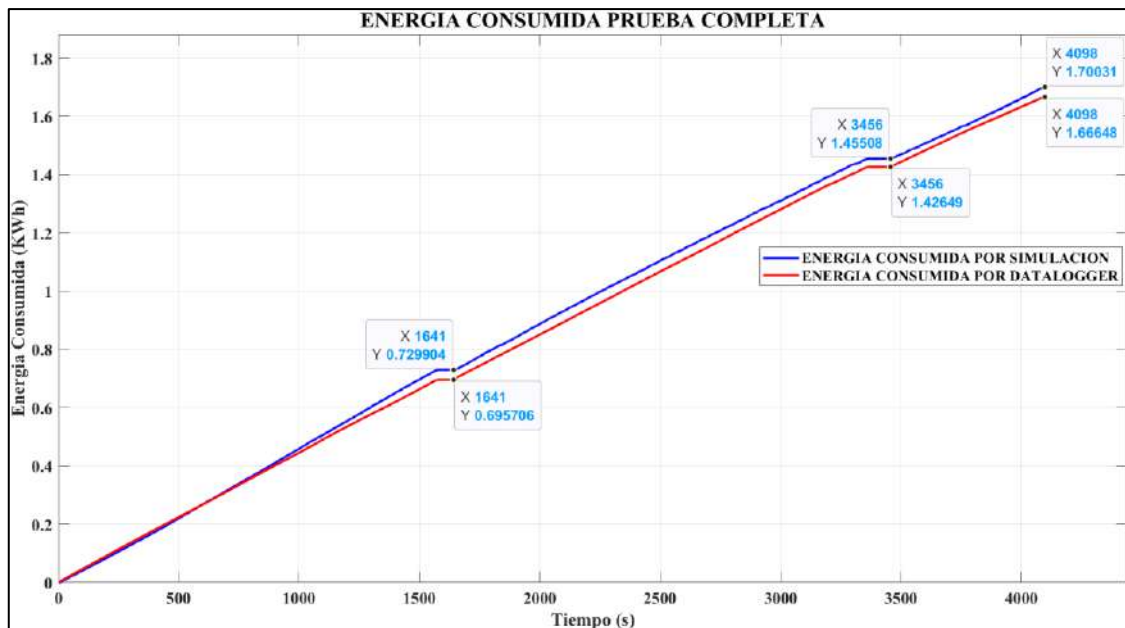


**Ilustración 4-23:** Comparativa de SOC de la prueba completa entre el modelo matemático y el Datalogger

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-23 se presenta el Estado de Carga (SOC) de la batería durante la prueba completa del prototipo. Se realizó una comparativa entre el SOC registrado por el Datalogger y el SOC obtenido mediante la simulación. La gráfica en color rojo representa el valor proporcionado por el Datalogger, que arrojó un 27,67%, mientras que la gráfica en color azul representa el valor obtenido en la simulación, el cual es de 26,20%. Este análisis se realizó durante un recorrido de 39,34 km y 4098 segundos. La variación final entre ambos valores es de 1,47%.





**Ilustración 4-24:** Comparativa de Energía Consumida de la prueba completa entre el modelo matemático y el Datalogger

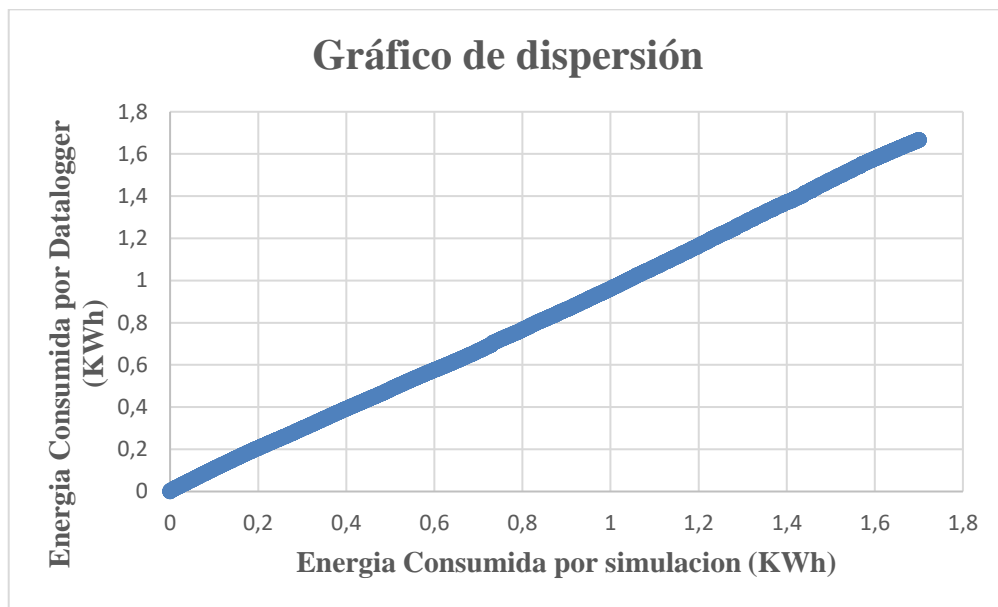
Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

En la Ilustración 4-24 se presenta la Energía Consumida de la batería durante la prueba completa del prototipo. Se realizó una comparativa entre la energía consumida registrada por el Datalogger y la energía consumida obtenida mediante la simulación. La gráfica en color rojo representa el valor proporcionado por el Datalogger, que arrojó 1,66KWh, mientras que la gráfica en color azul representa el valor obtenido en la simulación, el cual es de 1,7KWh. Este análisis se realizó durante un recorrido de 39,34 km y 4098 segundos. La variación entre ambos valores de la energía consumida final es de 0,04KWh. También se aprecia como en algunos lapsos estos valores se asemejan llegando a consumir casi lo mismo y en otras instancias varían por alrededor de 0,3 KWh.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el cálculo de la energía consumida mediante simulación y datos directos obtenidos por el Datalogger, se obtiene una variación de 0,04KWh, lo que se traduce que el modelo obtenido es adecuado para el proyecto realizado. Además, se puede decir que la batería usada para este proyecto acapara todos los parámetros y demandas impuestos por el karting, arrojándonos excelentes resultados, óptimos para una competición oficial de karting eléctrico.

#### 4.2.2.1.4 *Análisis de correlación entre la energía consumida por el simulador y la energía consumida por el Datalogger de la prueba de resistencia*

Para este análisis se hizo uso del software Excel y se creó un gráfico de dispersión con los datos de las energías consumidas tanto de la simulación y del Datalogger, además de obtener el coeficiente de correlación.



**Ilustración 4-25:** Gráfico de dispersión de las energías consumidas

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)

Al observar la ilustración 4-25 se observa la relación que existe entre los valores de la energía consumida por la simulación y los valores de la energía consumida por el Datalogger, además como se puede ver, evidentemente existe una relación lineal positiva debido a que la recta va de forma ascendente de izquierda a derecha. Para demostrar que realmente existe esta relación, se hizo uso de la herramienta "Coeficiente de Correlación" facilitada por el mismo software Excel y como se sabe este coeficiente se encuentra entre -1 a 1, por lo que un valor muy cercano a 1, indica una relación directa positiva muy fuerte. El valor arrojado al realizar esta operación es de 0,9997 por lo que indica que existe una relación directa y muy fuerte entre la energía consumida por simulación y la energía consumida por Datalogger, es decir, si aumenta la energía consumida por simulación, también aumentará la energía consumida por Datalogger

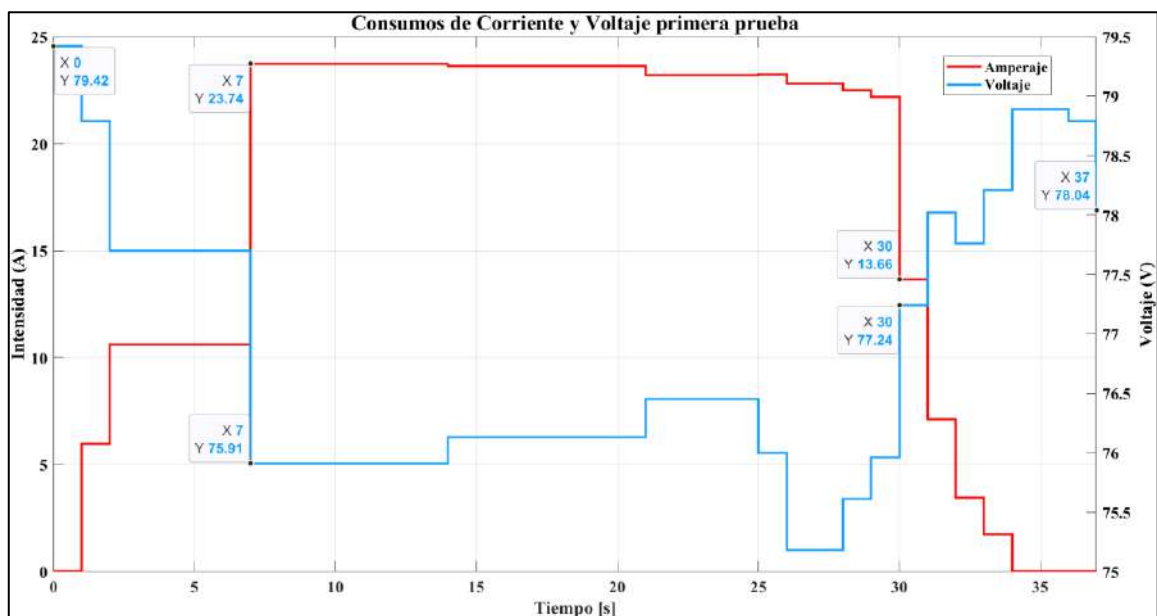
#### 4.2.2.2 *Pruebas de velocidad*

Esta prueba está enfocada en la evaluación del comportamiento de un kart a máximas velocidades y la correspondiente demanda energética durante estas condiciones. El objetivo principal es

analizar cómo el vehículo responde a su límite de velocidad y comprender el consumo de energía asociado en una recta. Se realizaron varias pruebas para ver cómo se comporta el vehículo al alcanzar la velocidad máxima. Se midieron y registraron datos relevantes, como la velocidad del kart y la corriente necesaria para mantener esta velocidad constante en la recta. Un hallazgo destacado en este análisis fue que, a medida que el kart alcanza velocidades máximas, la demanda de corriente no experimenta un aumento significativo y una vez que el vehículo se detiene o reduce su velocidad, la demanda de corriente disminuye considerablemente. Otro aspecto importante en este análisis fue que, al alcanzar el pico máximo de consumo de corriente, el voltaje cae considerablemente, sin embargo, se mantiene dentro de rangos funcionales, hasta que el vehículo reduce su velocidad y el voltaje se estabiliza. Este fenómeno indica que el sistema de alimentación del vehículo tiene fuertes capacidades de administración de energía y es capaz de mantener la caída de voltaje en un nivel aceptable a pesar de las altas demandas de energía. Además, la estabilización del voltaje después de que la velocidad del vehículo disminuye indica que el sistema puede recuperarse y adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes de conducción.

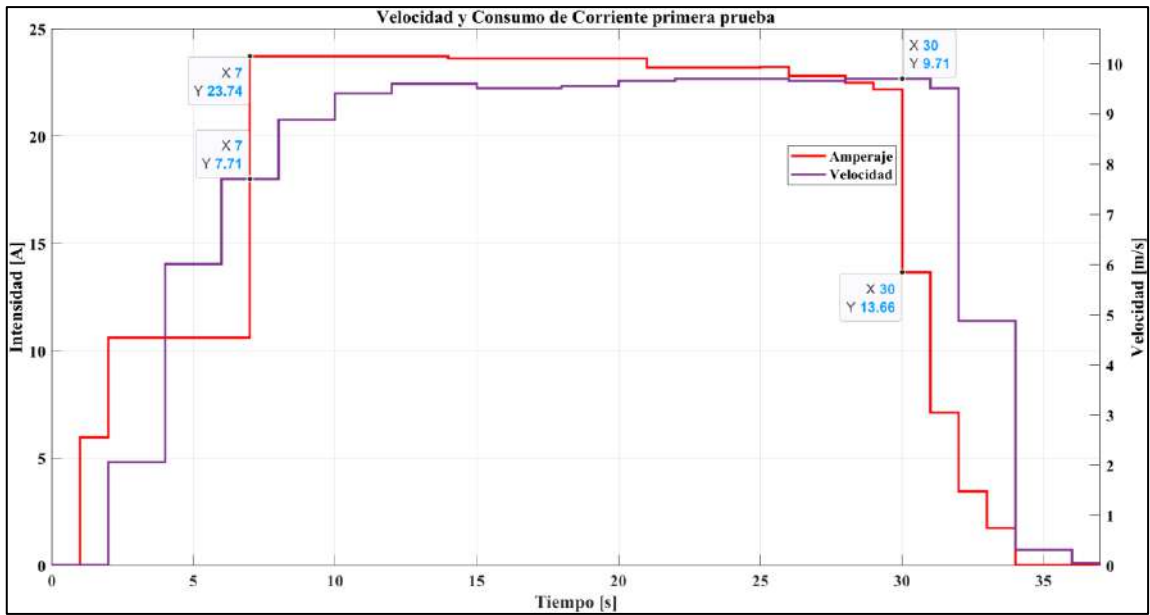
A continuación, se revelan las gráficas de cada prueba realizada que contribuyen a este análisis:

#### 4.2.2.2.1 Primera prueba



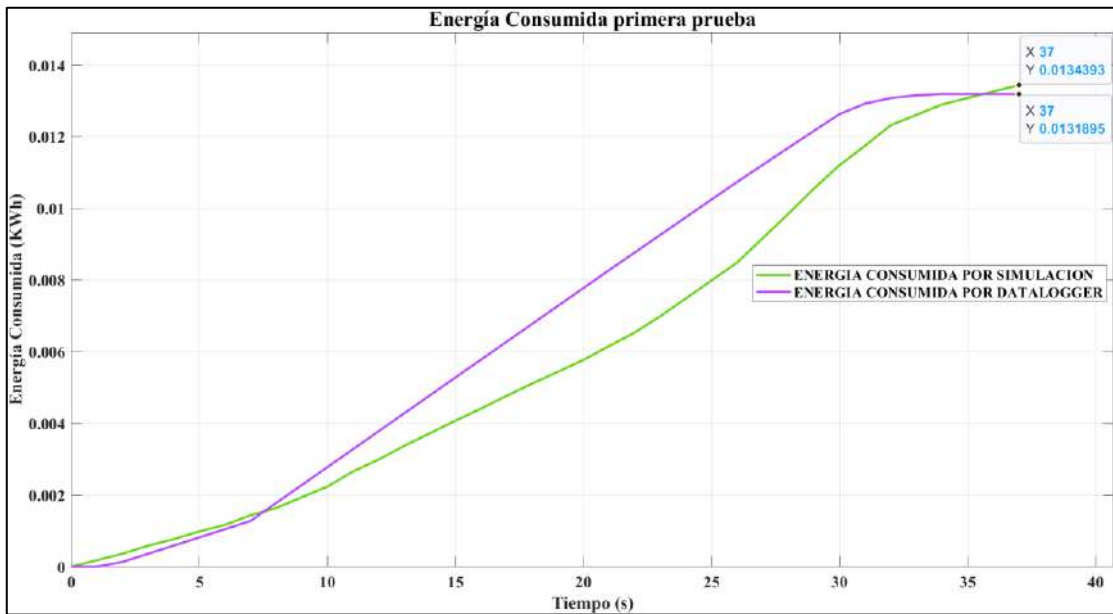
**Ilustración 4-26:** Consumos de corriente y voltaje de la primera prueba de velocidad

**Fuente:** (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-27:** Velocidad y Consumo de corriente de la primera prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



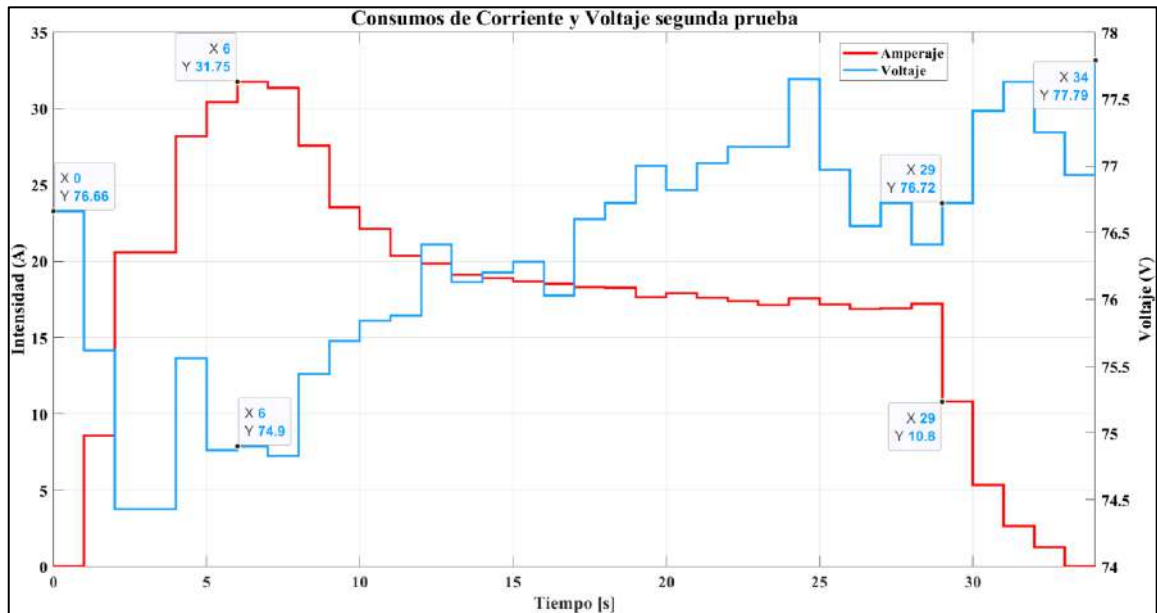
**Ilustración 4-28:** Energía Consumida de la primera prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-1:** Valores de energía consumida prueba 1

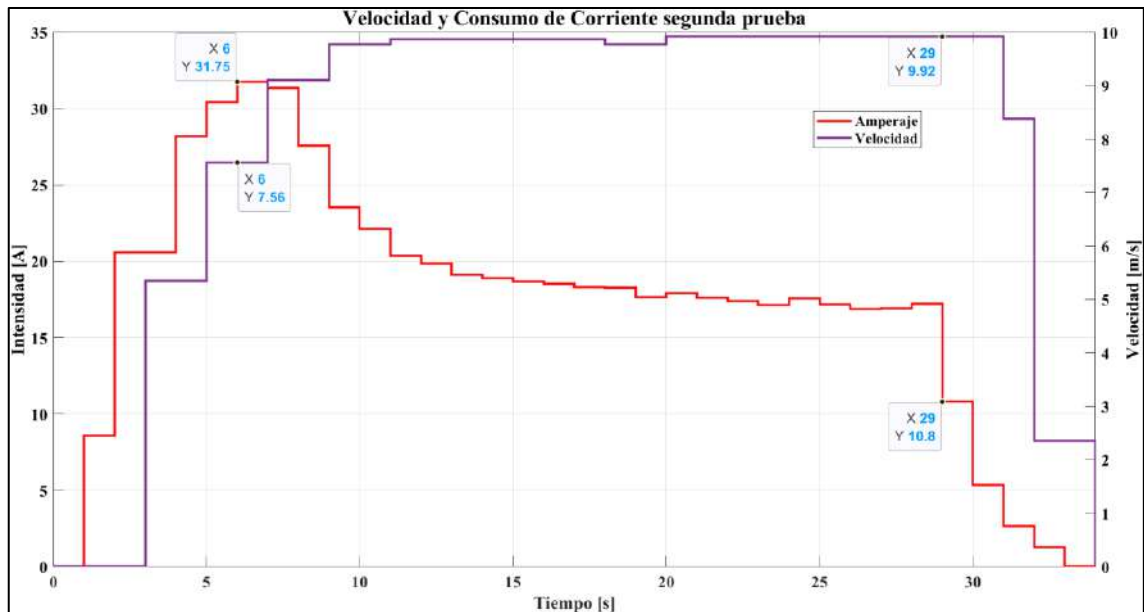
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 1	0,0134393	0,0131895

4.2.2.2.2 Segunda Prueba



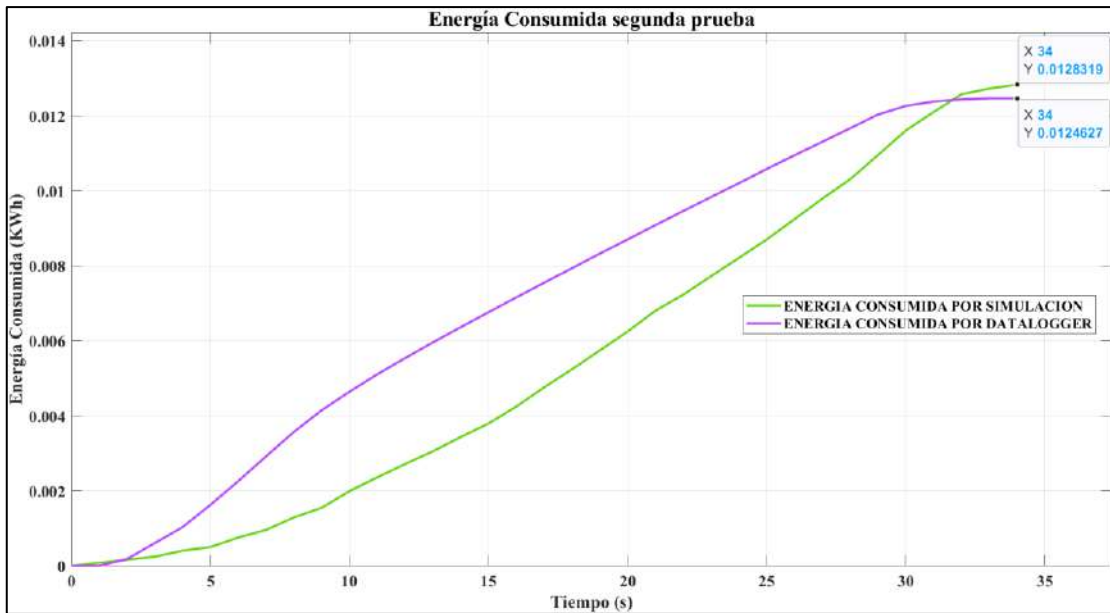
**Ilustración 4-29:** Consumos de corriente y voltaje de la segunda prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-30** Velocidad y Consumo de corriente de la segunda prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



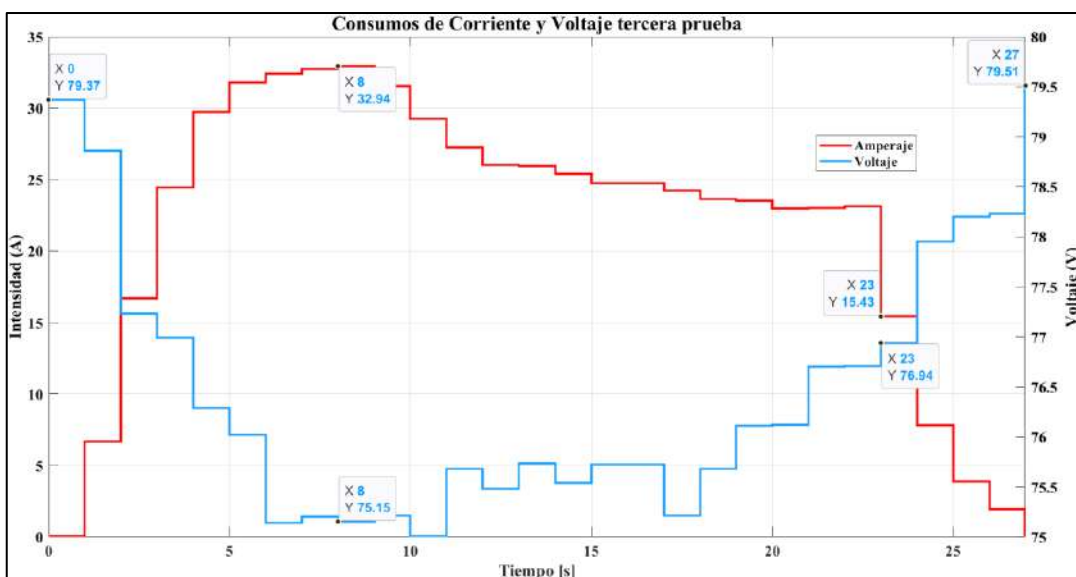
**Ilustración 4-31:** Energía Consumida de la segunda prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-2** Valores de energía consumida prueba 2

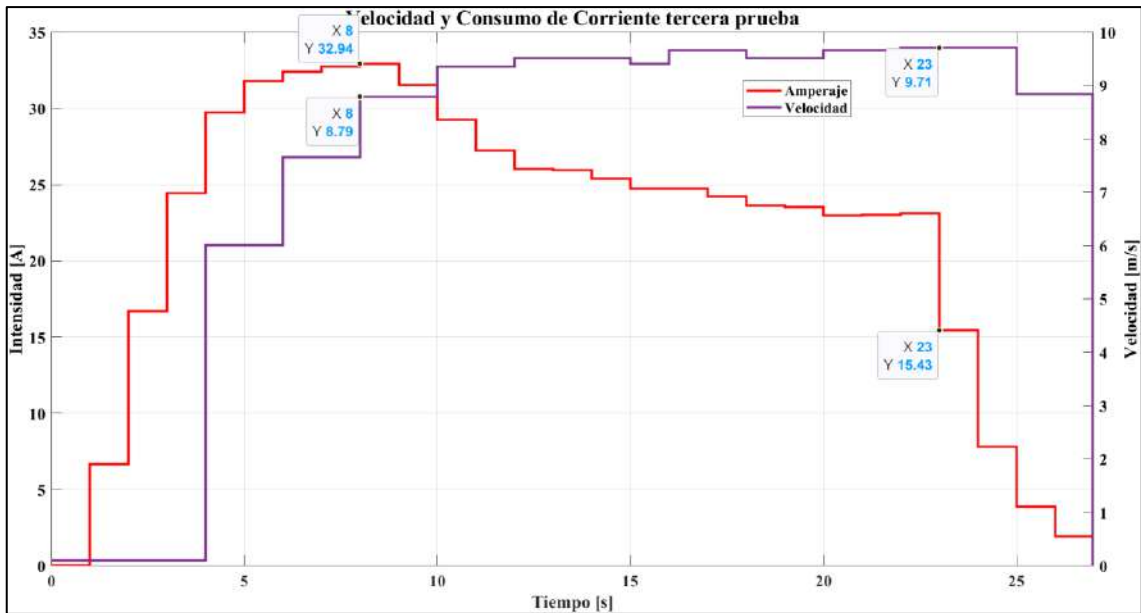
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 2	0,0128319	0,0124627

#### 4.2.2.2.3 Tercera Prueba



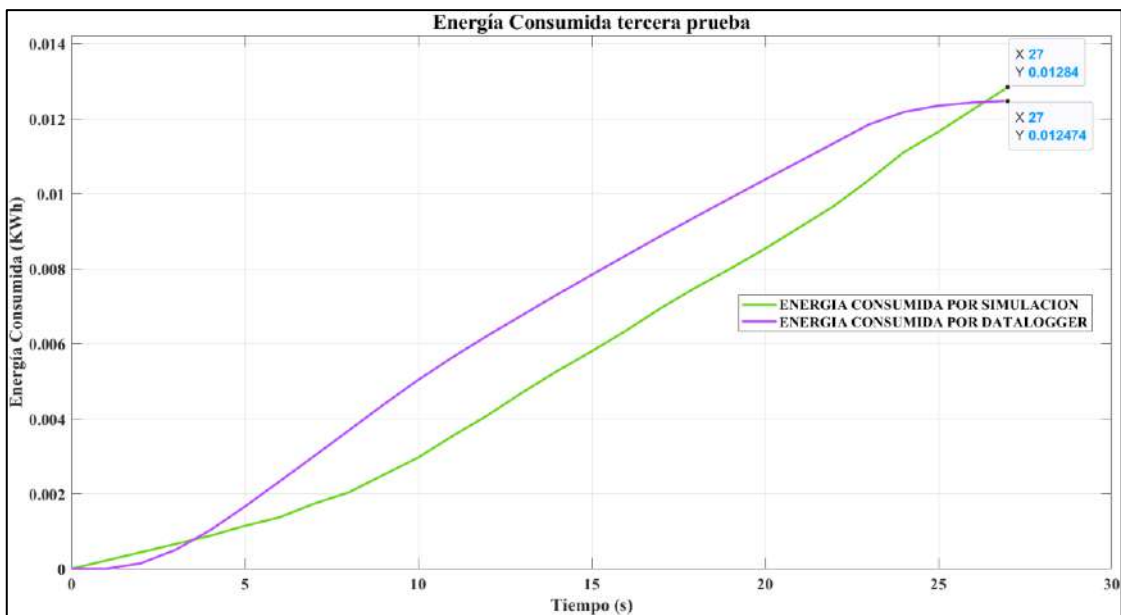
**Ilustración 4-32:** Consumos de corriente y voltaje de la tercera prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-33:** Velocidad y Consumos de corriente de la tercera prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



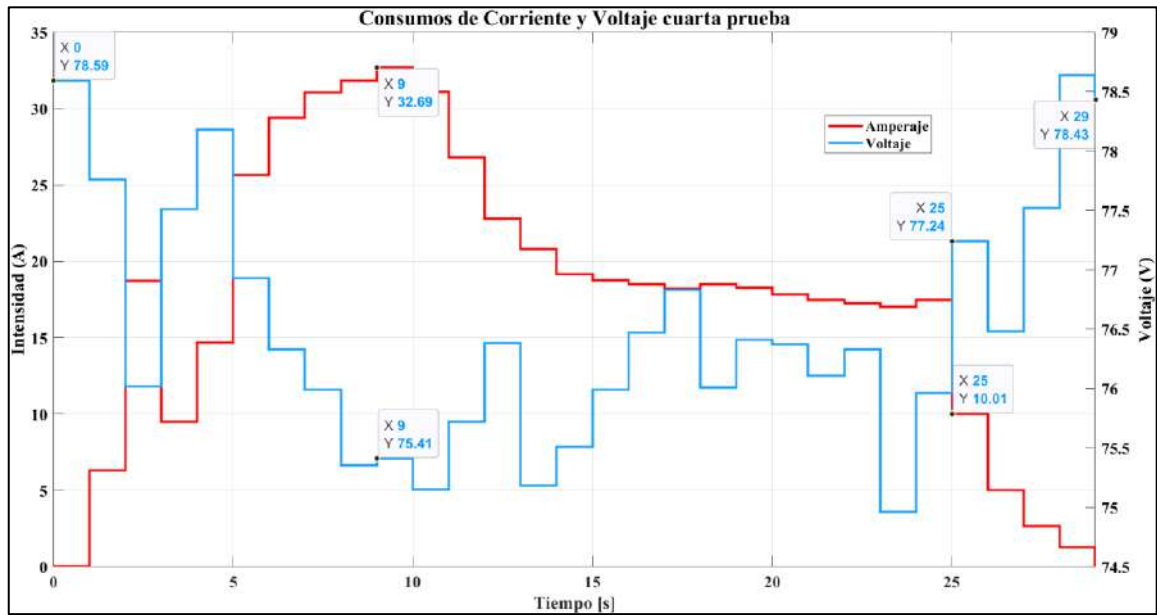
**Ilustración 4-34:** Energía Consumida de la tercera prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-3:** Valores de energía consumida prueba 3

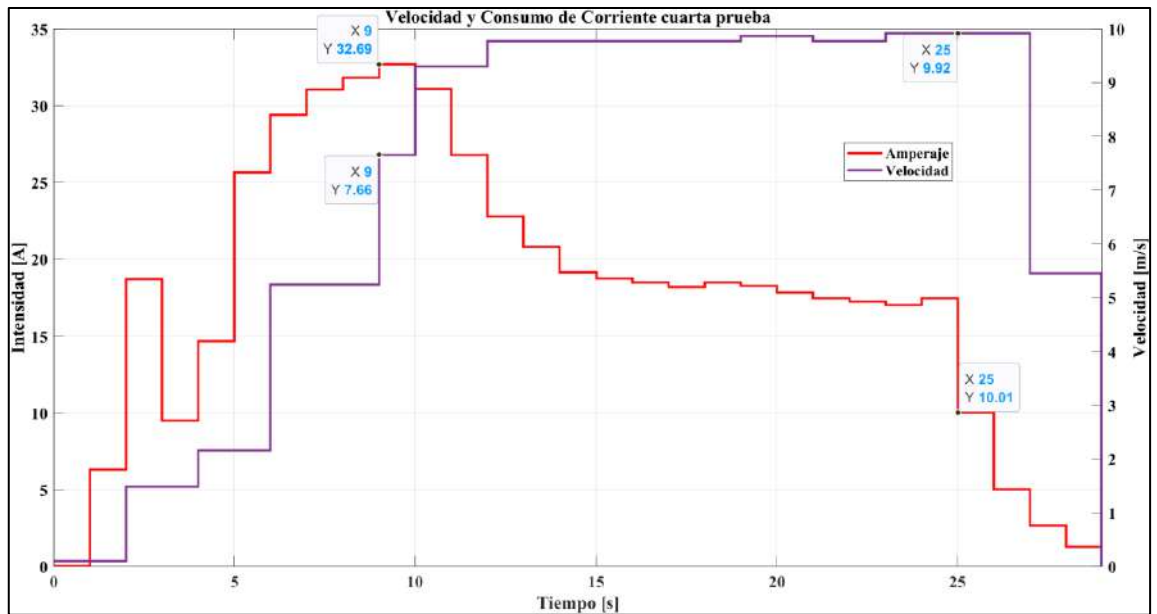
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 3	0,01284	0,012474

#### 4.2.2.2.4 Cuarta Prueba



**Ilustración 4-35:** Consumos de corriente y voltaje de la cuarta prueba de velocidad

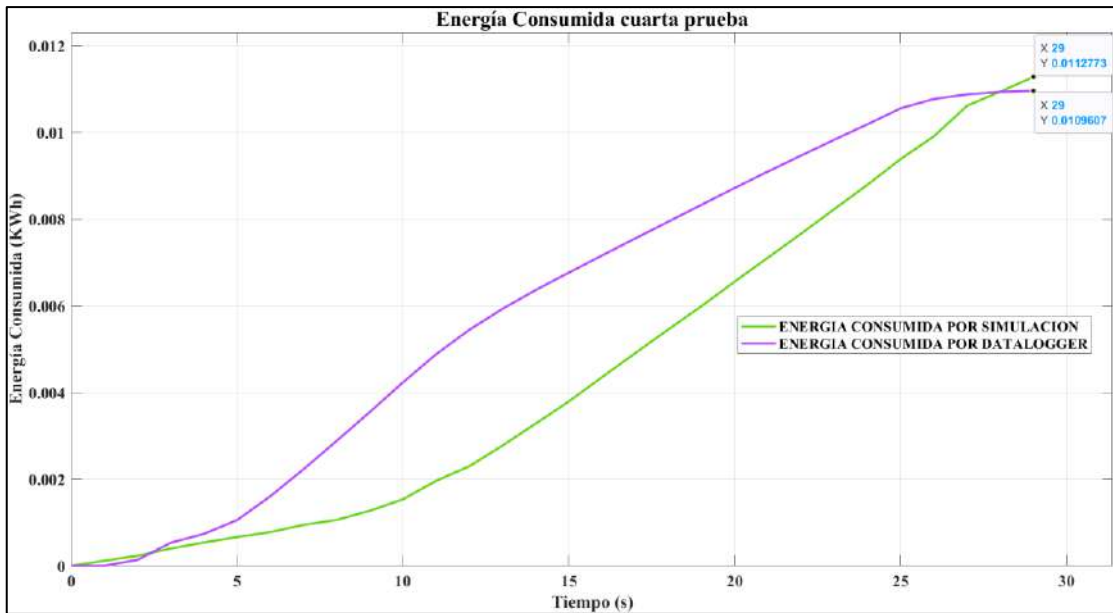
Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-36:** Velocidad y Consumos de corriente de la cuarta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)





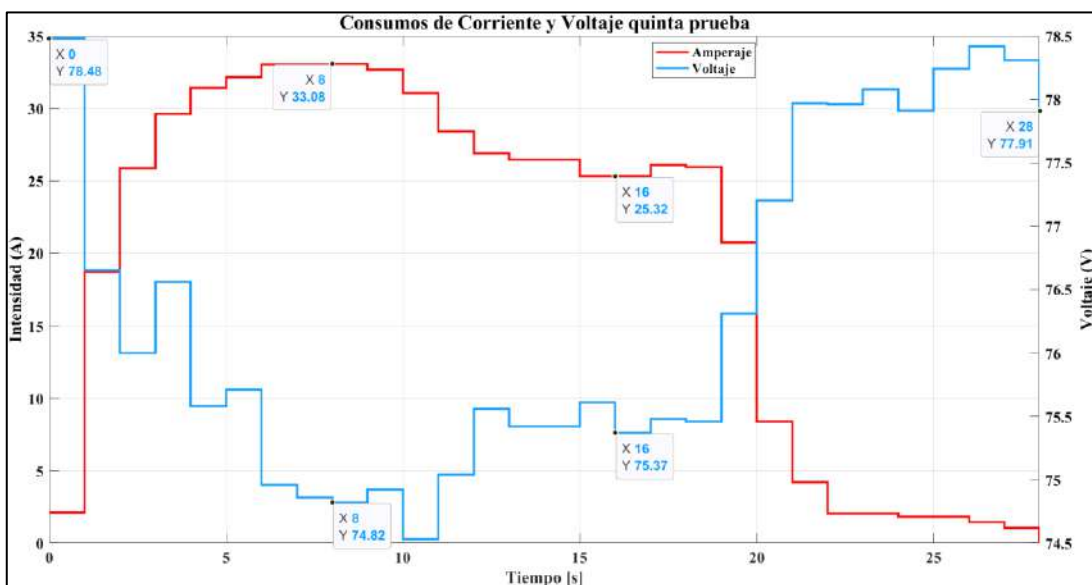
**Ilustración 4-37:** Energía Consumida de la cuarta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-4:** Valores de energía consumida prueba 4

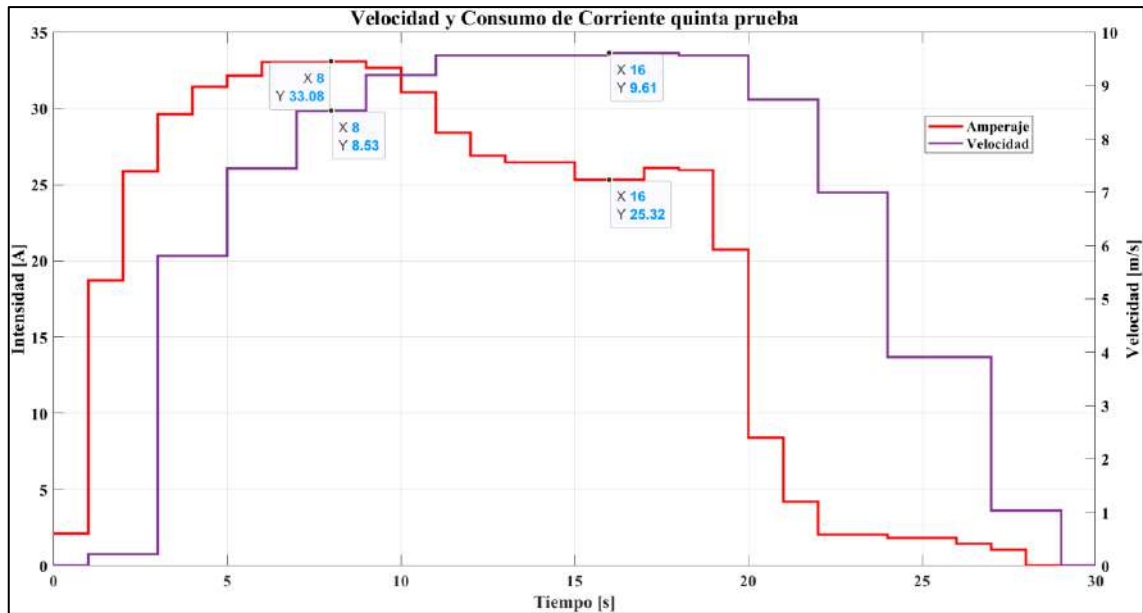
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 4	0,0112773	0,0109607

#### 4.2.2.2.5 Quinta Prueba



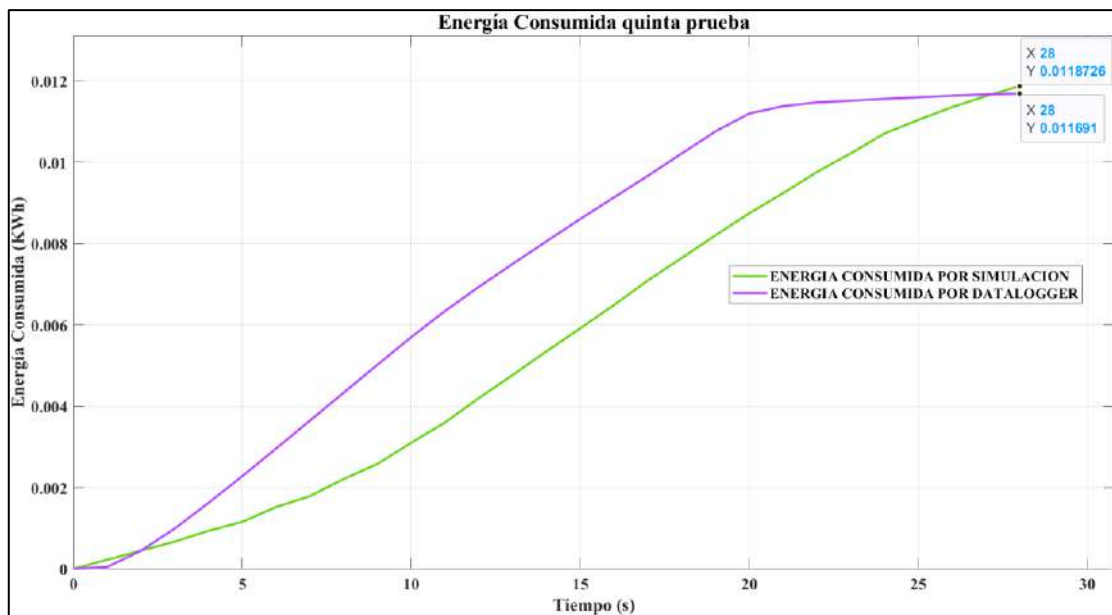
**Ilustración 4-38:** Consumos de corriente y voltaje de la quinta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-39** Velocidad y Consumos de corriente de la quinta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



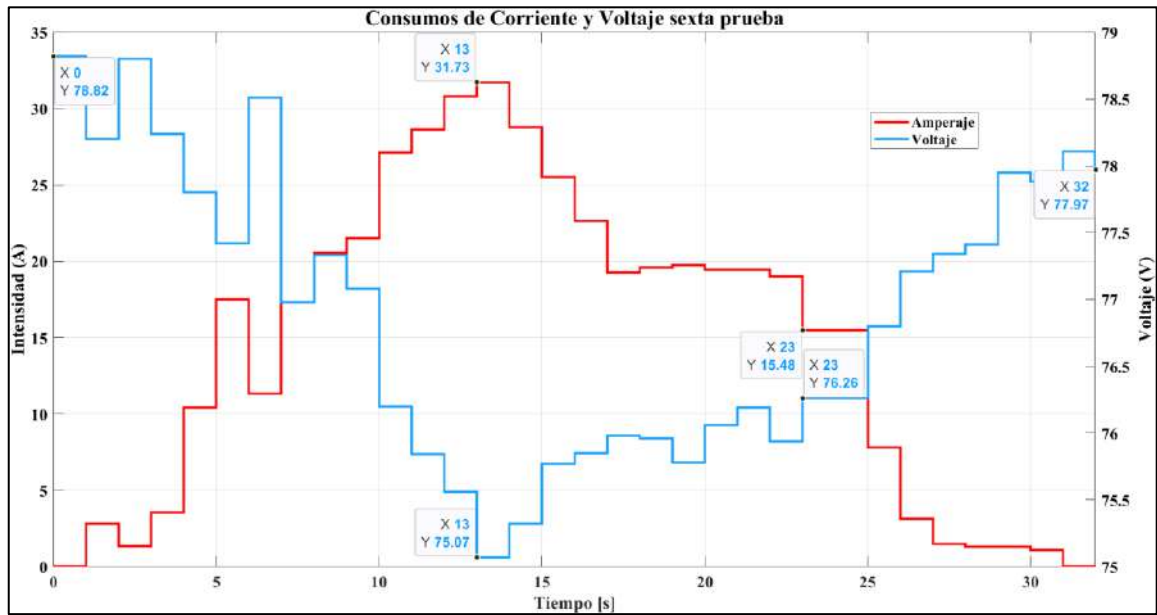
**Ilustración 4-40:** Energía Consumida de la quinta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-5:** Valores de energía consumida prueba 5

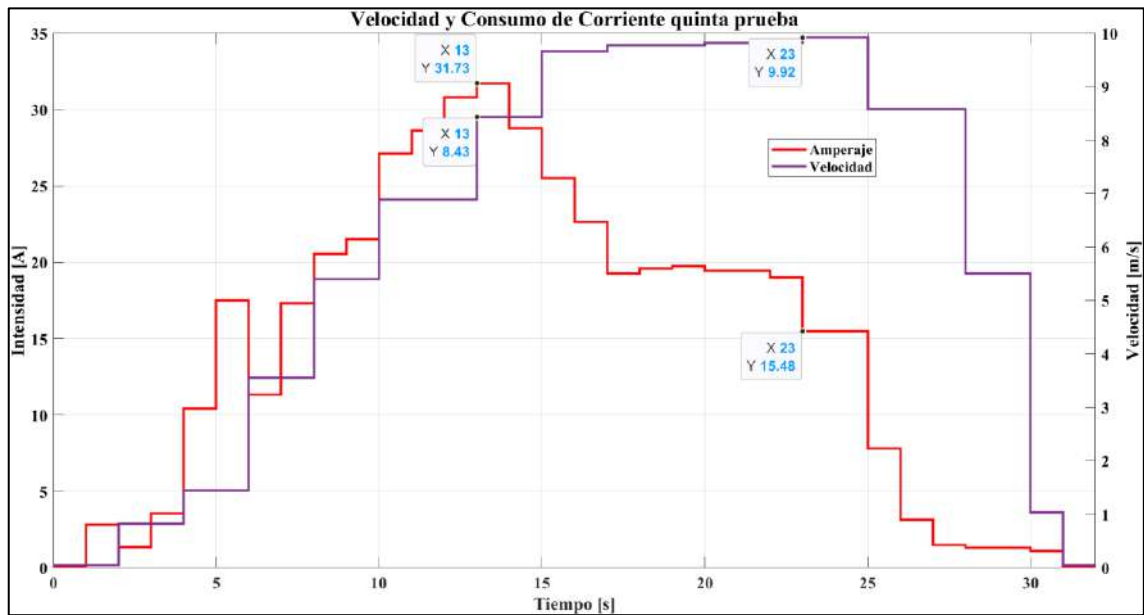
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 5	0,0118726	0,011691

4.2.2.2.6 Sexta Prueba



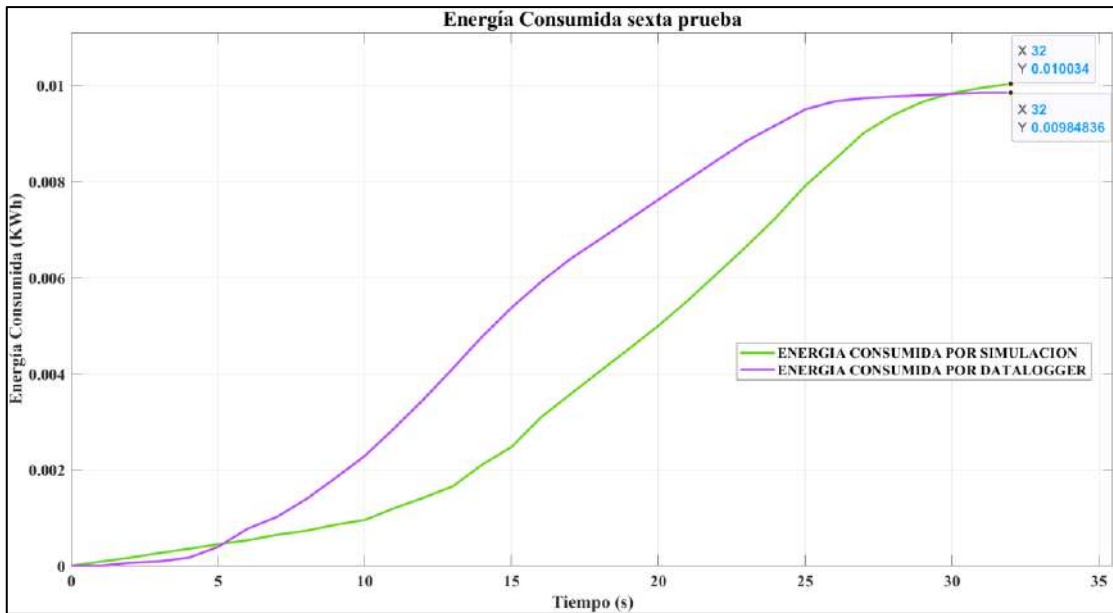
**Ilustración 4-41:** Consumos de corriente y voltaje de la sexta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-42:** Velocidad y Consumos de corriente de la sexta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



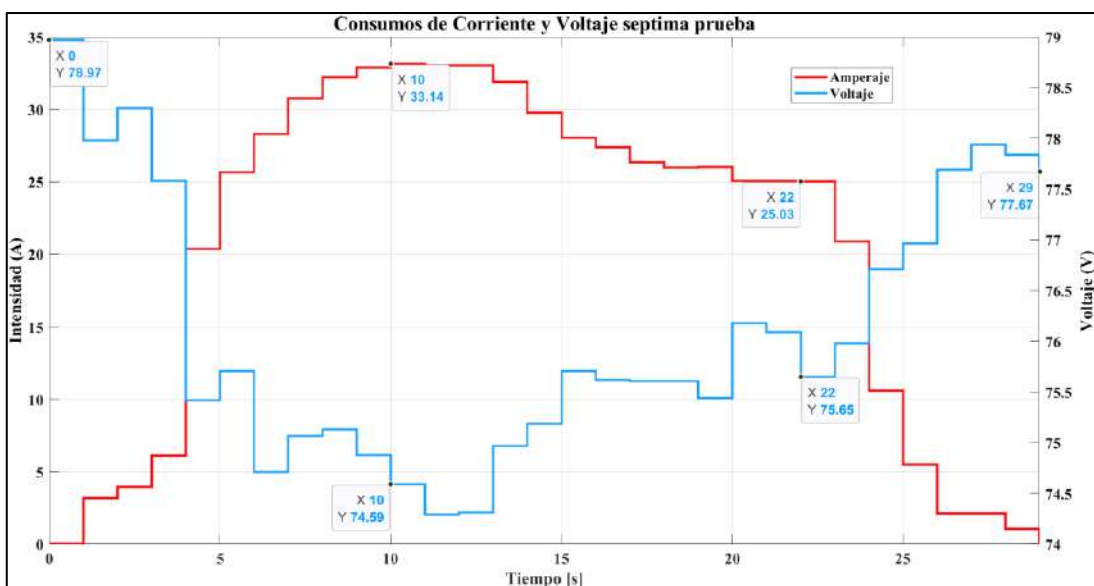
**Ilustración 4-43:** Energía Consumida de la sexta prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-6:** Valores de energía consumida prueba 6

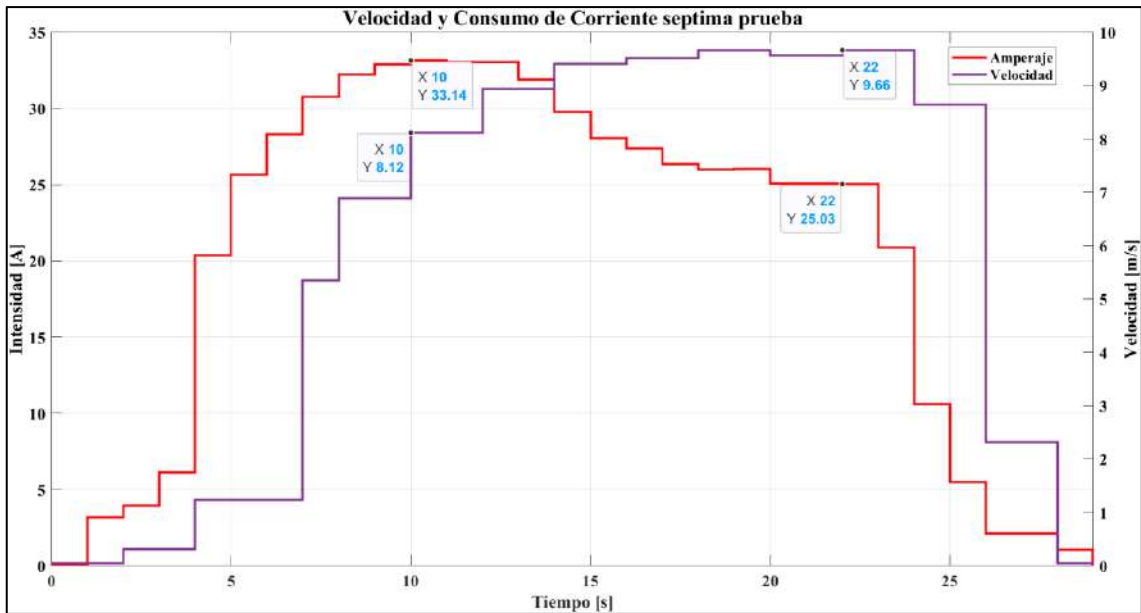
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 6	0,010034	0,00984836

4.2.2.2.7 Séptima Prueba



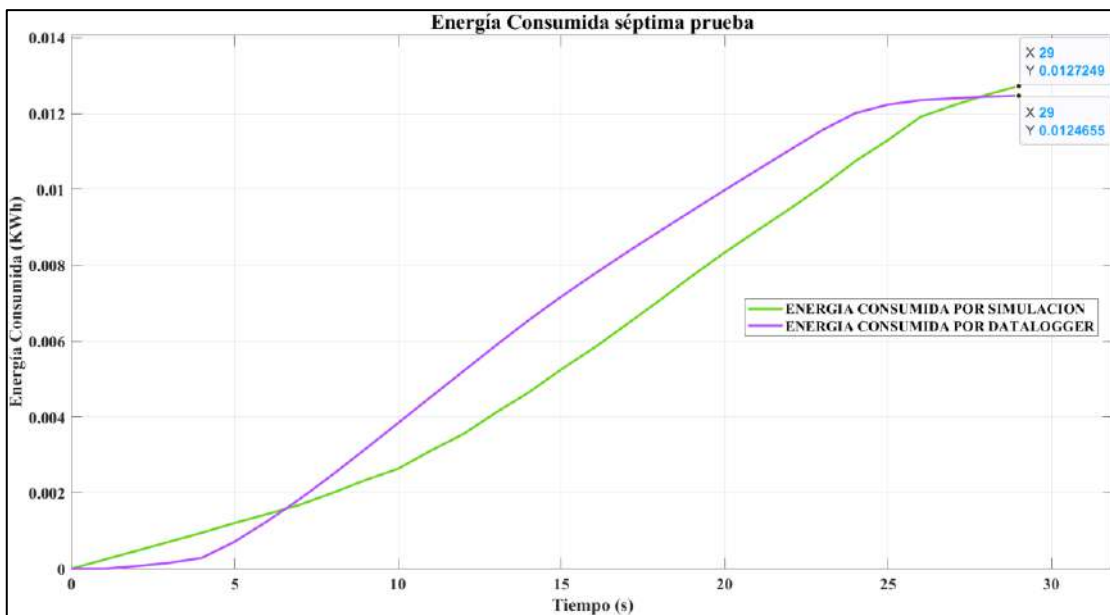
**Ilustración 4-44:** Consumos de corriente y voltaje de la séptima prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-45:** Velocidad y Consumos de corriente de la séptima prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



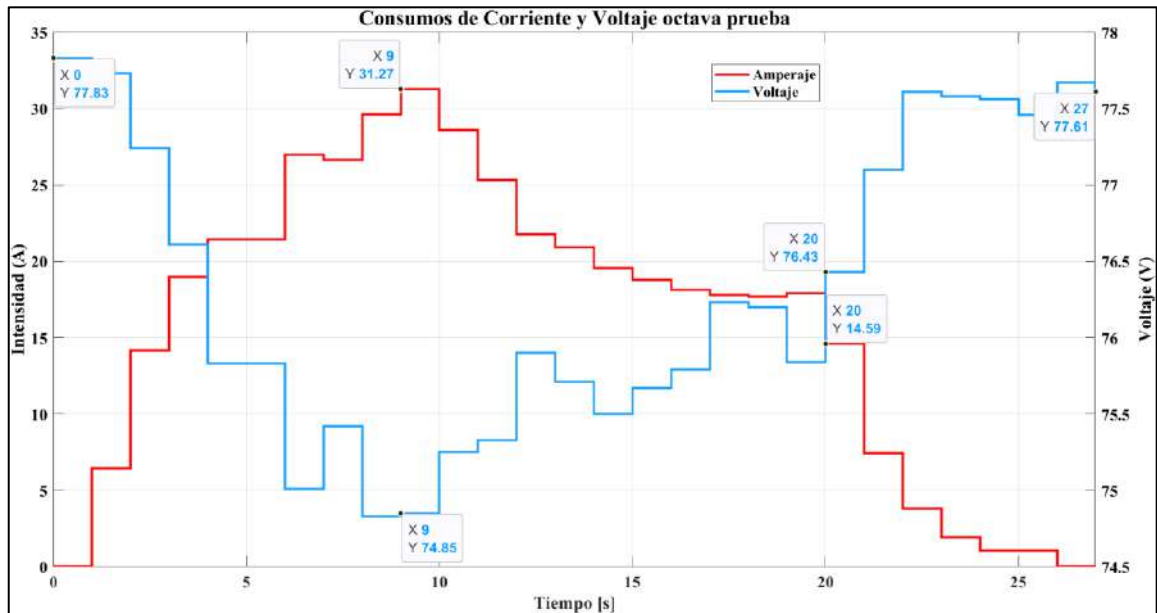
**Ilustración 4-46:** Energía Consumida de la séptima prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-7:** Valores de energía consumida prueba 7

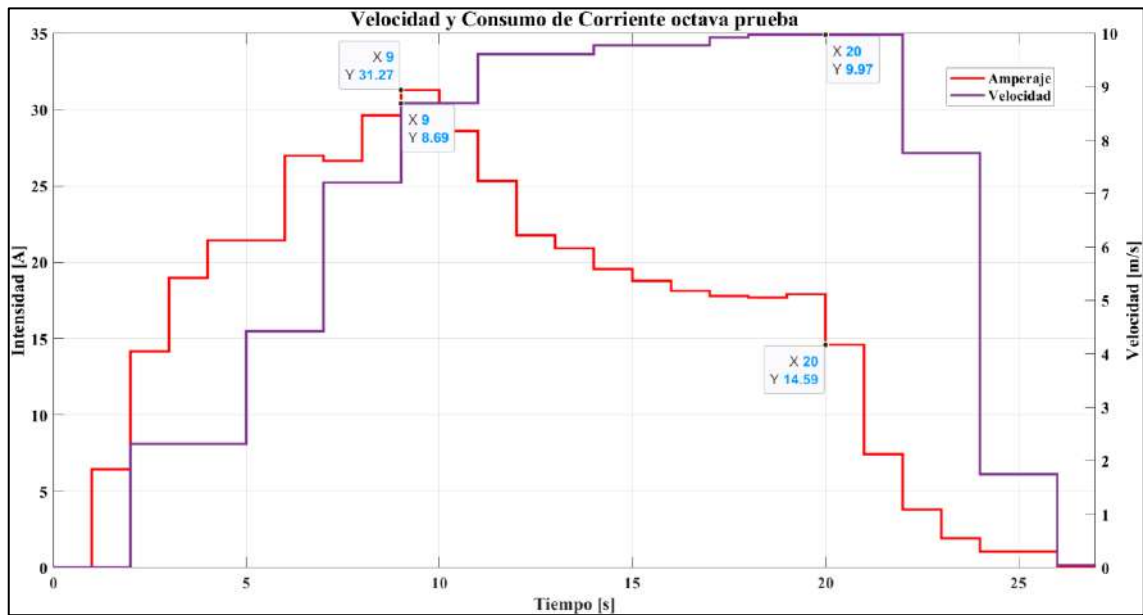
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 7	0,0127249	0,0124655

4.2.2.2.8 Octava Prueba



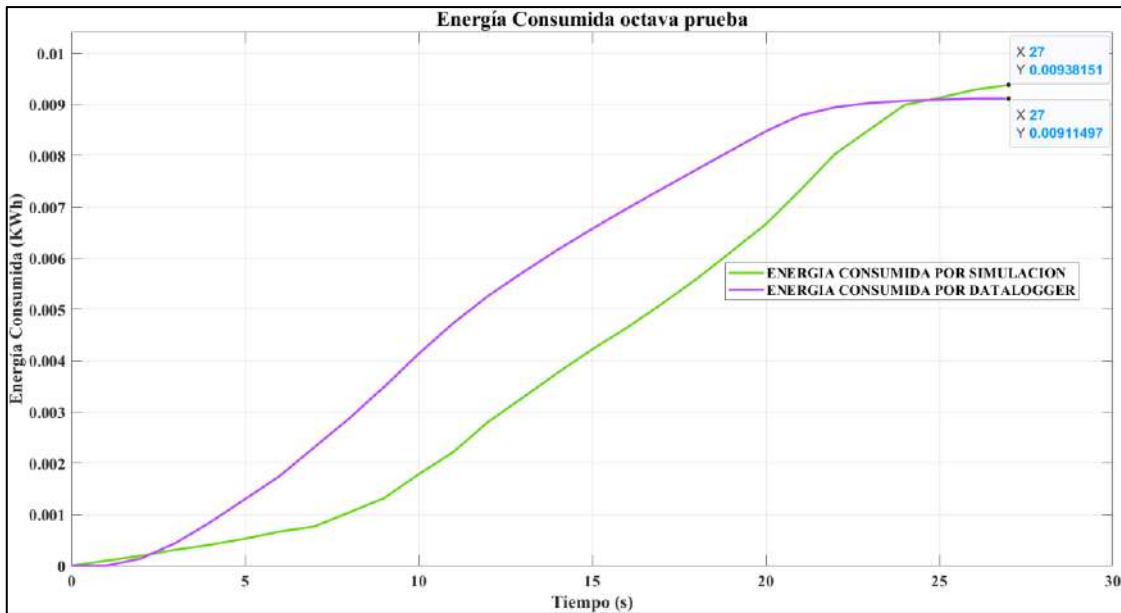
**Ilustración 4-47:** Consumos de corriente y voltaje de la octava prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-48:** Velocidad y Consumos de corriente de la octava prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



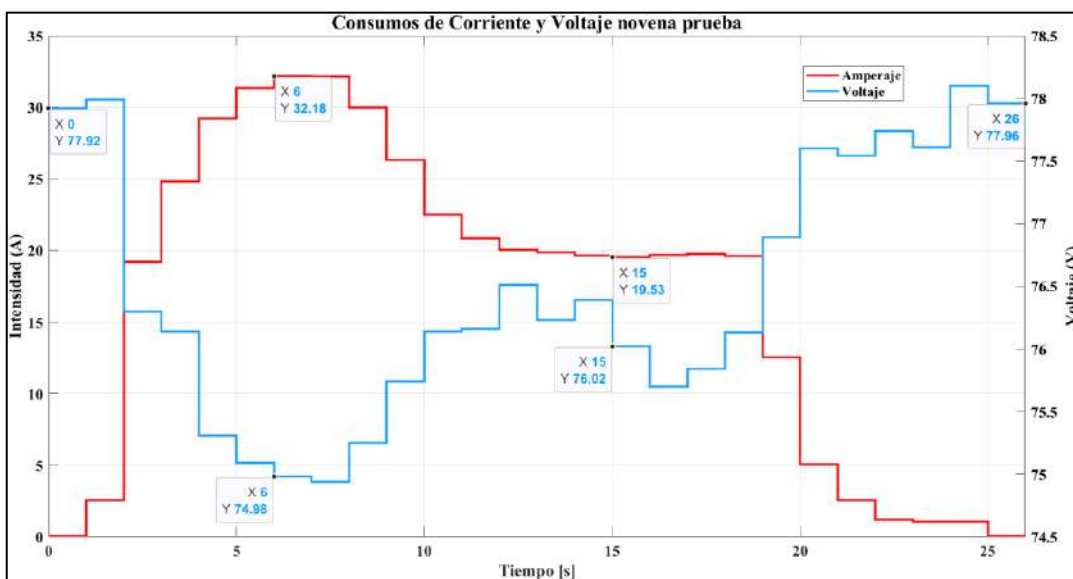
**Ilustración 4-49:** Energía Consumida de la octava prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-8:** Valores de energía consumida prueba 8

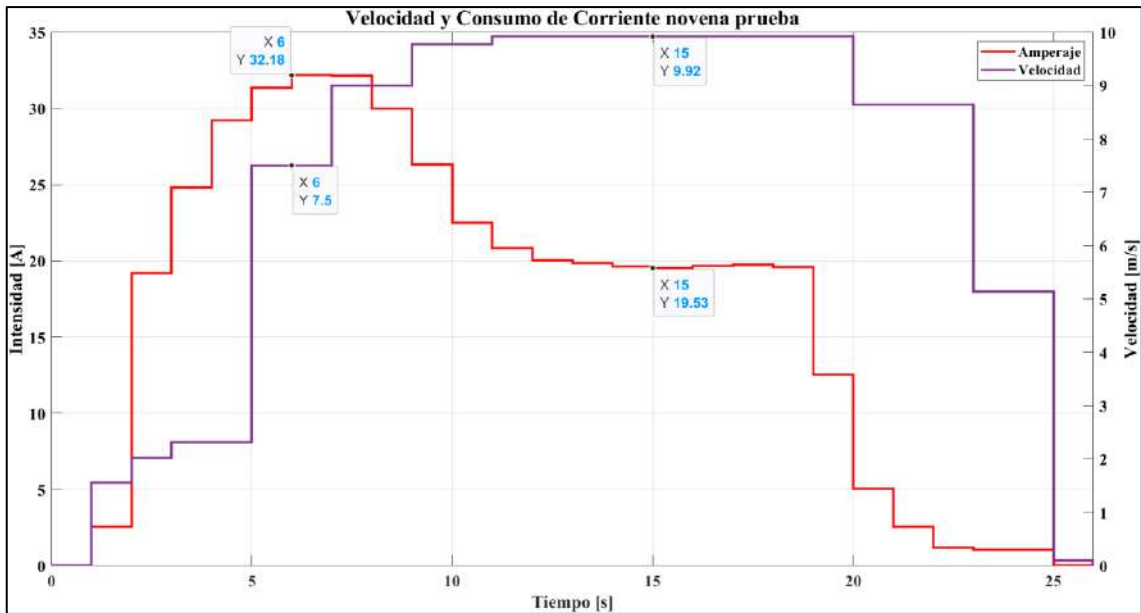
Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 8	0,00938151	0,00911497

4.2.2.2.9 Novena Prueba



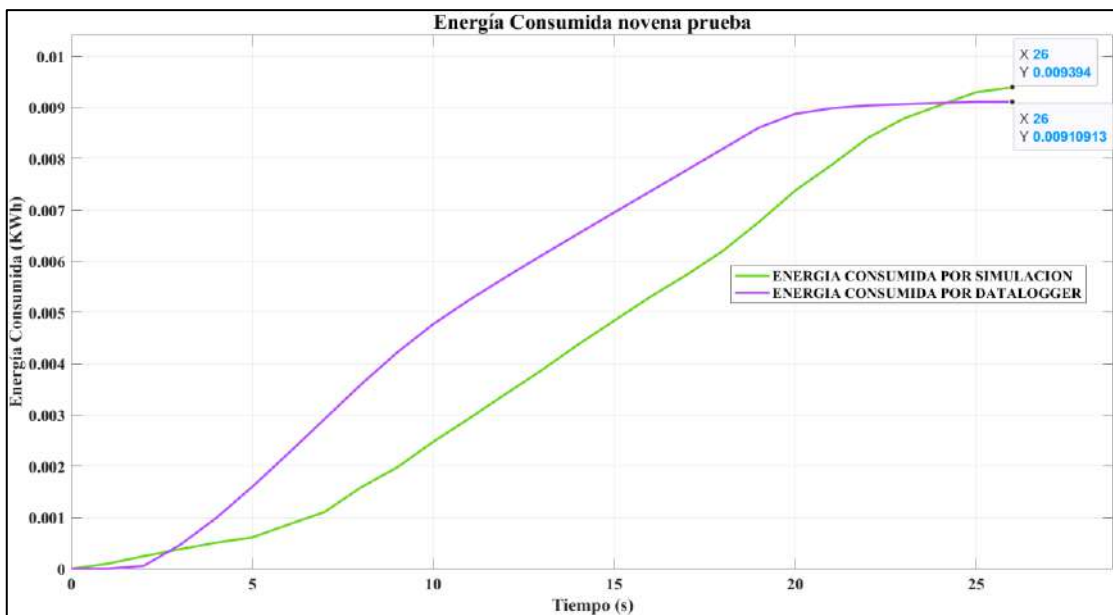
**Ilustración 4-50:** Consumos de corriente y voltaje de la novena prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-51:** Velocidad y Consumos de corriente de la novena prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-52:** Energía Consumida de la novena prueba de velocidad

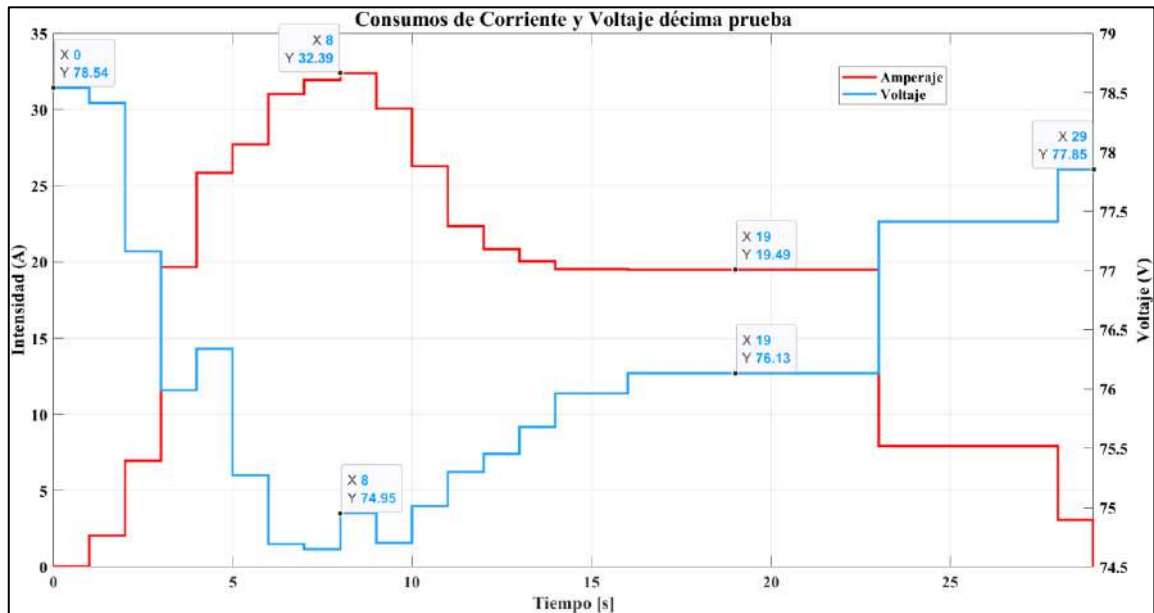
Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-9:** Valores de energía consumida prueba 9

Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 9	0,009394	0,00910913

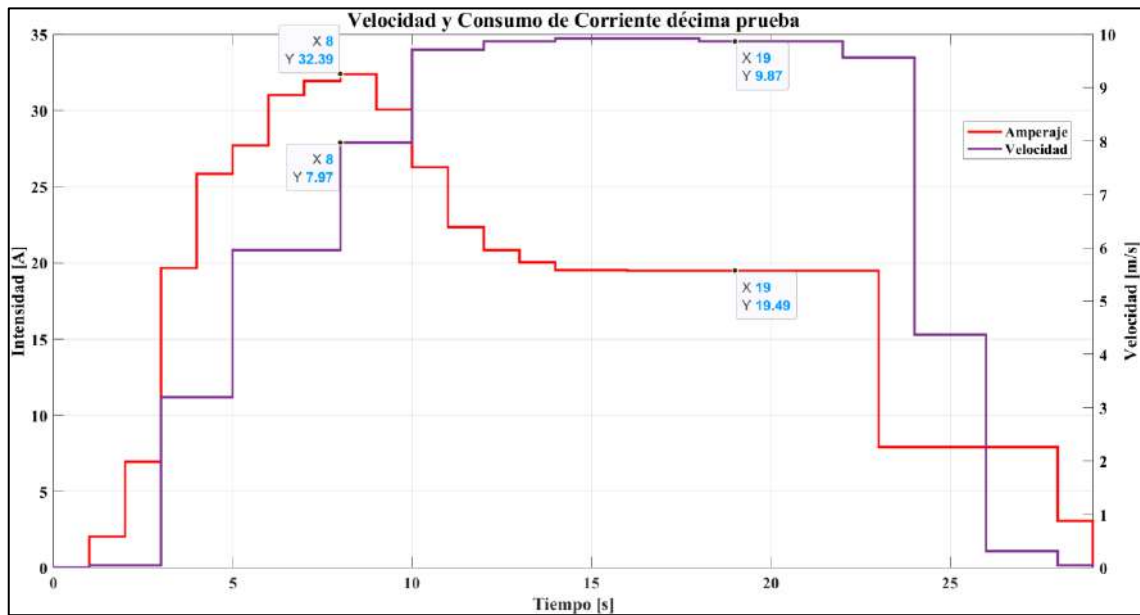


4.2.2.2.10 Decima Prueba



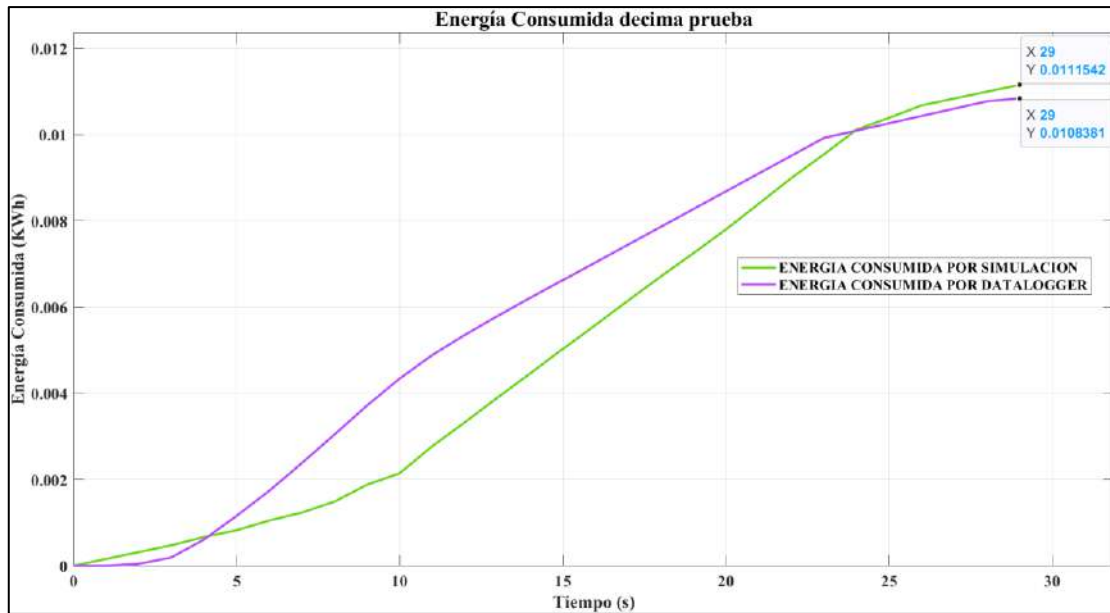
**Ilustración 4-53:** Consumos de corriente y voltaje de la décima prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-54:** Velocidad y Consumos de corriente de la décima prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)



**Ilustración 4-55:** Energía Consumida de la décima prueba de velocidad

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

**Tabla 4-10:** Valores de energía consumida prueba 10

Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 10	0,0111542	0,0108381

4.2.2.2.11 Cálculo de error relativo de la energía consumida en cada una de las pruebas

Para este análisis se hizo uso del software Excel y se creó la tabla 4-11 en la cual se va a indicar el cálculo promedio e intervalo de confianza de los datos arrojados por el Datalogger. Se utilizó el intervalo de confianza T, puesto que son menores a 30 datos.

**Tabla 4-11:** Promedio de la energía consumida en las 10 pruebas

Registro	Energía consumida por simulación (KWh)	Energía consumida por Datalogger (KWh)
Prueba 1	0,0134393	0,0131895
Prueba 2	0,0128319	0,0124627
Prueba 3	0,01284	0,012474
Prueba 4	0,0112773	0,0109607
Prueba 5	0,0118726	0,011691

Prueba 6	0,010034	0,00984836
Prueba 7	0,0127249	0,0124655
Prueba 8	0,00938151	0,00911497
Prueba 9	0,009394	0,00910913
Prueba 10	0,0111542	0,0108381
<b>Promedio</b>	0,01149497	0,0112154
<b>Desviación Estándar</b>		0,0148137
<b>Intervalo de Confianza</b>		0,00105971

Fuente: (Hernández & Vera, 2023)

Acorde con los cálculos, el intervalo de confianza que se reporta para la energía consumida del prototipo karting eléctrico es el siguiente:

$$E = 0,0112154 \pm 0,00105971$$

De acuerdo con cómo se han estimado los datos en el presente ensayo y mediante el análisis de los datos de la Tabla 4-11. Para realizar una comparación adecuada entre los valores experimentales y el simulado, se determina el error absoluto y el error relativo con las ecuaciones siguientes:

$$Error_{Absoluto} = |V_e - V_s| \quad (Ec. 21)$$

Donde:

$V_e = Valor\ experimental\ medio$

$V_s = Valor\ simulado\ medio$

$$Error_{Absoluto} = |0,0112154 - 0,01149497| KWh$$

$$Error_{Absoluto} = |0,00027957| KWh$$

$$Error_{Absoluto} = 0,00027957 KWh$$

$$Error_{Relativo} = \frac{Error_{Absoluto}}{V_e} * 100\% \quad (Ec. 22)$$

$$Error_{Relativo} = \frac{0,00027957 KWh}{0,0112154 KWh} * 100\%$$

$$Error_{Relativo} = 2,4927\% \approx 2,5\%$$

En concordancia con los resultados obtenidos en el cálculo del Error relativo, en el que se obtiene un valor de 2,5% aproximadamente, se puede decir que el modelo obtenido para el dimensionamiento de la batería ion-litio es el apropiado.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

La búsqueda minuciosa en una variedad de fuentes bibliográficas llegó a una conclusión exitosa, ya que cada una de ellas ofreció una riqueza de conocimientos valiosos, lo que impulsó el avance oportuno del proyecto de titulación. Este enfoque completo nos permitió explorar en profundidad tanto los principios teóricos como las aplicaciones prácticas relacionadas con los elementos fundamentales que conforman el sistema alimentación del prototipo Kart Eléctrico.

El dimensionamiento realizado mediante un modelo matemático en el software Matlab indicó que el consumo necesario para el prototipo debía tener una capacidad energética de 0,823 kWh referente a 4 tandas de 10 vueltas de una competencia oficial. Luego de conocer este valor, se evaluaron las opciones disponibles en el mercado y se adquirió la unidad más adecuada. Posteriormente se realizó otra simulación en Matlab para determinar el consumo de energía durante una prueba de resistencia se reveló un valor de 1,7 kWh después de haber recorrido 39,34 Km y realizado 2 paradas de revisión general del prototipo, con un estado de carga final del 26.23%. Esto confirmó que la unidad adquirida es apta para superar una competencia oficial.

Basándonos en las pruebas de pista realizadas en el prototipo Kart con la ayuda de un equipo que recopila datos de consumo energético (Datalogger), se puede concluir, a partir de los datos proporcionados, que la cantidad máxima de energía consumida durante la prueba de resistencia alcanza los 1,66 kWh. Además, se observó que el voltaje promedio se mantuvo en un rango de 74,21V a lo largo de la realización de la prueba. Es de recordar que la descarga de una batería se calcula dependiendo de la cantidad de amperaje demandado durante un período específico. Estos resultados obtenidos demuestran que el sistema de alimentación del prototipo Kart se encuentra en un estado óptimo para participar en una competición oficial.

### **5.3 Recomendaciones**

Prestar la debida atención al estado de carga de la batería, con el propósito de evitar situaciones en las que se alcance un nivel crítico de descarga, ya que esto podría traer consecuencias negativas a largo plazo en el funcionamiento y la vida útil de la batería.

Para realizar el mantenimiento o la manipulación de la batería, se recomienda tener a disposición elementos de protección necesarios y seguir las debidas precauciones adecuadas, con la finalidad de prevenir accidentes y asegurar la integridad tanto de la batería como la de la persona que realiza el mantenimiento.

En el caso de cambiar el motor del prototipo del kart eléctrico por uno de mayor potencia, es esencial llevar a cabo cálculos mediante el modelo matemático para verificar si la batería actual podrá mantener la misma autonomía que con el motor anterior, o si será necesario instalar un pack de baterías con una capacidad superior.

Para los cálculos y análisis de datos mediante modelos matemáticos realizados en el programa Matlab, es recomendable adquirir una licencia de MathWorks para evitar inconveniente de procesamiento de datos.

Se sugiere la implementación y aplicación de un sistema de frenado regenerativo en el prototipo Kart para aumentar su autonomía. Este sistema recupera energía cinética durante la desaceleración, convirtiéndola en energía eléctrica, la cual se almacenará en la batería.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ABREU, L.**, Herramientas software basado en matlab para la simulación y análisis de sistemas de almacenamiento. [en línea]. Gijón: 2020. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/56900/TFM\\_LilieAbreuReche.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/56900/TFM_LilieAbreuReche.pdf?sequence=3&isAllowed=y).
2. **ALIEXPRESS**, Baterías de hidruro metálico de níquel, 14,4 V, 6500MAH, para batería híbrida Toyota, venta al por mayor, de alta calidad, precio de fábrica - AliExpress. [en línea]. [sin fecha]. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/i/1005005200945705.html>.
3. **ÁLVAREZ, C. y MENDEZ, D.**, REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES ESTADOS DE CARGA EN LA VIDA ÚTIL DE LAS BATERÍAS DE ION LITIO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO. [en línea]. CUENCA: 2022. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22475/4/UPS-CT009730.pdf>.
4. **ARCOS, E.**, Panasonic y Tesla aumentarán un 20% la densidad energética de sus baterías 2170. [en línea]. 2020. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://hipertextual.com/2020/07/panasonic-y-tesla-aumentaran-20-densidad-energetica-sus-baterias-2170>.
5. **ARIZA RACING CIRCUIT**, La historia del karting: De sus Inicios hasta la Actualidad. - Ariza Racing Circuit. [en línea]. 2023. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://arizaracing.com/lahistoriadeldkarting/>.
6. **BARREIRO, S.**, METODOLOGÍA DE PRUEBA PARA ANÁLISIS DE FALLAS EN BATERÍAS AUTOMOTRICES CON TECNOLOGÍA PLOMO-ÁCIDO GRUPO 42. [en línea]. Guayaquil: 2020. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4033/1/T-UIDE-243.pdf>.
7. **BATERIAS Y AMPERIOS**, Tipos de celdas de baterías de Litio. *bateriasyamperios.com* [en línea]. 2020. [consulta: 15 febrero 2024]. Disponible en: <https://bateriasyamperios.com/tipos-de-celdas-de-baterias-de-litio/>.
8. **BOSH**, Información sobre el producto. [en línea]. S.l.: 2021. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: [https://www.boschecuador.com/productos\\_pdfs/documents/6a60d112affeabd1cfba16cbf5968eb4.pdf](https://www.boschecuador.com/productos_pdfs/documents/6a60d112affeabd1cfba16cbf5968eb4.pdf).
9. **BUENAÑO, L., TORRES, H., FERNÁNDEZ, E. y COELLO, M.**, UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA MÍNIMA INTERURBANA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA RUTA RIOBAMBA – QUITO UTILIZANDO

LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA DISTANCIA MÁXIMA ENTRE CARGAS RÁPIDAS (MDFC). , 2022.

10. **CABRERA, A. y CALLE, C.**, «SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO, CONTROLADOR Y BATERÍA PARA EL VEHÍCULO FORMULA SAE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA». [en línea]. CUENCA: 2016. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12753/1/UPS-CT006618.pdf>.
11. **CALDERÓN, F.**, *Desarrollo de un modelo de configuración eléctrica de autobús urbano con baterías*. MASTER. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. 2020.
12. **CHUQUIMARCA, S. y SUIN, K.**, «DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA BATERÍA DE ALTO VOLTAJE PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FORMULA SAE ELÉCTRICO». [en línea]. Cuenca: 2017. [consulta: 15 febrero 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14908>.
13. **COSOSTENIBLE**, Batería Gel 12V 200Ah - Cosostenible. [en línea]. [sin fecha]. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://cosostenible.com/producto/bateria-gel-200-ah-12/>.
14. **DE GENNARO, M., PAFFUMI, E., MARTINI, G., MANFREDI, U., VIANELLI, S., ORTENZI, F. y GENOVESE, A.**, Experimental test campaign on a battery electric vehicle: Laboratory test results (part 1). *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, vol. 4, no. 1, 2015. ISSN 21674205. DOI 10.4271/2015-01-1167.
15. **DELCOBAT**, Diferencia de tipos de baterías para autos | Baterías Guayaquil. [en línea]. 2020. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.bateriasguayaquil.ec/diferencia-de-tipos-de-baterias-para-autos/>.
16. **DURACELL**, Batería de cámara de Dióxido de Manganeso-Litio, Duracell Ultra. [en línea]. 2024. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/pilas-de-tamanos-especiales/7915974>.
17. **ESCOBAR, J.**, EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL FOTOVOLTAÍCO BASADO EN LOS ÍNDICES DE IRRADIACIÓN SOLAR DEL SECTOR HUACHI GRANDE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REGADÍO. [en línea]. Riobamba: 2018. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8495/1/20T01047.pdf>.
18. **FÁCIL ELECTRO**, Baterías de Titanato de Litio - Fácil Electro Baterías, Componentes, Electrónica, Tecnología Baterías. [en línea]. 2019. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.facilelectro.es/baterias-de-titanato-de-litio/>.
19. **FIA SPORT**, Technical Regulations for Electric Karts (E-Karting). [en línea], 2020. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en:



[https://www.fia.com/sites/default/files/2020\\_electric\\_karts\\_-\\_technical\\_regulations\\_clean.pdf](https://www.fia.com/sites/default/files/2020_electric_karts_-_technical_regulations_clean.pdf).

20. **FICOSA**, Sistema de gestión de baterías - BMS - Ficosa. [en línea]. [sin fecha]. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.ficosa.com/es/productos/electromovilidad/bms-sistema-de-gestion-de-la-bateria/>.
21. **FIORI, C., AHN, K. y RAKHA, H.A.**, Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation. *Applied Energy*, vol. 168, 2016. ISSN 0306-2619. DOI 10.1016/J.APENERGY.2016.01.097.
22. **FURLAN, A.**, NEUMÁTICOS PARA KARTING. [en línea]. Kranj: 2023. [consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.mitas-moto.com/es-es/productos/neumaticos-para-kart/neumaticos-para-karts-de-carreras>.
23. **GAO, Z., LIN, Z., LACLAIR, T.J., LIU, C., LI, J.M., BIRKY, A.K. y WARD, J.**, Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. *Energy*, vol. 122, 2017. ISSN 0360-5442. DOI 10.1016/J.ENERGY.2017.01.101.
24. **GRUPO ELECTROSTORE**, PINZA AMPERIMÉTRICA AC/DC DIGITAL PRO'SKIT MT-3102. *grupoelectrostore.com* [en línea]. 2024. [consulta: 2 marzo 2024]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/herramientas-y-accesorios-2/multimetros/pinza-amperimetrica-ac-dc-digital-mt-3102/>.
25. **HU, X., MOUSA, E., TIAN, Y. y YE, G.**, Recovery of Co, Ni, Mn, and Li from Li-ion batteries by smelting reduction - Part I: A laboratory-scale study. *Motorpasion* [en línea], vol. 483, 2020. [consulta: 18 febrero 2024]. ISSN 03787753. DOI 10.1016/j.jpowsour.2020.228936. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/industria/suecia-saben-como-recuperar-todo-cobalto-litio-niquel-manganeso-baterias-coches-electricos-eso-dicen>.
26. **HUNAN CTS TECNOLOGÍA CO., LTD.**, UN38.3 MSDS Certificación ISO9001 Batería de litio 72V 32Ah Li-ion para motocicleta eléctrica. *ctsbattery.en.made-in-china.com* [en línea]. 2021. [consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en: <https://ctsbattery.en.made-in-china.com/product/AFHGzygDbchu/China-Un38-3-MSDS-ISO9001-Certification-Lithium-Battery-Pack-60V-20ah-Li-ion-Battery-for-Electric-Motorcycle.html>.
27. **IDROVO, A.**, Evaluación de un go-kart eléctrico con baterías de Ion-Litio y Níquel - Hidruro Metálico. [en línea]. Cuenca: 2020. [consulta: 15 febrero 2024]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10136>.
28. **KELLY, KBL** - General Brushless Motor Controller with Regen (12V-96V) (100A-500A) - Kelly Controls. [en línea]. 2022. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://kellycontroller.com/shop/kbl/>.

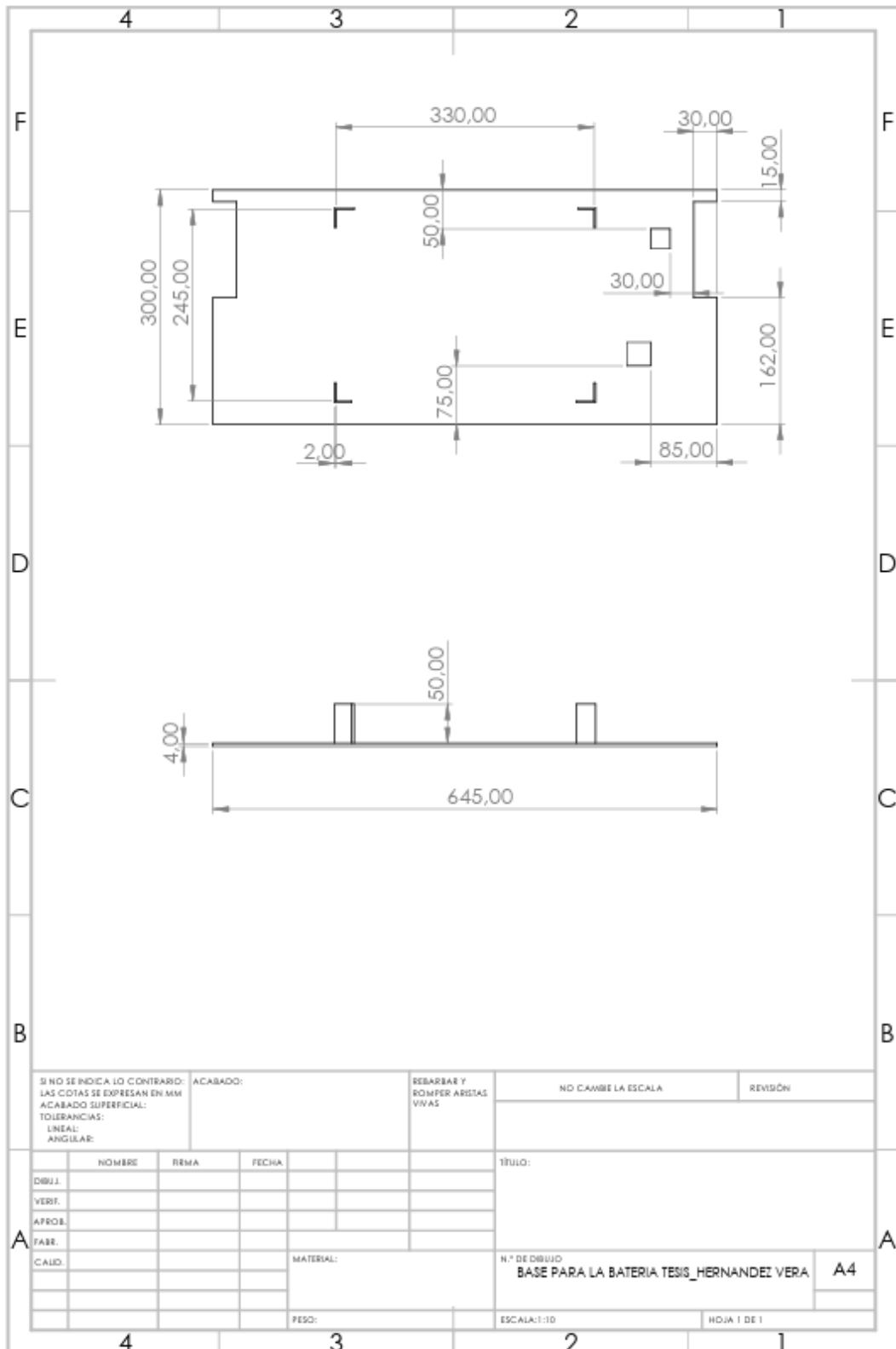
29. **KOROBKOV, D.S. y UFIMTSEVA, O. V.**, Choice of the Traction Motor for the Electric Racing Car “Formula Student”. *Procedia Engineering*, vol. 150, 2016. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/J.PROENG.2016.07.004.
30. **KRISHNAMOORTHY, S., PRABHU, L., SHADAN, M.D., RAJ, H. y AKRAM, N.**, Design and analysis of electric Go-Kart. *Materials Today: Proceedings*. S.l.: Elsevier Ltd, 2020. pp. 5997-6005. vol. 45. DOI 10.1016/j.matpr.2020.09.413.
31. **LOACHAMIN, M.**, Implementación del Sistema del Tren de Potencia Eléctrico y Transmisión de un Go-Kart para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. [en línea]. Latacunga: 2021. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/27334/1/M-ESPEL-MAT-0141.pdf>.
32. **MARCEL DEKKER, INC.**, Electrochemical Energy Storage. En: H.A. KIEHNE (ed.), *BATTERY TECHNOLOGY HANDBOOK*. 2. New York: Expert Verlag GmbH, 2003. pp. 25-124. ISBN 0-8247-4249-4.
33. **MARTÍNEZ, J.**, (1) (PDF) Sistemas de almacenamiento mediante baterías electroquímicas. Contribución a la integración de energías renovables. [en línea]. 2019. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/333641870\\_Sistemas\\_de\\_almacenamiento\\_mediante\\_baterias\\_electroquimicas\\_Contribucion\\_a\\_la\\_integracion\\_de\\_energias\\_renovables/figures](https://www.researchgate.net/publication/333641870_Sistemas_de_almacenamiento_mediante_baterias_electroquimicas_Contribucion_a_la_integracion_de_energias_renovables/figures).
34. **MONTEGUEZ, METALMECÁNICA - Monteguez.** [en línea]. 2024. [consulta: 5 marzo 2024]. Disponible en: <https://monteguez.com.co/metalmecanica/>.
35. **MORALES, J. y DE LA PORTILLA, D.**, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS DE LITIO PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO TIPO FÓRMULA STUDENT. [en línea]. Ibarra: 2023. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14427/2/04%20MAUT%20246%20TRABAJO%20GRADO.pdf>.
36. **NAVARRO, J.**, Baterías ion-magnesio: Alternativas a las baterías recargables de litio. [en línea]. CARTAGENA: 2021. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/9661/tfg-gal-bat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
37. **PADRÓN FERNANDO**, BATERÍAS: ESTADO DEL ARTE Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA 2013. [en línea]. Medellín: 2013. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1536/BAT%20ER%c3%8>

- dAS\_ESTADO%20DEL%20ARTE%20Y%20VIGILANCIA%20TECNOL%c3%93GICA%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
38. **PÉREZ, J. y WALTEROS, Y., SISTEMA DE GESTIÓN DE CARGA PARA BATERÍAS DE ION-LITIO** [en línea]. Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. 2016. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21433/PerezValderramaJorgeIvan2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
  39. **PRIME POWER**, Diferenciadores de nuestras baterías de ciclo profundo. [en línea]. [sin fecha]. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.primepower.mx/blog/diferenciadores-de-nuestras-baterias-de-ciclo-profundo>.
  40. **QUINTERO, V., CHE, O., CHING, E., AUCIELLO, O. y DE OBALDÍA, E.,** Baterías de ion litio: características y aplicaciones Lithium ion batteries: features and applications Universidad de Texas en Dallas. *Revista de I+D Tecnológico* [en línea]. DALLAS: 2021. Disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.
  41. **ROMERO, J.,** Proyecto de un kart eléctrico. [en línea]. CATALUÑA: 2016. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100784/REPORT\\_193.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100784/REPORT_193.pdf).
  42. **ROZIC, P.,** CONSTRUCCION DE UN GO-KART ELECTRICO. . La Paz: 2023.
  43. **TDPRO99,** Diferencial de eje trasero Go Kart de 30" 48V 1000W motor eléctrico sin escobillas kit hágalo usted mismo | eBay. [en línea]. 2023. [consulta: 27 junio 2023]. Disponible en: [https://www.ebay.com/itm/285066696907?\\_ul=EC](https://www.ebay.com/itm/285066696907?_ul=EC).
  44. **VALDIVIA, C.,** Diseño de un BMS para baterías de tecnología Li-ion. [en línea]. CATALUÑA: 2018. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/81147?locale=es>.
  45. **VICTRON ENERGY,** Baterías Lithium Battery Smart de 12,8 y 25,6 voltios. [en línea]. S.l.: 2024. [consulta: 2 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.victronenergy.com.es/batteries/lithium-battery-12-8v#datasheet>.
  46. **VILLACRESES, D.,** ESTUDIO DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE DE UN GO-KART DE CIRCUITO CERRADO Y LA FACTIBILIDAD DE REALIZAR EL INTERCAMBIO DE PARTES EN SU ESTRUCTURA FIBRAL. [en línea]. Ambato: 2010. [consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/542/1/80082.pdf>.
  47. **VTBATTERIES,** Ventajas y desventajas de las baterías de Plomo Ácido y Litio (ION/LiPo/LiFEPO4/NMC) - VT BATTERIES. [en línea]. 2021. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://vtpower.es/blog/2021/05/15/ventajas-y-desventajas-de-las-baterias-de-plomo-acido-y-litio/>.

A handwritten signature in black ink is written over a circular blue stamp. The stamp contains text that is partially obscured by the signature but appears to be an official seal or stamp from an institution.

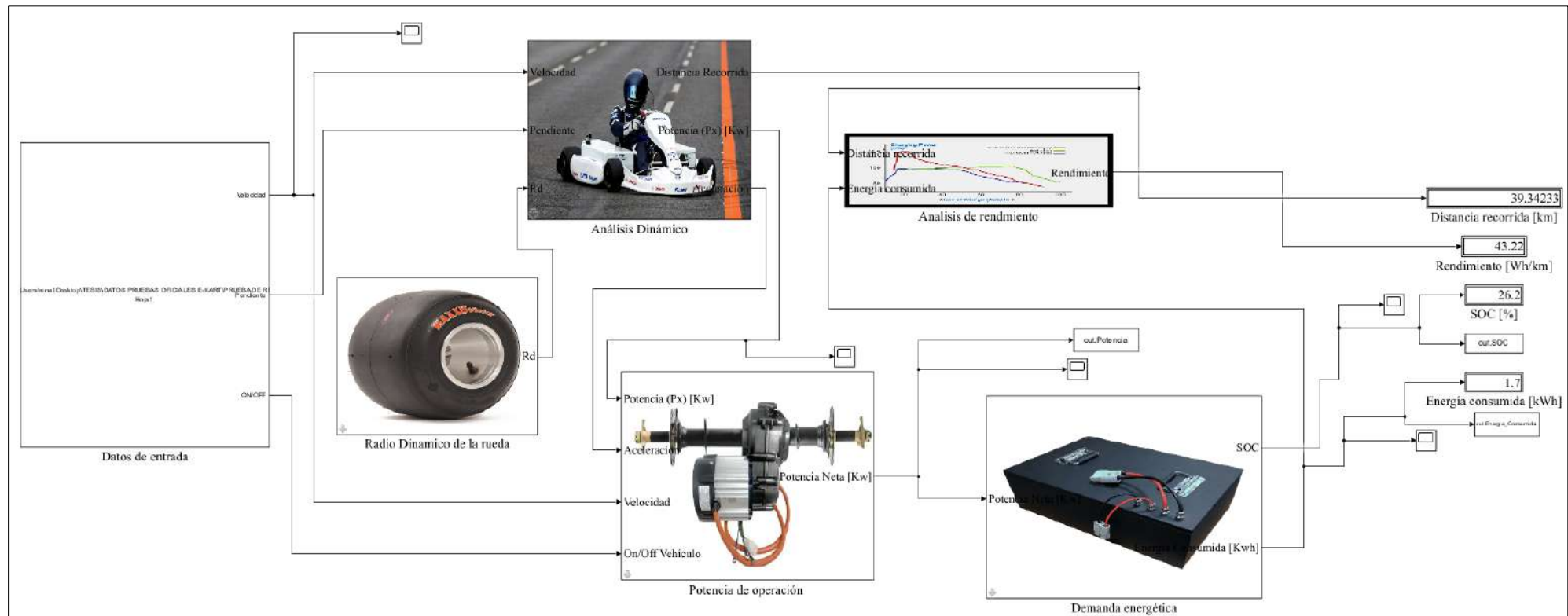
# ANEXOS

## ANEXO A: PLANOS DE LA BASE PARA LA BATERÍA



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		REMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FASE.					
CAUD.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		
			BASE PARA LA BATERIA TESIS_HERNANDEZ VERA		A4
PESO:			ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1

**ANEXO B: ESQUEMA COMPLETO DEL MODELO MATEMATICO EN SIMULINK**



**ANEXO C: PRUEBAS DEL PROTOTIPO EN LA PISTA DESIGNADA**



**ANEXO D: OBTENCION DEL PESO DEL PROTOTIPO KARTING ELÉCTRICO**



**ANEXO E: ESPECIFICACIONES DE LA BATERIA DE 72V Y 32Ah**

Specification	72V 20AH	72V 32AH	72V 40AH	72V 50AH	72V 60AH
Size(mm)	160*180*240mm	180*200*300mm	180*200*300mm	340*220*200	180*280*320mm
Energy	1440wh	2304wh	2880wh	3600wh	4320wh
Weight	10kg	18kg	20kg	25kg	30kg
Continue power	1500W	3000W	3000W	3600W	4000W
Peak power	2500W	6000W	6000W	7200W	8000W
battery type	lithium ion battery				
Charging Volt	84V				
Discharge End Volt	60V				
Max Charge Current	10A	15A	20A	25A	30A
Operating Temp	0°C~45°C Charging Operating -20°C~45°C Discharging Operating				
Cycle life	>2000cycles @ 90% DOD				



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

Fecha de entrega: 01/07/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
Nombres – Apellidos: EDDY RONALDO HERNÁNDEZ REQUENA JOSEPH JOAN VERA VEGA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
Título a optar: INGENIERO AUTOMOTRIZ
 Ing. Celín Abad Padilla Padilla Director del Trabajo de Titulación
 Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano Asesor del Trabajo de Titulación