

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA Y PROPULSIÓN CON
CONTROL PARA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UN
CUADRICICLO ELÉCTRICO BIPLAZA URBANO**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Diego Estuardo Lázaro Carbajal

ASESOR:

Diego Martin Arce Cigüeñas


Lima, julio, 2025

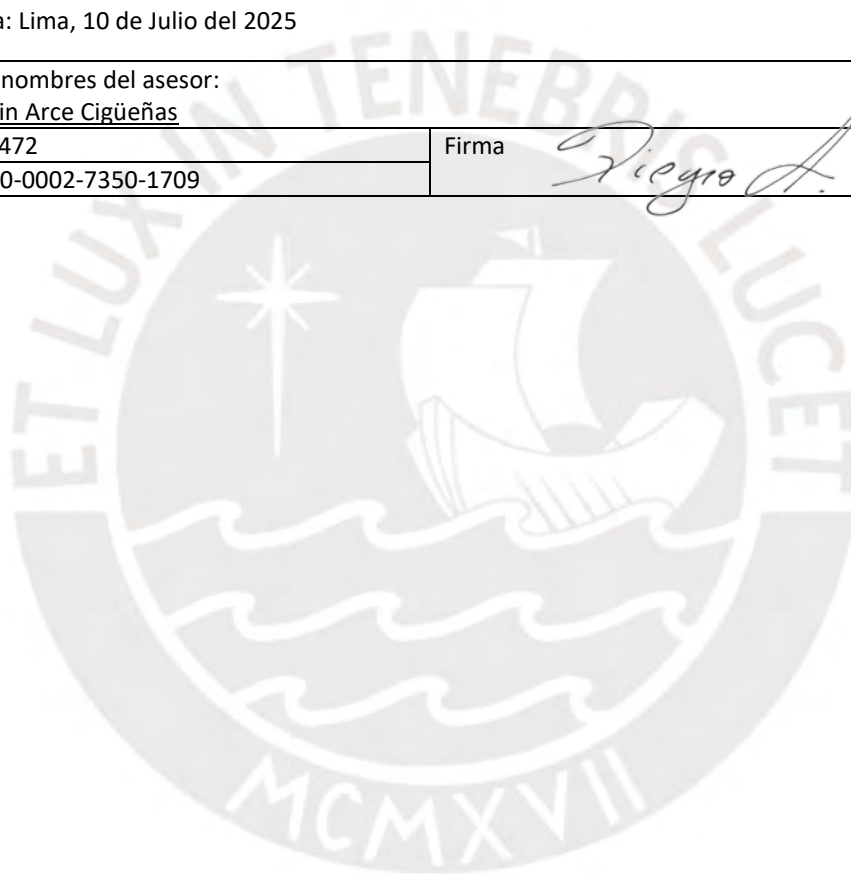
Informe de Similitud

Yo, Diego Martin Arce Cigüeñas, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado “Diseño del sistema de energía y propulsión con control para optimización energética de un cuadríciclo eléctrico biplaza urbano”, del autor Diego Estuardo Lázaro Carbajal, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 07/07/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 10 de Julio del 2025

Apellidos y nombres del asesor: <u>Diego Martin Arce Cigüeñas</u>	
DNI: 46726472	Firma 
ORCID: 0000-0002-7350-1709	



RESUMEN

En esta presente tesis se busca aportar al desarrollo de la tecnología de los vehículos eléctricos. Se toma como objetivo diseñar un sistema de energía y propulsión para un nuevo cuadriciclo eléctrico biplaza de uso urbano, enfocándose en minimizar el precio maximizando la eficiencia. Para ello, se emplea la metodología de diseño mecatrónico PUCP-UFSC, se realiza la investigación necesaria para un marco teórico, se investigan y analizan las tecnologías existentes, y se concreta el diseño conceptual del sistema de energía y propulsión. A grandes rasgos, emplea un sistema de alimentación con baterías de ion litio con BMS integrado, un sistema de propulsión empleando un motor DC Brushless con su respectivo driver, y un sistema de control que usa un microprocesador para la gestión completa del sistema y un microcontrolador para el monitoreo constante del estado de la batería y el motor. Se realizó la investigación de las condiciones de trabajo del sistema, gracias a lo cual fue posible definir un motor de 10 kW y un arreglo de celdas ICR18650-26V con 20 en serie y 27 en paralelo. La selección del resto de componentes fue realizada considerando el precio y la eficiencia, siendo los elementos más resaltantes un STM32 como microprocesador y un ESP32 WROOM 32 como microprocesador. Se desarrolló un algoritmo de control diseñado para hacer uso de forma eficaz del driver y motor DC Brushless, así como de aumentar la autonomía del sistema. Se espera que logre esto gracias a la funcionalidad de freno regenerativo el driver, así como del control de corriente durante el funcionamiento del sistema a batería baja. Sin embargo, aun sin estas funcionalidades, se calcula un estimado de 104.2 km de autonomía. Finalmente, se realiza un presupuesto de la posible implementación del sistema con un recuento de los componentes comerciales a comprar y los procesos de manufactura a emplear, terminando con un precio final de 3270 dólares.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	3
1.1 Problemática	3
1.2 Propuesta de solución	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Alcance	7
1.5 Metodología	7
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1 Vehículos Eléctricos	9
2.1.1 Arquitectura y funcionamiento de un BEV	9
2.1.2 Modelos comerciales de cuadríciclos eléctricos	11
2.1.3 Trabajos de investigación relacionados a energía y propulsión de BEV.....	12
2.2 Sistema de energía de BEV.....	14
2.2.1 Baterías de tracción.....	14
2.2.2 Control de sistema de baterías en BEV.....	16
2.2.3 Componentes comerciales para control de energía en BEV	17
2.2.4 Trabajos de investigación relacionados a gestión energética en BEV.....	19
2.3 Sistema de propulsión de BEV	22
2.3.1 Motores eléctricos.....	22
2.3.2 Transmisión de potencia	24
2.3.3 Trabajos de investigación relacionados a propulsión en BEV.....	26
2.4 Limitaciones legales para cuadríciclos eléctricos	28
DISEÑO CONCEPTUAL.....	30
3.1 Matriz de Requisitos	30
3.2 Descomposición funcional y síntesis de medios	33

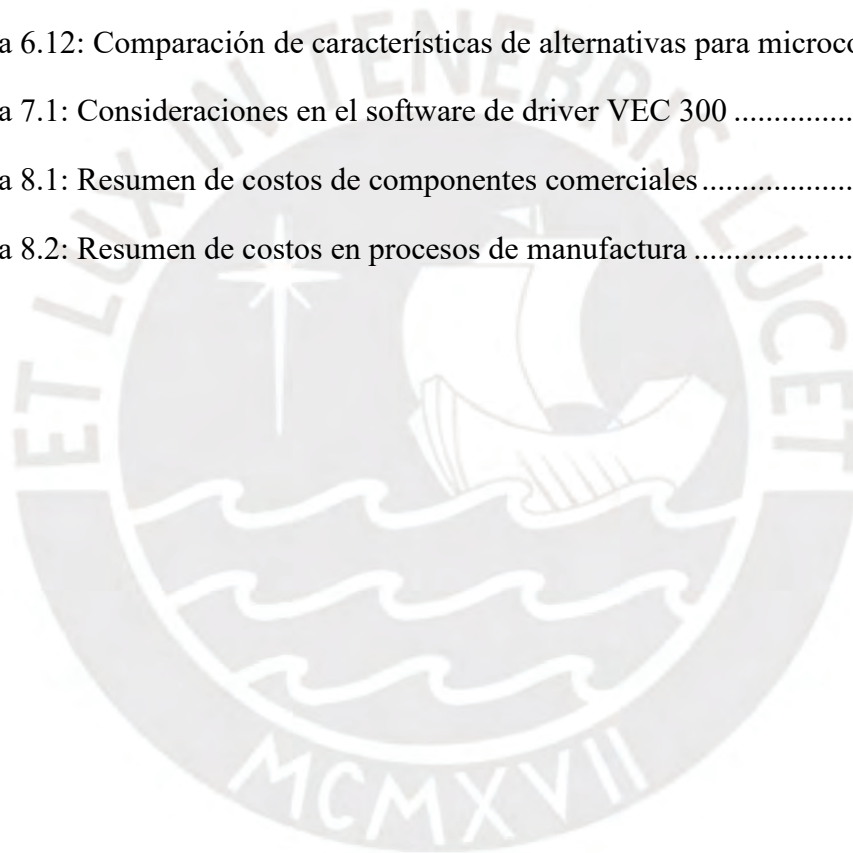
3.2.1 Nivel 1	34
3.2.2 Nivel 2	35
3.2.3 Nivel 3	38
3.2.4 Nivel 4	46
3.2.5 Clasificación del hardware por subsistema	48
3.3 Síntesis de estructura y comportamiento general	49
3.3.1 Arquitectura del sistema mecatrónico	49
3.3.2 Arquitectura del sistema eléctrico - electrónico	50
3.3.3 Diagrama de clases	51
3.3.4 Bosquejos del sistema físico	51
DISEÑO INTEGRAL DEL SISTEMA MECATRÓNICO	54
4.1 Integración del sistema mecatrónico	54
4.2 Funcionamiento del sistema	55
4.3 Diagrama de conexiones	56
4.4 Validaciones de Requisitos de Diseño	57
4.5 Estimación de la autonomía del sistema	60
DISEÑO MECÁNICO	62
5.1 Requerimientos mecánicos	62
5.1.1 Consideraciones físicas	62
5.1.2 Cálculos realizados	64
5.2 Dimensionamiento	67
5.2.1 Diferencial, juntas y eje	67
5.2.2 Caja reductora	67
5.3 Selección de componentes mecánicos	69
5.3.1 Eje de potencia	69
5.3.2 Soportes de celdas	70
5.4 Modelo 3D del sistema	71
5.5 Valores y Estimaciones del Peso Total	76
DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO	77
6.1 Selección de Motor BLDC	77
6.1.1 Driver del motor BLDC	78
6.2 Requerimientos eléctricos	79
6.3 Diagrama de bloques del sistema	81
6.4 Selección de componentes eléctricos	81
6.4.1 Celdas de tracción	81
6.4.2 Battery Management System (BMS)	83

6.4.3 Amperímetro	84
6.4.4 Encoder	85
6.4.5 Voltímetro	86
6.4.6 Pantalla LCD	86
6.4.7 Microprocesador.....	87
6.4.8 Módulo microcontrolador.....	88
6.4.9 Celdas secundarias	89
DISEÑO DE CONTROL Y SOFTWARE	90
7.1 Estrategia de control	90
7.2 Interfaz de interacción con usuario	93
7.3 Diagramas de flujo del sistema	94
7.3.1 Funcionamiento general.....	94
7.3.2 Monitoreo de la energización.....	97
7.3.3 Monitoreo de la propulsión.....	99
PRESUPUESTO	101
8.1 Componentes comerciales	101
8.2 Procesos de manufactura.....	102
8.3 Costos totales	102
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFIA	106
A N E X O S	110

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Comparación de cuatriciclos eléctricos comerciales	11
Tabla 2.2: Comparación de BEV en trabajos de investigación.....	14
Tabla 2.3: Comparación de tipos de batería.....	15
Tabla 2.4: Comparación de componentes comerciales para energización de BEV... ..	19
Tabla 2.5: Comparación de energización de BEV en trabajos de investigación	21
Tabla 2.6: Comparación de tipos de motor eléctrico	23
Tabla 2.7: Comparación de configuraciones para el tren de potencia de un BEV.....	25
Tabla 2.8: Comparación de sistemas de propulsión en trabajos de investigación	28
Tabla 3.1: Requisitos del Usuario	30
Tabla 3.2: Requisitos de Proyecto.....	32
Tabla 3.3: Tabla de evaluación para el nivel 1.....	35
Tabla 3.4: Tabla de evaluación para el nivel 2.....	38
Tabla 3.5: Tabla de evaluación para el nivel 3.....	45
Tabla 3.6: Tabla de evaluación para el nivel 4.....	48
Tabla 3.7: Tabla de subsistemas.....	49
Tabla 4.1: Validación de Requisitos tipo "Demanda"	58
Tabla 4.2: Validación de Requisitos tipo "Deseo"	59
Tabla 4.3: Información del ciclo WLTP para vehículos clase 2	61
Tabla 5.1: Consideraciones físicas ajenas al diseño.....	63
Tabla 5.2: Comparación de vehículos comerciales con tracción delantera	69
Tabla 5.3: Comparación de opciones para soporte de celdas.....	70
Tabla 5.4: Pesos parciales y peso total del sistema.....	76
Tabla 6.1: Comparación entre alternativas de motor BLDC.....	77
Tabla 6.2: Información eléctrica de alternativas de Driver.....	79
Tabla 6.3: Comparación de características de celdas de tracción	82

Tabla 6.4: Comparación entre alternativas de celdas para HPM96-10000.....	83
Tabla 6.5: Comparación entre alternativas de celdas para HPM72-10000.....	83
Tabla 6.6: Comparación de características de alternativas de BMS	84
Tabla 6.7: Comparación de características de alternativas para amperímetro	85
Tabla 6.8: Comparación de características de alternativas para encoder.....	85
Tabla 6.9: Comparación de características de alternativas para voltímetro.....	86
Tabla 6.10: Comparación de características de alternativas para pantalla LCD.....	87
Tabla 6.11: Comparación de características de alternativas para microprocesador...	87
Tabla 6.12: Comparación de características de alternativas para microcontrolador..	89
Tabla 7.1: Consideraciones en el software de driver VEC 300	92
Tabla 8.1: Resumen de costos de componentes comerciales.....	101
Tabla 8.2: Resumen de costos en procesos de manufactura	102

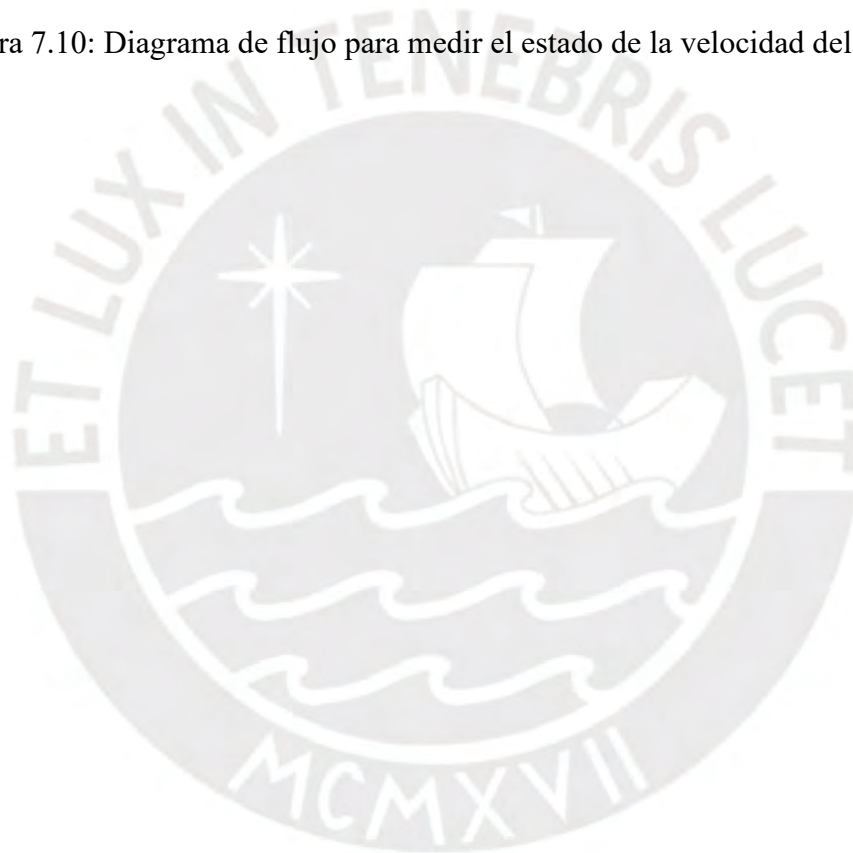


INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Costos y emisiones por tipo de combustible	4
Figura 1.2: Imagen referencial de sistema de energía y propulsión para VE	6
Figura 2.1: Esquema simplificado de los subsistemas de un VE.....	11
Figura 2.2: Carro eléctrico UPChis01	12
Figura 2.3: Prototipo del vehículo eléctrico	13
Figura 2.4: Prototipo del vehículo ITB-1	13
Figura 2.5: Batería de litio 60V 20Ah con BMS integrado	17
Figura 2.6: Batería de litio extraíble de una Super Soco Modelo TC	18
Figura 2.7: Placa de protección de batería de iones de litio BMS PCB.....	18
Figura 2.8: Diagrama general de conexiones del vehículo eléctrico	20
Figura 2.9: Montaje físico del prototipo del todoterreno eléctrico	20
Figura 2.10: Posibles configuraciones del tren de potencia para VE.....	25
Figura 2.11: Motocicleta convertida	26
Figura 2.12: Diagrama de la disposición para la propulsión del vehículo L6.....	27
Figura 2.13: Diagrama de la disposición final para la propulsión del taxi	27
Figura 3.1: Funciones del nivel 1	34
Figura 3.2: Funciones del nivel 2	35
Figura 3.3: Funciones del nivel 3 (parte 1)	39
Figura 3.4: Funciones del nivel 3 (parte 2)	39
Figura 3.5: Funciones del nivel 4	46
Figura 3.6: Arquitectura del sistema mecatrónico	50
Figura 3.7: Arquitectura del sistema electrónico	51
Figura 3.8: Diagrama de clases del sistema	51
Figura 3.9: Sistema general.....	52
Figura 3.10: Subsistema de propulsión	52

Figura 3.11: Subsistema de control.....	53
Figura 4.1: Modelo 3D del sistema de energía y propulsión	54
Figura 4.2: Diagrama de Operaciones del sistema de energía y propulsión	55
Figura 4.3: Gráfico de conexiones simplificado	57
Figura 4.4: Gráfico del ciclo WLTP para vehículos clase 2	60
Figura 5.1: Diagrama de fuerzas del vehículo en un instante cualquiera	64
Figura 5.2: Curva dinámica del motor HPM96-10000	68
Figura 5.3: Curva dinámica del motor HPM72-10000	68
Figura 5.4: Componente diferencial de Kia Picanto	70
Figura 5.5: Modelo 3D general del sistema	71
Figura 5.6: Módulo/Subsistema de propulsión	72
Figura 5.7: Disposición de engranajes	72
Figura 5.8: Colocación esperada del encoder y anillo ranurado	72
Figura 5.9: Colocación esperada de componentes de propulsión en el vehículo.....	72
Figura 5.10: Imagen referencial general del pack de baterías.....	73
Figura 5.11: Imagen referencial de la disposición de celdas	73
Figura 5.12: Imagen referencial de la colocación del BMS.....	74
Figura 5.13: Colocación esperada del pack de baterías	74
Figura 5.14: Imagen referencial de la caja para el módulo de control.....	75
Figura 5.15: Disposición referencial de los componentes en el módulo de control ..	75
Figura 5.16: Colocación esperada de los componentes de control	75
Figura 6.1: Imagen referencia y precio de drivers VEC300	78
Figura 6.2: Imagen referencia y precio de drivers VEC500	78
Figura 6.3: Información tabulada del motor HPM96-10000	80
Figura 6.4: Información tabulada del motor HPM72-10000	80
Figura 6.5: Diagrama de bloques del sistema	81
Figura 7.1: Principio de funcionamiento de Control de Campo Orientado	90

Figura 7.2: Diagrama de cableado del motor HPM con driver	91
Figura 7.3: Software de modificación de parámetros del driver VEC 300	92
Figura 7.4: Concepto del panel de control del sistema	93
Figura 7.5: Concepto de la disposición de información en pantalla LCD	93
Figura 7.6: Diagrama de flujo general actualizado del sistema	94
Figura 7.7: Diagrama de flujo de función “Verificar Estados”	95
Figura 7.8: Diagrama de flujo de función “Propulsar”	96
Figura 7.9: Diagrama de flujo para medir el estado de la batería	98
Figura 7.10: Diagrama de flujo para medir el estado de la velocidad del motor	100



INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se busca aportar a implementación de la electromovilidad en el Perú y el mundo, considerándose este cambio necesario para el ambiente (contaminación ambiental) y la necesidad humana (agotamiento de combustibles fósiles). Uno de los problemas de los vehículos eléctricos (VE), es su poca autonomía comparados con vehículos convencionales de un precio similar. De este modo, se decide participar en el desarrollo de la tecnología presente en los VE actuales, enfocándose en minimizar el precio del sistema, maximizando la eficiencia energética, con ello, la autonomía de los vehículos.

En el primer capítulo se muestra la problemática y la propuesta de solución a desarrollar, así como los objetivos, el alcance y la metodología a aplicar. La problemática se centra en la poca autonomía de los vehículos eléctricos comparados los de combustión interna. Con ello, se propone el diseño de un nuevo cuadríciclo eléctrico biplaza de uso urbano del cual, este trabajo se centra en su sistema de energía y propulsión.

En el segundo capítulo se define el concepto de vehículo eléctrico y sus tipos, estableciendo al vehículo eléctrico de baterías (BEV) como el escogido para desarrollar el proyecto. Su funcionamiento y sistemas primordiales se detallan y se realiza una revisión del estado del arte de los principales subsistemas, los cuales son el de propulsión y el de energía.

En el tercer capítulo se presentan los diferentes pasos seguidos para la definición del concepto de solución del sistema, luego de lo cual se diseñan las estructuras tanto del sistema mecatrónico como eléctrico. Además, se desarrollan bosquejos tentativos del sistema.

En el cuarto capítulo, se realiza una presentación general del diseño mecatrónico desarrollado en el proyecto. Primero, se presenta una visualización general aproximada de los diferentes módulos. Luego, se da una breve descripción y explicación del funcionamiento general del sistema, se presentan los componentes y sus conexiones a través de diagramas y gráficos. Se pasa a presentar las validaciones

realizadas de los requisitos de diseño planteados anteriormente. Finalmente, se hace un calculo tentativo de la autonomía total del sistema.

En el quinto capítulo, se desarrollan las diferentes consideraciones, cálculos y criterios de selección en lo que respecta al diseño físico del sistema. Se toman en cuenta las condiciones de trabajo y la física relacionada para realizar el dimensionamiento y la selección de los componentes mecánicos así. Se presenta el modelo 3D del sistema y se detalla en cada módulo.

En el sexto capítulo, se desarrollan las diferentes consideraciones, cálculos y criterios de selección en lo que respecta al diseño eléctrico y electrónico del sistema, tomando en cuenta las condiciones de trabajo partiendo desde la selección del motor, siendo este el componente de mayores requerimientos de voltaje y amperaje. Luego se analiza de forma ordenada el motor junto al resto de componentes organizándose en un diagrama de bloques y la selección específica de estos.

En el séptimo capítulo, se explica el modo de uso del driver, la interfaz de interacción con el usuario y los diagramas de flujo de sistema. El uso del driver se explica a través de la tecnología FOC y se detallan sus diferentes funcionalidades. La interfaz de usuario se resume en la pantalla LCD, los interruptores de selección y los leds de aviso. Los diagramas de flujo se detallan tanto para la programación del microcontrolador como para el microprocesador.

Finalmente, en el octavo capítulo, se realiza un recuento de todos los costos relacionados a la posible implementación del proyecto. Primero se analizan los precios por la compra de componentes comerciales disponibles en el mercado, luego se analizan los precios por la fabricación de componentes diseñados. Todos los costos se suman para hallar el costo final.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el presente capítulo se presenta la problemática y la propuesta de solución a desarrollar, así como los objetivos, el alcance y la metodología a emplear. La problemática se centra en la poca autonomía que tienen los vehículos eléctricos actuales comparados con los modelos comerciales de combustión interna. La propuesta de solución es un nuevo sistema de energía y propulsión para un cuadriciclo eléctrico biplaza. La metodología usada es la PUCP-UFSC.

1.1 Problemática

Según una nota informativa de la Organización Internacional del Trabajo (2020), el empleo directo a nivel mundial generado por la industria automotriz se estimaba en casi 14 millones de trabajadores durante el 2017, cifra comparable a la de las grandes economías del mundo. De este modo, el automóvil es uno de los productos más comercializados en la actualidad y, lamentablemente, esto representa un serio problema. Según datos de PwC Strategy&, el 91% del total de registros de vehículos nuevos en Estados Unidos son de motor de combustión interna; y, en China, la cifra es algo menor con 85.9% (Kuhnert et al., 2022). Esta dependencia no es alarmante solo porque el petróleo sea una fuente de energía no renovable (se espera que se agote eventualmente), sino también por el impacto ambiental que implica. Presentando el caso nacional, el transporte terrestre fue responsable del 32% de las emisiones del CO₂ del sector energía en el Perú según el Segundo Informe Bial De Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ministerio del Ambiente, 2019).

Dada la no renovabilidad del petróleo como fuente de energía y la contaminación atmosférica de los motores a combustión convencionales, se han buscado alternativas para la fuente de poder los vehículos. Se han presentado opciones de combustibles menos contaminantes como el gas natural vehicular (GNV) o el gasohol, los cuales producen menos emisiones. Sin embargo, son los vehículos eléctricos (VE) los que representan la mejor alternativa para mitigar las emisiones pues representan una contaminación atmosférica casi nula (ver figura 1.1). No obstante, la electrificación del parque automotor o, lo que vendría a ser lo mismo, la

electromovilidad aún tiene retos que superar para lograr su implementación (Schmerler et al., 2019).

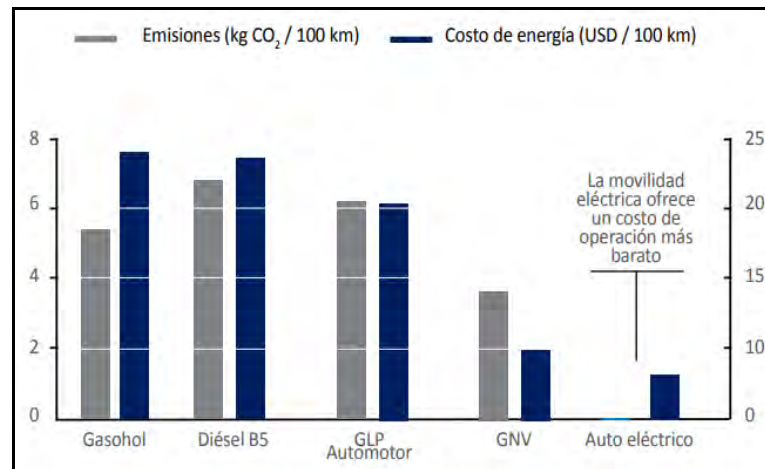


Figura 1.1: Costos y emisiones por tipo de combustible

Fuente: Osinergmin

La principal problemática a tener en consideración es la autonomía de la batería, pues es menor a la de los autos convencionales de combustión interna de precio similar; de modo que, para hallar una autonomía comparable se debe pagar un precio mayor. Para realizar una comparación, se puede tomar de referencia el auto Kia Río, que según un artículo de TopDriverz (2022) fue el auto más comprado en Perú en el año 2021. Según la página de especificación de Kia Motors (2022), el modelo cuenta con aproximadamente 630 km de autonomía con el tanque lleno y cuesta, en principio, 16250 dólares. Por el lado de los VE, en un artículo del portal Xataka, se presenta una lista con los autos eléctricos de mayor autonomía disponibles en España. De estos, el de mayor autonomía, 610 km, tiene un costo de 87800 euros, y el más asequible de 40050 euros, tiene 449 km por batería cargada (Munguía, 2021). Luego, si se buscara una alternativa más asequible, se tiene a los cuadríciclos eléctricos. De estos, se puede tomar de ejemplo a Kitty, modelo el cual puede adquirirse en España por algo más de 6800 euros, el cual cuenta con una autonomía de sólo 120 kilómetros (Elecmbility, 2022).

Así, se observa que los autos de combustión interna vencen a los VE en este aspecto, lo cual genera una falta de apoyo a políticas para la implementación de la electromovilidad en Perú. Esto se evidencia en que solo en diciembre de 2020, el Ministerio del Ambiente presentó como una transformación necesaria la electrificación del parque automotor. Esto dentro del contexto de la ratificación de los compromisos asumidos en el Acuerdo de París. Cabe resaltar que fue en 2016

cuando el Perú asumió en este acuerdo el compromiso de reducir en 20% las emisiones de GEI en el 2030, con respecto al 2010 (Guinand, 2020). Aun con lo antes mencionado, según información de la Asociación Automotriz del Perú (2022), la venta de vehículos eléctricos tuvo un aumento del 32%, de 25 en 2020 a 33 en 2021, cifras poco comparables a, por ejemplo, el total de 46029 automóviles vendidos en el año 2021.

De este modo, si se desea tener un VE a menor costo, la poca autonomía implicaría una constante necesidad de parametrizar la longitud de los viajes, así como la incapacidad de realizar viajes demasiado largos, de forma que se evite el quedarse varado durante el trayecto al agotar la batería. Estas condiciones son las que generan que no se tome a los VE como una alternativa factible para reemplazar a los autos convencionales. Finalmente, una forma de resolver este problema consistiría en optimizar la eficiencia energética del vehículo de modo que con la misma carga pueda conducir durante más tiempo. Esto sería posible desarrollando más el control del flujo energético desde el banco de baterías hacia el sistema de propulsión de los VE a fin de mejorar su autonomía.

1.2 Propuesta de Solución

En el presente trabajo se busca aportar al desarrollo de la tecnología energética presente en los VE actuales. De este modo, se desarrollaría un sistema de energía y propulsión para un cuadríciclo eléctrico biplaza urbano (véase la figura 1.2). Se enfocará en minimizar el precio del sistema, maximizando la eficiencia energética del conjunto baterías-motor, con ello, la autonomía del vehículo. Asimismo, se espera que este sistema pueda ser integrado en un nuevo diseño de cuadríciclo eléctrico biplaza urbano, el cual se encuentra en desarrollo.

El sistema contaría con un arreglo electrónico que interconecta las baterías entre sí y con cada uno de los sistemas del vehículo, luego se espera que una computadora domine la lógica de la distribución energética hacia el motor y sistema de arranque, así como el sistema de enfriamiento y la interfaz de interacción con el usuario. Esta interfaz no solo implicaría una forma de observar los datos relevantes para el usuario (porcentaje de batería, por ejemplo), sino también permitiría controlar diferentes modos de desempeño de los vehículos (modo ahorro de energía, modo máxima eficiencia, por ejemplo).



Figura 1.2: Imagen referencial de sistema de energía y propulsión para VE

Fuente: Motorpasion

1.3 Objetivos

Se presentan los objetivos a considerar durante el desarrollo del proyecto dividiéndose entre este primer semestre y las del proyecto general.

1.3.1 Objetivo General:

Diseñar un sistema de energía y propulsión con control de optimización energética para un cuadriciclo eléctrico biplaza urbano

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Buscar información sobre la teoría referente a la electromovilidad y las tecnologías actuales sobre los sistemas de energía y propulsión de los vehículos eléctricos
- Definir los requisitos, funciones y medios para el diseño del sistema y elegir las tecnologías más aptas desarrollando así el concepto de solución del sistema
- Realizar el diseño del subsistema de propulsión, definiendo las condiciones físicas de trabajo para el sistema, así como calculando su demanda energética para asegurar su correcta energización
- Realizar el diseño del subsistema de energía, considerando la selección de las celdas de almacenamiento y su configuración para asegurar una energización eficaz y eficiente
- Realizar el diseño del subsistema de control, enfocado en la optimización energética, considerando componentes de bajo consumo y precio, así como asegurar interacción eficaz con el usuario
- Elaborar un presupuesto de implementación del sistema y los procesos de fabricación requeridos para su producción

1.4 Alcance

El sistema que será diseñado está enfocado para la alimentación de los sistemas presentes en un cuadriciclo eléctrico biplaza, en especial el sistema de propulsión, con la intención que su lógica pueda usarse en vehículos de mayor tamaño. Además, se espera que este sistema sea parte del diseño de un nuevo cuadriciclo eléctrico biplaza, conformando el subsistema de energía, propulsión, control e interacción de este.

1.5 Metodología

En primer lugar, la metodología elegida para el desarrollo del proyecto es la PUCP-UFSC (de Negri et al., 2021), la cual puede resumirse de la siguiente manera:

1. Se identifica la problemática a trabajar
2. Se desarrolla el Marco Teórico
3. Se obtiene la idea preliminar del producto según la información anterior
4. Se analiza el Estado del arte (Productos comerciales, artículos académicos y patentes)
5. Se redacta la lista de Requisitos de Usuario según la información anterior y otros medios como entrevistas a posibles usuarios del producto
6. Se definen los Requisitos de Proyecto al trabajar los Requisitos de Usuario en la Matriz de Requisitos
7. Se elabora el Árbol de Funciones y Medios en el que se identifican los componentes a emplear en el producto
8. Se elige la combinación óptima de componentes según la información anterior
9. Se realizan las arquitecturas de sistemas mecatrónico y eléctrico, el diagrama de comportamiento y bosquejos concretando el diseño conceptual del sistema
10. Se realizar los diseños del sistema por dominio, considerando los dominios requeridos: dominio mecánico, dominio eléctrico, dominio electrónico, dominio de software, etc.
11. Cada diseño de dominio se realiza de formo interactiva y simultánea a los demás, de modo que finalmente se concreta el dominio de integración total del sistema.

12. Realizar la documentación requerida de los diseños y las pruebas que validen los requerimientos del proyecto, así como los planos totales del sistema.
13. Organizar un aparatado de costos y presupuestos que refleje que componentes, materiales y procesos de manufactura sería requeridos para la implementación del proyecto.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se presenta el concepto de vehículo eléctrico y sus tipos, estableciendo al BEV como el elegido para desarrollar el proyecto. Su funcionamiento y componentes principales se detallan y se reconocen como principales subsistemas los de energía y propulsión. Luego, se desarrollan ambos subsistemas y sus componentes, haciendo una revisión del estado del arte de ambos, así como de los cuadríciclos en la actualidad.

2.1 Vehículos eléctricos

Cuando se comparan las diferentes tecnologías dentro de los vehículos de combustión interna y las pertenecientes a un VE, se observa que estos últimos son menos complejos, presentando menos subsistemas y un principio de funcionamiento distinto. Por ello, se considera necesario conocer y entender el funcionamiento de cada subsistema, así como de todos trabajando en conjunto. Cada uno tiene ciertas consideraciones que se deben tener en cuenta para que cumplan su función correctamente y que sea posible mejorar su eficiencia en el presente proyecto.

En primer lugar, se debe considerar que existen diferentes categorías de VE y cada una tiene un funcionamiento diferente y, con ello, diferentes subsistemas. Un tipo popular son los HEV (Hybrid Electric Vehicle) los cuales poseen un motor de combustión interna y motor eléctrico. En ellos, las baterías se recargan usando la energía generada por el motor de combustible. Por otro lado, están los PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), en los cuales se posibilita la carga de baterías de forma externa, de este modo mejoran la autonomía. Sin embargo, el presente estudio se centrará en los BEV (Battery Electric Vehicle) los cuales son vehículos completamente eléctricos que emplean el uso de baterías para su alimentación, por ello requieren de una terminal externa para su recarga (Simon Electric, 2019).

2.1.1 Arquitectura y funcionamiento de un BEV

Es posible describir el funcionamiento general de un BEV siguiendo el flujo de corriente eléctrica que posee internamente, por lo que comenzamos desde la fuente de alimentación externa. Para permitir la conexión directa del VE con la red

eléctrica, se cuenta con un subsistema de carga, también conocido como "cargador", cuyo papel es modificar el voltaje y la corriente que proviene de la red eléctrica de manera que sea compatible con la carga del sistema de baterías. Si existiese un módulo de carga externo que ya ejecuta esta función, no se requeriría un cargador interno para ello.

Luego, el flujo eléctrico saliente del cargador se dirige al sistema de alimentación interno del vehículo, aunque esta corriente solo carga directamente las baterías de tracción”, es decir, el sistema de baterías encargado directamente de la alimentación del motor. El flujo continúa hacia la “unidad de control de baterías”, la cual gestiona las principales características de carga y comprueba que todos los parámetros estén en los niveles establecidos, de lo contrario, desconecta el sistema. Durante el funcionamiento normal, la corriente de bajo voltaje de las baterías de tracción se transforma en corriente de alto voltaje que se utiliza para alimentar el motor a través de un sistema de conversión DC/DC.

Adicionalmente, hay un convertidor secundario que baja el voltaje a 12V o 24V para recargar una batería secundaria de dicho voltaje. Esta se emplea para alimentar el resto de sistemas del VE incluyendo la “unidad de control central”. Esta cuenta con un microprocesador el cual controlaría los 2 subsistemas de control, el de las baterías y la “unidad de control de motor”. Se emplea de este modo para permitir que se encienda la unidad de control antes que el sistema de tracción.

Finalmente, la corriente de alto voltaje saliente del conversor DC/DC es tomada por la unidad de control del motor, la cual gestiona la velocidad y el torque de este. En caso se utilice un motor de corriente alterna, se esperaría que en lugar de un conversor DC/DC se utilice un inversor DC/AC. Sin embargo, este inversor puede ser incluido en la unidad de control para un control más preciso. Ahora bien, es posible que la corriente tome el camino opuesto a través de una funcionalidad de freno regenerativo, en la cual el motor funciona como generador durante el frenado o reducción de velocidad y cargue brevemente la batería. Gracias a esta funcionalidad, es posible aumentar la autonomía de un BEV desde un 20% hasta un 40% (Szumska, 2025).

En resumen, un vehículo eléctrico se compondría de un cargador (dependiendo del caso), un arreglo de baterías de tracción y su unidad de control, un convertidor de

corriente (DC/DC o DC/AC), un convertidor secundario, una batería secundaria, el motor y su unidad de control, y finalmente, la unidad de control central. (véase la figura 2.1)

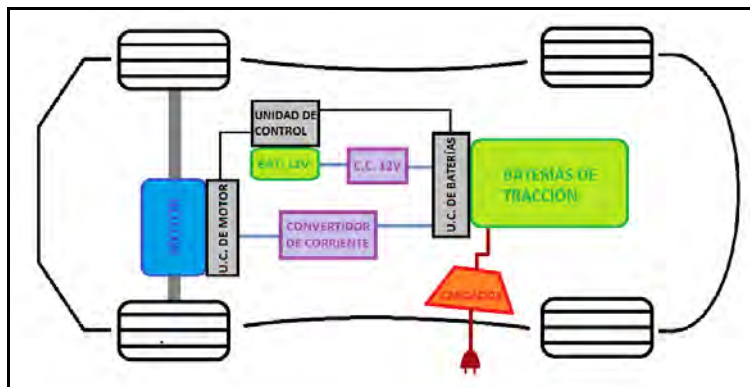


Figura 2.1: Esquema simplificado de los subsistemas de un VE

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Modelos comerciales de cuadríciclos eléctricos

El presente trabajo busca realizar los subsistemas de energía y propulsión de un nuevo cuadríciclo eléctrico biplaza, de este modo, es apropiado realizar una comparación entre algunos modelos existentes disponibles en el mercado (véase tabla 2.1). De esta comparación, se observa que en general, una batería con más almacenamiento aumenta la autonomía, pero también el precio. Así mismo, disminuir la potencia de motor puede mejorar la autonomía, sin embargo, esto puede restringir la velocidad máxima y la subida de cuestas.

Tabla 2.1: Comparación de cuadríciclos eléctricos comerciales

Fuente: Elaboración propia

Modelo	XEV Kitty ¹⁾	Citroën Ami ²⁾	Estrima Birò ³⁾
Autonomía	120 km	75 km	90 km
Velocidad Máxima	80 km/h	45 km/h	45 km/h
Potencia de Motor	7.5 kW	6 kW	4 kW
Batería	9 kWh	5.5 kWh	5 kWh
Plazas	2	2	2
Tracción	Trasera	Delantera	Trasera (2 motores)
Precio	8280 euros	7200 euros	6000 euros

(1) [Elecmbility, 2022], (2) [Rodríguez, 2021], (3) [Estrima, 2022]

2.1.3 Trabajos de investigación relacionados a energía y propulsión de BEV

Así como se realizó una comparación entre algunos modelos existentes disponibles en el mercado para sistemas de energía y propulsión de BEV, se considera apropiado realizar un estudio similar sobre otros trabajos de investigación relacionados con el tema. Por ello, en esta sección se presentan algunos ejemplos junto a su descripción. Finalmente, se incluye un párrafo de comparación que resume los hallazgos.

- **Diseño de un sistema de suministro de energía para vehículos eléctricos usando lógica difusa**

Este artículo propone un enfoque para la administración de energía aplicado en el vehículo eléctrico UPChis01 (Fig. 2.2) basado en la reducción de la corriente de potencia aplicada al banco de baterías. El desarrollo del sistema se basa en lógica difusa con lo que logra minimizar su consumo total de energía y optimizar el banco de baterías (Osuna et al., 2018).



Figura 2.2: Carro eléctrico UPChis01
Fuente: Research in Computing Science

- **Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular**

En el artículo se propone un prototipo de vehículo eléctrico de dos asientos (Fig. 2.3) como una alternativa a la contaminación de los vehículos de gasolina tipo go-kart 7.5 kW de la ciudad de Baños en Ecuador, con el fin de reducir las emisiones contaminantes. El rendimiento del vehículo se evalúa en las siguientes condiciones: prueba de frenado, prueba de potencia (línea recta y pendiente 14%), prueba de frenado regenerativo y prueba de autonomía, logrando resultados esperados. Se concluye que hay dos componentes principales que deben ser considerados para lograr mayor eficiencia en un BEV: la batería y los motores eléctricos (Rocha-Hoyos, 2017).



Figura 2.3: Prototipo del vehículo eléctrico
Fuente: Scielo

- **Testing Performance of 10 kW BLDC Motor and LiFePO4 Battery on ITB-1 Electric Car Prototype**

El “Institut Teknologi Bandung” (ITB) participó en el desarrollo de un prototipo de vehículo eléctrico urbano (Fig. 2.4) como respuesta al impulso de esta tecnología en Indonesia. Se comprobó que dos componentes fundamentales en el coche eléctrico son el motor eléctrico y su sistema de almacenamiento de energía. El motor utilizado en este automóvil eléctrico ITB-1 es del tipo de motor CC sin escobillas. Se utilizará un controlador para convertir la fuente de CC en CA para la fuente de alimentación del motor. Se concluyó que el voltaje es uno de los parámetros a controlar para que la batería pueda protegerse de manera efectiva (Purwadi et al., 2013).



Figura 2.4: Prototipo del vehículo ITB-1
Fuente: Science Direct

- **Comparación en resultados de trabajos de investigación:**

Se decidió analizar algunos resultados en trabajos de investigación académica relacionados a la implementación de BEV para complementar la información obtenida de los modelos existentes disponibles en el mercado. Las principales características de estos se ordenaron de forma que facilitar la comparación entre cada artículo (véase tabla 2.2).

Tabla 2.2: Comparación de BEV en trabajos de investigación
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Autonomía	Batería	Motor	Control	Método de eficiencia
UPChis01 ⁽¹⁾	-	12 * 6V plomo ácido	DC	Lógica difusa	Minimizar la corriente de salida de baterías
Prototipo BEV tubular ⁽²⁾	35 km	4*12V (1.44 kWh)	DC	Control PWM	Frenado regenerativo
ITB-1 Electric car ⁽³⁾	46-52 km	80 VCD ión litio	DC Brushless	Control de velocidad electrónico	Elección de componentes eficientes y corriente constante

(1) [Osuna et al., 2018], (2) [Rocha-Hoyos, 2017], (3) [Purwadi et al., 2013]

De esta comparación, se observa que en general, se emplean motores DC; sin embargo, se considera el caso especial del motor DC Brushless. Este requiere de la aplicación de voltaje DC de forma alternativa, lo cual requiere de un tipo de inversor DC/AC. Considerando este tipo de corriente, todos los trabajos realizan el control del sistema a partir de onda PWM, aunque con diferentes métodos. Finalmente, todos los trabajos consideran diferentes formas de minimizar el consumo de la energía de la batería, teniendo en todos los casos resultados que logran los objetivos de cada investigación. De este modo, se espera considerar estos métodos para mejorar la autonomía del trabajo presente.

2.2 Sistema de energía de BEV

Como se explicó anteriormente, la alimentación de un BEV se basa en las baterías de tracción, por ello estas son piezas clave para su funcionamiento. Debido a esto, se busca preservar su tiempo de vida útil lo más posible, así como sacar el máximo rendimiento de estas. Así, lograr el equilibrio entre proteger la integridad de la batería y utilizar eficazmente su energía durante la operación del vehículo es una tarea crítica la cual requiere de la “unidad de control de baterías” mencionada anteriormente.

2.2.1 Baterías de tracción

Una batería es un dispositivo que acumula energía eléctrica por medio de procesos electroquímicos, de este modo existen muchos tipos de baterías las cuales se diferencian por su proceso electroquímico. A nivel técnico, se puede desarrollar una extensa teoría sobre el proceso interno de funcionamiento de una batería y la

eficiencia de sus reacciones internas. Actualmente, las baterías de reacción de plomo ácido, ion litio y polímero de litio son las más empleadas en los vehículos actualmente. Sin embargo, a nivel funcional, los tipos de baterías se pueden diferenciar en su capacidad de almacenamiento y su capacidad de descarga. En primer lugar, la capacidad de almacenamiento incluye los conceptos de energía específica (energía almacenada por unidad de masa) y densidad de energía (energía almacenada por unidad de volumen), así como el tiempo de carga requerido. Por otro lado, la capacidad de descarga implica la velocidad con la que la batería puede entregar su energía, es decir, la potencia de la batería, la cual también puede medirse por unidad de masa o volumen (Amairany, 2021). Tomando en cuenta estas características, es posible hacer una comparación entre diferentes tipos de baterías y analizar cuáles son las mejores alternativas según el caso (véase tabla 2.3).

Tabla 2.3: Comparación de tipos de batería
Fuente: Repositorio Institucional de la Universidad de La Laguna

Tipo	Energía específica (Wh/kg)	Densidad de energía (Wh/l)	Potencia Específica (W/kg)	Ciclos de vida	Tiempo de carga rápida
Baterías de plomo ácido	30 - 40	60 – 75	180 - 250	500 - 1000	8 - 16
Níquel-Cadmio	45 - 80	80	150	500 - 2000	1
Níquel-Hidruro metálico	60 - 120	150	200	600 - 3500	2 - 4
Azufre de sodio	150	50 – 200	150 - 240	2500	2 - 4
Iones de litio	110 - 250	250 – 620	250 - 340	1000 - 8000	2 - 4
Polímero de iones de litio	130 - 200	300	10000	+ 1000	1 – 1.5

Se observa que las baterías de azufre de sodio, ion litio y polímero de litio son las que presentan una mayor energía específica. Esta característica es importante en nuestro caso pues implica un mayor almacén de energía con menor masa del vehículo, lo que disminuye la potencia de motor mínima requerida para propulsar el BEV. Luego, otro parámetro a tomar en cuenta es la densidad de energía, pues permitiría que las baterías se almacenarían en un espacio reducido haciendo posible organizar los componentes del sistema de energía de forma más eficiente. En este apartado las baterías de ion litio parecen superiores, aunque las de polímero de litio tienen un valor cercano. Considerando la potencia específica, se observa que las baterías de polímero de litio tienen la gran superioridad, sin embargo, esta característica no es un punto clave en el caso, por lo que valores menores como las

de baterías de plomo ácido, azufre de sodio o ion litio también son considerables. En el caso de los ciclos de vida los iones de litio vuelven a tener superioridad, aunque el níquel-hidruro metálico, el azufre de sodio y los polímeros de litio pueden ser factibles también. Finalmente, la superioridad en el tiempo de carga es de las baterías de níquel-cadmio.

2.2.2 Control de sistema de baterías en BEV

La unidad de control de la batería en un BEV se trata en muchos casos de un sistema completo más que un elemento individual, sin embargo, actualmente es posible encontrar un componente especializado para esta labor. Este sistema de gestión electrónica de la batería es llamado BMS (Battery Management System). Se trata de una unidad de control en sí misma, la cual realiza la monitorización de ciertos parámetros fundamentales para la seguridad y el correcto funcionamiento de cada una de las celdas que conforman internamente la batería, tales como la tensión, temperatura, estado de carga (SOC) y profundidad de descarga (DOD). Usando esta información, el BMS busca proteger a las celdas de daños durante el funcionamiento, prolongar su vida útil y mantener su óptimo estado de trabajo.

De estos existen 3 tipos: centralizado (un solo controlador se conecta cada celda de la batería), distribuido (cada celda tiene un BMS simple) y modular (hay algunos BMS que se comunican entre sí). Observando cada tipo podemos darnos cuenta que en todos al menos hay un BMS conectado directamente a una celda, de este modo es capaz de analizar valores individuales de cada celda. De este modo, el BMS regula que las celdas tengan una tensión uniforme evitando que algunas lleguen a valores muy elevados o muy bajos de tensión. En cada caso, si durante la descarga el voltaje de las baterías llega a ser muy bajo (subtensión) o durante la carga el voltaje aumenta a un punto crítico (sobretensión), el BMS desconecta la batería. Ejemplos más completos también toman en consideración los flujos de corriente o si las terminales han tenido cortocircuito, así como si la temperatura del sistema llega a valores críticos. Actualmente multitud de baterías, especialmente las baterías de litio, ya vienen con un BMS integrado, el cual cumple con todas las consideraciones antes explicadas.

Generalmente cuando una batería ya cuenta con un BMS integrado, este cumple de forma precisa la gestión eléctrica pero no la gestión térmica, pues cuando se alcanzan

temperaturas elevadas solo desconectan la batería. Con ello, se espera que las baterías entreguen el calor al ambiente en un enfriamiento pasivo y por aire. Otros sistemas más grandes y complejos pueden realizar un enfriamiento activo haciendo recorrer un fluido por entre las celdas de modo que no se llegue a una temperatura en primer lugar. Sin embargo, una batería se calienta cuanto más rápido se descarga, de modo que en casos en donde no se busca que la batería ofrezca una gran potencia no se requiere de un sistema de enfriamiento tan sofisticado.

2.2.3 Componentes comerciales para control de energía en BEV

Se considera apropiado realizar un estudio de mercado sobre las diferentes formas de energización para BEV disponibles. Por ello, en esta sección se presentan algunos ejemplos junto a su descripción. Finalmente, se incluye un párrafo de comparación que resume los hallazgos.

- **Batería de litio para bicicleta eléctrica GTK**

La empresa GTK Power Batteries ofrece a través de la plataforma de aliexpress una batería de ion litio destinada a bicicletas eléctricas (Fig. 2.5) la cual presenta 60V y 20Ah (1.2kWh) y cuenta con un BMS integrado para la regulación inteligente de su operación (GTK Power Batteries, s. f).



Figura 2.5: Batería de litio 60V 20Ah con BMS integrado
Fuente: Aliexpress

- **Batería de litio extraíble de Super Soco**

Super Soco es una empresa que ofrece dentro de sus productos una gama de motocicletas eléctricas que tienen la cualidad de tener baterías extraíbles (Fig. 2.6). De este modo, existe la posibilidad de cambiarla de forma sencilla o de cargarla en cualquier momento para luego conectarla nuevamente a la moto. Estas motos

cuentan con un fusible interno para desconectar la batería internamente antes de quitar el cable físico de la batería por seguridad (Super Soco, s. f).



Figura 2.6: Batería de litio extraíble de una Super Soco Modelo TC
Fuente: Supersoco

- **Placa de protección de batería de iones de litio BMS PCB**

Es posible comprar solo el BMS en forma de placa (Fig. 2.7) como una alternativa más simple y que permite que se le agreguen componentes complementarios a un pack de baterías, por ejemplo, un sistema de enfriamiento. Este componente representaría un gestor de energía sencillo en busca de ser complementado por otros sistemas. Sin embargo, esto implica también la compra de las celdas individualmente lo cual puede hacer que la alternativa sea más costosa en caso se deseen voltajes y amperajes muy altos, con lo cual se requiere un mayor número de baterías. (Banggood, s. f.)



Figura 2.7: Placa de protección de batería de iones de litio BMS PCB
Fuente: Banggood

- **Comparación en resultados de componentes comerciales:**

Se realiza el análisis sobre algunos componentes comerciales relacionados a la alimentación y gestión energética en los BEV para ampliar la información de la

teoría antes explicada. Las principales características de estos se ordenaron de forma que se facilitara la comparación entre cada producto y poder realizar conclusiones útiles para el proyecto (véase tabla 2.4).

Se observa que la forma de protección sobre factores externos empleados es la simple desconexión de la batería de la carga externa. Además, ninguno posee un sistema para el control térmico, lo cual puede deberse a que las baterías que se desea controlar no están destinadas a valores muy elevados de descarga por cada celda. Esto se evidencia en valores bajos de potencia de descarga en el sistema, cabe resaltar que, si bien la batería de la Super Soco tiene más autonomía que la de GTK, se espera que esta trabaje a menos potencia de descarga. Como se explicó anteriormente, los vehículos eléctricos pequeños generalmente disminuyen la potencia para maximizar la autonomía. También, se observa que el precio de las baterías con BMS integrado son elevados aun cuando el precio del BMS por sí solo es más bien bajo. Esto puede deberse a la marca o a la completitud de funciones que presenta el sistema, pues la Super Soco, si bien es la más cara también es la más completa y que ofrece más control y seguridad para la batería.

Tabla 2.4: Comparación de componentes comerciales para energización de BEV

Fuente: Elaboración propia

Nombre	Potencia	Voltaje y Amperaje	Control de BMS	Medio de protección	Precio
Batería de litio GTK⁽¹⁾	1.6kW	60V 20Ah (1.2 kWh)	Sobrecarga, sobredescarga, temperatura y voltaje individual	Desconexión de la batería y control de equilibrio de celdas (voltaje)	360 dólares
Batería de litio extraíble Super Soco TC⁽²⁾	1.1kW	60V 30Ah (1.8 kWh)	Sobrecarga, sobredescarga, temperatura, cortocircuito, sobrecorriente y voltaje individual	Desconexión de la batería y control de equilibrio de celdas (voltaje y corriente)	990 dólares
BMS PCB⁽³⁾	-	42V 45A (que soporta)	Sobrecarga, sobredescarga y voltaje individual	Desconexión de la batería y control de equilibrio de celdas (voltaje)	16 dólares

(1) [GTK Power Batteries, s. f.], (2) [Super Soco, s. f.], (3) [Banggood, s. f.]

2.2.4 Trabajos de investigación relacionados a gestión energética en BEV

Así como se realizó una comparación entre modelos de energización disponibles en el mercado, se considera apropiado realizar un estudio similar sobre otros trabajos de

investigación que trabajaran este tema. Por ello, en esta sección se presentan algunos ejemplos junto a su descripción. Finalmente, se incluye un párrafo de comparación que resume los hallazgos.

- **Diseño de la batería de un vehículo eléctrico para Formula Student ULL**

En el documento se detalla el proceso de investigación, diseño y fabricación del pack de baterías para un vehículo Formula Student Eléctrico (Fig. 2.8) el cual se espera que desarrolle una carrera de 22km contra otros vehículos (Amairany, 2021).

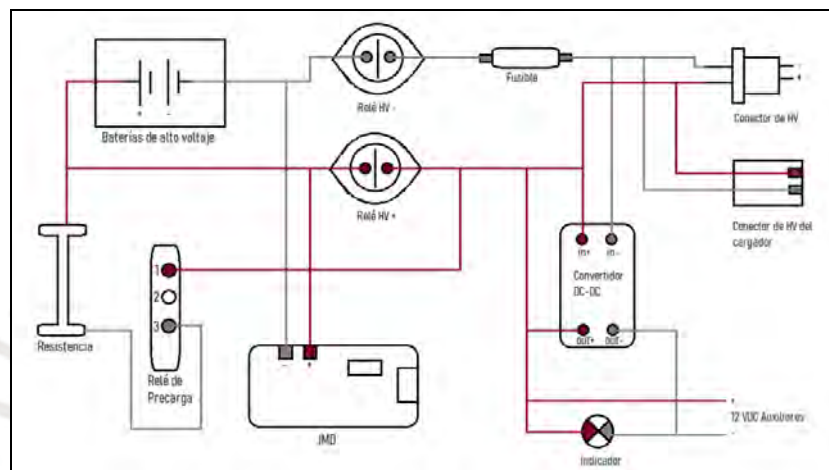


Figura 2.8: Diagrama general de conexiones del vehículo eléctrico
Fuente: Repositorio Institucional de la Universidad de La Laguna

- **Sistema extensor de autonomía y de gestión de la batería para un vehículo eléctrico**

Este proyecto implica el diseño, construcción y ensamblaje de un vehículo todoterreno eléctrico a escala que incluye un sistema de autonomía extendida (Fig. 2.9). Esta combinación es capaz de almacenar y proporcionar energía electromecánica y de favorecer el desplazamiento del vehículo por diversos terrenos, entregando dicha energía donde se requiera. (Motore, 2018).

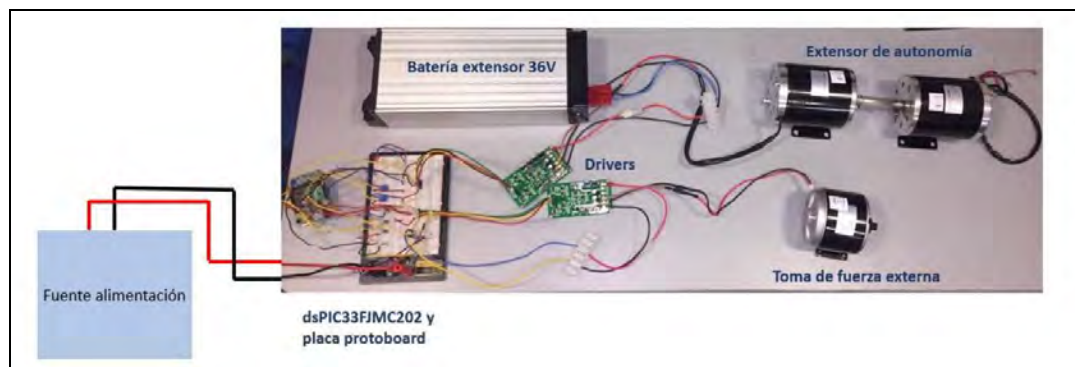


Figura 2.9: Montaje físico del prototipo del todoterreno eléctrico
Fuente: Repositorio Universidad Pontificia Comillas

- **Comparación en resultados de trabajos de investigación:**

Para profundizar más sobre los componentes presentes en el sistema de energía de un BEV, se realiza el análisis sobre artículos académicos relacionados al tema. De este modo, se espera complementar lo concluido sobre el análisis de productos comerciales. Las principales características de estos se ordenaron de forma que facilitar la comparación entre cada artículo y facilitar la síntesis de conclusiones (véase tabla 2.5).

Tabla 2.5: Comparación de energización de BEV en trabajos de investigación
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Alimentación	Batería auxiliar o extensora	Control eléctrico	Protección durante carga	Protección durante operación
BEV Formula Student ULL ⁽¹⁾	Celda de ion litio (3.7V 8.3 Ah) *216	Si (auxiliar de 12V)	Relés + Fusible y controlador	Relé + resistencia	Sistema de ventilación y BMS
Todoterreno con extensor de autonomía ⁽²⁾	Batería de ion litio (36V 4.4Ah)	Si (Extensora de autonomía de 36V)	Conmutadores de selección de 2 y 3 contactos	No	BMS

(1) [Amairany, 2021, (2) [Morote, 2018]

Se observa que efectivamente, para la gestión de energía se requiere al menos de un BMS pues es necesario para el correcto funcionamiento de la batería, así como para la extensión de su vida útil. Luego, como se podría sospechar, el vehículo desarrollado para competición presenta un sistema de ventilación para su sistema de alimentación, pues en este caso se requiere que la batería entregue una mayor potencia más que preservar su autonomía.

También se observa que el vehículo para competición presenta el uso de relés para la conexión y desconexiones de las componentes eléctricas según el modo de uso, sin embargo, el prototipo los realiza de forma manual. Esto puede deberse a que el prototipo estaba destinado a probarse en laboratorio por lo que se requería un control más preciso de cuando se realizaban estos cambios, en cambio el vehículo de competición busca que el conductor se centre en la carrera y no en los cambios de modo. Además, para cuidar la vida de la batería, el vehículo de competición usa un relé anterior al proceso de carga para controlar este proceso.

2.3 Sistema de propulsión de BEV

Dentro de un BEV, el sistema de alimentación y gestión energética tiene al motor como el componente principal para energizar, pues es el que cumple la función directa y principal de un vehículo eléctrico. La propulsión de un BEV se realiza a través de un motor eléctrico, el cual no solo debe ser alimentado, sino requiere de un control especializado para depender de su tipo para asegurar su buen desempeño. Finalmente, un motor por sí solo no propulsa el BEV, sino que la potencia debe transmitirse hacia las ruedas, esto a través del llamado tren de potencia.

2.3.1 Motores eléctricos

Un motor eléctrico es una máquina capaz de convertir la energía eléctrica en mecánica gracias a la acción de los campos magnéticos que generan bobinas en su interior. Gracias a este simple principio, su construcción es más sencilla y requiere menos componentes que otro tipo de motores. Por ello han logrado ser ampliamente utilizados en muchas aplicaciones, como por ejemplo abrir puertas de garaje y bombas de piscinas, entre otros.

Sin embargo, los motores eléctricos de tracción para automoción son un tipo especial que presenta exigencias funcionales y de diseño distintas a otros motores eléctricos. Se requiere de ellos una alta relación par/inercia, que permite buenas aceleraciones, además de una potencia de trabajo elevada y rango elevado de velocidades de trabajo. También se espera de ellos un alto soporte frente a arranques y paradas frecuentes, bajo ruido y bajas emisiones electromagnéticas.

Independientemente de su tipo, todos los motores eléctricos funcionan bajo el mismo principio generando campos magnéticos que se oponen y atraen entre sí. De este modo, un estator se queda quieto brindando una referencia y el rotor sufre esta atracción-repulsión magnética de forma coordinada a modo que se mantenga una rotación constante. De este modo, la diferencia entre los tipos de motor eléctrico radica en cómo generan estos campos magnéticos coordinados a partir de la energía eléctrica que se les suministra. Considerando esto, es posible analizar de forma técnica las características que brindan cada uno de los tipos de motores eléctricos y realizar una comparación útil para el desarrollo del proyecto (véase tabla 2.6).

Tabla 2.6: Comparación de tipos de motor eléctrico
Fuente: Elaboración propia

	Motor DC	Motor DC Brushless	Motor de reluctancia variable	Motor síncrono de imanes permanentes	Motor de inducción AC
Eficiencia	60-80%	mayor a 90%	80 - 90%	mayor a 90%	70-80%
Control	Sencillo	Complejo	Complejo	Complejo	Muy complejo
Mantenimiento	Complejo	Sencillo	No	Complejo	Sencillo
Emisiones	Electro-magnéticas	No	Ruido y vibraciones	-	No
Precio*	-	Alto	Bajo	Muy Alto	Similar
Rango de velocidades de trabajo	+/-15% de velocidad nominal	0-2000 rpm	0-1500 rpm	0 - 5000 rpm	+/- 12% de velocidad nominal
Frenado regenerativo	Si	Si	-	Si	-

*Se establece comparación respecto al motor DC (Martinez, 2017)

En primer lugar, se observa que en general ningún tipo de motor es especialmente mejor que los demás en todas las características consideradas. El motor DC más simple requiere un control sencillo pero su mantenimiento es complejo, además de presentar emisiones electromagnéticas que lo obstaculizan de trabajar muy cerca de componentes electrónicos. El motor Brushless es eficiente y no genera emisiones, pero su control es complejo pues requiere de una secuencia de activación concreta y ordenada de sus entradas. Debido a este control, en muchos casos se considera al motor Brushless como un motor de corriente alterna pues cambia de polaridad, pero al no recibir una onda senoidal se considerará en este trabajo como un motor de corriente continua. El motor de reluctancia variables es el de menor precio y no requiere de mantenimiento, sin embargo, genera ruido y vibraciones mecánicas que podrían perjudicar otros elementos además de requerir un control similar al del motor Brushless. Luego, el motor síncrono de imanes permanentes tiene una gran eficiencia, rango de velocidades y relación torque/peso, sin embargo, tiene un precio elevado, mantenimiento y control complejos debido a su funcionamiento similar al de los motores Brushless y reluctancia, además de su elevada calidad de materiales e imanes. El motor AC es de bajo costo, tiene un torque elevado y funciona bien a altas velocidades (aunque tiene un rango estable limitado), sin embargo, es el que

requiere de un control más complejo dentro de un vehículo eléctrico pues se requiere de un inversor más completo que permita imitar lo mejor posible las condiciones de corriente alterna senoidal.

2.3.2 Transmisión de potencia

Si bien el motor eléctrico y sistema de control son componentes importantes para el sistema de propulsión de un BEV, no se debe olvidar que finalmente la potencia entregada por el motor debe llegar a las ruedas. De este modo, el tren de potencia es un mecanismo integrado que se encarga de transmitir la potencia desarrollada por el motor a las ruedas para el movimiento de un vehículo. La idea inicial fue emular a los vehículos de combustión interna ya existentes, es decir, cambiar el motor térmico por el motor eléctrico y el tanque de gasolina por las baterías. De esta forma se emplearía el mismo tipo de transmisión por embrague, caja de cambios y diferencias, que emplean estos motores. Sin embargo, en la actualidad hay una pluralidad de configuraciones en vehículos eléctricos gracias a las variaciones de las propiedades de la propulsión eléctrica y la versatilidad de los motores eléctricos (véase figura 2.10).

Considerando 6 tipos principales de configuraciones, es posible establecer una comparación entre estos, considerando las características individuales de la implementación de cada uno (véase tabla 2.7). En primer lugar, la configuración “a”, es la primera históricamente, pues solo se cambia el motor de combustión interna por uno eléctrico. Tiene la ventaja de poder implementarse rápidamente en una línea de ensamblaje pues es una tecnología madura y cuenta con infraestructura existente. Sin embargo, la gran multitud de engranajes que se encajan y desencajan ocasiona las pérdidas de energía más grandes de entre todas las configuraciones. Luego, la configuración “b” tiene una forma similar a la “a” pero sustituye la caja de cambios por una caja reductora única, con lo que se reduce el tamaño y peso del mecanismo (no requiere embrague). Cabe resaltar que al prescindir de la caja reductora se requiere de un motor eléctrico con potencia constante en un amplio régimen de giro. La configuración “c” es la versión compacta de la “b” pues se acopla al eje de transmisión, de este modo se reduce el espacio requerido y se simplifica el mecanismo. La configuración “d” consiste en acoplar un motor en cada rueda, logrando una mejor eficiencia pues la potencia se aplica más directamente a la rueda. Sin embargo, requiere de un control mucho más preciso del flujo de energía, así

como de la velocidad de giro, pues esta configuración no tiene diferencial. Finalmente, las configuraciones “e” y “f” se refieren a la máxima simplificación pues colocan el motor directamente en la rueda. La “e” cuenta con un tren planetario para reducir la velocidad y aumentar el torque, mientras que la “f” envía la potencia directamente a la rueda. Con ello, la configuración “f” cuenta con la mayor eficiencia, aunque también requiere de un motor que aporte el torque suficiente por sí mismo.

*ME: motor eléctrico; E: embrague; CC: caja de cambios; R: reductora; D: diferencial

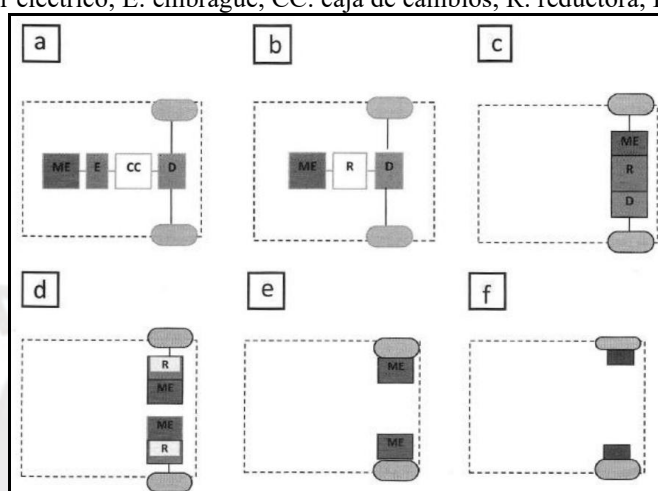


Figura 2.10: Posibles configuraciones del tren de potencia para VE
Fuente: Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid

Tabla 2.7: Comparación de configuraciones para el tren de potencia de un BEV
Fuente: Elaboración propia

	A	B	C	D	E	F
Eficiencia	70-80%	80-90%	80-95%	más de 90%	más de 90%	más de 95%
Relaciones de transmisión	2 a más	1	1	0	0	0
Rango de velocidades del Motor	Bajo	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
Torque requerido del Motor*	-	Alto	Alto	Alto	Alto	Muy alto
Peso	más de 100 kg	25 - 35 kg	20 - 35 kg	15 - 25 kg	10 - 20 kg	Menos de 10 kg
Tamaño	más de 40 litros	25 - 20 litros	15 - 20 litros	10 - 20 litros	Menos de 15 litros	Menos de 10 litros
Control	Simple	Simple	Simple	Complejo	Complejo	Complejo

*Se establece comparación respecto la configuración A (Martínez, 2017)

2.3.3 Trabajos de investigación relacionados a propulsión en BEV

Se considera apropiado realizar un estudio sobre otros trabajos de investigación referentes a la propulsión de BEV. Por ello, en esta sección se presentan algunos ejemplos junto a su descripción. Finalmente, se incluye un párrafo de comparación que resume los hallazgos.

- **Diseño e implementación de un sistema de freno regenerativo y transmisión eléctrica en una motocicleta convencional**

En el artículo se desarrolla una transmisión eléctrica y el subsiguiente diseño de un tipo de freno regenerativo en una moto común de tipo motoneta (Fig. 2.11). Se creó el sistema de freno regenerativo en el programa electrónico Proteus, para después implementarlo al sistema eléctrico de la motoneta. Este tipo de sistema aprovecha la inducción generada por las bobinas del motor eléctrico, el cual al ser captada esta energía a modo de corriente alterna, es transformada por medio de un puente rectificador de diodos a corriente continua y luego es aprovechada al ser enviada de regreso hacia el grupo de baterías (Chiriboga, 2016).



Figura 2.11: Motocicleta convertida
Fuente: DSpace ESPOCH

- **Caracterización del powertrain de un vehículo pequeño eléctrico modular de 4 ruedas: vehículo L6**

En este trabajo se detalla el diseño del powertrain de un vehículo ligero de categoría L6 (Fig. 2.12) que pueda ser homologado y comercializado en España. Para llegar al resultado final, en primer lugar, se analizan las diferentes alternativas técnicas y cada uno de los componentes críticos de un powertrain eléctrico, definiendo cuál es la función de cada uno de ellos. A continuación, se definen los objetivos de rendimiento del vehículo y se hacen los cálculos pertinentes para definir las necesidades técnicas específicas. Una vez escogida la solución, se hace un análisis de

las necesidades temporales y económicas que se desprenden de ella y se analiza el impacto ambiental (González, 2017).

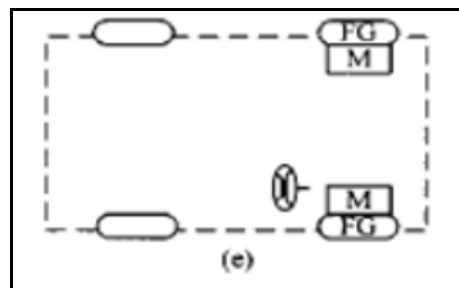


Figura 2.12: Diagrama de la disposición para la propulsión del vehículo L6

Fuente: UPCommons

- **Diseño de un tren de potencia de vehículo eléctrico para su aplicación a un taxi**

El trabajo detalla la metodología empleada para el diseño de un taxi 100% eléctrico (Fig. 2.13), la cual está basada en el proceso de diseño mecánico y podría ser aplicada para la ejecución del diseño de cualquier transporte eléctrico. La primera parte radica en conceptualizar las cambiantes significativas del diseño, y elegir una arquitectura del transporte, en el diseño mostrado se usó un motor en cada rueda trasera con su respectivo reductor de rapidez. El resultado que se recibe es un tren de potencia formado por elementos encontrados en el mercado, el cual consigue mover al transporte aun en condiciones de alta demanda (Vázquez et al., 2016).

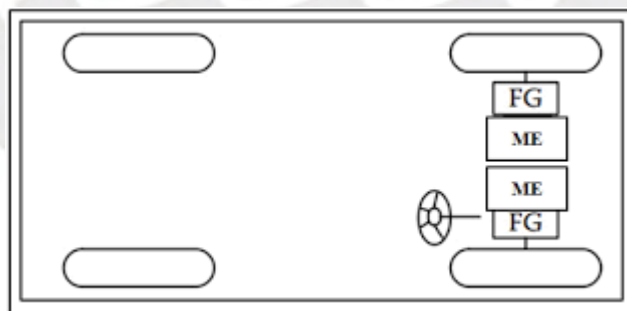


Figura 2.13: Diagrama de la disposición final para la propulsión del taxi

Fuente: Revistas Electrónicas UACJ

- **Comparación en resultados de trabajos de investigación:**

En este caso, se decidió obviar el análisis de elementos comerciales pues luego de una investigación previa se observó que su análisis no ofrecía mayores conclusiones útiles para el desarrollo del proyecto. De este modo, se realiza el análisis de artículos

académicos sobre propulsión en BEV ordenando las características principales de cada uno en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Comparación de sistemas de propulsión en trabajos de investigación
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Control de Motor	Configuración	Motor	Frenado Regenerativo
Motocicleta ⁽¹⁾	Controlador universal para Motor Brushless	-	DC Brushless	Si (sin rectificador)
Vehículo L6 ⁽²⁾	Controlador especializado para Motor Brushless	Motores “in wheel” tracción delantera	2 * DC Brushless	Si (con rectificador)
Taxi Eléctrico ⁽³⁾	Controlador especializado IFO	Motores en ruedas traseras	2* Motor de inducción	No

(1) [Chiriboga, 2016], (2) [González, 2017], (3) [Vázquez et al., 2016]

Se observa que en todos los casos presentados emplean controles especializados para el motor seleccionado muy aparte del contralor general del vehículo. De este modo es posible usar motores de buen desempeño que de otro modo requerirían un complejo control eléctrico. Además, se suelen emplear motores en las ruedas ya sea acoplado a ellas o dentro de ellas, pues se trata de una alternativa eficiente y que requiere de pocos componentes mecánicos. Sin embargo, como el taxi estaba destinado a llevar peso se decidió usar motores de inducción junto a reductores de forma que se aumenta el torque de trabajo manteniendo una buena velocidad. Cabe resaltar que el frenado regenerativo en un motor DC Brushless es posible si se desconecta del motor y se conecta a un circuito rectificador, pero también es posible que el mismo controlador del motor sea capaz de gestionar el frenado regenerativo por sí solo.

2.4 Limitaciones legales para cuadríciclos eléctricos

Dentro de la legislación peruana existen ciertas normas relacionadas a cuadríciclos eléctricos las cuales deben tomarse en consideración para el desarrollo del proyecto pues establecen límites para el diseño. El decreto supremo 058-2003-MTC que establece las regulaciones del Reglamento Nacional de Vehículos, no contaba con normas que se aplicarían en vehículos eléctricos ligeros. El decreto supremo 019-2018-MTC fue el que finalmente agregó al reglamento las consideraciones que

debemos analizar en este apartado. En primer lugar, los cuadriciclos eléctricos pertenecen a la categoría vehicular L, siendo o L6 o L7:

- L6: Vehículos con cuatro (4) ruedas (cuadriciclos ligeros), con una velocidad máxima de construcción que no excede de 50 km/h, con peso neto inferior o igual a 350 kg, sin incluir el peso de las baterías en el caso de vehículos eléctricos, y con una cilindrada de hasta 50 cm³, en el caso de un motor térmico de encendido por chispa, o de hasta 4 kW de potencia neta máxima, en el caso de otros motores térmicos, o de hasta 4 kW de potencia nominal continua máxima en el caso de los motores eléctricos.
- L7: Vehículos con cuatro (4) ruedas (cuadriciclos no clasificados en L6), con peso neto de hasta 400 kg para los de transporte de pasajeros, o de hasta 550 kg para los de transporte de mercancías, sin incluir el peso de las baterías en el caso de los vehículos eléctricos, con una cilindrada superior a 50 cm³, en el caso de un motor térmico de encendido por chispa, o de hasta 15 kW de potencia neta máxima, en el caso de otros motores térmicos, o de hasta 15 kW de potencia nominal continua, en el caso de los motores eléctricos.

Con esto, tenemos algunas consideraciones respecto al peso, velocidad y potencia del motor que se deben cumplir para que el vehículo diseñado sea considerado un cuadriciclo según la ley peruana. Además, se obtienen ciertos Requisitos Técnicos Vehiculares aplicables a estas categorías según el Reglamento Nacional de vehículos, de los cuales se resalta el siguiente por ser aplicable directamente al diseño:

- Instrumentos e indicadores para el control de operación:

Los indicadores de luces e instrumentos deben estar colocados frente al conductor y ser de fácil visualización, pueden estar de modo conjunto en el tablero del vehículo o distribuidos en él. Se incluyen de forma obligatoria: luz testigo de luz alta, luz testigo de direccionales, velocidad en km/h y recorrido en km.

Este Requisito Técnico Vehicular nos presenta la información mínima que el sistema de energía y propulsión debe de brindarle al conductor a través de una interfaz de interacción.

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se presentan los diferentes pasos a seguir para la definición del concepto de solución del sistema. Esto se realiza según los pasos establecidos en la metodología a utilizar, empezando por la matriz de requisitos, luego el árbol de funciones y medios, para finalmente llegar a diseñar las estructuras tanto del sistema mecatrónico como eléctrico. Además, se espera que se desarrollen bosquejos tentativos del sistema, así como de diagramas de flujo que representen su comportamiento general.

3.1 Matriz de requisitos

A partir de la investigación realizada en el capítulo anterior, se ha logrado reunir una lista de requisitos los cuales se espera que sintetizan las necesidades de los posibles usuarios del sistema propuesto y que se sintetizan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Requisitos del Usuario
Fuente: Elaboración propia

Usuario	Categoría	Necesidades	Requisitos
Conductor	Usabilidad	El diseño debe aportar sólo la información necesaria al usuario y de forma sencilla	Interfaz de usuario simple
		La máquina debe poder movilizarse igual de bien en zonas urbanas que otros autos	Suficiente rapidez en ciudad
		El sistema debe poder superar las pendientes usuales de las zonas urbanas	Suficiente capacidad para subir pendientes
		El producto debe ser tan compacto y fácil de usar que no tenga dificultad en encontrar estacionamiento	Alta facilidad para estacionar en ciudad
	Funcionalidad	La máquina debe poder movilizarse apropiadamente con el peso de los pasajeros y equipaje simple	Suficiente capacidad de carga
		El diseño debe poder brindar una autonomía suficiente para la movilidad urbana	Suficiente autonomía para ciudad
		El producto ofrecería la capacidad de cargar la batería de forma simple y segura	Fácil recarga de la batería

Tabla 3.1: Requisitos del Usuario (continuación)
Fuente: Elaboración propia

Usuario	Categoría	Necesidades	Requisitos
Conductor	Seguridad	El sistema debe poder informar al usuario que se ha prendido o apagado	Aviso de apagado o encendido
		Se desea que la máquina tenga un modo de parqueo de forma que no se active por accidente estando encendido	Modo "Parking" confiable
		Se desea que el producto pueda bloquearse mientras está desactivado	Bloqueo de seguridad antirrobo
		El sistema debería ofrecer un aviso de que se ha activado la opción de ir en reversa	Aviso de marcha atrás
	Mantenimiento	El diseño debe ser de sencillo mantenimiento o poco regular	Bajo costo de mantenimiento
Empresa	Estética	Es deseable que el sistema por sí solo se vea profesional	Buena apariencia
	Seguridad	El operario debe poder conducir sin tener ningún peligro	Mínimo peligro de uso
	Funcionalidad	El diseño debe permitir ensamblar el sistema de forma sencilla si se desea producir en masa	Ensamblaje sencillo
	Espacio y peso	El sistema debe permitir que el cuadriciclo una vez montado no sea demasiado grande o pesado.	Bajo Peso y Dimensiones
Ambos	Costo	El sistema debe costar poco comparado con otros productos con las mismas características	Precio competitivo
	Durabilidad	Se desea que el producto pueda usarse por mucho tiempo de modo	Alta vida útil
	Funcionalidad	La máquina debe ser factible para montarse en un VE de forma sencilla y rápida	Montaje sencillo en vehículo

Los requisitos de usuario dan una idea general de lo que se espera del producto, sin embargo, no representan limitaciones o consideraciones aplicables a una investigación. Esto se debe a la intrínseca subjetividad en la se basan, pues vienen de las percepciones de los posibles usuarios. De este modo, se plantean requisitos de proyecto, los cuales sí presentan características de diseño las cuales son medibles y/o cuantificables. Estos requisitos se reflejan de forma detallada según la metodología en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Requisitos de Proyecto
Fuente: Elaboración propia

Requisito de Diseño (cómo)	Demanda o Deseo	Peso Absoluto (W_A)	Peso Relativo (W_R)	Clasificación Técnico/Económico	Valores (Cuánto)	Método de Verificación
Interfaz intuitiva	W	29	2	T/E	–	Prueba del prototipo
Sistema de control de motor confiable	D	53	4	T	Sistema de reinicio interno < 500 ms	Ficha técnica del controlador o Prueba de prototipo
Indicadores de información fácilmente percibibles	W	22	2	T/E	–	Prueba del prototipo
Alta eficiencia de motor	D	36	3	T	min 85%	Ficha técnica del motor
Suficiente potencia de trabajo del motor	D	49	4	T	min. 5 kW	Ficha técnica del motor
Buen torque de trabajo en ruedas	D	40	3	T	min. 100 Nm	Ficha técnica del motor
Amplio rango de velocidades del motor	D	35	3	T	1500 - 4000 rpm	Ficha técnica del motor
Alta capacidad de batería	D	50	4	T/E	min. 3 kWh	Ficha técnica de batería
Batería extraíble	W	28	2	T/E	–	Planos de ensamble
Dimensiones reducidas de baterías	W	28	2	T/E	máx. 6 litros	Ficha técnica de batería
Autonomía suficiente	D	51	4	T/E	min 55 km	Prueba del prototipo

Tabla 3.2: Requisitos de Proyecto (continuación)
Fuente: Elaboración propia

Requisito de Diseño (cómo)	Demanda o Deseo	Peso Absoluto (W_a)	Peso Relativo (W_r)	Clasificación Técnico/Económico	Valores (Cuánto)	Método de Verificación
Diseño modular	W	33	2	T/E	máx. 10 módulos	Planos de despiece
Dimensiones reducidas del sistema	W	32	2	T/E	máx. 200 litros	Planos de ensamble y verificación visual
Bajo peso total del sistema	W	31	2	T/E	máx. 100 kg	Planos de ensamble
Ancho total reducido	W	27	2	T	máx. 1.7 m	Dimensiones del eje de potencia
Partes mecánicas cubiertas	W	29	2	E	min. grado de protección IP22	Verificación según norma internacional CEI 60529
Ciclo de vida amplio	W	26	2	E	min. 5 años	Verificación de hoja de datos de componentes
Bajo costo de Fabricación	D	45	3	E	máx. 3500 dólares	Sección de costos del informe

3.2 Descomposición funcional y síntesis de medios

En esta sección se detallan las funciones que deberá cumplir el sistema de energía y propulsión para un funcionamiento acorde con los requisitos de diseño establecidos. Para ello, el árbol de funciones inicia en la función más general y se ramifica hasta definir la arquitectura del diseño mecatrónico. El árbol de funciones y medios completo se puede observar en el Anexo B.

3.2.1 Nivel 1

La función global (Fig. 3.1) de la máquina propuesta es: Energizar y Propulsar BEV
A continuación, se muestran los medios para lograr esta función.

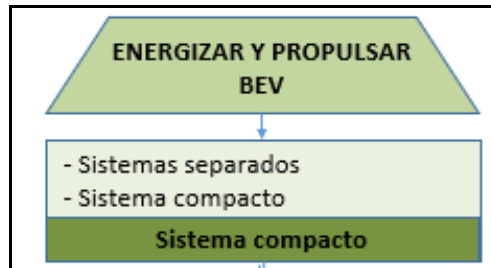


Figura 3.1: Funciones del nivel 1
Fuente: Elaboración propia

- Función: Energizar y propulsar BEV
 - Sistema compacto

Ambos subsistemas de la máquina compartirán un mismo espacio en el vehículo, de modo que se reducen las dimensiones y se simplifican las conexiones entre ambos. Esto también genera una mayor concentración del peso lo cual hace más fácil controlar la ubicación del centro de masa.

- Sistemas separados

Esta disposición separada consiste en que el subsistema de energía y el subsistema de propulsión ocupen zonas distintas dentro del vehículo. Considerando ello, la conexión sería a través de cables que requieren de una elevada protección. Da más libertad en la disposición del BEV.

- **Tabla de evaluación de nivel 1:**

En la siguiente tabla se presenta la comparación entre las propuestas presentadas líneas atrás. Para ello, se utilizaron los criterios de diseño obtenidos en la etapa previa de planificación, y se empleó una matriz de evaluación según la metodología empleada para decidir la mejor alternativa (véase tabla 3.3).

Tabla 3.3: Tabla de evaluación para el nivel 1
Fuente: Elaboración propia

Evaluation Chart									
Design Criteria	j=	1		2		o			
		Sistemas separados		Sistema compacto		Optimal			
		W _r	W _{s1}	W _{s1} ·W _r	W _{s2}	W _{s2} ·W _r	W _o	W _o ·W _r	
Technical analysis									
1	Amplio rango de velocidades del motor	3	3	9	2	6	4	12	
2	Suficiente potencia de trabajo del motor	4	3	12	2	8	4	16	
3	Buen torque de trabajo en ruedas	3	3	9	2	6	4	12	
4	Dimensiones reducidas de baterías	2	2	4	3	6	4	8	
5	Diseño modular	2	2	4	4	8	4	8	
6	Dimensiones reducidas del sistema	2	2	4	4	8	4	8	
7	Bajo peso total del sistema	2	2	4	3	6	4	8	
8	Alta eficiencia de motor	3	3	9	2	6	4	12	
Total technical value		T _{t1}		55	T _{t2}		54	T _{to}	84
Relative technical value		R _{t1}		0.65	R _{t2}		0.64	R _{to}	1.00
Economic analysis									
9	Dimensiones reducidas de baterías	2	2	4	3	6	4	8	
10	Diseño modular	2	2	4	4	8	4	8	
11	Partes mecánicas cubiertas	2	3	6	4	8	4	8	
12	Dimensiones reducidas del sistema	2	2	4	4	8	4	8	
13	Bajo peso total del sistema	2	2	4	3	6	4	8	
Total economic value		T _{e1}		22	T _{e2}		36	T _{eo}	40
Relative economic value		R _{e1}		0.55	R _{e2}		0.90	R _{eo}	1.00
Hyperbolic rating		H _{r1}		0.60	H _{r2}		0.76	H _{ro}	1.00

En esta evaluación, se observa que la opción de sistemas separados es solo ligeramente superior al sistema compacto en el aspecto técnico pues brinda una mayor libertad de diseño. Sin embargo, es en el aspecto económico en donde el sistema compacto tiene una clara ventajas pues se requeriría de solo una protección sobre todo el sistema, además que el peso y las dimensiones totales son más fáciles de controlar en el sistema compacto.

3.2.2 Nivel 2

Se procede a definir las subfunciones (Fig. 3.2) que deben realizarse para cumplir con la función principal:

- Energizar vehículo
- Propulsar vehículo
- Interactuar con el usuario
- Controlar sistema

A continuación, se detalla cada uno de los medios por los cuales se puede lograr cada subfunción y finalmente, se realiza un análisis que define cuáles medios fueron elegidos para cada parte.

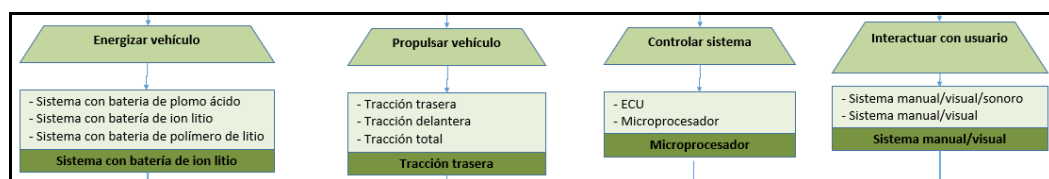


Figura 3.2: Funciones del nivel 2
Fuente: Elaboración propia

- Función: Energizar vehículo

Se exponen los 3 tipos de baterías más usados a día de hoy en los vehículos de transporte urbano y por ende más accesibles en el mercado.

- Sistema con batería de plomo ácido

Las baterías de plomo ácido son el tipo de batería más empleado en los últimos años, debido a su bajo precio y simple obtención de materia prima. Siendo una tecnología madura, es de fácil obtención en el mercado, sin embargo, tiene la desventaja de una poca densidad de energía y energía específica.

- Sistema con batería de ion litio

Las baterías de ion litio son de los tipos de batería que más se han desarrollado actualmente debido a su elevada densidad de energía y energía específica lo cual la vuelve una alternativa más eficiente de almacenamiento de energía. Sin embargo, debido a que es una tecnología emergente su precio es elevado, además el litio es un elemento inestable lo cual implica la posibilidad de explotar.

- Sistema con batería de polímero de litio

Las baterías de polímero de litio son un tipo especial de batería de litio, la cual ofrece una mayor seguridad pues aumenta la estabilidad de la reacción química, con lo que puede cargarse y descargarse mucho más rápido sin riesgo. Sin embargo, al ser más reciente es más cara, además también cuenta con una energía específica menor.

- Función: Propulsar vehículo

- Tracción trasera

Las ruedas traseras son las que reciben la potencia del motor lo cual implica una mayor capacidad de tracción pues cuando se acelera, el peso cae hacia la parte posterior del vehículo. Esto permite una conducción con mayor grado de control, sin embargo, también requiere de mayores habilidades de conducción.

- Tracción delantera

Las ruedas delanteras reciben la potencia del motor por lo que la “fuente” de la fuerza de tracción es más cercana al conductor. Esto genera que la conducción se vuelva más intuitiva y sencilla de controlar sin experiencia previa, sin embargo, también implica menos libertad de maniobra.

- Tracción total

Todas las ruedas reciben la potencia del motor, lo cual implica un mecanismo con mayor número de piezas y más grande, lo cual hace más pesado al vehículo. Sin embargo, es la opción que mayor seguridad y control de conducción presenta.

- Función: Interactuar con el usuario

- Sistema manual/visual/sonoro

El sistema implica el uso de componentes manuales para que el usuario ingrese información al sistema. El sistema brindaría información al usuario tanto de forma visual como a través de sonidos, por ejemplo, la velocidad en una pantalla o el modo en reversa con un sonido pulsante. Al tener más periféricos usaría más energía.

- Sistema manual/visual

El sistema implica el uso de componentes manuales para que el usuario ingrese información al sistema. El sistema brindaría información al usuario tanto de forma únicamente visual, indicando por ejemplo la velocidad del vehículo en una pantalla o el modo en reversa con un led pulsante.

- Función: Controlar sistema

- ECU

El Engine Control Unit gestiona los diferentes parámetros de operación de un motor de combustión interna a través de un control en bucle cerrado. Es posible reprogramarlo de forma que gestione otro tipo de parámetros. Sin embargo, su programación es altamente compleja y solo unos tipos son reprogramables.

- Microprocesador

Se trata de un circuito integrado que cumple las funciones de cerebro de cualquier aplicación. Cuenta con una buena potencia de cálculo para realizar un programa establecido, y con una gran capacidad de operación. Su precio es muy elevado en el mercado.

- **Tabla de evaluación de nivel 2:**

En la siguiente tabla se presenta la comparación entre las propuestas de solución consideradas para este nivel (véase Anexo A). Para ello, se utilizaron los criterios de

diseño obtenidos en la etapa previa de planificación, y se empleó una matriz de evaluación según la metodología empleada para decidir la mejor alternativa (véase tabla 3.4).

Tabla 3.4: Tabla de evaluación para el nivel 2
Fuente: Elaboración propia

Evaluation Chart												
Design Criteria	j=											
	1		2		3		4		o			
	Solution 1		Solution 2		Solution 3		Solution 4		Optimal			
	W ₁		W ₂		W ₃		W ₄		W _o			
	W _{s1}	W _{s1} ·Wr	W _{s2}	W _{s2} ·Wr	W _{s3}	W _{s3} ·Wr	W _{s4}	W _{s4} ·Wr	W _o	W _o ·Wr		
Technical analysis												
1	Interfaz intuitiva	2	4	8	4	8	2	4	4	8	4	8
2	Suficiente potencia de trabajo del motor	4	4	16	2	8	2	8	3	12	4	16
3	Buen torque de trabajo en ruedas	3	4	12	2	6	2	6	3	9	4	12
4	Alta capacidad de batería	4	1	4	3	12	4	16	3	12	4	16
5	Dimensiones reducidas de baterías	2	2	4	4	8	3	6	4	8	4	8
6	Sistema de control de motor confiable	4	4	16	2	8	2	8	3	12	4	16
7	Diseño modular	2	2	4	4	8	4	8	3	6	4	8
8	Dimensiones reducidas del sistema	2	2	4	3	6	4	8	3	6	4	8
9	Bajo peso total del sistema	2	2	4	3	6	4	8	3	6	4	8
10	Indicadores de información fácilmente percibibles	2	3	6	4	8	2	4	4	8	4	8
11	Autonomía suficiente	4	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16
12	Propulsión eficaz	4	4	16	2	8	2	8	3	12	4	16
13	Energización eficaz	4	2	8	3	12	4	16	3	12	4	16
Total technical value		T_{t1}	114	T_{t2}	110	T_{t3}	112	T_{t4}	123	T_{to}	156	
Relative technical value		R_{t1}	0.73	R_{t2}	0.71	R_{t3}	0.72	R_{t4}	0.79	R_{to}	1.00	
Economic analysis												
14	Interfaz intuitiva	2	4	8	4	8	3	6	4	8	4	8
15	Alta capacidad de batería	4	1	4	3	12	4	16	3	12	4	16
16	Dimensiones reducidas de baterías	2	2	4	4	8	3	6	4	8	4	8
17	Diseño modular	2	2	4	4	8	4	8	3	6	4	8
18	Partes mecánicas cubiertas	2	2	4	4	8	4	8	3	6	4	8
19	Bajo costo de Fabricación	3	3	9	1	3	2	6	3	9	4	12
20	Ciclo de vida amplio	2	3	6	3	6	4	8	3	6	4	8
21	Dimensiones reducidas del sistema	2	2	4	3	6	4	8	3	6	4	8
22	Bajo peso total del sistema	2	2	4	3	6	4	8	3	6	4	8
23	Indicadores de información fácilmente percibibles	2	3	6	4	8	2	4	4	8	4	8
24	Autonomía suficiente	4	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16
25	Propulsión eficaz	4	4	16	2	8	2	8	3	12	4	16
26	Energización eficaz	4	2	8	3	12	4	16	3	12	4	16
Total economic value		T_{e1}	89	T_{e2}	105	T_{e3}	114	T_{e4}	111	T_{eo}	140	
Relative economic value		R_{e1}	0.64	R_{e2}	0.75	R_{e3}	0.81	R_{e4}	0.79	R_{eo}	1.00	
Hyperbolic rating		H_{r1}	0.68	H_{r2}	0.73	H_{r3}	0.76	H_{r4}	0.79	H_{ro}	1.00	

En esta evaluación, se observa que la opción número 4 es la que finalmente se elige para poder continuar con el desarrollo del proyecto debido a sus consideraciones técnicas. Las consideraciones económicas no fueron las determinantes para la elección, pues de hecho la opción 3 es mejor en esta área. Sin embargo, las características técnicas permiten una propulsión eficaz, un sistema de control más confiable y una interfaz intuitiva.

3.2.3 Nivel 3

Se procede a definir las subfunciones necesarias para el desarrollo de los medios elegidos. A continuación, se muestran las funciones a desarrollar en este nivel (Fig. 3.3 y Fig. 3.4), agrupadas según el medio del cual proceden:

- Sistema con batería de Ion Litio
 - Almacenar energía

- Proteger sistema de energía
- Monitorear almacenamiento de energía
- Controlar flujo de energía
- Tracción Trasera
 - Generar movimiento
 - Transmitir Potencia
 - Indicar velocidad
 - Medir velocidad
 - Conectar con rueda
- Sistema manual/visual
 - Seleccionar modos
 - Mostrar información

A continuación, se detalla cada uno de los medios por los cuales se puede lograr cada subfunción y finalmente, se realiza un análisis que define cuáles medios fueron elegidos para cada parte.

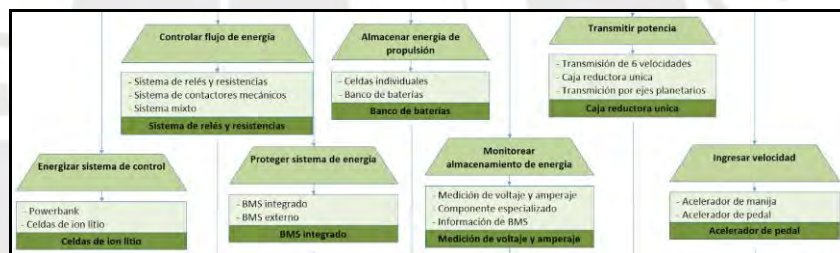


Figura 3.3: Funciones del nivel 3 (parte 1)

Fuente: Elaboración propia

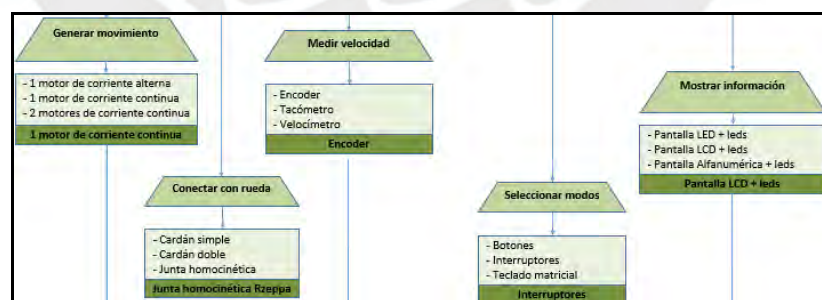


Figura 3.4: Funciones del nivel 3 (parte 2)

Fuente: Elaboración propia

- Función: Energizar sistema de control

- Powerbank

Se trata de una batería externa portátil especializado en la carga de teléfonos móviles, tables, altavoces, etc. Son ya conocidos en el mercado y tienen una gama de

precios según sus requerimientos. Ya que cuentan con outputs e inputs especializados, se puede requerir modificaciones para que sea compatible con el diseño.

- Celdas de ion litio

Al utilizar celdas individuales es posible definir varias características eléctricas, dando una mayor libertad de diseño, requiriendo pocas para el caso del sistema de control pues no tiene un gran requerimiento de amperaje.

- Función: Proteger sistema de energía

Al utilizar celdas de ion litio, como se explicó anteriormente, es necesario tener un BMS, un sistema que regule la carga y descarga de cada celda y de ese modo se prolongue la vida útil de la batería, así como su desempeño.

- BMS externo

Al usar celdas individuales se debe contar con un BMS aparte el cual se conecta de forma manual a cada celda individualmente. Permite mayor libertad de programación al poder diseñarse para el caso particular del conjunto de celdas.

- BMS interno

Los packs de baterías comerciales en la actualidad ya vienen con un sistema BMS integrado, el cual puede ser sencillo o brindar información aparte de la protección, siendo estos últimos más caros.

- Función: Almacenar energía de propulsión

- Celdas individuales

Se fabrica el pack de baterías a partir de comprar cada celda individualmente, con lo que es posible definir el voltaje y amperaje de operación. Sin embargo, dependiendo del requerimiento energético, se puede requerir una cantidad de celdas elevada, lo cual implica con costo elevado. Además, dificulta el reemplazo de la batería luego del cumplimiento de su vida útil.

- Banco de baterías

El contar con un pack de baterías ya fabricado ofrece un menor precio y la oportunidad de obtener un reemplazo de la batería de forma sencilla. Sin embargo,

obliga al proyecto a adaptarse a los valores estandarizados en el mercado, lo cual limita la libertad de diseño.

- Función: Monitorear almacenamiento de energía
 - Medición de voltaje y amperaje

Una forma rápida, aunque no muy precisa de medir el estado de carga (0% a 100%) de la batería es midiendo la curva de voltaje y comparando la información con la integral de la corriente. De este modo, se complementan ambas informaciones, compensando la falta de precisión de la curva de voltaje con la cantidad de carga consumida.

- Componente especializado

Existen componentes especializados en medir el estado de carga de una celda o conjunto de celdas. Sin embargo, si son muchas celdas se requieren de varios de estos componentes.

- Información de BMS

Es posible emplear un BMS más avanzado que cuente con un sistema interno para medir el estado de cargas del pack de baterías al que está integrado, siendo su precio mayor y su precisión no muy alta.

- Función: Controlar flujo de energía

- Sistema de relés y resistencias

Se emplean relés para para brindar un control del flujo de electricidad de forma puramente electrónica, a partir de órdenes brindadas por el sistema de información. No requiere de protecciones y suelen ser más baratos, pero también consumen energía e implica que muchos cambios de modo solo pueden realizarse con el sistema encendido.

- Sistema de contactores mecánicos

Los contactores mecánicos implican que algunos cambios de modos se realizan de forma manual, dándole poder al usuario de cambiar, por ejemplo, del modo “conducir” al modo “cargar” sin necesidad de encender el sistema. Sin embargo, los contactores mecánicos son más pesados y caros.

- Sistema mixto

Se emplean ambas tecnologías dependiendo del caso, lo cual implica la necesidad de proteger al sistema de información de los cambios abruptos que se controlen con los contactores.

- Función: Generar movimiento

- 1 motor de corriente alterna

Una forma de generar el movimiento para la propulsión del sistema es con un motor de corriente alterna, presenta un buen torque de trabajo, pero su control es complejo y requiere de un componente especializado, además no tiene buena eficiencia.

- 1 motor de corriente continua

Los motores de corriente continua tienen una amplia gama de torques de trabajo y eficiencia, pero son más baratos y requieren de un control menos complejo o en todo caso de un componente especializado menos robusto.

- 2 motores de corriente continua

Emplear 2 motores en cada rueda disminuye el requerimiento de potencia de cada motor, pero se espera que sea más caro que el utilizar solo uno de menor potencia de trabajo.

- Función: Transmitir Potencia

- Transmisión de 6 velocidades

Es la caja de cambios común de un vehículo de combustión interna por lo que es muy común en el mercado. Sin embargo, es muy compleja y pesada.

- Caja reductora única

Disminuye el número de revoluciones por minuto aumentando el torque, pero implica que el motor presente una mayor variedad de velocidades de trabajo. Es más barata y da mayor maniobra para el diseño.

- Transmisión por ejes planetarios

En caso de que se utilicen 2 motores por separado, para aumentar su torque de trabajo, su velocidad de rotación disminuye con reductores planetarios acoplados en cada motor.

- Función: Indicar velocidad

- Acelerador de manija

El acelerador de manija es usado en motos y otros vehículos pequeños para indicar una acción de aceleración y velocidad al que el sistema debe llegar. Su uso es menos intuitivo que otros, pero su precio es menor.

- Acelerador de pedal

Es el más utilizado en vehículos de 4 ruedas para definir la velocidad a la que se desea ir. El mecanismo es algo más pesado, pero tiene mejor resolución y suele ser más intuitivo para la conducción si el usuario ya sabe conducir un vehículo comercial.

- Función: Medir velocidad

- Encoder

Se emplea para medir la posición y la velocidad angular a la salida del motor a partir de un sistema simple. Puede ser usado directamente por un sistema digital, como un microcontrolador.

- Tacómetro

Se emplea en vehículos de combustión interna para medir la velocidad de rotación de salida de la caja de cambios. Es más caro que un encoder, pero tiene mejor precisión, pero requiere de modificaciones para poder usarse con un microcontrolador.

- Velocímetro

Mide la velocidad en km/h de un vehículo a partir de la velocidad de rotación y otros parámetros. Los más avanzados utilizan un sistema láser para una mayor precisión, pero también son de precio más elevado y requieren de modificaciones para poder usarse con un microcontrolador.

- Función: Conectar con rueda

- Cardán doble

Consta de 2 articulaciones separadas y rotadas 90 grados, permite una velocidad de rotación constante. Sin embargo, no tiene un buen desempeño en curvas muy pronunciadas lo cual dificulta un poco la conducción.

- Cardán simple

Su construcción es sencilla y barata, sin embargo, la unión no es capaz de mantener una velocidad constante los ejes que une, por lo que genera vibraciones cíclicas.

- Junta homocinética Rzeppa

También llamada junta de bolas, consta de una unión similar a un rodamiento de bolas. Permite una velocidad de rotación constante. Tiene un buen desempeño en curvas pronunciadas, es el más empleado en la actualidad.

- Función: Seleccionar modos

- Botones

Son pulsadores simples y baratos que pueden brindar una información puntual, pueden usarse varios dando libertad de diseño. Su uso es sencillo, pero requiere de gráficos o letras en ellos para definir su uso.

- Interruptores

Tienen una estructura de modos fija, son más intuitivos para utilizar y son aptos para diseños con pocas consideraciones o modos. El diseño podría requerir adaptarse a la cantidad limitada de modos.

- Teclado matricial

Un teclado de 4x4, algo más caro pero muy intuitivo de usar. Da mucha libertad de uso y es apto para diseños con varias consideraciones o que requiera de un input complejo.

- Función: Mostrar información

- Pantalla LED + leds

Esta pantalla ofrece color y una gran calidad de imagen. Posee una gran eficiencia, pero es más costosa que una pantalla LCD. Estas pantallas usan los diodos emisores de luz y ofrecen el color negro absoluto. Además, se emplean diodos led aparte para indicar modos más específicos.

- Pantalla LCD + leds

Esta pantalla es similar a la pantalla LED, capaz de mostrar imagen y video. Utiliza tubos fluorescentes para aclarar la imagen, pero no ofrecen tanta calidad como una

pantalla LED. Entre sus ventajas se encuentra que son más económicas que las LED, no necesitan mantenimiento y es más ligera. Además, se emplean diodos led aparte para indicar modos más específicos.

o Pantalla LCD alfanumérico + leds

Se trata de un tipo especializado de pantalla LCD que busca solo presentar letras y números. Para mostrar información más compleja requiere de un tamaño mayor y su visualización es poco intuitiva. Además, se emplean diodos led aparte para indicar modos más específicos.

• **Tabla de evaluación de nivel 3:**

En la siguiente tabla se presenta la comparación entre las propuestas presentadas líneas atrás. Para ello, se utilizaron los criterios de diseño establecidos, empleando la matriz de evaluación de la metodología empleada para decidir la mejor alternativa (véase tabla 3.5).

Tabla 3.5: Tabla de evaluación para el nivel 3

Fuente: Propia

Evaluation Chart												
Design Criteria	j=	1		2		3		4		o		
		Solution 1		Solution 2		Solution 3		Solution 4		Optimal		
		W _{s1}	W _{s1} .W _r	W _{s2}	W _{s2} .W _r	W _{s3}	W _{s3} .W _r	W _{s4}	W _{s4} .W _r	W _o	W _o .W _r	
Technical analysis												
1	Interfaz intuitiva	2	2	4	1	2	3	6	4	8	4	8
2	Ancho total reducido	2	2	4	2	4	2	4	3	6	4	8
3	Buen torque de trabajo en ruedas	3	3	9	4	12	4	12	3	9	4	12
4	Alta capacidad de batería	4	4	16	3	12	4	16	3	12	4	16
5	Dimensiones reducidas de baterías	2	3	6	4	8	3	6	4	8	4	8
6	Diseño modular	2	3	6	2	4	3	6	4	8	4	8
7	Dimensiones reducidas del sistema	2	3	6	1	2	2	4	3	6	4	8
8	Bajo peso total del sistema	2	4	8	2	4	2	4	3	6	4	8
9	Batería extraíble	2	3	6	4	8	3	6	4	8	4	8
#	Indicadores de información fácilmente percibibles	2	2	4	1	2	3	6	4	8	4	8
#	Autonomía suficiente	4	4	16	2	8	3	12	3	12	4	16
#	Propulsión eficaz	4	3	12	3	12	3	12	4	16	4	16
#	Energización eficaz	4	2	8	3	12	2	8	3	12	4	16
Total technical value		T_{t1}	105	T_{t2}	90	T_{t3}	102	T_{t4}	119	T_{to}	140	
Relative technical value		R_{t1}	0.75	R_{t2}	0.64	R_{t3}	0.73	R_{t4}	0.85	R_{to}	1.00	
Economic analysis												
14	Interfaz intuitiva	2	2	4	1	2	3	6	4	8	4	8
15	Alta capacidad de batería	4	4	16	3	12	4	16	3	12	4	16
16	Dimensiones reducidas de baterías	2	3	6	4	8	3	6	4	8	4	8
17	Diseño modular	2	3	6	2	4	3	6	4	8	4	8
18	Bajo costo de Fabricación	3	3	9	2	6	1	3	4	12	4	12
19	Ciclo de vida amplio	2	2	4	4	8	1	2	3	6	4	8
20	Dimensiones reducidas del sistema	2	3	6	1	2	2	4	3	6	4	8
21	Bajo peso total del sistema	2	4	8	2	4	2	4	3	6	4	8
22	Batería extraíble	2	3	6	4	8	3	6	4	8	4	8
23	Indicadores de información fácilmente percibibles	2	2	4	1	2	3	6	4	8	4	8
24	Autonomía suficiente	4	4	16	2	8	3	12	3	12	4	16
25	Propulsión eficaz	4	3	12	3	12	3	12	4	16	4	16
26	Energización eficaz	4	2	8	3	12	2	8	3	12	4	16
Total economic value		T_{e1}	105	T_{e2}	88	T_{e3}	91	T_{e4}	122	T_{eo}	140	
Relative economic value		R_{e1}	0.75	R_{e2}	0.63	R_{e3}	0.65	R_{e4}	0.87	R_{eo}	1.00	
Hyperbolic rating		H_{r1}	0.75	H_{r2}	0.64	H_{r3}	0.69	H_{r4}	0.86	H_{ro}	1.00	

En esta evaluación, se observa que la opción número 4 es la que finalmente se elige para poder continuar con el desarrollo del proyecto debido a sus consideraciones técnicas y económicas. La opción seleccionada muestra ser superior en ambas áreas teniendo un buen desempeño técnico y económico, superior al de las otras propuestas.

3.2.4 Nivel 4

Se procede a definir las subfunciones necesarias para el desarrollo de los medios elegidos (Fig. 3.5). A continuación, se muestran las funciones a desarrollar en este nivel, agrupadas según el medio del cual proceden:

- Monitorear almacenamiento de energía
 - Medir voltaje
 - Medir amperaje
- 1 motor de corriente continua
 - Generar potencia
 - Transmitir movimiento

A continuación, se detalla cada uno de los medios por los cuales se puede lograr cada subfunción y finalmente, se realiza un análisis que define cuáles medios fueron elegidos para cada parte.

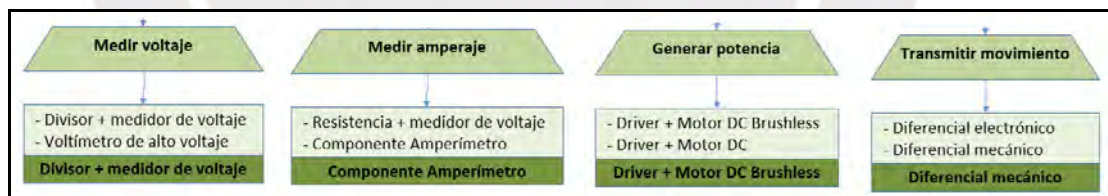


Figura 3.5: Funciones del nivel 4

Fuente: Elaboración propia

- Función: Transmitir movimiento

- Diferencial mecánico

Utiliza un principio mecánico para poder alterar las velocidades independientes de las ruedas durante las curvas, es más pesado pero confiable.

- Diferencial electrónico

Utiliza sistemas de frenado y control de estabilidad (ABS, ESP, etc.) para general el comportamiento de un diferencial tradicional. Si una rueda pierde agarre y gira más

rápido de lo necesario, el freno se activa automáticamente para disminuir la velocidad según lo requiera la rueda afectada

- Función: Medir voltaje
 - Divisor + medidor de voltaje

Se puede dividir el voltaje de la batería y usar un medidor de voltaje sencillo para saber el voltaje actual. Requiere de resistencias muy elevadas para minimizar la pérdida de energía en la medición.

- Voltímetro de alto voltaje

Se puede optar por un voltímetro para alto voltaje que mida directamente, sin embargo, son más caros y requieren modificación para ser usados por el microcontrolador.

- Función: Generar potencia
 - Driver + Motor DC Brushless

El motor DC sin escobillas, tiene una alta eficiencia y requiere de poco mantenimiento. Su precio es más elevado y su driver debe contar con una lógica de control compleja, pero tiene un buen rango de trabajo.

- Driver + Motor DC

El motor DC tiene baja alta eficiencia y requiere de mantenimiento regular. Su precio es barato al igual que su driver.

- Función: Medir amperaje
 - Resistencia + medidor de voltaje

Se puede utilizar una resistencia y usar un medidor de voltaje sencillo para medir el voltaje y calcular la corriente por la Ley de Ohm. Requiere de resistencias muy bajas para minimizar pérdidas, especialmente para niveles de corriente muy altos.

- Componente amperímetro

Se puede optar por un amperímetro para altas corrientes que mida directamente, sin embargo, dado el alto requerimiento puede requerirse el uso de más de uno o emplear uno muy especializado.

• **Tabla de evaluación de nivel 4:**

En la siguiente tabla se presenta la comparación entre las propuestas presentadas líneas atrás. Para ello, se utilizaron los criterios de diseño obtenidos en la etapa previa de planificación, y se empleó una matriz de evaluación según la metodología empleada para decidir la mejor alternativa (véase tabla 3.6).

Tabla 3.6: Tabla de evaluación para el nivel 4
Fuente: Elaboración propia

Evaluation Chart																
Design Criteria		j=	1		2		3		4		o					
		W _r	Solution 1		Solution 2		Solution 3		Solution 4		Optimal					
			W _{s1}	W _{s1} ·W _r	W _{s2}	W _{s2} ·W _r	W _{s3}	W _{s3} ·W _r	W _{s4}	W _{s4} ·W _r	W _o	W _o ·W _r				
Technical analysis																
1	Amplio rango de velocidades del motor	3	4	12	4	12	3	9	3	9	4	12				
2	Suficiente potencia de trabajo del motor	4	3	12	3	12	4	16	4	16	4	16				
3	Sistema de control de motor confiable	4	3	12	3	12	4	16	4	16	4	16				
4	Diseño modular	2	2	4	4	8	3	6	4	8	4	8				
5	Dimensiones reducidas del sistema	2	2	4	4	8	3	6	3	6	4	8				
6	Bajo peso total del sistema	2	4	8	3	6	2	4	1	2	4	8				
7	Alta eficiencia de motor	3	4	12	4	12	2	6	2	6	4	12				
8	Autonomía suficiente	4	3	12	3	12	2	8	2	8	4	16				
9	Propulsión eficaz	4	3	12	4	16	1	4	2	8	4	16				
#	Energización eficaz	4	4	16	2	8	3	12	3	12	4	16				
Total technical value		T _{t1}	104		T _{t2}	106		T _{t3}	87		T _{t4}	91		T _{to}	128	
Relative technical value		R _{t1}	0.81		R _{t2}	0.83		R _{t3}	0.68		R _{t4}	0.71		R _{to}	1.00	
Economic analysis																
11	Diseño modular	2	2	4	4	8	3	6	4	8	4	8				
12	Partes mecánicas cubiertas	2	3	6	2	4	4	8	2	4	4	8				
13	Bajo costo de Fabricación	3	1	3	3	9	2	6	2	6	4	12				
14	Ciclo de vida amplio	2	4	8	3	6	2	4	1	2	4	8				
15	Dimensiones reducidas del sistema	2	2	4	4	8	3	6	3	6	4	8				
16	Bajo peso total del sistema	2	4	8	3	6	2	4	1	2	4	8				
17	Autonomía suficiente	4	3	12	3	12	2	8	2	8	4	16				
18	Propulsión eficaz	4	3	12	4	16	1	4	2	8	4	16				
19	Energización eficaz	4	4	16	2	8	3	12	3	12	4	16				
Total economic value		T _{e1}	73		T _{e2}	77		T _{e3}	58		T _{e4}	56		T _{eo}	100	
Relative economic value		R _{e1}	0.73		R _{e2}	0.77		R _{e3}	0.58		R _{e4}	0.56		R _{eo}	1.00	
Hyperbolic rating		H _{r1}	0.77		H _{r2}	0.80		H _{r3}	0.63		H _{r4}	0.63		H _{ro}	1.00	

En esta evaluación, se observa que la opción número 2 es la que finalmente se elige para poder continuar con el desarrollo del proyecto debido a sus consideraciones técnicas. La opción seleccionada se desempeña igual de bien en el área económica que la propuesta 1, sin embargo, muestra tener una ligera superioridad en el aspecto técnico. Esto se debe a que la opción 2 presenta mejores características para la disposición del proyecto al requerir menores dimensiones.

3.2.5 Clasificación del hardware por subsistema

A continuación, se muestra la tabla 3.7, con los subsistemas obtenidos al evaluar el último nivel del árbol de funciones:

Tabla 3.7: Tabla de subsistemas
Fuente: Elaboración propia

Sistema de actuación	Sistema de medición	Sistema de Energía/Materia	Sistema información	Interfaz de salida	Interfaz de entrada
<ul style="list-style-type: none"> • Driver + Motor DCBL • Relés 	<ul style="list-style-type: none"> • Encoder • Circuito Amperímetro • Divisor + medidor de voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Celdas de Litio • Batería + BMS • Caja reductora • Diferencial mecánico • Juntas Homocinéticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Micro-procesador 	<ul style="list-style-type: none"> • Pantalla LED • Diodos LED 	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores • Acelerador de Pedal

3.3 Síntesis de estructura y comportamiento general

En esta sección se presentarán la arquitectura mecatrónica y electrónica, los bosquejos de los medios individuales y los subsistemas.

3.3.1 Arquitectura del diseño mecatrónico

Las entradas que encontramos son el botón de Encendido/Apagado, interruptores de selección y el acelerador de pedal. Estas entradas entregan información al microprocesador, el cual será el encargado de controlar todo el sistema. Tiene conexión con el driver del motor DC Brushless, el cual recibe energía eléctrica de la batería a través del BMS y genera la energía mecánica de propulsión. El conjunto Batería y BMS está separado de la zona de carga, la batería secundaria y el motor a través de un sistema de relés. El encoder mide la velocidad de salida de la caja reductora, el circuito amperímetro y divisor con el medidor de voltaje miden el amperaje y voltaje de salida de la batería de tracción, respectivamente.

Con esta información el Microprocesador es capaz de controlar el consumo de energía y la potencia de entrada del motor. El motor envía la energía mecánica la caja reductora para aumentar el torque, luego pasa por el diferencial hasta las juntas homocinéticas que enviarían la energía hasta las ruedas una vez ensamblado el auto. La información de la velocidad, el modo de consumo y demás se observan por la pantalla LCD y diodos, y los cambios de modo pueden indicarse por el parlante. La arquitectura completa del sistema mecatrónico puede observarse en la figura 3.6 o en mayor tamaño en el anexo C.

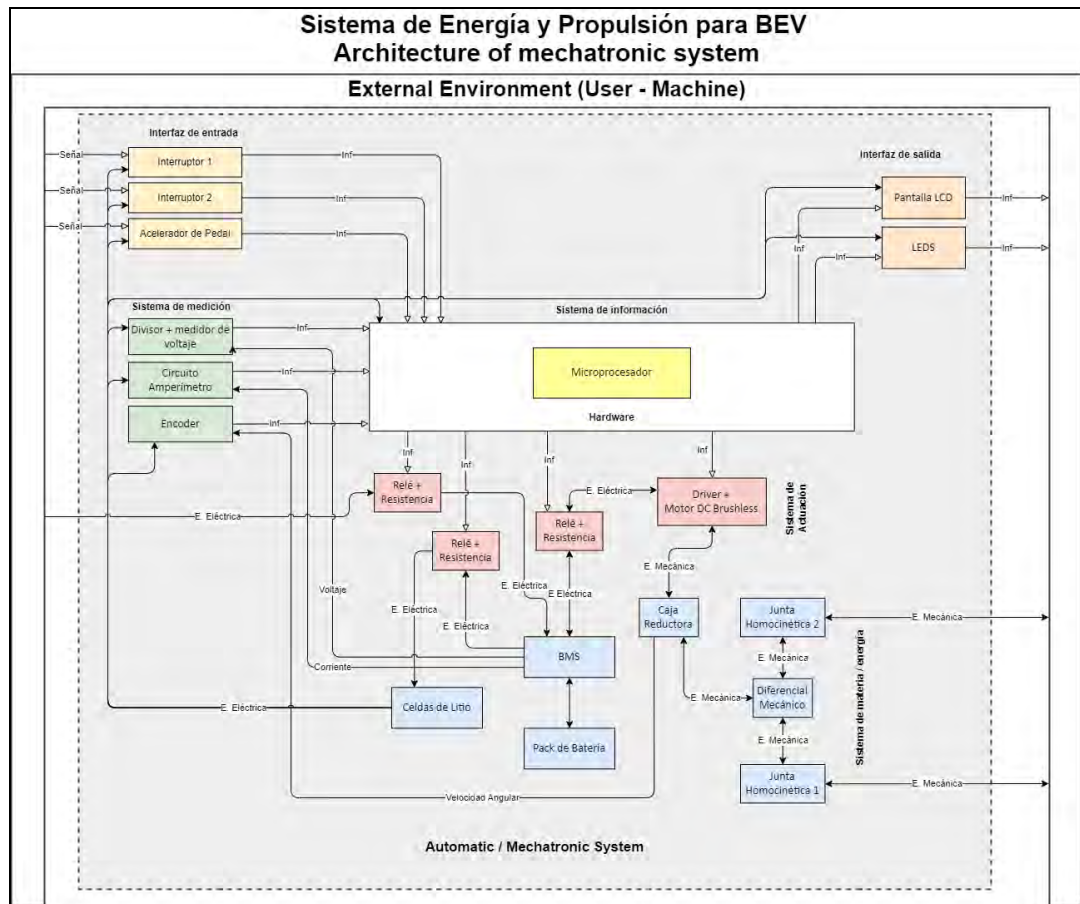


Figura 3.6: Arquitectura del sistema mecatrónico
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Arquitectura del sistema eléctrico - electrónico

Este sistema recibe como entrada la señal eléctrica enviada por un cargador especializado y mediante un botón On/Off se activará el paso de corriente activando el Relé respectivo. Luego de cargada la batería se puede usar un relé distinto para conectar la batería al driver del motor generando la propulsión, para la medición de tensión se usa un divisor eléctrico para bajar el voltaje a niveles más manejables, luego el amperímetro usa una resistencia pequeña para medir el voltaje de esta y calcular la corriente. Estos elementos sensores, además del microprocesador y las interfaces de entrada y salida, son alimentadas por una batería secundaria la cual se carga por medio de un transformador que se conecta por un relé de ser necesario. La arquitectura completa del sistema eléctrico/electrónico puede observarse en la figura 3.7 o en mayor tamaño en el anexo D.

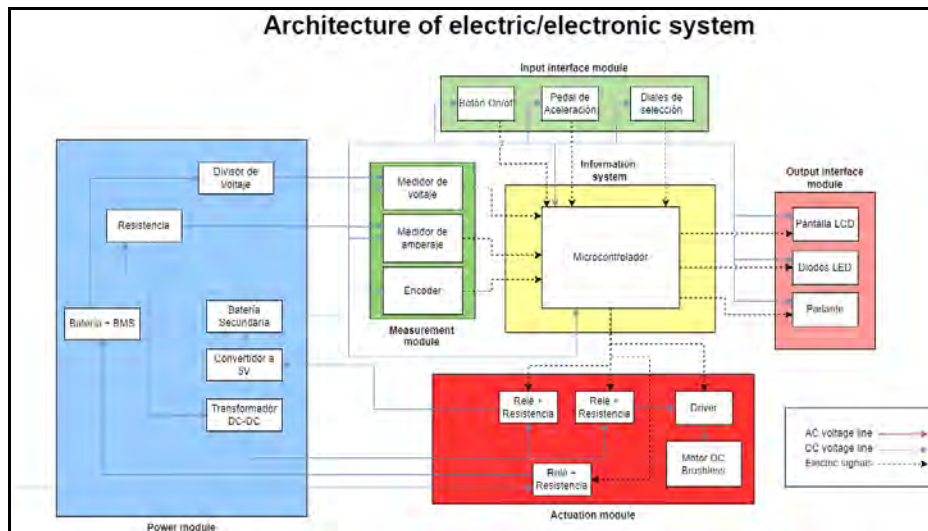


Figura 3.7: Arquitectura del sistema electrónico
Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Diagrama de clases

Existen 5 clases de variables que se utilizarán para compartir información a través del algoritmo del sistema, las cuales se presentan en el diagrama entidad-relación. (véase figura 3.8). El diagrama puede visualizarse mejor en el Anexo E.

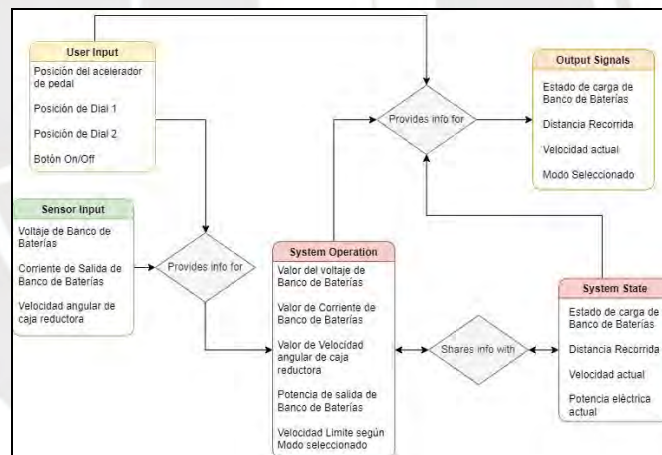


Figura 3.8: Diagrama de clases del sistema
Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Bosquejos del sistema físico

- **Sistema General:**

Se observa el sistema general y la propuesta de disposición de los componentes, de forma que el subsistema de propulsión se encuentra en la parte trasera; la batería, el driver y algunos conectores están en el medio; y el subsistema de control junto a la interfaz de usuario con el pedal se encuentran en la parte delantera. De este modo, se espera que se tenga la zona de interacción con usuario al frente, así se pueda cambiar

el modo de uso y observar la información de la pantalla de forma sencilla. Además, se tiene cerca el pedal del motor para aumentar la velocidad, la información se procesa rápido por el subsistema de control y luego la información va al driver y al motor. El bosquejo puede visualizarse en la figura 3.11 o en mayor tamaño en el anexo E.

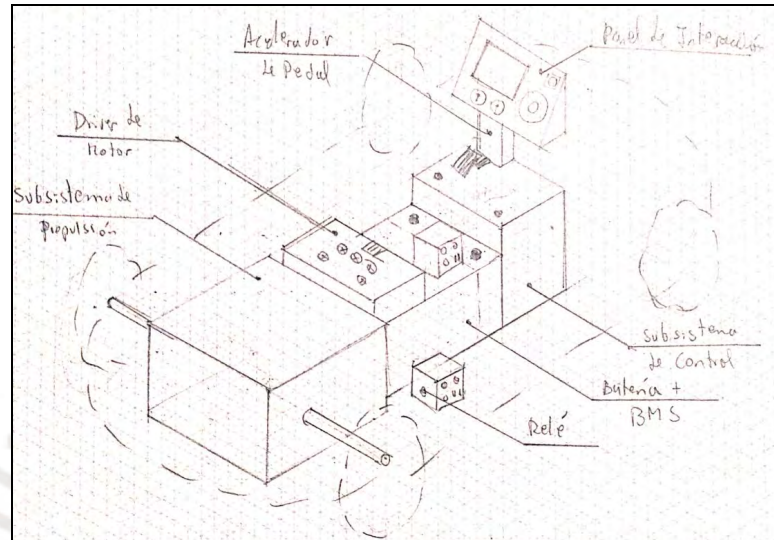


Figura 3.9: Sistema general
Fuente: Elaboración propia

- **Subsistema de Propulsión:**

Se decide concretar todos los componentes mecánicos del sistema como un subsistema. De este modo, se observa el subsistema de propulsión, que cuenta con todo el tren de potencia desde el motor, pasando por la caja de reductora (con el encoder) hasta el diferencial y finalmente a las juntas homocinéticas. El bosquejo puede visualizarse en la figura 3.12 o en mayor tamaño en el anexo E.

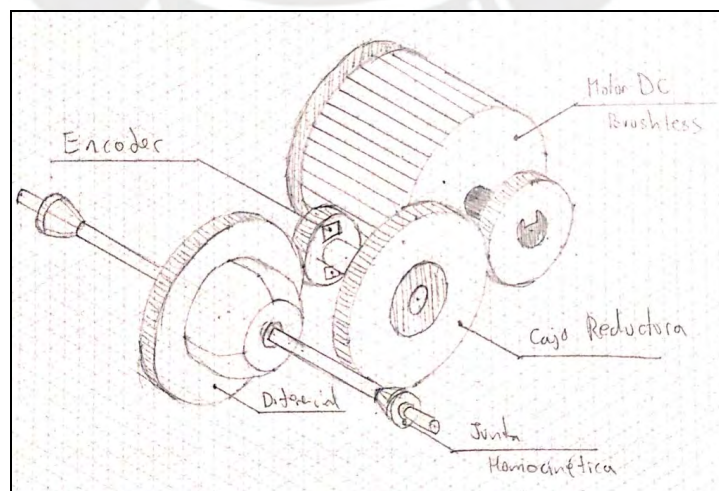


Figura 3.10: Subsistema de propulsión
Fuente: Elaboración propia

- **Subsistema de Control:**

La mayoría de componentes electrónicos se concentran en una zona destinada a estar separada del motor para evitar ruido eléctrico. De este modo, se observa el subsistema de control, que cuenta con el microprocesador, los sensores de voltaje y corriente, además de los transformadores de voltaje y las celdas de voltaje que alimentan estos componentes. El bosquejo puede visualizarse en la figura 3.11 o en mayor tamaño en el anexo E.

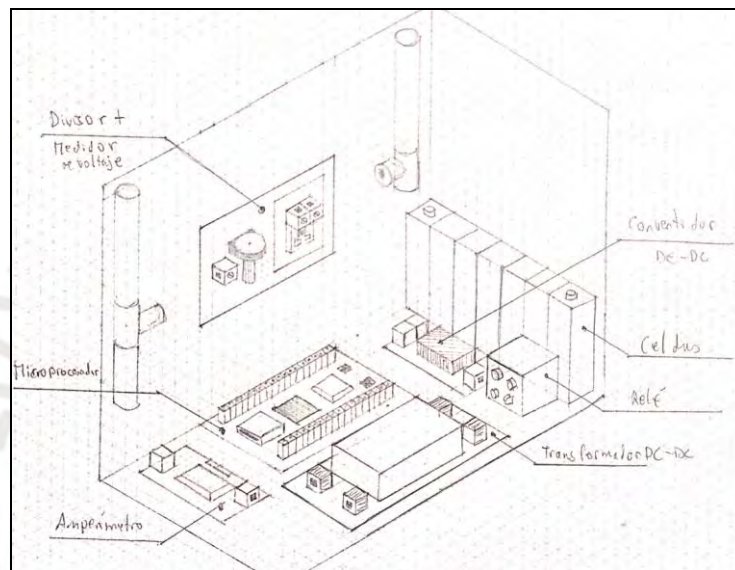


Figura 3.11: Subsistema de control
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

DISEÑO INTEGRAL DEL SISTEMA MECATRÓNICO

En el presente capítulo, se realiza una presentación general del diseño mecatrónico desarrollado en este trabajo de tesis. Primero, se presenta una visualización general aproximada de los diferentes módulos. Luego, se da una breve descripción y explicación del funcionamiento general del sistema. Finalmente, se presentan los componentes y sus conexiones a través de diagramas y gráficos.

4.1 Integración del sistema mecatrónico

Se presenta el modelo 3D del proyecto desarrollado mediante el software Autodesk Inventor (véase figura 4.1), el cual incluye tanto modelos preexistentes como modelos diseñados específicamente para este proyecto. Se presenta una vista isométrica aproximada de la integración de los diferentes módulos que lo conforman en contexto, dentro de un modelo referencial del nuevo vehículo biplaza completo. Se detalla la posible posición relativa de cada subsistema dentro del diseño total. Cada uno será desarrollado en profundidad en las siguientes secciones.

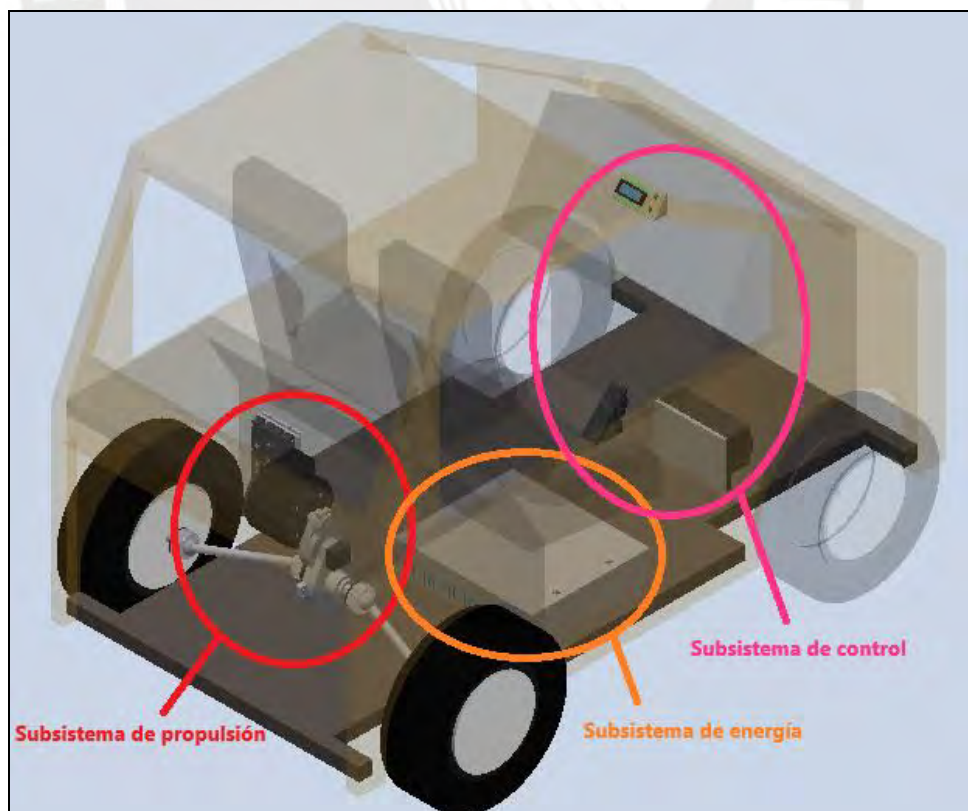


Figura 4.1: Modelo 3D del sistema de energía y propulsión
Fuente: Elaboración propia

4.2 Funcionamiento del sistema

El funcionamiento general del sistema puede entenderse usando como apoyo el diagrama de operaciones del sistema (véase figura 4.2), en este se presentan únicamente las acciones que el usuario, en este caso el conductor, debe realizar para el funcionamiento del sistema. Primero, el conductor debe retirar el cargador y luego encender el sistema, pues el módulo de control empieza a operar verificando esto. Por seguridad, el sistema no puede iniciar la propulsión durante la carga.

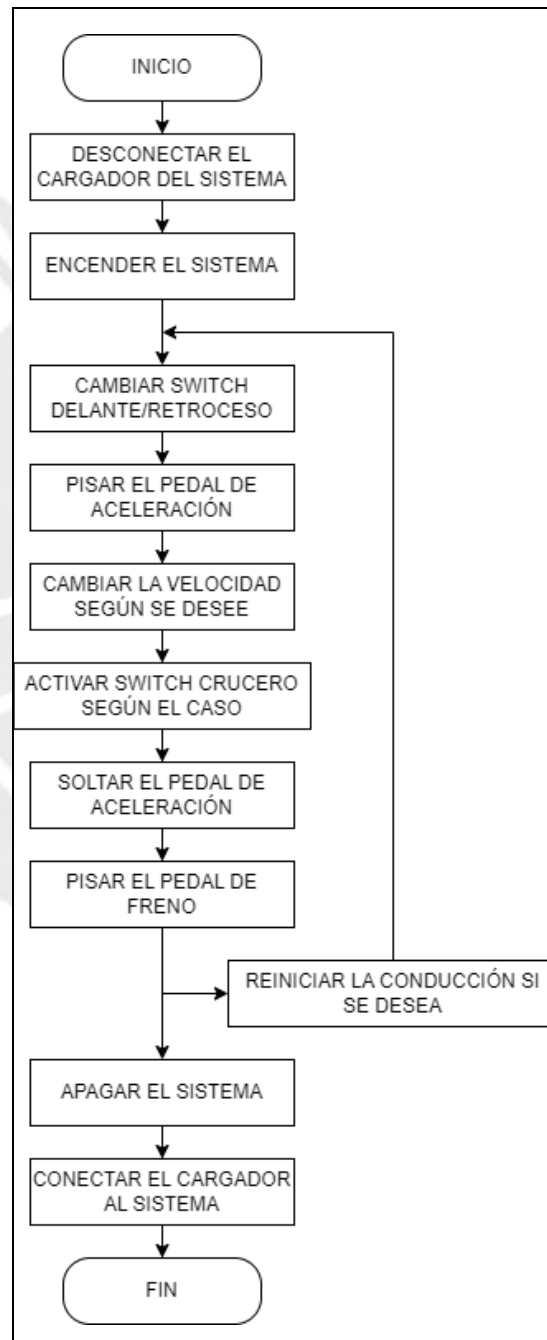


Figura 4.2: Diagrama de Operaciones del sistema de energía y propulsión

Fuente: Elaboración propia

Luego de ello, el conductor debe elegir entre los modos de conducción “adelante” o “retroceso” usando el switch en el panel de control. Esto debe realizarse antes de pisar el pedal de aceleración e iniciar el movimiento pues el sistema internamente no permite un cambio entre cualquiera de los modos durante la propulsión. Así mismo, una vez iniciado el movimiento y la velocidad ajustada según el pedal de aceleración, se puede optar por activar el modo “cruce” donde el sistema internamente mantiene la velocidad constante. Este solo puede realizarse una vez iniciado el movimiento y durante el modo de conducción “adelante”. El sistema no puede activar el cruce en reversa, por seguridad, o si la velocidad es muy reducida, por eficiencia.

Cuando la conducción llega a su fin, se debe soltar el pedal de aceleración y pisar el pedal del freno posteriormente. Siendo parte de un vehículo, el sistema puede detenerse momentáneamente en un semáforo en rojo, por ejemplo, o detenerse definitivamente al terminar sus funciones del día. Si se detiene momentáneamente, la conducción puede iniciar nuevamente como indica el diagrama. Cuando la conducción para definitivamente, entonces el sistema debe apagarse y conectar al cargador. Cabe resaltar que, si bien el presente proyecto no abarca el sistema de frenado, se considera una señal de freno que activaría la opción de freno eléctrico en el driver del motor.

Durante su funcionamiento y de manera interna, cuando el sistema presenta menos del 15% de porcentaje de batería, se activa un “modo de bajo rendimiento”. En este modo, la propulsión cambia pues el driver ya no es accionado según las directivas del usuario, sino que se prioriza el control de la corriente, limitando el voltaje de aceleración para mantener un máximo de corriente constante. Considerando que llegado a este punto las funciones del sistema estarían limitadas, se consideró apropiado brindar una alerta temprana para notificarle al usuario que está próximo a entrar en este modo. Al bajar del 25% de batería, aparece una advertencia temporal con los mensajes temporales consecutivos: “PLANEERECARGA” y “BAJOREND. PROXIMO”.

4.3 Diagrama de conexiones

El diagrama de conexiones riguroso se desarrolló a través del software Autodesk Eagle (véase anexo F). Se muestra la totalidad de componentes electrónicos y las

conexiones que el sistema emplearía para la comunicación y energización de estos. Sin embargo, la visualización y entendimiento de las conexiones del sistema es complicado y engorroso empleando únicamente el diagrama de conexiones. Es por esto que se considera útil presentar un gráfico distinto, menos riguroso, pero que permite un mayor entendimiento de las conexiones y relaciones entre los distintos componentes de manera intuitiva (véase figura 4.3).

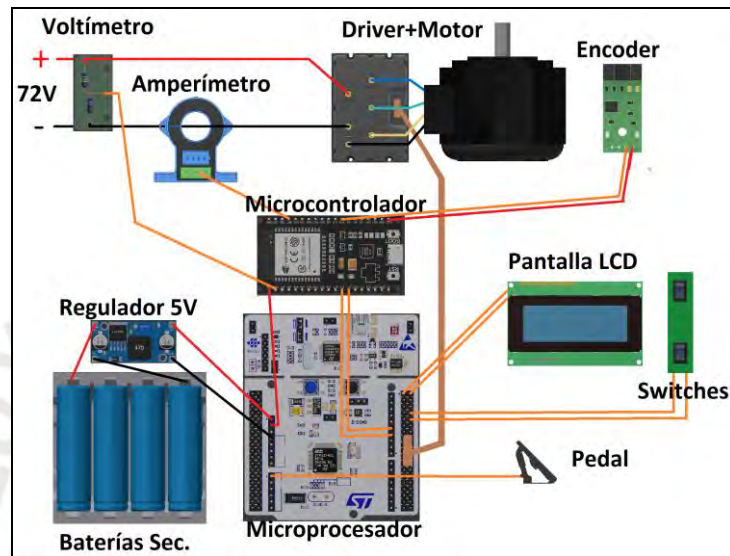


Figura 4.3: Gráfico de conexiones simplificado
Fuente: Elaboración propia

Gracias a este gráfico es posible observar las relaciones de los principales componentes del sistema de manera sencilla y visual. Se observa, por ejemplo, que se emplea tanto un microprocesador como un microcontrolador. Asimismo, los sensores se conectan solo al microcontrolador mientras que el conjunto driver + motor, así como los componentes de interacción con el usuario se conectan al microprocesador. Así se puede entender que el sistema funciona gracias a la comunicación de estos dos componentes. El porque se emplean ambos se explica en la sección 6.4.9.

4.4 Validaciones de Requisitos de Diseño

Esta sección presenta la validación de los requisitos del proyecto definidos en la sección 3.1, con el objetivo de ofrecer una visión clara y estructurada de los criterios de diseño y su cumplimiento durante el desarrollo de esta tesis. En primer lugar, se resumen los requisitos esenciales, clasificados como “Demandas” según la metodología aplicada, en la tabla 4.1. A continuación, se detallan los requisitos menos prioritarios, pero deseables, categorizados como “Deseos”, en la tabla 4.2,

junto con su correspondiente evaluación de cumplimiento. Cada cuadro ordena estos requisitos, luego especifica el capítulo dentro del cual se encuentra el valor que referente al cumplimiento del criterio y finalmente el valor obtenido para verificar si se logró o no cumplir con lo planteado.

Tabla 4.1: Validación de Requisitos tipo “Demanda”
Fuente: Elaboración propia

Requisito de Diseño	Valor del Requisito	Verificación dentro de la tesis: (Capítulo)	Valor en el Diseño	¿Requisito cumplido?
Amplio rango de velocidades del motor	1500 - 5000 rpm	Diseño eléctrico-electrónico: Selección de motor BLDC	3500 rpm nominal	Si
Potencia suficiente del motor	4 - 15 kW		10 kW nominal	Si
Alta eficiencia de motor	min 85%		Mayor de 90%	Si
Buen torque de trabajo en ruedas	100 - 300 Nm	Diseño eléctrico-electrónico: Selección de motor BLDC y Diseño mecánico: Caja reductora	292 Nm en ruedas. (42 Nm nominal del motor)	Si
Alta capacidad de batería	min. 3 kWh	Diseño eléctrico-electrónico: Selección de celdas de tracción	4.96 kWh	Si
Sistema de control de motor confiable	Sistema de reinicio interno < 500 ms	Diseño eléctrico-electrónico: Selección de microprocesador	2 Watchdogs y Brown-out Reset. Reinicio < 100 ms	Si
Autonomía suficiente	min 55 km	Diseño del sistema mecatrónico: Estimación de la autonomía del sistema	104.2 km	Si
Bajo costo de Fabricación	máx. 3500 dólares	Presupuesto	3270 dólares	Si

Se lograron cumplir todos los requisitos de diseño establecidos como “Demanda” durante el diseño conceptual del sistema. De estos, los criterios más relevantes son los de Autonomía suficiente y Bajo costo de fabricación, siendo que maximizar la autonomía minimizando el costo era el aporte principal buscado en el desarrollo del sistema. El resto de criterios se establecen para poder cumplir con el aporte sin

sacrificar el buen desempeño del sistema, siendo requisitos referentes a una buena propulsión y energización.

En el caso de los “Deseos”, existen algunos requisitos los cuales no pudieron ser validados al no tener una forma teórica de corroborar su cumplimiento. Lo intuitiva que es una interfaz o lo fácilmente percibibles que pueda ser un indicador no son valores directamente estimables. En todo caso, son requisitos que solo serían validados a través de un prototipo físico o virtual, lo cual no se encuentra en los alcances de este trabajo. Lo mismo sucede si se desea verificar si las partes mecánicas están cubiertas apropiadamente por la caja de engranajes, siendo que el grado de protección solo podría ser medido en un prototipo físico.

Tabla 4.2: Validación de Requisitos tipo “Deseo”
Fuente: Elaboración propia

Requisito de Diseño	Valor del Requisito	Verificación dentro de la tesis:	Valor en el Diseño	¿Requisito cumplido?
Bajo peso total del sistema	máx. 100 kg	Diseño mecánico: Valores y Estimaciones del Peso Total	90	Si
Ancho total reducido	máx. 1.7 m	Diseño mecánico: Selección del eje de potencia	1.6	Si
Dimensiones reducidas de baterías	máx. 30 litros	Diseño mecánico: Modelo 3D	24.5	Si
Dimensiones reducidas del sistema	máx. 200 litros	Diseño mecánico: Modelo 3D	45.6	Si
Diseño modular	máx. 10 módulos	Diseño mecánico: Modelo 3D	4	Si
Ciclo de vida amplio	min. 5 años	Diseño eléctrico-electrónico: Selección de componentes eléctricos	-	Si
Batería extraíble	-	Diseño mecánico: Modelo 3D	-	Si
Interfaz intuitiva	-	Prueba de prototipo	-	-
Indicadores de información fácilmente percibibles	-	Prueba de prototipo	-	-
Partes mecánicas cubiertas	min grado de protección IP22	Prueba de prototipo	-	-

Caber resaltar que “ciclo de vida amplio” y “batería extraíble” no tienen un valor numérico para validar, sino que son conceptos considerados a lo largo del trabajo. Por un lado, todos los componentes dentro de las selecciones se consideraron para tener un tiempo de vida mayor a 5 años y, por otro, el diseño permite que el conjunto de baterías sea extraíble e intercambiable. Esto hace que sea compatible con el constante desarrollo y actualización de la tecnología de almacenamiento de energía.

4.5 Estimación de la autonomía del sistema

En general, para calcular la autonomía de un vehículo eléctrico se usa la autonomía homologada, que consiste en dividir la capacidad de la batería, dada en kWh, por el consumo medio del vehículo, en kWh/100 km, y multiplicar por 100. El valor de este consumo medio se obtiene a través del ciclo WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure), un estándar global para ciclo de conducción usado para determinar múltiples parámetros de un vehículo (UNECE, 2013).

Este estándar clasifica a los vehículos según su relación de potencia y masa sin carga, considerando que se seleccionó un motor de 10 kW y se estima una masa de 400 kg. De este modo, la relación resultante es de 25 W/kg con lo cual el vehículo total pertenecería a la clase 2 dentro del estándar. Para la clase 2, el ciclo de conducción consiste en una fase “baja”, una “media” y una “alta”, no obstante, como la velocidad máxima del vehículo es inferior a 90 km/h, la última fase se reemplaza por otra fase “baja”.

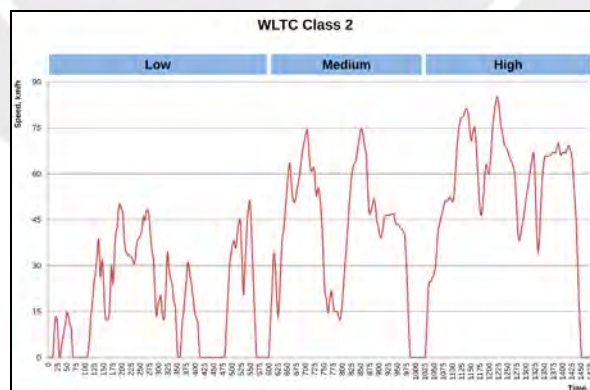


Figura 4.4: Gráfico de las fases de conducción para vehículos clase 2
Fuente: Wikipedia

Como se observa en la figura 4.4, cada fase consiste en varios segmentos de aceleración y desaceleración, momentos detenidos y picos de velocidad. Sin embargo, para realizar una estimación teórica, se usarán solo los valores medios de cada ciclo para hacer un cálculo simple. Si se buscara someter al sistema al ciclo de

conducción, lo mejor sería optar por un prototipo virtual o físico, lo cual se encuentra fuera de los alcances del presente trabajo.

Tabla 4.3: Información general tabulada de las fases de conducción para vehículos clase 2

Fuente: Wikipedia

WLTC class 2 test cycle				
	Low	Medium	High	Total
Duration, s	589	433	455	1477
Stop duration, s	155	48	30	233
Distance, m	3132	4712	6820	14664
% of stops	26.3%	11.1%	6.6%	15.8%
Maximum speed, km/h	51.4	74.7	85.2	
Average speed without stops, km/h	26.0	44.1	57.0	42.4
Average speed with stops, km/h	19.1	39.2	54.0	35.7
Minimum acceleration, m/s ²	-1.1	-1.0	-1.1	
Maximum acceleration, m/s ²	0.9	1.0	0.8	

Usando la información resumida en la tabla 4.3, se establecen para el cálculo dos etapas “bajas” a una velocidad promedio de 26 km/h de 434 segundos de duración neta, y una etapa “media” a 44 km/h de 385 segundos. Ambas se realizan con una pendiente máxima de un 1%. De este modo, se puede calcular la potencia necesaria para movilizar el vehículo (véase sección 5.1.2), en una pendiente de 1%, a la velocidad de cada caso. En la fase inicial se requieren 1.07 kW y en la fase media 2.23 kW. Considerando los tiempos de cada etapa, una eficiencia mínima del motor del 85% y del 90% en la caja reductora, la energía total requerida de las baterías es de aproximadamente 0.653 kWh.

Sin embargo, en este cálculo no se considera la funcionalidad de “batería baja” (véase sección 7.3.1), que aumenta la duración de la batería limitando el desempeño, o la funcionalidad de freno regenerativo, que recupera parte de la energía durante las fases de desaceleración. Los efectos de ambas funcionalidades solo podrían medirse exactamente a través de la experimentación en un prototipo. Sin embargo, al menos del freno regenerativo puede realizarse una estimación de su aporte en el aumento de autonomía en el caso específico del ciclo WLTP.

En vehículos eléctricos livianos, el freno regenerativo puede recuperar entre un 20% y un 40% de la energía usada en entornos urbanos, incluyendo ciclos WLTP (Szumska, 2025). Suponiendo una recuperación del 20% (equivalente 0.130 kWh), la energía neta consumida se reduce a 0.522 kWh, habiéndose desplazado un total de 10.976 km, implica un consumo medio de 4.76 kWh/100 km. Considerando la capacidad calculada de 4.96 kWh, esto se traduce en una autonomía estimada de 104.2 km.

CAPÍTULO 5

DISEÑO MECÁNICO

En el presente capítulo se desarrollan las diferentes consideraciones, cálculos y criterios de selección en lo que respecta al diseño físico del sistema. Se toman en cuenta las condiciones de trabajo y la física relacionada para realizar el dimensionamiento y la selección de los componentes mecánicos así. Se presenta el modelo 3D del sistema y se detalla en cada módulo.

5.1 Requerimientos mecánicos

Antes de analizar a más detalle la construcción física del sistema, se debe tener en cuenta lo que se espera del sistema a nivel de características físicas específicas. En este caso, se debe evaluar la potencia requerida para una propulsión eficaz, así como el torque necesario en las ruedas para la movilización en pendientes.

5.1.1 Consideraciones físicas

Para poder calcular los valores requeridos de potencia y torque, se deben tener presentes algunas consideraciones físicas ajenas al diseño (véase tabla 5.1). Primero, se debe definir más rigurosamente el adjetivo de “urbano” del presente proyecto. Según un análisis de la información brindada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el “MANUAL DE CARRETERAS: DISEÑO GEOMÉTRICO DG – 2018”, se estima que las calles en una zona urbana no deberían tener una pendiente longitudinal mayor al 7% y se puede esperar un valor de 2.5% como una pendiente usual o promedio. Además, se considera que la velocidad máxima permitida en zonas urbanas sería de 50km/h, según información brindada por la Municipalidad De Lima (Ruíz, 2022). Sin embargo, se tomará como velocidad máxima a 65km/h (18m/s), pues se toma en consideración los casos en los que se debe aumentar la velocidad brevemente para evitar colisiones o adelantar otros vehículos.

Luego, se deben definir otras consideraciones referentes a la conducción como por ejemplo una “velocidad mínima” y una “aceleración mínima”. Estas consideraciones se desarrollan para analizar los casos de conducción en pendiente elevada y con elevada carga, los cuales se espera que tengan los valores más elevados de torque.

De este modo, la velocidad mínima hace referencia a la rapidez a la que se espera que sea capaz de moverse el vehículo en ese caso. Mientras, la aceleración mínima se tomaría como el valor necesario para alcanzar esa velocidad mínima desde el reposo en un periodo máximo de 5 segundos. Así, se toma a la velocidad mínima como 18km/h (5m/s), con lo que la aceleración mínima sería de 1m/s^2 . Estos valores se consideran suficientes pues no se espera que las zonas de elevada pendiente sean muy largas o comunes, así esta velocidad sería suficiente para poder movilizarse hasta una zona de menor pendiente.

Finalmente, se deben definir características del propio vehículo una vez ensamblado en su totalidad. Lo primero que se analiza es la capacidad de carga, pues el vehículo debe poder transportar a dos pasajeros y su equipaje. Siendo el peso promedio de una persona mayor a 20 años de 84 kg (Fryar et al, 2021) y considerando un equipaje de poco más de 10 kg, se espera que la máxima carga del vehículo sea de 190 kg. A esto se le agrega que el vehículo en su totalidad tendría una masa de 400 kg aproximadamente. También, se emplearían ruedas estándar 155/65R14, lo que se traduce en un radio de la rueda de 0.278 m. Además, se considera un área frontal proyectada del vehículo de 2.1 m^2 .¹

Tabla 5.1: Consideraciones físicas ajenas al diseño
Fuente: Elaboración propia

Característica	Valor	Unidades
Pendiente máxima	7%	-
Pendiente promedio	2.5%	-
Velocidad máxima	65	km/h
Velocidad mínima	18	km/h
Aceleración mínima	1	m/s^2
Masa del vehículo	400	kg
Carga máxima	190	kg
Radio de la rueda	0.278	m
Área frontal	2.1	m^2

¹Consideraciones provenientes de la tesis “DISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN, FRENO, SUSPENSIÓN Y CHASIS PARA UN CUADRICICLO ELÉCTRICO BIPLAZA URBANO”

5.1.2 Cálculos realizados

Dadas las consideraciones físicas planteadas en la sección anterior, podemos definir un estado físico general para el cuadriciclo. Este puede entenderse como el diagrama de fuerzas que actúan sobre el vehículo (véase la figura 5.1), en el cual se resumen las principales fuerzas las cuales actúan sobre el vehículo en un momento general de la conducción.

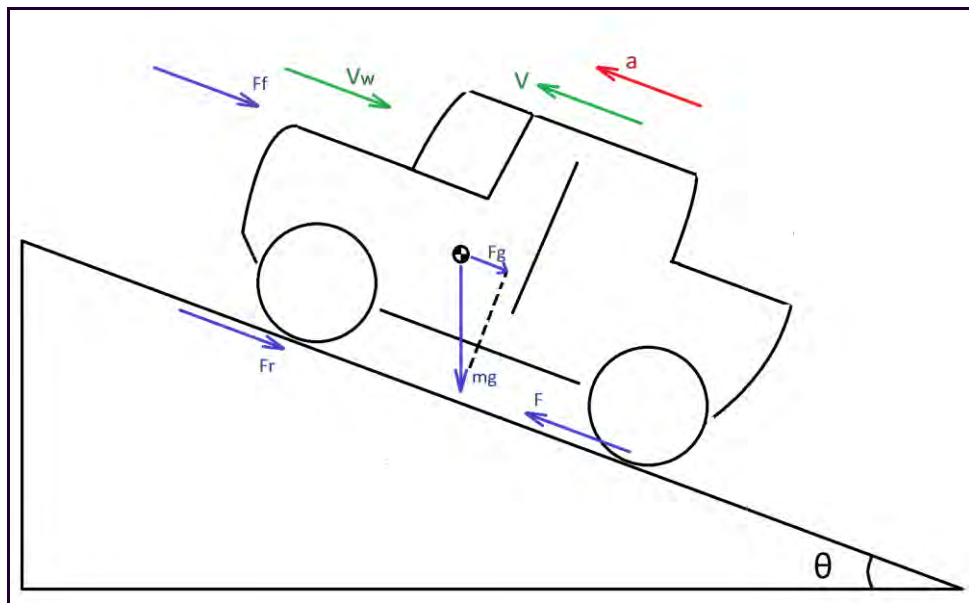


Figura 5.1: Diagrama de fuerzas del vehículo en un instante cualquiera

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, para que el vehículo pueda avanzar, la fuerza en las ruedas (F) debe ser capaz de vencer a la resistencia a la rodadura (F_r), la resistencia aerodinámica (F_f) y a la resistencia a la pendiente o al peso (F_g). Si la fuerza de las ruedas supera a todas las resistencias entonces el vehículo comenzaría a aumentar su velocidad con una aceleración (a). Lo anterior mencionado puede resumirse en la ecuación (5.1), luego las ecuaciones del (5.2) al (5.6) desarrollan la forma de calcular cada componente de la fórmula.

$$F = F_r + F_f + F_g + M_t \cdot a \quad (5.1)$$

$$F_r = M_t \cdot g \cdot c_r \cdot \cos \theta \quad (5.2)$$

$$F_f = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_d \cdot (V + V_w)^2 \quad (5.3)$$

$$F_g = M_t \cdot g \cdot \sin \theta \quad (5.4)$$

Donde:

Fuerzas (N)	Velocidades (m/s)	Masas (kg)	Adimensionales
<ul style="list-style-type: none"> • F: fuerza en las ruedas • F_r: resistencia a la rodadura • F_f: resistencia aerodinámica • F_g: resistencia al peso 	<ul style="list-style-type: none"> • V: velocidad del vehículo • V_w: velocidad del viento (se toma 3) 	<ul style="list-style-type: none"> • M_t: Masa total (M+m) • M: masa del vehículo • m: masa de la carga 	<ul style="list-style-type: none"> • c_r: coeficiente de rodamiento • C_d: coeficiente aerodinámico • θ: Ángulo de la pendiente
Densidad (kg/m ³)	<ul style="list-style-type: none"> • ρ_{aire}: densidad del aire (se toma 1.225) 	Aceleraciones (m/s ²)	<ul style="list-style-type: none"> • g: aceleración de la gravedad (se toma 9.8) • a: aceleración de vehículo

Finalmente, se debe hallar las características físicas relevantes: potencia (P), torque en las ruedas (τ) y velocidad de las ruedas (n). Las primeras 2 ya se han mencionado en apartados anteriores; sin embargo, la velocidad angular se considera importante para el dimensionamiento de la caja de transmisión, la cual se hará en una sección siguiente. Para calcular estas características se emplean las siguientes ecuaciones:

$$P = F \cdot V \quad (5.5)$$

$$\tau = F \cdot r \quad (5.6)$$

$$n = \frac{30 \cdot V}{\pi \cdot r} \quad (5.7)$$

Donde:

- P: potencia (W)
- τ: torque en las ruedas (Nm)
- n: velocidad en las ruedas (rpm)
- r: radio de la rueda (m)

Con esto, se tiene toda la matemática necesaria para estudiar los 3 casos más representativos de conducción: (1) Conducir con máxima carga en la máxima pendiente a velocidad mínima, (2) Conducir con máxima carga en pendiente baja a velocidad máxima y (3) Arrancar con aceleración mínima en la máxima pendiente con máxima carga. A continuación, se observa los resultados de cada caso:

Caso 1:

- M_t = 590 kg
- Pendiente = 7% → θ = 4°
- V = 18km/h = 5m/s

Se obtiene:

- $F_f = 6.4 \text{ N}$
- $F_r = 68.1 \text{ N}$
- $F_g = 403.8 \text{ N}$

Así:

- $F = 478.2 \text{ N}$
- $P = 2.39 = \text{kW}$
- $\tau = 133.0 \text{ Nm}$

Caso 2:

- $M_t = 590 \text{ kg}$
- Pendiente = 2.5% → $\theta = 1.43^\circ$
- $V = 65 \text{ km/h} = 18 \text{ m/s}$

Se obtiene:

- $F_f = 114 \text{ N}$
- $F_r = 95.4 \text{ N}$
- $F_g = 144.5 \text{ N}$

Así:

- $F = 353.9 \text{ N}$
- $P = 6.39 \text{ kW}$
- $\tau = 98.4 \text{ Nm}$
- $n = 620 \text{ rpm}$

Caso 3:

- $M_t = 590 \text{ kg}$
- Pendiente = 7% → $\theta = 4^\circ$
- $a = 1 \text{ m/s}^2$

Se obtiene:

- $F_f = 0 \text{ N}$
- $F_r = 57.7 \text{ N}$
- $F_g = 403.8 \text{ N}$

Así:

- $F = 1051.4 \text{ N}$
- $\tau = 292.3 \text{ Nm}$

De este modo, se obtiene el valor de los requerimientos físicos del sistema, siendo requerida una potencia máxima de 6.4 kW, un torque en las ruedas máximo de 292.3 Nm y una velocidad en las ruedas máxima de 620 rpm. Con estos valores ya es posible dimensionar el motor y los demás componentes del subsistema de propulsión. La selección del motor se realiza como parte del diseño eléctrico-electrónico pues es el componente que consumirá más potencia y corriente eléctrica.

Los demás componentes son netamente mecánicos y serán dimensionados en las siguientes secciones.

5.2 Dimensionamiento del sistema

Una vez calculados y definidos los requerimientos físicos generales del sistema, se puede empezar a dimensionar los componentes mecánicos de forma más específica.

5.2.1 Diferencial, engranajes, juntas y eje

En general, es posible realizar un diseño meticuloso para todo el conjunto del eje de las ruedas del vehículo. Sin embargo, para el presente caso se considera como una mejor alternativa el realizar la selección de un conjunto ya definido. Esto se debe a que el conjunto del diferencial y los engranajes para la caja reductora son componentes especializados cuya manufactura es delicada y, por ello, muy costosa además de requerir herramientas específicas. De este modo, se considera que todo este conjunto puede definirse solo por la aplicación y sus condiciones mecánicas, es decir, un vehículo urbano (no se esperan giros muy bruscos) y que resista las condiciones de velocidad y fuerza (torque máximo y potencia máxima). Asimismo, el diferencial y los engranajes deben ser del mismo vehículo para asegurar el engrande correcto además de que cumplan bien las condiciones dados sin embargo las juntas y ejes (también conocidos como paleares) pueden ser de otro vehículo.

5.2.2 Caja reductora

En la sección 6.1 se presentan las alternativas para la selección de motor:

- HPM96-10000 (motor de 96V)
- HPM72-10000 (motor de 72V)

Ambos tienen un torque máximo de 50Nm según la información brindada por el fabricante. Considerando que el torque máximo en las ruedas que es necesario según los cálculos es muy superior, entonces se evidencia la necesidad de una caja reductora. Este componente permite multiplicar el torque por un factor de transmisión, así el torque aumenta desde el motor hasta las ruedas para poder cumplir con el valor requerido. Sin embargo, la velocidad del motor es dividida por el mismo factor desde el motor a las ruedas. De modo que, si el factor de conversión es muy grande, el vehículo podría no ser capaz de alcanzar la velocidad máxima establecida de 65km/h.

Además, se observa que, según los cuadros proporcionados por el fabricante (véase figura 5.2 y figura 5.3), ambos motores se vuelven ineficientes cuando superan un límite de revoluciones por minuto. Por ello, considerando el requisito de una eficiencia mínima de 85%, fue posible establecer un valor de revoluciones por minuto máximo en cada motor.

- HPM96-10000: Velocidad límite de 4510 rpm
- HPM72-10000: Velocidad límite de 4435 rpm

De este modo, considerando lo calculado en la sección 5.1, la velocidad en las ruedas en el caso de máxima velocidad se estima en 620 rpm, con lo cual la relación de transmisión máxima en cada caso es:

- HPM96-10000: Relación de transmisión máxima = $4510/620 = 7.30$
- HPM72-10000: Relación de transmisión máxima = $4445/620 = 7.17$

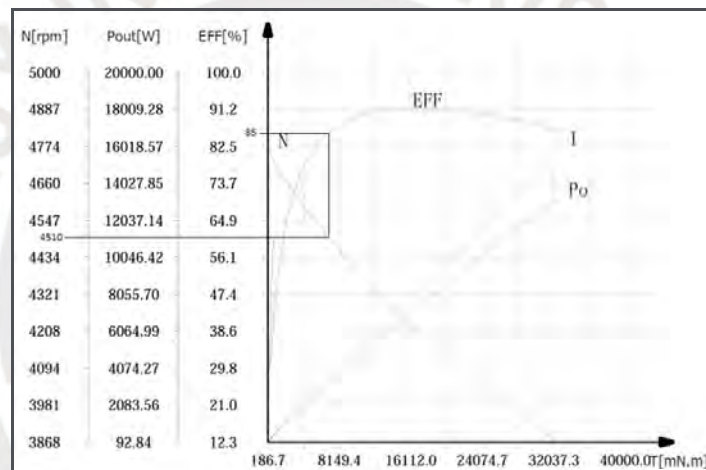


Figura 5.2: Curva dinámica del motor HPM96-10000 (eficiencia: 85% @ 4510rpm)
Fuente: Golden Motor

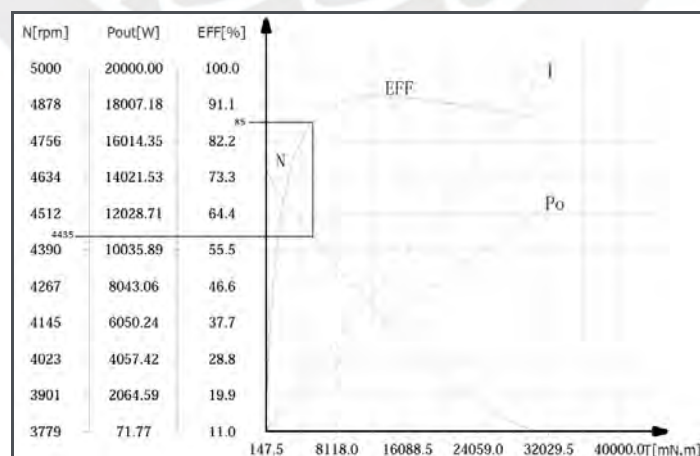


Figura 5.3: Curva dinámica del motor HPM72-10000 (eficiencia: 85% @ 4435rpm)
Fuente: Golden Motor

De este modo, es posible establecer una relación de transmisión de 7 para cualquiera de los casos, lo cual cumple apropiadamente con la condición de multiplicación del

torque. Considerando lo estimado en la sección 5.1.2, el torque máximo que se debe poder aplicar en las ruedas de 292.3Nm posterior a la caja reductora. Con ello, el torque máximo que debe generar el motor sería solo de 41.8Nm aproximadamente, siendo este inferior al límite de torque de 80Nm.

Finalmente, en la sección 5.3.1 se establece el eje de potencia, el cual recibe la potencia a través del engranaje del diferencial. En el presente caso, el número de dientes sería de 70. De este modo, se establecen los valores de un engranaje de 55 dientes, uno de 25 y uno de 22 dientes para completar la relación de transmisión entre 7.

5.3 Selección de componentes mecánicos

Tomando en consideración los requerimientos físicos y mecánicos explicados en el capítulo, es posible realizar la selección de los componentes mecánicos necesarios para la construcción del sistema.

5.3.1 Eje de potencia

Se llevó a cabo un extenso estudio de mercado para analizar la disponibilidad de componentes mecánicos especializados como el diferencial, las flechas y las juntas homocinéticas. Tras evaluar la viabilidad y rentabilidad, se concluyó que diseñar o buscar estos componentes de forma individual no era práctico, optándose por adquirirlos como un conjunto de repuestos provenientes de vehículos estandarizados. Considerando que el diseño utiliza un sistema de transmisión con el eje del motor paralelo al eje de potencia y transversal al eje principal del vehículo, la investigación se centró en vehículos ligeros con tracción delantera. Las alternativas identificadas para este conjunto de componentes se resumen en la tabla 5.2, basada en la información proporcionada por diversas empresas.

Tabla 5.2: Comparación de características para vehículos comerciales con tracción delantera.

Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Requisitos	Kia Picanto 1.0	Toyota Corolla 2.0 XLI MT	Toyota Yaris XS	Renault Clio TCe 140
Potencia de motor (kW)	6.4	49	125	79	104
Torque en ruedas (Nm)	292.3	317	690	413	360
Longitud(m)	<1.7	1,6	1.5	1.4	1.8
Llantas de fábrica	-	160/60R14	205/55 R16	185/65R15	-

Se observa que 1 de las alternativas no cumple con los requisitos mecánicos, luego entre el Kia y los Toyota, se decidió por el Kia. Esto se debe a que es más cercano a los valores del presente proyecto. Las alternativas de Toyota son vehículos más grandes y de mayor potencia, lo cual implicaría que el diferencial sea más grande y pesado. De este modo, para el eje de potencia se selecciona el repuesto para el conjunto de diferencial del Kia Picanto 1.0 (véase figura 5.4).



Figura 5.4: Componente diferencial de Kia Picanto
Fuente: Wilmon Eliseo Benalcazar Cortez YT

5.3.2 Soporte para celdas

Se realizó el estudio de mercado para analizar los componentes comerciales disponibles para la construcción del pack de baterías para el proyecto. Se encontró que, en general, existen 2 tipos de soportes para las celdas 18650 de litio, los cuales se describen y comparan en la tabla 5.3.

Tabla 5.3: Comparación de características para vehículos comerciales con tracción delantera.
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Soporte para 18650	Soporte espaciador para 18650
Imagen		
Espacio de ventilación	No	Si
Tiene Orientación	Si	No
Requiere soldar la celda	No	Si
Precio por unidad (\$)	2.5	0.375

Como se observa, el soporte de para celdas cuenta ya con cierta rigidez y con la opción de colocar y sacar las celdas sin mucho esfuerzo. Sin embargo, debido a la elevada cantidad de celdas necesarias para el proyecto, es escoge la opción de los soportes espaciadores para la realización del pack de baterías.

5.4 Modelo 3D

En esta sección, se muestran los diseños 3D del sistema, modelados en el software Autodesk Inventor. En la Figura 5.5, se recuerda la totalidad del sistema modelado, así como cada subsistema, además el software permite calcular el volumen ocupado. Cabe resaltar además que el diseño final consta de 4 módulos, siendo estos: módulo de propulsión (incluye el driver), módulo de control, módulo de energía (baterías y BMS) y módulo interfaz de usuario. Las siguientes imágenes permiten detallar en la configuración física de cada uno.

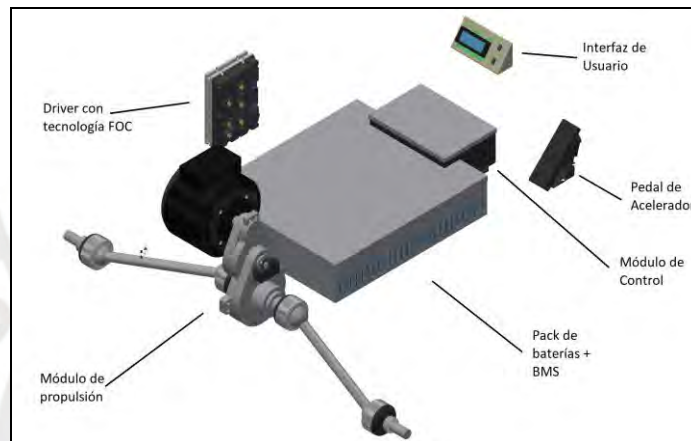


Figura 5.5: Modelo 3D general del sistema
Fuente: Elaboración propia

Las figuras 5.6, 5.7 y 5.8 presentan una vista isométrica aproximada de la integración del subsistema de propulsión, mientras que la figura 5.9 muestra su colocación esperada dentro del vehículo. Siendo que el volumen total de este subsistema fue de 13.24 litros según el software, es decir, un tamaño reducido, posible montarlo de forma sencilla en la parte trasera del vehículo simplemente asegurando el motor y la caja de engranajes al chasis y conectando cada eje a las ruedas.

La figura 5.6 expone la integración del motor BLDC a la caja de engranajes que luego se conecta al eje de potencia. La carcasa de los engranajes se retira en la figura 5.7 para mostrar las conexiones de los engranajes desde el motor hasta el diferencial mecánico. La figura 5.8 detalla como se espera que se conecte el encoder óptico con su anillo ranurado al sistema para medir la velocidad angular. Esto implicaría que la velocidad medida por el encoder no corresponde directamente a la velocidad del motor a la de las ruedas, sino una velocidad intermedia. En el anexo H, se observan los planos mecánicos correspondientes.

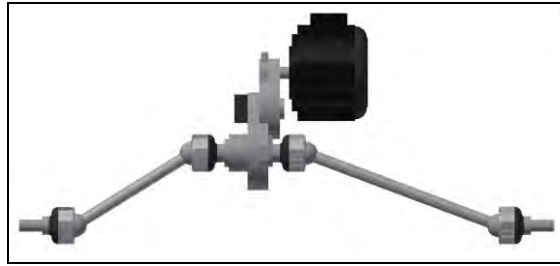


Figura 5.6: Módulo/Subsistema de propulsión
Fuente: Elaboración propia

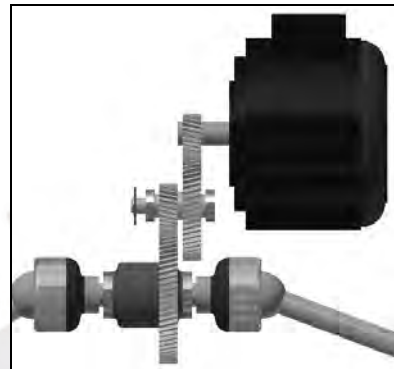


Figura 5.7: Disposición de engranajes
Fuente: Elaboración propia

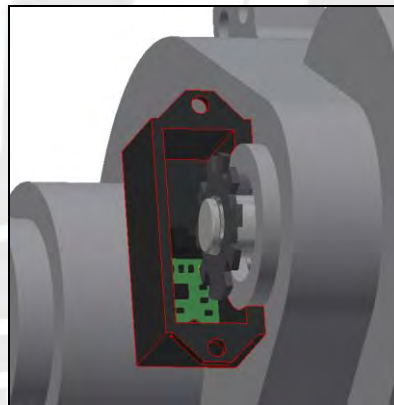


Figura 5.8: Colocación esperada del encoder y anillo ranurado
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.9: Colocación esperada de los componentes de propulsión en el vehículo
Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que, en el presente trabajo se ha desarrollado el diseño eléctrico-electrónico del pack de baterías; sin embargo, la integración física de este se espera que sea realizado por un tercero especializado. Por ello, las figuras 5.10, 5.11 y 5.12 presentan el modelo 3d de la integración física esperada del pack, mientras que la figura 5.13 represente como se espera que sea el montaje de la batería.

Se usaría el espacio debajo de las sillas para colocar el pack de modo que puede ser extraído y o cambiado de ser necesario de forma deslizante. Las dimensiones del arreglo de baterías indican que el volumen total ocupado por ellas deberá ser de aproximadamente 25 litros por lo que nuevamente le tamaño reducido permite una colocación armónica. La figura 5.10 presenta una imagen general externa y la figura 5.11 muestra cómo se ordenan las celdas empleadas, así como las ranuras de ventilación de la carcasa. La figura 5.12 expone la colocación del BMS, del cual saldrían las borneras.

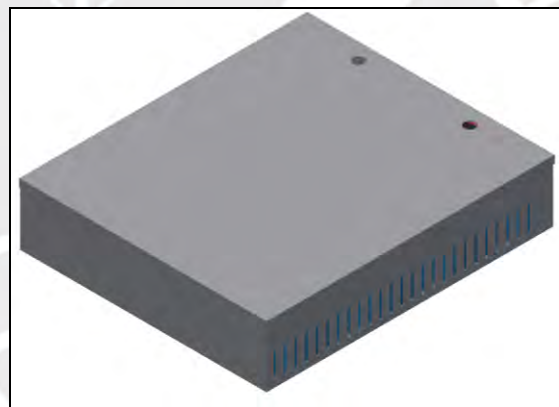


Figura 5.10: Imagen referencial general del pack de baterías
Fuente: Elaboración propia

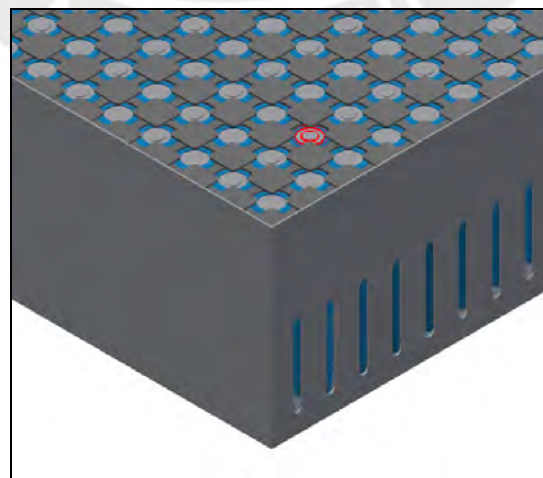


Figura 5.11: Imagen referencial de la disposición de celdas
Fuente: Elaboración propia

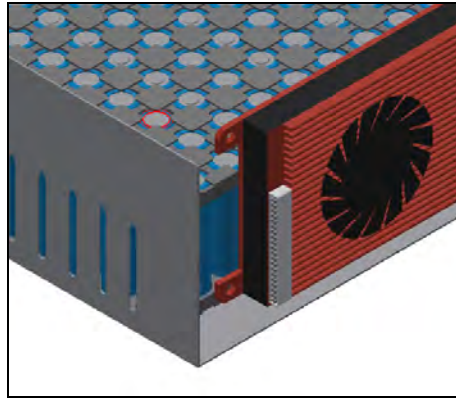


Figura 5.12: Imagen referencial de la colocación del BMS
Fuente: Elaboración propia

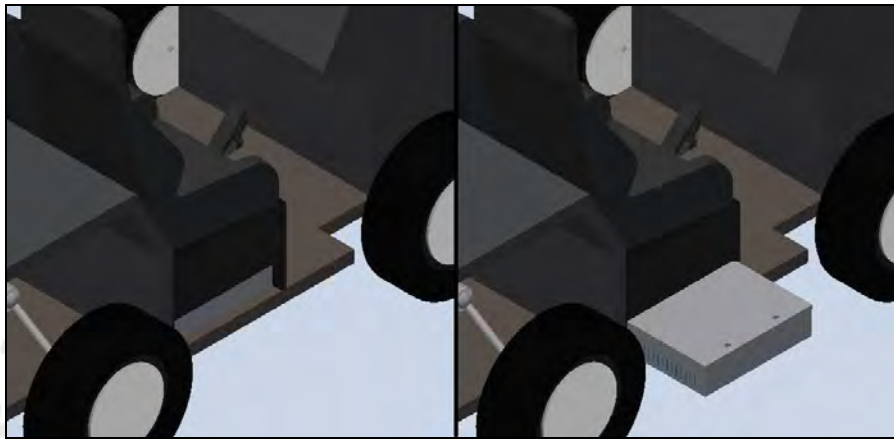


Figura 5.13: Colocación esperada del pack de baterías
Fuente: Elaboración propia

Las figuras 5.14 y 5.15 exponen la idea de disposición para los componentes del módulo de control. Debido a que este diseño finalmente se espera que sea conectado a una estructura diferente, las dimensiones exactas de la caja donde se coloca la electrónica no se han definido siendo la figura 5.14 referencial. Asimismo, la figura 5.15 muestra una disposición la cual se espera pueda respetarse al considerarse óptima para la implementación del módulo; sin embargo, puede cambiarse para acoplarse al espacio disponible. En todo caso el volumen ocupado deberá ser de alrededor de 3 litros máximo según el software.

La figura 5.16 muestra la colocación esperada de los componentes de control en el vehículo, siendo que estos se concentrarían en la zona frontal del vehículo. El pedal del acelerador va a nivel de la base para poder ser accionador por el pie, mientras el módulo de control y la interfaz de usuario (pantalla y switches) se concentran en la zona superior. Tradicionalmente, los componentes electrónicos de un vehículo se colocan en esa zona para protección de los mismo y para ofrecer un fácil acceso en caso de que algún componente falle y se deba cambiar o reparar.

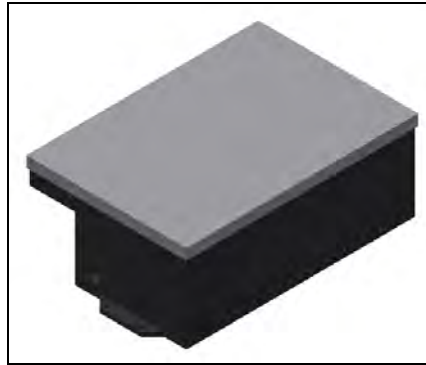


Figura 5.14: Imagen referencial de la caja para el módulo de control
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.15: Disposición referencial para los componentes dentro del módulo de control
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.16: Colocación esperada de los componentes de control
Fuente: Elaboración propia

Finalmente cabe resaltar que considerando todos los valores de volumen calculados con ayuda del software y también los calculados de forma aproximada considerando las dimensiones máximas se puede decir que el volumen total de alrededor de 42 litros cumpliendo el requisito de diseño que indica que el sistema total no ocupe más de 200 litros.

5.5 Valores y Estimaciones del Peso Total

En esta sección, se muestra valor estimado del peso total del sistema una vez completo y ensamblado en un posible prototipo físico. En la tabla 5.4, se presentan de forma ordenada los valores del peso de cada componente, módulo o submódulo además del origen de dicha información. En los algunos, se ofrece un estimado del peso considerando componentes similares y los materiales empleados. Por ejemplo, toda la interfaz y módulo de control consiste en componentes electrónicos y estructuras de impresión 3D por ello no se espera que en total pese más de un kilogramo.

Tabla 5.4: Pesos parciales y peso total del sistema
Fuente: Elaboración propia

Componente/Modulo/Submódulo	Valor (Kg)	Origen
Motor BLDC	17	Ficha Técnica del Motor
Driver Motor	2.5	Página web del fabricante
Pedal del Acelerador	0.9	Página web del fabricante
Pack de Baterías	21.1	Costo unitario de batería
Complementos del Pack	2	Estimación
BMS	0.5	Página web del fabricante
Interfaz y Módulo de Control	1	Estimación
Tren de potencia + Caja reductora	45	Página web de referencia
TOTAL	90	

CAPÍTULO 6

DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

En el presente capítulo se desarrollan las diferentes consideraciones, cálculos y criterios de selección en lo que respecta al diseño eléctrico y electrónico del sistema, tomando en cuenta las condiciones de trabajo partiendo desde la selección del motor, siendo este el componente de mayores requerimientos de voltaje y amperaje. Luego se analiza de forma ordenada el motor junto al resto de componentes organizándose en un diagrama de bloques y la selección específica de estos.

6.1 Selección de Motor BLDC

Utilizando los datos obtenidos en la sección 5.1, se hizo un estudio del mercado para hallar alternativas para la elección del motor DC Brushless que se empleará, las cuales se presentan en la tabla 6.1. Estas son diferentes opciones confiables para la importación de motores BLDC de alta potencia para el Perú, siendo que se buscó opciones comerciales que pudieran ser adquiridas actualmente.

Tabla 6.1: Comparación entre alternativas de motor BLDC
Fuente: Elaboración propia

		HPM96-10000	HPM72-10000	HPM-10KW	HPM-10KW	KY75-15	KY100-15
	Requisitos	Golden Motor	Golden Motor	Miro MAX	Miro MAX	Keya Servo	Keya Servo
Voltaje (V)	-	96	72	96	72	96	96
Corriente (I)	-	120A	160A	130A	170A	97A	130A
Potencia Nominal (kW)	6.4	10	10	10	10	7.5	10
Revoluciones (RPM)	-	3700	3500	4000	3800	1500	1500
Máximo Torque (Nm)	25.5*	50	50	78	80	95	127
Eficiencia Nominal	85%	91%	91%	86%	87%	85%	85%
Máxima Eficiencia	-	92%	93%	96%	95%	-	-
Precio (\$)	-	690	690	890	890	1099	1099
Peso (kg)	-	17	17	19	19	30	30

*El valor de 25.5 Nm de torque requerido es asumiendo que el motor se conecta a una caja reductora con relación de transmisión de 7 (ver sección 5.2.2).

Entre las alternativas, todas cumplen la eficiencia nominal mínima, pero las opciones de Keya Servo se descartaron por falta de datos sobre su eficiencia máxima, su alto costo y bajo rendimiento general. Miro MAX ofrece picos de eficiencia superiores, pero solo en condiciones específicas, lo que no se ajusta a las necesidades variables de un vehículo. Por ello, se priorizaron las opciones de Golden Motor, que presentan una eficiencia más constante y general superior. De estas, ambas opciones tienen

especificaciones (precio, peso y eficiencia) similares, por ello, la elección final se basó en los requisitos de alimentación (voltaje y amperaje), que influyen en el diseño del paquete de celdas. De este modo, se define la selección del motor BLDC junto a la selección de la alternativa para celdas de tracción. En la sección 6.4.1, gracias a un profundo análisis comparativo, se establece al motor HPM72-10000 como el motor de tracción que se empleará para el diseño.

6.1.1 Driver del motor BLDC

Considerando que para el diseño se emplea un motor DC de tipo Brushless, la selección del driver se vuelve muy importante pues este tipo de motor solo puede funcionar apropiadamente con un control electrónico preciso. En este caso, al haber seleccionado el motor de un proveedor especializado, el fabricante ya ofrece alternativas de driver para cada motor. Como se observa en la figura 6.1 y la figura 6.2, los drivers VEC300 son los recomendados para sus motores de 5kW mientras que los de la serie VEC500 son para los de 10kW, siendo los últimos de un precio más elevado.



Figura 6.1: Imagen referencia y precio de drivers VEC300
Fuente: Golden Motor



Figura 6.2: Imagen referencia y precio de drivers VEC500
Fuente: Golden Motor

Si bien la recomendación del fabricante sería emplear un VEC500 en este caso, analizando la información de las características eléctricas de cada driver (véase tabla 6.2), es posible definir otra alternativa. Como se estableció en la sección 6.2, nuestro motor solo está destinado a trabajar a 72V con corrientes menores a 150A. Si bien es un motor de 10kW, solo se espera que trabaje a potencias menores de 6.4 kW para el diseño actual. Es por estas condiciones de trabajo que se considera factible emplear el driver VEC300-72, lo cual permite cumplir con las condiciones de voltaje y corriente requeridos por el motor a un menor precio y aun empleando un driver del mismo fabricante. De este modo, se establece al driver VEC300-72 como la alternativa a emplear en el diseño.

Tabla 6.2: Información eléctrica de alternativas de Driver
Fuente: Golden Motor

Model	Rated Voltage	Rated Current	Max Phase Current	Dimensions L*W*H Weight
VEC300-48	48V	120A	300A	190*180*50mm (2.5kg)
VEC300-72	72V	100A	300A	190*180*50mm (2.5kg)
VEC300-96	96V	80A	250A	190*180*50mm (2.5kg)
VEC500-48	48V	200A	500A	200*190*58mm (3.2kg)
VEC500-72	72V	150A	500A	200*190*58mm (3.2kg)
VEC500-96	96V	120A	450A	200*190*58mm (3.2kg)

6.2 Requerimientos eléctricos

Considerando las alternativas para el motor de tracción expuestas en la sección anterior, es posible delimitar los requerimientos eléctricos máximos para cada caso. Según lo desarrollado en la sección 5.1 y considerando una eficiencia 90% para una caja reductora de dos etapas con engranajes cónicos o rectos (Stockman et al., 2015), el torque máximo que se espera que el motor deba proporcionar es de 46.4Nm aproximadamente, una vez aplicada la caja reductora. De este modo, según los datos proporcionados por el fabricante (véase figura 6.3 y figura 6.4), es posible definir la corriente que se debe proporcionar en cada caso, lo que representaría la máxima corriente para cada caso.

- HPM96-10000: Corriente máxima de 135A
- HPM72-10000: Corriente máxima de 181A

客户名称(Customer):		额定电压(V)							
产品名称(ProductName): HPM Motor		额定功率(Pe)							
电机型号(Type): 96V10KW		测试人员(Te)							
电机编号(Number):		测试日期(Te)							

序号	输入电压 V	输入电流 A	输入功率 W	电机电压 V	电机电流 A	电机功率 W	电机功率因数	电机频率 Hz	转矩 N.m
46	96.31	131.6	12522	54.63	150.4	12004	0.846	195.12	35.99
47	96.25	132.1	12472	53.59	154.0	11999	0.841	190.45	36.65
48	96.30	133.3	12550	52.59	156.3	11948	0.841	186.72	37.38
49	96.28	132.9	12519	51.68	159.2	11935	0.839	182.87	38.08
50	96.27	134.1	12557	50.86	163.2	11979	0.835	179.56	38.85
51	96.28	133.7	12596	50.04	166.0	12003	0.836	176.14	39.57
52	96.30	132.8	12575	49.34	168.5	11995	0.834	172.70	40.27
53	96.30	133.4	12617	48.41	171.6	11975	0.834	169.19	40.97
54	96.30	134.3	12611	47.73	175.4	11990	0.829	165.67	41.72
55	96.30	134.2	12632	47.03	178.9	12014	0.826	162.93	42.48
56	96.28	134.2	12641	46.28	182.1	11984	0.823	160.00	43.20
57	96.31	136.4	12661	45.57	185.7	11985	0.819	156.51	43.85
58	96.33	134.6	12632	44.86	189.0	11994	0.819	153.49	44.53
59	96.28	133.4	12661	44.27	191.7	12008	0.818	150.95	45.26
60	96.30	134.9	12620	43.44	196.5	12004	0.814	147.38	45.96
61	96.32	135.0	12648	42.87	199.3	12025	0.815	144.83	46.67
62	96.31	136.8	12673	42.21	203.7	12048	0.812	142.17	47.32

Figura 6.3: Información tabulada del motor HPM96-10000 (120A @ 25.5Nm)
Fuente: Golden Motor

Customer:		Voltage:							
ProductName HPM Motor		Power rated:							
Motor Type: 72V10KW		Tester:							
Number:		Test Data:							

Number	Voltage V	Current A	Power Motor W	VolMotor V	CurrMotor A	Power W	PF	Freque Hz	Torque N.m
46	72.22	181.5	12958	40.01	199.8	12586	0.910	201.16	36.23
47	72.25	181.1	12927	39.21	204.4	12548	0.904	197.02	36.93
48	72.25	181.2	12936	38.43	208.8	12535	0.903	192.49	37.70
49	72.28	181.0	12920	37.71	212.0	12547	0.907	187.93	38.39
50	72.21	181.0	12911	37.01	216.4	12534	0.904	184.09	39.13
51	72.27	181.5	12949	36.39	220.4	12466	0.898	179.96	39.78
52	72.28	181.0	12892	35.70	224.1	12493	0.902	176.04	40.46
53	72.25	181.1	12902	35.08	229.3	12388	0.890	172.28	41.19
54	72.25	181.2	12916	34.55	233.1	12383	0.888	168.91	41.91
55	72.24	180.8	12875	33.94	237.1	12343	0.886	165.43	42.60
56	72.26	181.4	12906	33.44	241.6	12246	0.876	162.33	43.25
57	72.21	181.2	12907	32.83	245.8	12245	0.876	158.64	44.03
58	72.19	181.3	12911	32.35	250.2	12288	0.877	155.69	44.73
59	72.28	181.7	12941	31.81	254.5	12169	0.868	152.32	45.47
60	72.26	180.9	12889	31.27	258.9	12092	0.863	149.01	46.10
61	72.24	180.8	12884	30.82	263.2	12027	0.856	146.41	46.78
62	72.26	181.5	12921	30.33	268.4	11948	0.848	143.36	47.56

Figura 6.4: Información tabulada del motor HPM72-10000 (181 @ 46.4Nm)
Fuente: Golden Motor

En la sección 6.1, se establece, luego de exhaustivo análisis, que el motor empleado para el diseño es el HPM72-10000, lo cual define los requerimientos eléctricos máximos del sistema en:

- Corriente máxima: 181A
- Voltaje máximo de 72V

6.3 Diagrama de bloques del sistema

En la Figura 6.5, se muestra el diagrama de bloques del sistema. Se muestra, a grandes rasgos, las conexiones entre el microprocesador y los demás componentes del sistema; es decir, los sensores, actuadores, el panel de control (interruptores, pantalla y parlante) y el input del sistema (pedal del acelerador).

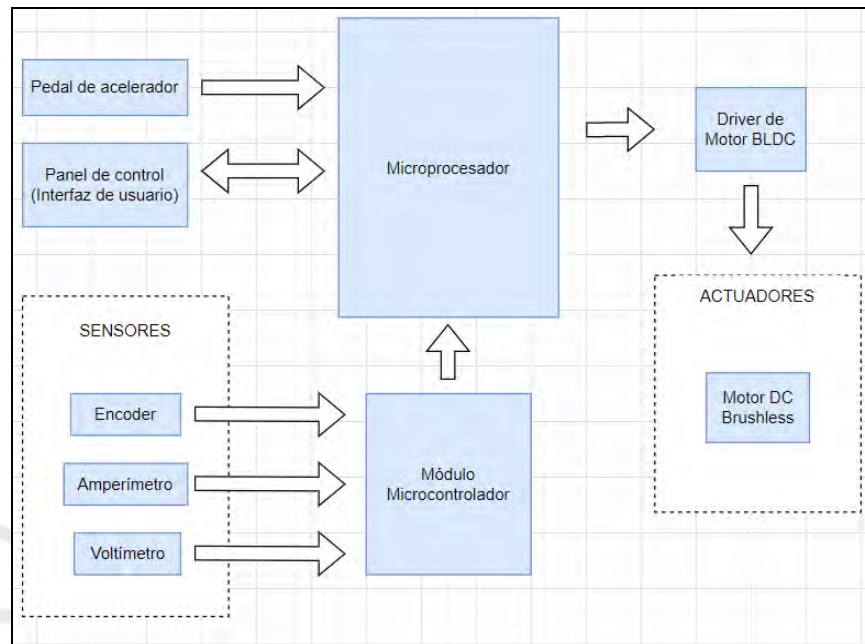


Figura 6.5: Diagrama de bloques del sistema
Fuente: Elaboración propia

Se observa además que se considera un componente adicional: un módulo microcontrolador que se encargaría de la gestión constante de la corriente, el voltaje y pulsos del encoder. De este modo, el microprocesador recibe directamente la información de estos valores cada vez que lo requiere sin que esto interfiera con el resto de sus funciones.








6.4 Selección de componentes eléctricos

Tomando en consideración los requerimientos que se explican en los diferentes apartados dentro de este capítulo, es posible realizar la selección de todos los componentes definidos como necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

6.4.1 Celdas de tracción

En esta sección, se realizó un estudio del mercado gracias a la cual fue posible hallar una serie de alternativas para las celdas de tracción del sistema, las cuales se presentan en la tabla 6.3.

Tabla 6.3: Comparación de características de celdas de tracción
Fuente: Elaboración propia

	N18650CK	30P	ICR18650-26V	F1L	25R	N18650CP	INR18650-29V
Imagen referencial							
Marca	BAK	EPOCH	EVE	LG	SAMSUNG	BAK	EVE
Voltaje Nominal (V)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Max. corriente de descarga continua (A)	6.1	15	7.5	4.87	20	6.5	8.4
Capacidad Nominal (Ah)	3.05	3	2.55	3.35	2.5	3.35	2.85
Precio (\$)	2.45	4.75	1.85	2.85	3.85	3.1	2.25
Masa(g)	47	45	48	45	44	48	50

Sin embargo, solo obteniendo la información individual de cada candidato, no es posible saber cuál cumplirá mejor los requerimientos de diseño. Considerando que, para la realización de los cálculos, se emplea el dato de corriente de descarga continua máxima de cada celda, se tomará un valor levemente mayor de amperaje en cada caso. Esto se hace para evitar la degradación de las celdas al trabajar cíclicamente muy cerca de su corriente máxima. Así, para cada caso, los cálculos se realizan asumiendo una corriente 10% mayor a la máxima esperada por caso.

- HPM96-10000: Corriente para cálculos: 148A (Original 135A)
- HPM72-10000: Corriente para cálculos: 199A (Original 181A)

Se evaluó el desempeño de distintas alternativas de celdas de tracción para cada opción de motor, según se detalla en las tablas 6.4 y 6.5. Estas tablas muestran la cantidad de celdas necesarias en serie para alcanzar el voltaje requerido y en paralelo para satisfacer el amperaje, calculando así el total de celdas por tipo. Las alternativas están ordenadas por precio total, de mayor a menor, con el paquete más económico al extremo derecho. Para la selección, se exige una capacidad mayor a 3 kWh y un peso inferior a 30 kg, destacando en verde las opciones que cumplen y en rojo las que no. Estos valores son esenciales pues una mayor capacidad de la batería implica que se le puede suministrar energía al motor por más tiempo, pero si el peso es muy elevado, el motor va a requerir más consumo para la propulsión. De este modo, ambas características deben considerarse pues afectan a la autonomía final del vehículo. Bajo este análisis, la celda ICR18650-26V se elige, al ofrecer el mejor

desempeño al menor costo, cumpliendo todos los requisitos del diseño. Por último, se observa que, para ambos motores, se mantiene el mismo número de celdas, en este caso, se escogen 72V por la disponibilidad de BMS para ese voltaje.

Tabla 6.4: Comparación entre alternativas de celdas para HPM96-10000

Fuente: Elaboración propia

	F1L	N18650CP	N18650CK	30P	INR18650-29V	ICR18650-26V	25R
Celdas paralelo	31	23	25	10	18	20	8
Celdas serie	27	27	27	27	27	27	27
Celdas	837	621	675	270	486	540	216
Capacidad (kWh)	10.09	7.49	7.41	2.92	4.99	4.96	1.94
Precio (\$)	2385	1925	1654	1283	1094	999	832
Peso (kg)	37.67	29.81	31.73	12.15	24.30	25.92	9.50

Tabla 6.5: Comparación entre alternativas de celdas para HPM72-10000

Fuente: Elaboración propia




	F1L	N18650CP	N18650CK	30P	INR18650-29V	ICR18650-26V	25R
Celdas paralelo	41	31	33	14	24	27	10
Celdas serie	20	20	20	20	20	20	20
Celdas	820	620	660	280	480	540	200
Capacidad (kWh)	9.89	7.48	7.25	3.02	4.92	4.96	1.80
Precio (\$)	2337	1922	1617	1330	1080	999	770
Peso (kg)	36.90	29.76	31.02	12.60	24.00	25.92	8.80

6.4.2 Battery Management System (BMS)

Una vez definido el tipo de celda empleado para el diseño del sistema, es necesario definir un BMS externo para controlar el flujo de energía desde las celdas al motor. Luego de realizar el estudio de mercado correspondiente según la disponibilidad de la tecnología BMS en el Perú, se hallaron las siguientes alternativas, las cuales se resumen en la tabla 6.6. Se observa que si bien, la alternativa de Hi BMS, cuenta con la mayoría de protecciones necesarias y es la opción más económica, el BMS requiere de 24 celdas en serie para funcionar, lo cual de hecho implica que de cada celda solo utiliza 3V. Considerando las pérdidas al bajar el voltaje, y que el usarlo implicaría aumentar el número de celdas, esta opción se descarta. Las alternativas restantes se comparan dando como resultado que la opción de Daly Electronics es la mejor tanto en precio como en cantidad de protecciones. Debido a ello, se establece

al BMS de Daly Electronics como el componente de protección de las celdas de tracción que usará en el diseño.

Tabla 6.6: Comparación de características de alternativas de BMS
Fuente: Elaboración propia


	Requisitos	Li-ion Battery Waterproof BMS	Placa de protección de batería de litio Lifepo4 BMS	BMS con balance, NTC
Imagen referencial	-			
Proveedor	-	Daly Electronics	DYKB-JUN Store	Hi BMS Store
Voltaje (V)	72	72	72	72
Celdas en serie	20	20	20	24
Amperaje (A)	>150	200	200	200
Precio (\$)	<150	112	140	80
Disipador de calor	Si	Si	No	Si
Protección de sobre carga	Si	Si	Si	Si
Protección de sobre descarga	Si	Si	Si	Si
Protección de sobre corriente	Si	Si	Si	No
Balance de celdas	Si	Si	Si	Si
Protección de cortocircuito	Si	Si	Si	Si
Protección de temperatura	Si	Si	Si	Si
Con carcasa	Si	Si	No	Si

6.4.3 Amperímetro

El sensor que mida la salida de corriente de la batería es un componente importante para la gestión energética del sistema. Al mismo tiempo, debe ser un componente que permita la medición de una corriente muy elevada. De este modo, se realizó el estudio de mercado correspondiente según la disponibilidad de estos componentes especializados. Así se hallaron las siguientes alternativas, las cuales se resumen en la tabla 6.7. Se observa que el sensor ACS712 no cumple con la corriente requerida, sin embargo su bajo precio haría factible colocar 6 componentes en paralelo y realizar la medición. Sin embargo, se descartó por no poder precisar la correcta distribución de corrientes entre los 6 sensores sin requerir de otros componentes como mosfets que aumenten las pérdidas. Finalmente, el precio fue la característica decisiva para la

selección; de este modo, se selecciona al medidor de corriente HSTS21 como componente amperímetro.




Tabla 6.7: Comparación de características de alternativas para amperímetro
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Requisitos	Lem HTA 100s	HSTS21	ACS712
Imagen	-			
Alimentación (V)	-	15	5	5
Corriente máx. (A)	165	300	300	30
Salida	-	4V@100A	2.5V±0.625V	0-5V
Consumo (mA)	-	<25	<16	<10
Conexión en serie	-	No	No	Si
Precio (\$)	-	79	12	4

6.4.4 Encoder

Para la medición de velocidad del motor se decide usar un encoder para calcular de forma simple un valor referencia de revoluciones por minuto al que va el sistema de propulsión. Este valor se usa para convertirse en velocidad (km/h) y mostrarse en la interfaz de usuario, así como para el control de velocidad. Al realizar el estudio de mercado, se obtuvieron las siguientes alternativas ordenadas en la tabla 6.8.

Tabla 6.8: Comparación de características de alternativas para encoder
Fuente: Elaboración propia



Nombre	Requisitos	MOCH22A	LPD3806	ENCODER ÓPTICO H206
Imagen	-			
Alimentación (V)	-	3.3 - 5	5 - 24 V	5
Salida	-	On/Off (0-5V)	2 fases	On/Off (0-5V)
Ranura (mm)	-	5	-	5
Consumo (mA)	-	< 30	< 40	< 60
Conexión mecánica	-	No	Si	No
Tiempo de cambio	< 70 us	15 us	50 us	10 us
Precio (\$)	-	1.5	15	1.5

Observando las alternativas, se observa que todas cumplen el requisito, el cual fue calculado para asegurar que el encoder pudiera medir alrededor de 4000 rpm con cierto margen de error. Siendo este el caso, se emplearon otros criterios para la selección. El LPD3806 fue descartado pues presenta inconvenientes al tener que conectarse mecánicamente al eje que medirá. Luego entre las otras 2 opciones de encoder ópticos se seleccionó al MOCH22A por presentar menos pérdidas.

6.4.5 Voltímetro

El sensor que mide el voltaje de la batería es igualmente relevante para la gestión de la batería y debe poder medir un voltaje elevado como 72 voltios. De este modo, se expone en la tabla 6.9 las distintas alternativas.

Tabla 6.9: Comparación de características de alternativas para voltímetro
Fuente: Elaboración propia

Nombre	FZ0430	INA226
Imagen		
Proveedor	Brico Geek	Naylamp
Alimentación (V)	5	3 - 5
Voltaje de medición (V)	0 - 25	0 - 35
Salida de medición	0 - 5V	Serial
Resolución	0.005V	-
Consumo	<1mA	<0.33mA
Precio (\$)	1.2	7.25

Se observan solo 2 opciones sencillas para medición de voltaje, ambos buenos candidatos. Sin embargo, luego de la selección del Microprocesador el cual ya cuenta con convertidores ADC, es posible obviar este componente y emplear un divisor de voltaje. Para el caso, se consideran resistencias de 240k y 10k para una división entre 25 y señales inferiores a sus 3.3V. Este valor se toma considerando que en la sección 6.4.9, el componente microcontrolador tiene ese límite de lectura.

6.4.6 Pantalla LCD

Para la interacción más intuitiva y amigable con el usuario, se decidió emplear una pantalla LCD para la visualización de los datos. En la tabla 6.10, se exponen las 2 principales pantallas LCD usadas en proyectos por su bajo precio y versatilidad. Comparandolas vemos que en general su principal diferencia es su precio y su tamaño de caracteres. De este modo, se decide emplear la LCD2004 por contar con

suficiente espacio para poder ordenar la información referente a: velocidad, carga de la batería, modo, recorrido, etc.



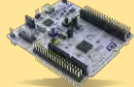
Tabla 6.10: Comparación de características de alternativas para pantalla LCD
Fuente: Elaboración propia

Nombre	LCD 2004	LCD 1602
Imagen		
Alimentación (V)	5	5
Tamaño (caracteres)	20 x 4	16 x 2
Numero de pines	16	16
Consumo (mA)	1.6	1.1
Acepta driver	Si	Si
Precio (\$)	5.5	2.5

6.4.7 Microprocesador

Para el control total del sistema, es decir, tanto del subsistema de energía como del de propulsión, además de la gestión de la interfaz con el usuario, se requiere un “cerebro” capaz de procesar datos de sensores en tiempo real y emitir órdenes confiables a los actuadores. De este modo, luego de realizar una investigación de mercado, se logró obtener información de algunas alternativas para el microprocesador, las cuales se resumen en la tabla 6.11.

Tabla 6.11: Comparación de características de alternativas para microprocesador
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Requisitos	Red Board	Raspberry Pi 4B	STM32F446RE
Imagen	-			
Arquitectura	-	AVR	ARM Cortex-A72	ARM Cortex-M4
Alimentación	5 - 12V	9 - 15V	5V (USB)	5V y 3.3V
Consumo	-	800mA	3A	500mA
Rango de temperatura	0 a 50 °C	-40 °C a +85 °C	0 °C a 70 °C	-40 °C a +85 °C
Watchdog interno	Si	Si	No (Virtual)	IWDG y WWDG
Brown-out Reset	Si	Si	Si	Si
Reinicio autónomo	< 500ms	< 100ms	10 – 30 s	< 100 ms
Pines digitales	+25	17	28	64
Pines analógicos	-	6	No	10
Frecuencia	-	16MHz	1.5GHz	8MHz
Programación	-	Arduino	Python	Arduino y C
Precio (\$)	-	22	58	15

Debido a las vibraciones inherentes al funcionamiento de un vehículo, el microprocesador puede verse sometido a sacudidas que comprometan su estabilidad y operación continua. Por ello, como requisito de diseño, se establece que el sistema debe contar con mecanismos internos de protección, como sistemas Watchdog o Brown-out Reset, capaces de forzar un reinicio rápido (inferior a 500 ms) y así

garantizar la fiabilidad del control. En este sentido, la Raspberry Pi 4B ofrece el peor desempeño, pues carece de un Watchdog físico y su proceso de reinicio puede tardar varios segundos, lo que en pleno trayecto podría generar fallos críticos.

Considerando las opciones restantes y atendiendo a los criterios mencionados, se ha optado por el microprocesador STM32 (Cortex-M), que integra dos Watchdogs internos: el IWDG, capaz de forzar el reinicio incluso si falla el reloj principal, y el WWDG, que detecta desincronizaciones en la temporización del sistema. En caso de error, el reinicio se completa en menos de 100 ms. Aunque su frecuencia de reloj es inferior a la de otras alternativas, resulta suficiente para procesar los cálculos y mediciones de los sensores seleccionados. Además, su capacidad para alimentar, desde bornes integrados, componentes externos a 5 V y 3,3 V con hasta 500 mA de corriente amplía la versatilidad del diseño.



Cabe resaltar que no se espera que el microprocesador esté expuesto a condiciones ambientales extremas, como calor intenso o agentes externos, puesto que se encontraría protegido en la cabina de conducción junto al resto de componentes electrónicos. Además, dado que el microprocesador no se conectará directamente al motor, sino a través de un driver especializado, no se requieren de protecciones adicionales frente a interferencias eléctricas o magnéticas a través del cableado o el entorno. Por estos motivos, el microprocesador elegido no requiere de un encapsulado especializado para asegurar su robustez. Aun así, se considera adecuado un rango operativo de 0 a 50 °C para las condiciones urbanas previstas, un parámetro que cumplen todas las alternativas propuestas.

6.4.8 Módulo Microcontrolador

Como se explicó en la sección 6.3, adicionalmente al microprocesador, se considera el uso de un módulo microcontrolador que se encargaría de la gestión constante de la corriente, el voltaje y pulsos del encoder. Esto se debe a que las mediciones a realizar, tanto de la velocidad angular a través del conteo de pulsos como del estado de la batería a través del voltaje y sumatoria de la corriente, deben realizarse constantemente y con un control de los intervalos de tiempo entre cada tarea. Por ello, el empleo de un componente separado que realice estas funciones permitiría que el microprocesador realice con libertad el resto de sus funciones y que cuando requiera de algún dato (valores de estado de carga, voltaje, corriente o velocidad

angular) estos ya estén disponibles para su uso en cualquier momento. De este modo, se realiza la respectiva investigación de mercado para obtener información de componentes que puedan realizar esta función. Las alternativas a considerar se describen en la tabla 6.12.

Tabla 6.12: Comparación de características de alternativas para microcontrolador
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Requisitos	Arduino nano	ESP32 WROOM 32	STM32 Nucleo-64 boards
Imagen	-			
Alimentación (V)	-	5	3.3	3.3
Consumo (mA)	-	15	50	150
Pines digitales	-	14	16	27
Pines analógicos	2	8	14	10
Corriente máx. (mA)	30	500	500	175
Nucleos	-	1	2	1
Programación	-	Arduino	Arduino	Arduino
Precio (\$)	-	10	9	30

Finalmente, se decidió escoger al módulo microcontrolador ESP32 WROOM 32 para ser usado como microcontrolador de apoyo debido a que tiene 2 nucleos, lo cual permitiría realizar las mediciones de velocidad y batería de forma paralela. Las otras opciones requerirían comprar 2 de cada uno para lograr lo mismo lo cual eleva el precio.

6.4.9 Celdas secundarias

Se considera que los componentes de control serán alimentados de forma separada a las celdas de tracción en lugar de ser alimentados por estas. Esto presenta una serie de ventajas como el no usar energía de la propulsión o permitir que el subsistema de control trabaje separado del de tracción. En total, estos componentes solo consumen alrededor de 600mA, luego esta corriente sería alimentada por 2 celdas en serie, es decir 7.2V (se usa un regulador sencillo para ajustar a 5V). Esto implica un consumo de 4.32W. Asumiendo que se use durante la mayor parte del día, unas 8 horas, se consume una energía de 34.6 Wh. Así, para el caso actual se decide emplear 4 celdas más de las empleadas para la tracción, debido a que al comprarlas al por mayor el precio disminuye y que cumplen el requerimiento de energía pues 4 celdas de 3.6V y 2.55Ah, almacenan 36.7 Wh.

CAPÍTULO 7

DISEÑO DE CONTROL Y SOFTWARE

En el presente capítulo, se explica el modo de uso del driver, la interfaz de interacción con el usuario y los diagramas de flujo de sistema. El uso del driver se explica a través de la tecnología FOC y se detallan sus diferentes funcionalidades. La interfaz de usuario se resume en la pantalla LCD, los interruptores de selección y los leds de aviso. Los diagramas de flujo se detallan tanto para la programación del microcontrolador como para el microprocesador.

7.1 Estrategia de control

Como se expuso en la sección 6.4.2, para el control del motor BLDC escogido, se empleará el driver VEC300. Según datos del fabricante, este driver emplea la tecnología de “Control de Campo Orientado” para el cambio de velocidad del motor según se requiera. Este tipo de control de basa en que el sistema intenta orientar el vector de flujo estacionario o "estator" en un grado específico en relación con el vector de flujo del rotor (consulte la Figura 7.1). El grado óptimo de orientación depende de qué característica del motor necesita ser maximizada.

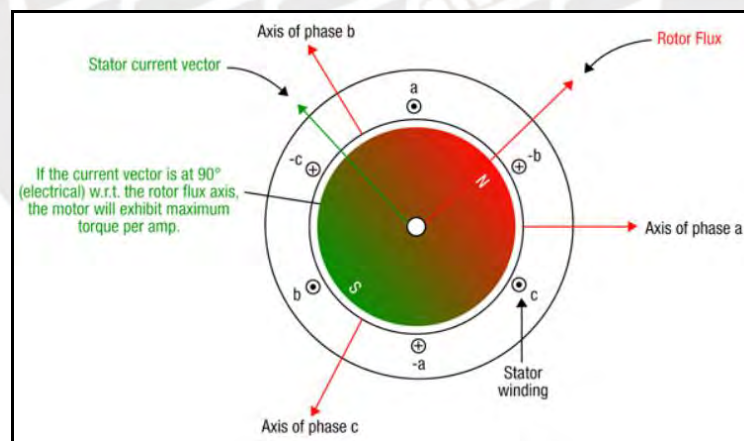


Figura 7.1: Principio de funcionamiento de Control de Campo Orientado
Fuente: Golden Motor

Este tipo de tecnología de control es útil para los sistemas de motores, particularmente aquellos que emplean imanes permanentes como es este caso. Pues ofrece una forma altamente eficiente de variar la velocidad en condiciones de rápido cambio de cargas, como puede ser un vehículo. Por ello, su empleo en motores DCBL reduce las variaciones de torque, lo que da como resultado un rendimiento del

motor más suave y de operación más silenciosa, además de una mejora en la eficiencia, lo cual es de interés para el proyecto.

De este modo, para poder plantear una estrategia de control óptima para el sistema es preciso analizar las funcionalidades que este driver nos ofrece para el control del motor. Estas funciones pueden apreciarse visualmente en el diagrama de cableado ofrecido por el fabricante (véase figura 7.2), las cuales se resumen en:

- Acelerador (throttle): Entrada de 0 a 5V, indica la magnitud de la aceleración. Tradicionalmente se conecta al pedal del acelerador para ir acelerando cada vez que se presiona.
- Freno y Freno alto (brake and high brake): Señal On/Off para indicar al motor que empiece a frenarse eléctricamente, también es el que activa la opción de freno regenerativo.
- Bloqueo electrónico (E-lock): Para que el vehículo funciona debe estar cortocircuitado. Si no lo está, el driver ni el motor se activan. Es el seguro tradicionalmente destinado al circuito de “llave” para encender el vehículo.
- Delante/reversa (forward/reverse): Señal On/Off que define el sentido de giro.
- Velocidad Crucero (speed cruise): Si se activa, el driver trabajará para mantener la velocidad a la que el motor gira en ese momento acelerando de forma automática.

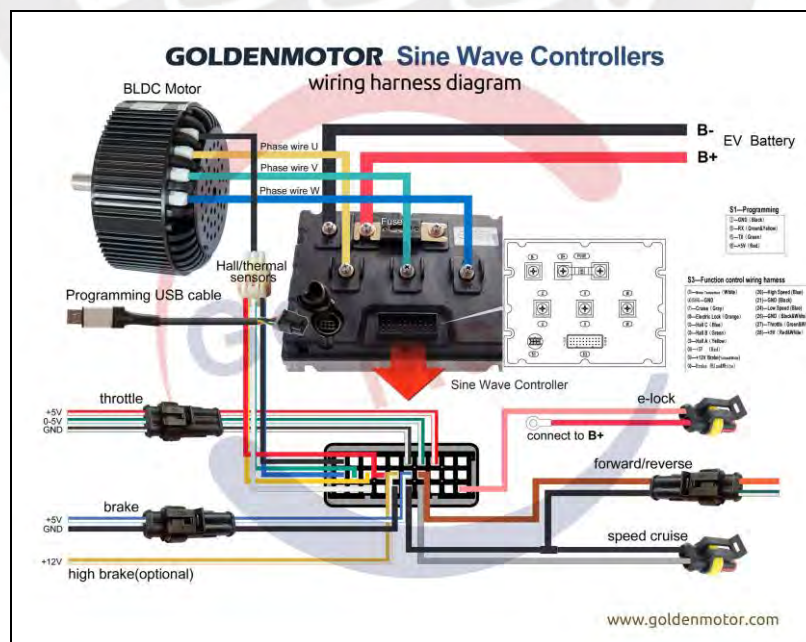


Figura 7.2: Diagrama de cableado del motor HPM con driver
Fuente: Golden Motor

Para el presente diseño, se usarán todas las funcionalidades para un control más completo de la propulsión. Al mismo tiempo, el proveedor del producto también ofrece un software gracias al cual es posible cambiar algunos parámetros dentro del propio control del driver (véase figura 7.3).

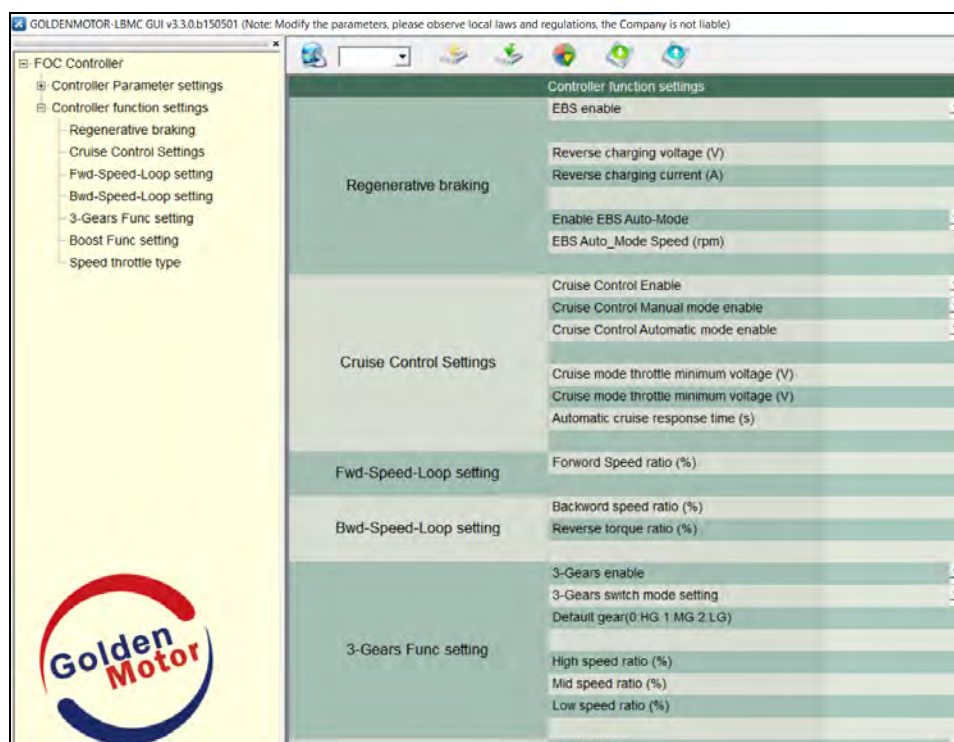


Figura 7.3: Software de modificación de parámetros del driver VEC 300
Fuente: Golden Motor

Para usar el programa, primero se cargan los valores predeterminados que el driver maneje, una vez cargados se realizan los cambios que se consideren necesarios. Los denominados “parámetros del controlador” (Controller Parameter) se mantendrán por defecto. Dentro de las “funciones del controlador” se debe asegurar que las consideraciones expuestas en la tabla 7.1 se cumplan. De este modo, el control de velocidad puede emplearse de forma más óptima según los requisitos del proyecto respecto a propulsión.

Tabla 7.1: Consideraciones en el software de driver VEC 300
Fuente: Elaboración propia

Parametro		Valor
Regenerative Braking	EBS enable	1: Enable
	Enable EBS Auto-Mode	1: Enable
Cruise Control Settings	Cruise Control Enable	1: Enable
	Cruise Control Automatic mode enable	1: Enable

7.2 Interfaz de interacción con usuario

La interfaz de usuario se compone principalmente de una pantalla LCD, interruptores de selección y leds indicadores. El panel de interacción (ver figura 7.4) ha sido diseñado para facilitar un uso rápido e intuitivo. El primer interruptor permite seleccionar entre marcha hacia adelante o reversa, mientras que el segundo activa el modo de conducción normal o el modo crucero. Este último mantiene automáticamente la velocidad dentro de los parámetros establecidos. Los Leds se encienden según el estado del sistema: el led de error se activa ante un cambio de modo no permitido (ver sección 7.3); el led de retroceso indica que el vehículo se mueve en reversa y puede conectarse a faros externos; el led de crucero confirma la activación del modo crucero; y el led de freno: señala la activación del freno eléctrico (la señal se asume proviene de un sistema externo).

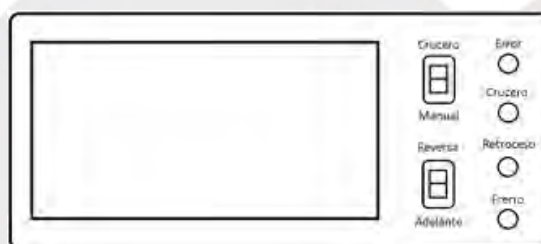


Figura 7.4: Concepto del panel de control del sistema
Fuente: Elaboración propia

Existe un último modo “Bajo Rendimiento”, que se activa automáticamente cuando la batería cae por debajo del 15%. En este modo, el sistema prioriza la duración de la batería limitando la corriente, lo cual limita su potencia. Anterior a este se activa una advertencia en la fila de Modo, al bajar del 25% de batería, aparece una advertencia temporal con los mensajes: “PLANEE RECARGA” y “BAJO REND. PROXIMO”. Esto sirve como un aviso anticipado antes de que se limiten las funciones. El cambio de modo, así como el porcentaje de batería se mostrarían en la pantalla LCD de forma ordenada (véase figura 7.5). La información representada respeta la limitando de 20 caracteres por fila de la pantalla, cada dato o advertencia se ajusta a ello.

Velocidad: XX.X km/h
Recorrido: XXX.X km
Batería: XX%
Modo: Adelante

Figura 7.5: Concepto de la disposición de información en pantalla LCD
Fuente: Elaboración propia

7.3 Diagramas de flujo del sistema

Los diagramas de flujo son herramientas útiles para representar dinámicas del sistema, estableciendo orden, pasos, verificaciones y funciones necesarias para alcanzar el comportamiento deseado. Su estructura facilita la traducción a código en la mayoría de lenguajes de programación. A continuación, se presentan los diagramas actualizados que describen el comportamiento del sistema.

7.3.1 Funcionamiento general

El diagrama general (véase figura 7.6) explica de forma resumida el proceso de funcionamiento del sistema en su conjunto, así como la lógica detrás del control de energía y propulsión. Dentro del diagrama, se observan dos funciones relevantes, las cuales controlan, primero, la forma que tiene el sistema de cambiar entre los diferentes modos de funcionamiento y, segundo, la forma de acelerar el motor.

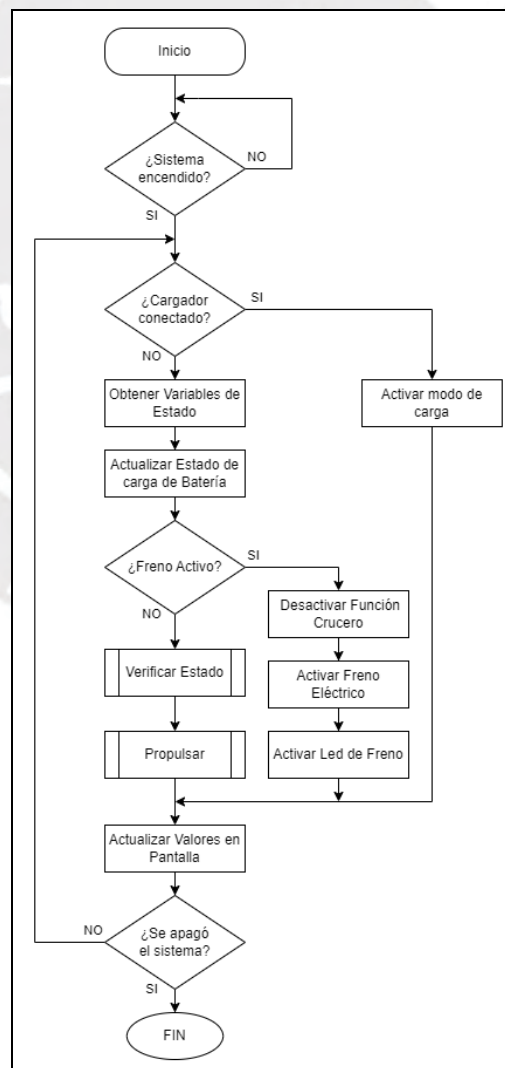


Figura 7.6: Diagrama de flujo general actualizado del sistema
Fuente: Elaboración propia

Como se observa, para realizar las verificaciones, primero analiza si se va hacia delante, hacia atrás o si se está quieto. Si se va hacia delante, puede activarse modo crucero (si se cumplen las condiciones) y hay error si se acciona el interruptor de retroceso. Solo si se está quieto, puede activarse o desactivarse el modo retroceso y se establece las variables internas para saber si se va adelante o atrás. Si se retrocede, no hay opción de activar el modo crucero y hay error si se desactiva el interruptor de retroceso.

La función “Propulsar” (véase figura 7.8) controla el voltaje de aceleración enviado al driver del motor según el estado de carga de la batería. Si la carga es superior al 15%, el voltaje del pedal se envía directamente al driver. Caso contrario, se ajusta este voltaje para limitar la corriente a un máximo de 90A, se lo reduce progresivamente a un porcentaje del valor anterior hasta que la corriente sea inferior al límite, luego se vuelve a actualizar el voltaje según el pedal. Se espera que esto ofrezca momentos de corriente alta que permitan superar una pendiente. Sin embargo, el método óptimo deberá definirse mediante pruebas con los componentes reales.

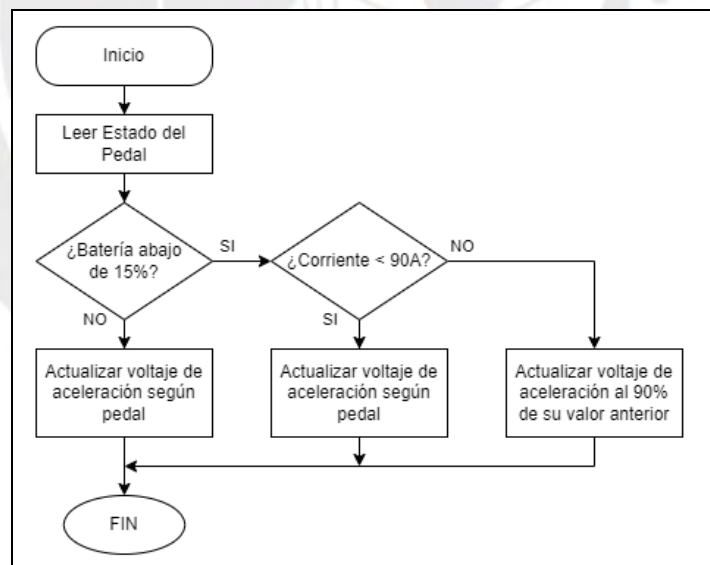


Figura 7.8: Diagrama de flujo de función “Propulsar”

Fuente: Elaboración propia

Estos diagramas de flujo serían los que determinen la programación del microprocesador. Como se explicó brevemente en la sección 6.4.9, el microcontrolador es el que recibe la información de los sensores y la procesa para poder brindarle al microprocesador los valores de Estado de Carga (%), Corriente (A), Velocidad del motor (rpm), Velocidad del sistema (km/h) y Distancia recorrida

(km). La lógica de este monitoreo se explica en las secciones siguientes, siendo que se espera que cada monitoreo lo realice en paralelo cada núcleo del microcontrolador.

7.3.2 Monitoreo de la energización

En la figura 7.9, se expone la lógica para el monitoreo del estado de la batería, el cual toma en consideración varios cálculos matemáticos para el cálculo de todos los valores. La corriente que se le proporciona al vehículo es continua por lo que la potencia eléctrica desarrollada en cada instante es el producto del voltaje y la corriente que se obtienen de la batería. Sin embargo, el sistema de toma muestras discretas de las variables de interés en cada periodo de muestreo T_s , por lo que la ecuación que describiría ese comportamiento discreto sería la siguiente:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{V_{i-1} \cdot I_{i-1} + V_i \cdot I_i}{2} \cdot T_s$$

Antes de continuar, vale la pena resaltar que para medir el voltaje y la corriente se debe tener ciertas consideraciones, pues ambos valores se miden analógicamente según las salidas de los componentes voltímetro y amperímetro: primero, el voltímetro divide el voltaje de la batería entre 25, por ello al medirse los 72 V nominales de la batería, la señal leída por el microcontrolador sería de 2.88V; segundo, el amperímetro tiene como salida una señal que va desde 1.875V a 3.125V, la cual varía según la corriente medida entre -200A y +200A, siendo 2.5V la señal cuando la corriente es nula. Se consideran valores negativos de corriente pues la batería recibiría energía en ciertos momentos gracias a la funcionalidad de freno regenerativo. De este modo, ambas señales leídas deben considerar esta información para procesarse adecuadamente y brindar la información real.

Ahora bien, para realizar la sumatoria constante de la multiplicación, el programa debería actualizar el valor de Energía consumida total, cada vez que se cumpla el intervalo de tiempo T_s , por lo que para introducirla en el programa debería tener una forma similar a la siguiente:

$$E_{ct} = E_{ct} + \frac{V_{old} \cdot I_{old} + V \cdot I}{2} \cdot Dt \dots \dots \dots (1)$$

Luego, usaríamos ese valor de Energía consumida total para calcular el valor de la Energía actual y finalmente el Estado de carga. Para ello, se emplean las siguientes ecuaciones:

$$E_{ac} = E_{total} - E_{ct} \dots \dots \dots (2)$$

$$SOC = \frac{E_{ac}}{E_{total}} \cdot 100\% \dots \dots \dots (3)$$

El valor de Energía total representa la capacidad total de la batería, por lo que si en algún momento se realiza un cambio de celdas este valor puede cambiar. Por ello, se espera que sea un valor actualizable a través del módulo de carga. Además, durante la carga el valor de Energía consumida total debe bajar. El método exacto dependería del módulo, pero en general debería ser similar a una actualización simple:

$$E_{ct} = E_{ct} - E_{carga} \dots \dots \dots (4)$$

De modo que, en cada momento, la Energía consumida total disminuye mientras el sistema se carga. Así, también se actualizan los valores de Energía total y Estado de carga, con lo que se espera que ese valor se vaya actualizando en la pantalla. Gracias a esta serie de ecuaciones enumeradas, se puede entender de mejor manera la lógica establecida en el diagrama de flujo.

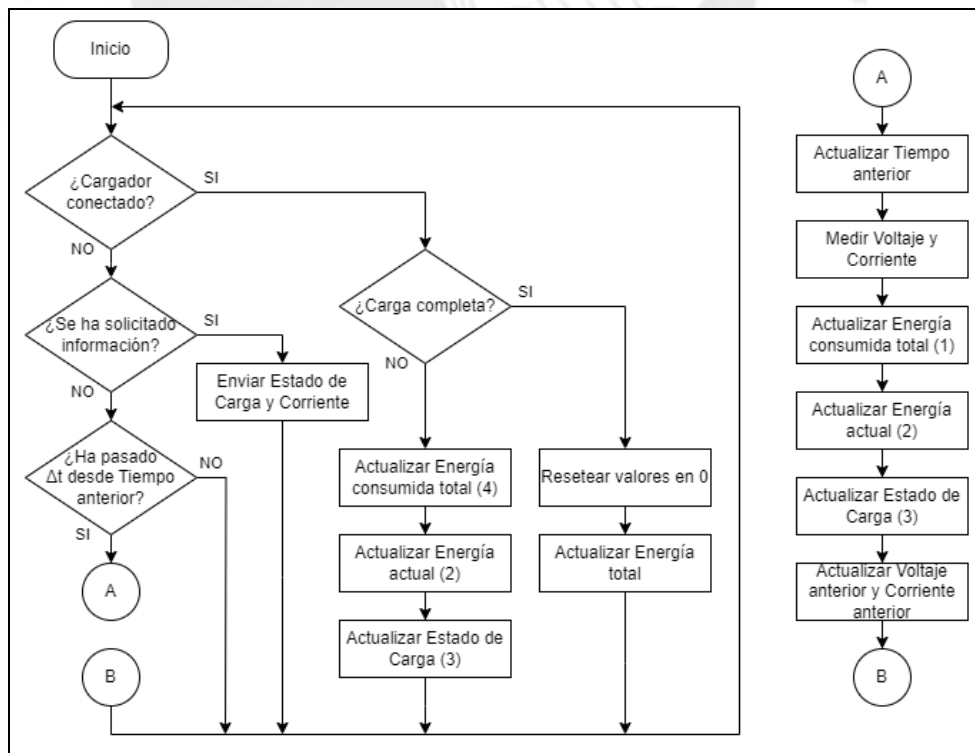


Figura 7.9: Diagrama de flujo para medir el estado de la batería
Fuente: Elaboración propia

7.3.3 Monitoreo de la propulsión

En la figura 7.10, se expone la lógica para el monitoreo de la velocidad del motor, el cual realiza varios cálculos para finalmente llegar a los valores requeridos por el sistema. Como se observa, hay un diagrama principal y uno que se titula como “interrupción”. Esto se debe a que para poder medir la velocidad rotacional del motor con el encoder seleccionado, lo que se mide en realidad es cuantos “pulsos” se reciben en un periodo de tiempo. Cada nuevo pulso, debe poder medirse y acumularse en un contador de forma directa, por ello, lo ideal es usar una interrupción. Esto se trata de un mecanismo donde se pausa temporalmente la ejecución del programa principal para responder a un evento externo y realizar una función rápida. En este caso, la función de interrupción calcula la velocidad medida en “pulsos por milisegundo” considerando la cantidad de pulsos medidos desde un tiempo inicial hasta ese momento a través de la ecuación 1:

$$V_{medida} = \frac{N_{pulsos}}{T_{actual} - T_{old}} \dots \dots \dots (1)$$

Esto se realiza constantemente cada vez que se detecta un nuevo pulso, ahora bien, cuando se supera un delta de tiempo, la función principal calcula y actualiza los valores útiles para el sistema a través de las siguientes ecuaciones:

$$V_{motor} = V_{medida} \cdot \frac{60000}{N_{muestras}} \cdot f1 \dots \dots \dots (2)$$

$$V_{m_ms} = V_{medida} \cdot \frac{2\pi R_{rueda}}{N_{muestras}} \cdot \frac{1}{f2} \dots \dots \dots (3)$$

$$V_{km_h} = V_{m_ms} \cdot 3600 \dots \dots \dots (3)$$

$$D_{km} = D_{km} + V_{m_ms} \frac{Dt}{1000} \dots \dots \dots (4)$$

En general, esta serie de ecuaciones son cambios de unidades, pues, como se mencionó anteriormente, la Velocidad medida se encuentra en pulsos por milisegundo, lo cual no es una información útil. Por ello, se realizan las multiplicaciones por los factores correspondientes en cada caso, considerando también la posición del encoder requiriendo los factores f1 y f2 para ajustar a la velocidad del motor o a las ruedas. De este modo, se obtiene la Velocidad del motor

en rpm, Velocidad del sistema en kilómetros por hora y la Distancia recorrida en km. Finalmente, el programa establece un nuevo tiempo para ir comparando con el tiempo actual, lo cual sirve para saber si se ha completado el delta de tiempo necesario o para actualizar la cantidad de pulsos por el tiempo transcurrido.

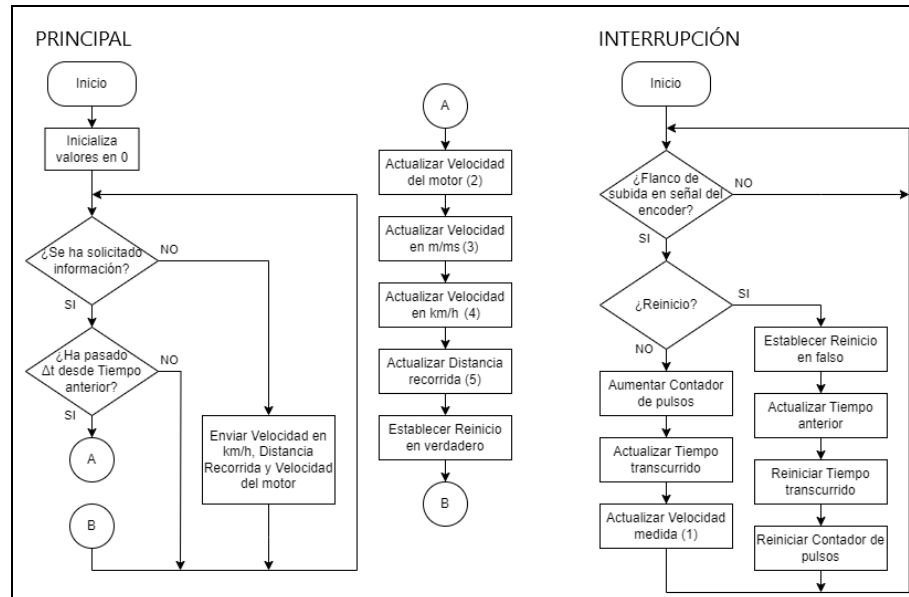


Figura 7.10: Diagrama de flujo para medir el estado de la velocidad del motor

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 8

PRESUPUESTO

En el presente capítulo, se realiza un recuento de todos los costos relacionados a la posible implementación del proyecto. Primero se analizan los precios por la compra de componentes comerciales disponibles en el mercado, luego se analizan los precios por la fabricación de componentes diseñados. Finalmente, todos los costos se suman para hallar el costo final.

8.1 Componentes comerciales

En la tabla 8.1, se resumen todos los costos envueltos en la compra de componentes comerciales que se emplearían para el proyecto. Los precios referencia de los productos figuran en el anexo I. Los marcados con un “*” son costos estimados, por lo que el precio final puede ser mayor o menor a este.

Tabla 8.1: Resumen de costos de componentes comerciales
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Detalle	Cantidad	Precio (\$/u)	Subtotal (\$)
Motor DCBL	HPM72-10000	1	690	690
Driver	VEC300-72	1	452	452
Diferencial + juego de engranajes	De Kia	1	27	27
Palieres con junta homocinética	Acorde al diferencial	1	106	106
Celdas de Ion Litio	ICR18650-26V	544	1.85	1007
BMS	Daly Electrics 20s 200A	1	112	112
Amperímetro	HSTS21	1	12	12
Voltímetro	Resistencias + PCB	1	12	12
Encoder + Disco	FC-03 / 10 ranuras	1	1.7	1.7
Microprocesador	STM32 NUCLEO 64	1	17.7	17.7
Microcontrolador	ESP32 WROOM 32	1	11.3	11.3
Soporte 4 celdas	Genérico	1	2.1	2.1
Regulador 5V	LM2596	1	1.3	1.3
Pantalla LCD	LCD 2004	1	6	6
Driver de pantalla	PCF8574	1	3.2	3.2
Leds	Genético 5V	2	0.15	0.3
Resistencias	10k	2	0.05	0.1
Interruptores	Genérico	2	0.4	0.8
Cable	Genérico (500mA)	1	0.5	0.5
Pedal del Acelerador	Genérico	1	85	85
			Total:	2548

8.2 Procesos de manufactura

En la tabla 8.2, se resumen todos los costos relacionados a la fabricación de componentes. Los marcados con un “*” son aquellos de los cuales sus costos son estimaciones, por lo que el precio final puede ser mayor o menor a este. Además, si bien no se ha mencionado componentes fabricados en 3D se considera que la mayor parte de piezas sin considerar, son solo soportes para los componentes electrónicos del diseño. Por ello, se estima factible diseñarlos e imprimirlos, siendo de un peso menor a un 1kg, sobre lo cual se estima el precio en la tabla.

Tabla 8.2: Resumen de costos de componentes comerciales
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Proceso	Cantidad	Precio (\$/u)	Subtotal
Carcaza para engranajes	Fundición	1	229	229
Eje para engranajes	Torno	1	100	100
Pack de Baterías	Ensamble	1	349	349
Caja y tapa para componentes electrónicos	Impresión 3D	1	44	44
			Total:	722

8.3 Costos totales

Si bien, algunos de los costos considerados en esta sección son precios referenciales según el mercado en el momento de realizarse esta tesis. Esto implica que el cálculo para el costo final de la implementación del proyecto no es exacto, pero aun así da una buena aproximación del valor real. En todo caso, el costo total según el análisis de esta sección es de \$3270, el cual está dentro del costo esperado de \$3500.

CONCLUSIONES

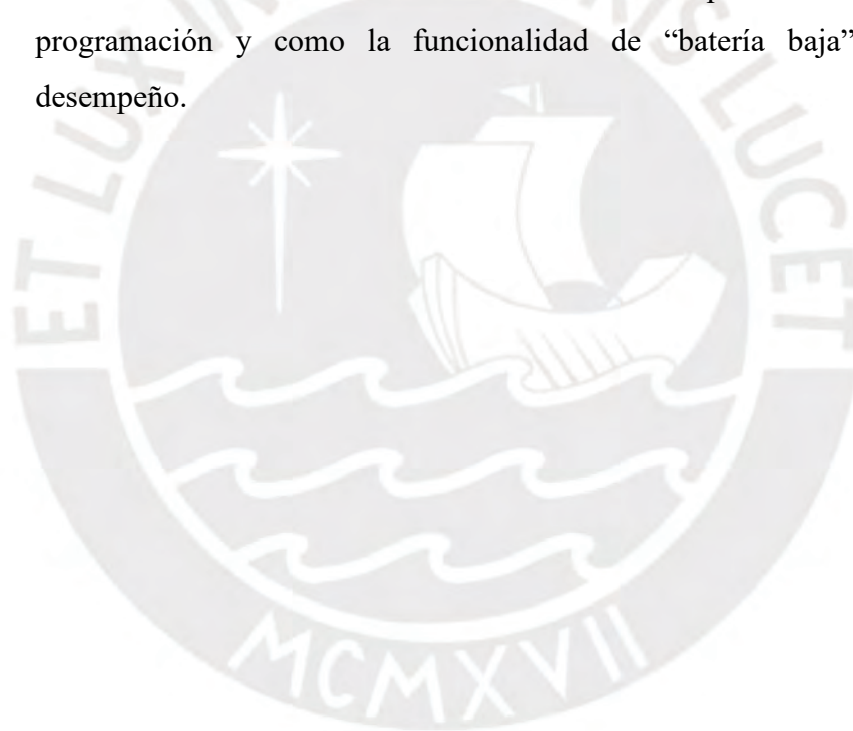
- En el presente informe, se logró concretar el diseño mecatrónico para el sistema de energía, propulsión e interacción con usuario destinado para un nuevo diseño de cuadriciclo eléctrico biplaza urbano, a través de la metodología PUCP-UFSC. A diferencia de los sistemas existentes en el mercado, este diseño se centra en maximizar la eficiencia mientras se minimiza el costo, aportando una relación autonomía-precio optimizada que lo convierte en una solución accesible y competitiva.
- Debido al aporte del transporte por motores de combustión interna a la contaminación ambiental (32% del sector energía en Perú). y a la no sustentabilidad de los combustibles fósiles (energía no renovable), la implementación de la electromovilidad es un cambio necesario. Sin embargo, la tecnología actual de los vehículos eléctricos no permite igualar las capacidades técnicas de los vehículos de combustión interna de un precio similar (una autonomía similar en VE requiere de 5-6 veces el precio de uno regular).
- Los sistemas de energía para vehículos eléctricos suelen emplear celdas de litio para su alimentación. Debido a las características inestables del litio, el uso de estas baterías implica la necesidad de un sistema de regulación (BMS), además de una forma de poder conectar y desconectar el sistema de energía del motor.
- Los sistemas de propulsión para vehículos eléctricos tienen varias configuraciones posibles debido al bajo peso y simplicidad de los motores eléctricos. Debido a su bajo precio y tamaño, la mejor configuración para el caso es usar un solo motor con su eje en paralelo con el eje de las ruedas y usar una caja reductora de una sola relación de transmisión.
- Se concretó el diseño mecánico, eléctrico-electrónico y de software (control) del sistema de forma dialéctica, considerando resultados de diferentes disciplinas para un diseño mecatrónico total eficiente y eficaz. Gracias a esto se logró validar el cumplimiento de la mayoría de los requisitos de diseño planteados para el sistema, siendo de los más esenciales un sistema de control

confiable, lograr un precio de fabricación menor a 3500 dólares y una autonomía de más de 55 km.

- El requisito de diseño de autonomía mínima se superó ampliamente. Se usó un cálculo simplificado para el ciclo estándar de conducción WLTP. El valor obtenido fue de 104.2 km de autonomía, pero cabe resaltar que el cálculo no incluía la funcionalidad del control de “batería baja” y utilizaba un valor mínimo arbitrario del freno regenerativo. De este modo, si se realizase la prueba en una posible implementación física del sistema, la autonomía final podría ser mayor.
- La posible implementación del proyecto costaría un estimado de 3270 dólares lo cual se encuentra dentro del presupuesto planteado. Esto permite que el cuadriciclo eléctrico resultante, del cual esta tesis forma parte, pueda mantener un precio final inferior a 7,000 dólares. Este logro se debe a una cuidadosa selección de componentes basada en parámetros como la disponibilidad en el mercado y su costo. Se priorizó el uso de piezas estandarizadas y con cierta madurez tecnológica, lo que garantiza precios competitivos y facilita su integración en el diseño.

RECOMENDACIONES

- Es preferible investigar acerca del protocolo de comunicación CAN pues el diseño debe poder comunicarse con otros sistemas dentro del vehículo ya ensamblado. De este modo, la comunicación CAN es la más empleada en vehículos por lo que se considera una adición útil.
- Se debe realizar simulaciones por módulo para poder validar más rigurosamente el desempeño y buen funcionamiento del sistema, como someterlo al ciclo de conducción WLTP. A nivel eléctrico se recomienda emplear el uso de Matlab para la simulación del motor DCBL, dado énfasis a como la funcionalidad de freno regenerativo afectaría el desempeño. Así se recomienda el uso del entorno base del STM32 para la validación de la programación y como la funcionalidad de “batería baja” afectaría el desempeño.



BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Internacional del Trabajo. (2020, 8 abril). *La COVID-19 y la industria automotriz* [Nota Informativa Sectorial]. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/briefingnote/wcms_744619.pdf
2. Kuhnert, F., van Arsdale, S., Neuhausen, J., & Kliesing, A. (2022). *Electric Vehicle Sales Review Full Year 2021* [Conjunto de datos]. Strategy&. <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/automotive/electric-vehicle-sales-review-full-year-2021/strategyand-electric-vehicle-sales-review-full-year2021.pdf>
3. Ministerio del Ambiente. (2019, diciembre). *SEGUNDO INFORME BIENAL DE ACTUALIZACIÓN ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Segundo%20BUR-PERU.pdf>
4. Schmerler, D., Velarde, J. C., Rodríguez, A. & Solís, B. (Editores) (2019). *Electromovilidad. Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú*. Osinergmin. Lima-Perú. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/informes-publicaciones/1201147-electromovilidad-conceptos-politicas-y-lecciones-aprendidas-para-el-peru>
5. TopDriverz. (2022, 9 abril). *Los 10 coches más vendidos en Perú en 2021 (con cifras)*. <https://topdriverz.com/coches-actuales/coches-mas-vendidos-peru-2021>
6. Kia Motors. (2022). *Kia Rio 2022 | Sedán subcompacto - Especificaciones, características y versiones | Kia*. Kia. <https://www.kia.com/us/es/rio/specs>
7. Munguía, S. F. (2021, 8 junio). *Los 14 coches eléctricos más baratos y con más autonomía que ya se pueden comprar*. Xataka. <https://www.xataka.com/automovil/14-coches-electricos-baratos-autonomia-que-se-pueden-comprar>
8. Elecmobility. (2022, 21 enero). *Kitty*. <https://elecmobility.com/marcas/xev/kitty/>
9. Guinand, L. E. (2020, 11 diciembre). *El compromiso climático del Perú en el marco del Acuerdo de París* [Diapositivas]. Ministerio del Ambiente. https://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2020/CE_Cambio_Climatico_-2020-2021/files/sesiones_ordinarias/minam_propuesta_ndc.pdf
10. Asociación Automotriz del Perú. (2022). *Informe del Sector Automotor a diciembre 2021*. <https://aap.org.pe/informes-estadisticos/diciembre-2021/Informe-Diciembre-2021.pdf>
11. Murias, D. (2020, 5 abril). *Anatomía de un coche eléctrico: su sencilla mecánica, al desnudo*. Motorpasion. <https://www.motorpasion.com/coches-electricos/anatomia-coche-electrico-su-sencilla-mecanica-al-desnudo>

12. de Negri, V. J., Muñoz, K., & Vígolo, V. (2021). *DESIGN METHODOLOGY FOR MECHATRONIC SYSTEMS AN APPROACH USING FUNCTION/MEANS TREE AND CHANNEL/AGENCY NET* [Libro electrónico].
13. Simon Electric. (2019, 10 enero). *El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento*. <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>
14. Amairany, F. (2021). Diseño de la batería de un vehículo eléctrico para Formula Student ULL [Tesis de Grado, Universidad de La Laguna]. Repositorio institucional de la Universidad de La Laguna <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/22659/Diseno%20de%20la%20bateria%20de%20un%20vehiculo%20electrico%20para%20Formula%20Student%20ULL..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. Rodriguez, J. (2021). *Citroën Ami 2022 - Características, precios y versiones*. Diariomotor. <https://www.diariomotor.com/coche/citroen-ami/#caracteristicas>
16. Estrima. (2022, 7 abril). *Doorless electric two-seater city car | Birò*. <https://www.estrima.com/en/models/biro/>
17. Osuna, I., Pérez, Y., Villegas, J., & Avilés, C. (2018). Diseño de un sistema de suministro de energía para vehículos eléctricos usando lógica difusa. *Research in Computing Science*. https://rcs.cic.ipn.mx/2018_147_6/Diseno%20de%20un%20sistema%20de%20suministro%20de%20energia%20para%20vehiculos%20electricos%20usando%20logica%20difusa.pdf
18. Rocha-Hoyos, J. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información Tecnológica*. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642017000200004&script=sci_arttext
19. Purwadi, A., Dozeno, J., & Heryana, N. (2013). Testing Performance of 10 kW BLDC Motor and LiFePO4 Battery on ITB-1 Electric Car Prototype. *Science Direct*. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212017313004507?token=12589FF37BB59B9C1B3DD373D4E1CFC918186937EBFF7C070202D8EC6C9CCBAB6E8D37F31F1708CFF58B3F9229AE4F0E&originRegion=us-east-1&originCreation=20220430053615>
20. Triana, E. (2017). BATERÍAS DE TRACCIÓN PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS [Tesis de máster, Universidad de Valladolid]. UVaDOC Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/34863/TFM-I-1059.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
21. Sanz, M. (2021, 20 julio). ¿Cuál es la importancia del BMS? NextCity Labs. <https://nextcitylabs.com/global/es/cual-es-la-importancia-del-bms-2/>

22. GTK Power Batteries. (s. f.). *GTK batería de litio para bicicleta eléctrica, pila de 60V, 20Ah, 60v, 16s, BMS, 2500W, motor de 60V, scooter, cargador 3A/60v battery/battery pack16s 60v - AliExpress*. aliexpress.com. Recuperado 2022, de <https://es.aliexpress.com/item/32692965648.html?gatewayAdapt=glo2esp>
23. Super Soco. (s. f.). Super Soco TC Equipamiento – Super Soco. <https://www.supersoco.cl/super-soco-tc-equipamiento/>
24. García, G. (2019, 9 diciembre). *Gestión térmica de las baterías, el nuevo reto de fabricantes y proveedores*. Híbridos y Eléctricos. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/gestion-termica-baterias-reto-fabricantes-proveedores/20191127105214031750.html>
25. Banggood. (s. f.). *37V 42V 10S 45A Li-ionbatterijbeschermingskaart BMS PCB-systeem Overlaadontladingsbeveiliging met bandbalans*. www.banggood.com. <https://nl.banggood.com/37V-42V-10S-45A-Li-ion-Battery-Protection-Board-BMS-PCB-System-Over-Charge-Discharge-Protection-With-Band-Balance-p-1177351.html>
26. Morote, A. (2018). SISTEMA EXTENSOR DE AUTONOMÍA Y DE GESTIÓN DE LA BATERÍA PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO [Tesis de grado, Universidad Pontificia Comillas]. Repositorio Universidad Pontificia Comillas https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/22815/TFG_Morote%20Vazquez%2c%20Ana%20Maria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
27. Martínez, M. (2017). Propulsión en vehículos eléctricos [Tesis de grado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25504/TFG-P-630.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. González, V. (2017). Caracterización del powertrain de un vehículo pequeño eléctrico modular de 4 ruedas: vehículo L6 [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108219/TFG_VALENTIN_GONZALEZ_VEHICULO_ELECTRICO.pdf
29. Vázquez, E., Valenzuela, R., & Ponce, C. (2016). Diseño de un tren de potencia de vehículo eléctrico para su aplicación a un taxi. *CULCYT*. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/789/755>
30. Chiriboga, E., & Velasco C. (2016). Diseño e implementación de un sistema de freno regenerativo y transmisión eléctrica en una motocicleta convencional para la carrera de ingeniería automotriz [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7658/1/65T00244.pdf>

31. Ruiz, A. V. (2022, 20 julio). *Nuevos límites de velocidad en zonas urbanas: Municipalidad de Lima y PNP inician campaña ¡No Te Aceleres!* Municipalidad Metropolitana de Lima. [https://www.munlima.gob.pe/2022/07/20/nuevos-limites-de-velocidad-en-zonas-urbanas-municipalidad-de-lima-y-pnp-inician-campana-no-te-aceleres/#:%7E:text=Seg%C3%BAn%20la%20norma%20emitida%20por,km%2Fh%2C%20respectivamente\).](https://www.munlima.gob.pe/2022/07/20/nuevos-limites-de-velocidad-en-zonas-urbanas-municipalidad-de-lima-y-pnp-inician-campana-no-te-aceleres/#:%7E:text=Seg%C3%BAn%20la%20norma%20emitida%20por,km%2Fh%2C%20respectivamente).)
32. Fryar, Cheryl D., Carroll, Margaret D., Gu, Qiuping, Afful, Joseph & Ogden, Cynthia L. (2021) Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, 2015-2018. National Health Statistics Reports. Estados Unidos. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/100478>
33. Stockman, K., Dereyne, S., Defreyne, P., Algoet, E., & Derammelaere, S. (2015, 1 enero). Efficiency measurement campaign on gearboxes. Ghent University Academic Bibliography. <https://biblio.ugent.be/publication/7053979/file/7054003.pdf>
34. Szumska, E. M. (2025). Regenerative Braking Systems in Electric Vehicles: A Comprehensive Review of Design, Control Strategies, and Efficiency Challenges. *Energies*, 18(10), 2422. <https://doi.org/10.3390/en18102422>
35. United Nations Economic Commission for Europe [UNECE]. (2013). Proposal for a new global technical regulation on the Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (ECE/TRANS/WP.29/2014/27). Recuperado 7 de octubre de 2024, de <https://unece.org/DAM/trans/doc/2014/wp29/ECE-TRANS-WP29-2014-027e.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Matrices Morfológicas

En las siguientes tablas se pueden apreciar las soluciones propuestas al combinar los medios de cada nivel, esto ofrece diferentes opciones como un precio bajo o simplicidad de diseño.

- **Matriz Morfológica de nivel 2:**

	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
Possible solutions	Sistema con batería de plomo ácido	Sistema con batería de ion litio	Sistema con batería de polímero de litio	Sistema con batería de ion litio
	Tracción total	Tracción delantera	Tracción delantera	Tracción trasera
	Sistema manual/visual/s onoro	Sistema manual/visual/s onoro	Sistema manual/visual	Sistema manual/visual
	ECU	Microprocesador	ECU	Microprocesador

• Matriz Morfológica de nivel 3:

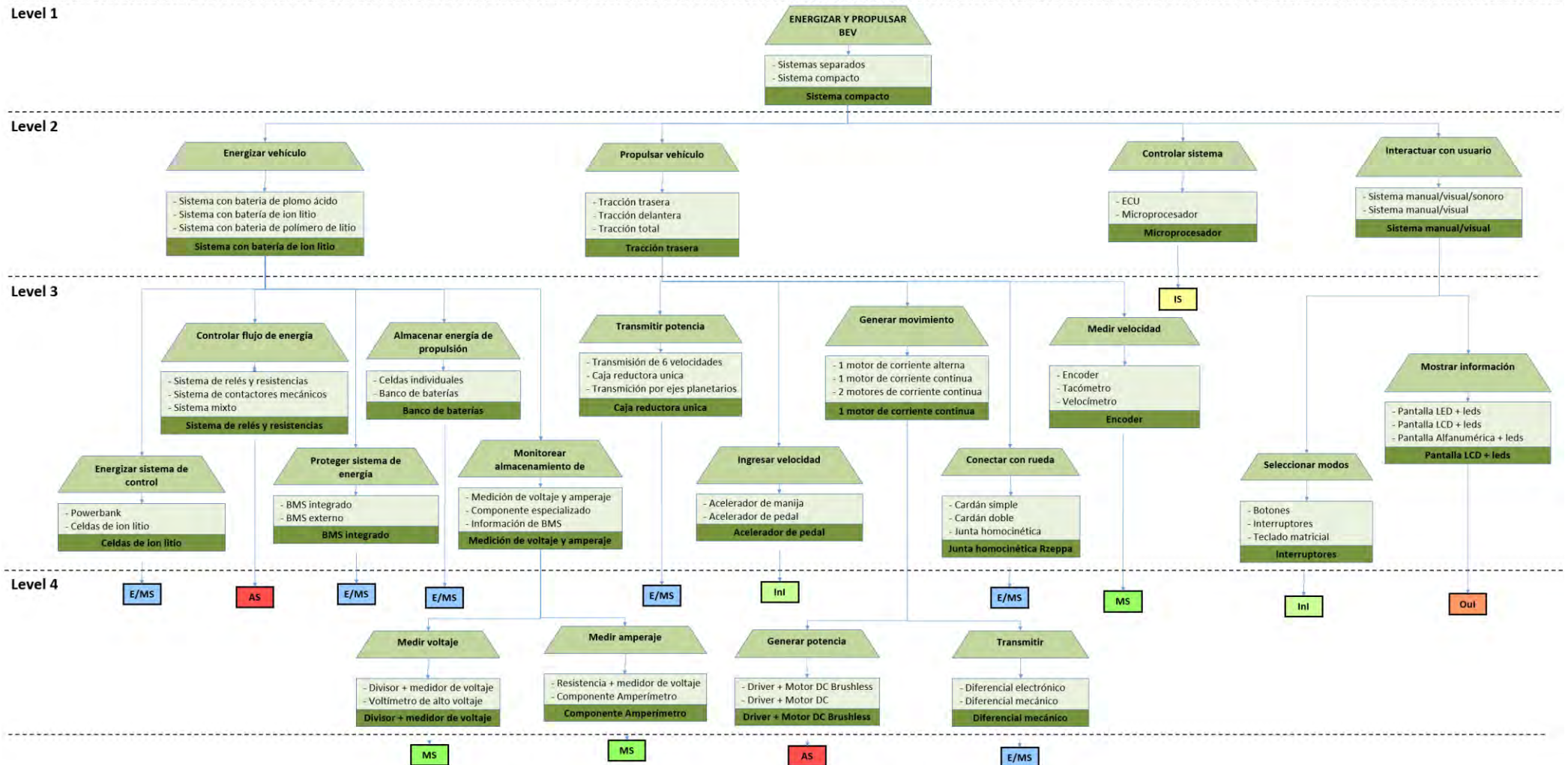
	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
Possible solutions	Celdas individuales	Banco de baterías	Celdas individuales	Banco de baterías
	BMS externo	BMS integrado	BMS externo	BMS integrado
	Sistema de contactores mecánicos	Sistema mixto	Sistema de contactores mecánicos	Sistema de relés y resistencias
	Componente especializado	Información de BMS	Medición de voltaje y amperaje	Medición de voltaje y amperaje
	1 motor de corriente continua	2 motores de corriente continua	1 motor de corriente alterna	1 motor de corriente continua
	Cardán doble	Cardán simple	Cardán doble	Junta homocinética Rzeppa
	Caja reductora unica	Transmisión por ejes planetarios	Transmisión de 6 velocidades	Caja reductora unica
	Velocímetro	Velocímetro	Tacómetro	Encoder
	Acelerador de manija	Acelerador de manija	Acelerador de pedal	Acelerador de pedal
	Diales	Teclado matricial	Botones	Diales
	Pantalla Alfanumérica	Pantalla Alfanumérica	Pantalla LED	Pantalla LCD
	Powerbank	Powerbank	Celdas de ion litio	Celdas de ion litio

- Matriz Morfológica de nivel 4:

	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
Possible solutions	Driver + Motor DC Brushless	Driver + Motor DC Brushless	Driver + Motor DC	Driver + Motor DC
	Diferencial electrónico	Diferencial mecánico	Diferencial electrónico	Diferencial mecánico
	Voltímetro de alto voltaje	Divisor + medidor de voltaje	Voltímetro de alto voltaje	Divisor + medidor de voltaje
	Componente Amperímetro	Componente Amperímetro	Resistencia + medidor de voltaje	Resistencia + medidor de voltaje

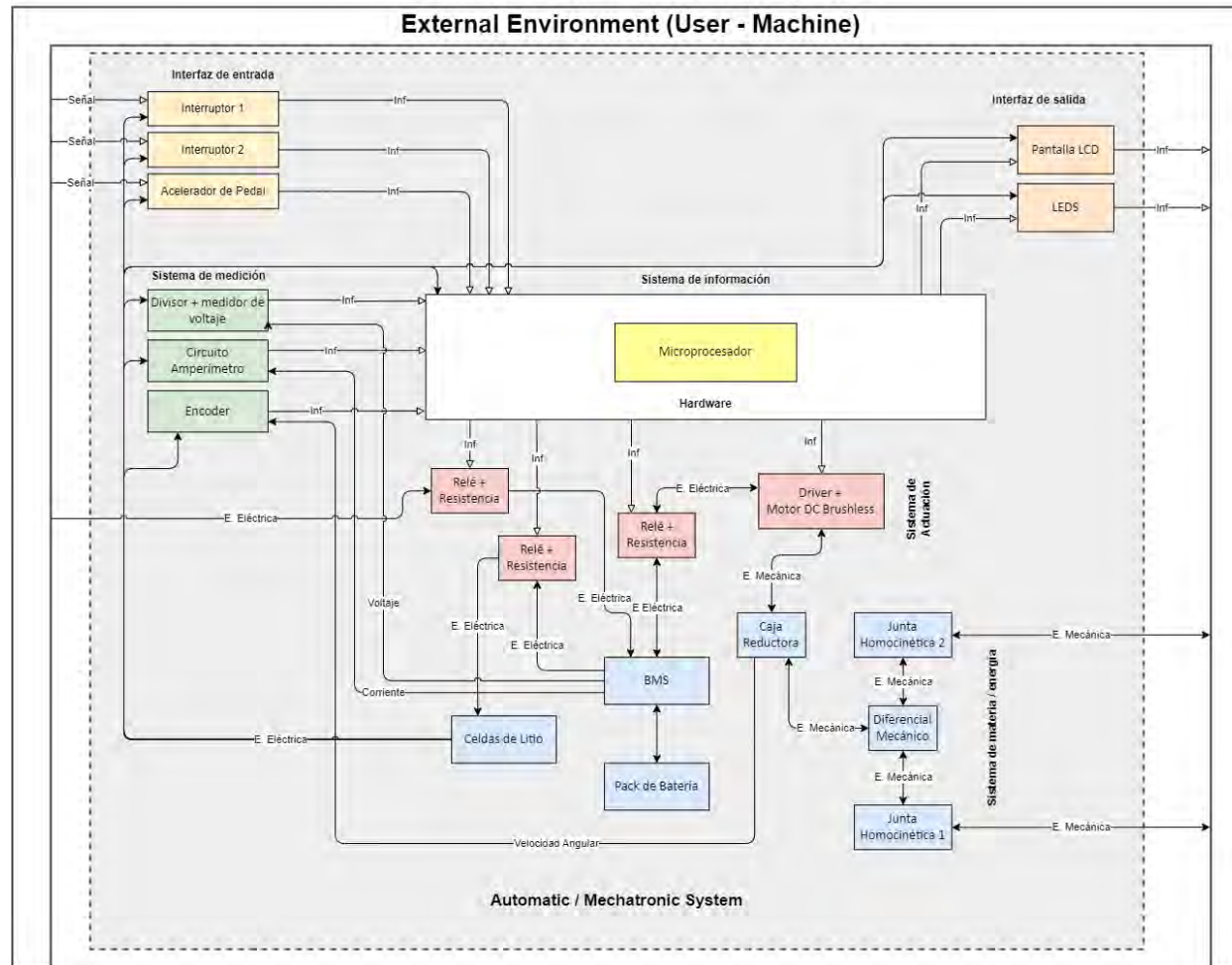


ANEXO B: Árbol de funciones y medios



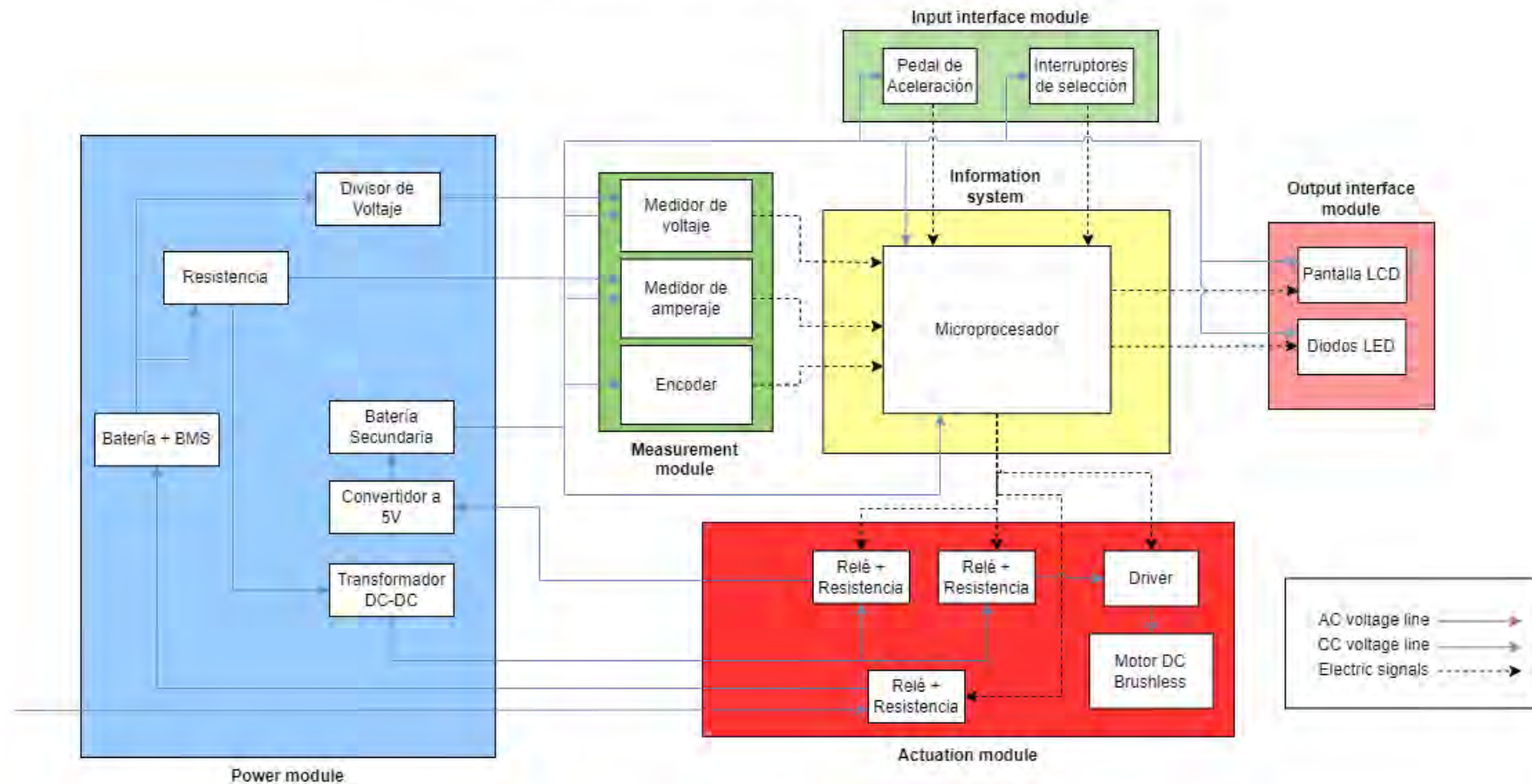
ANEXO C: Arquitectura del Sistema Mecatrónico

Sistema de Energía y Propulsión para BEV Architecture of mechatronic system

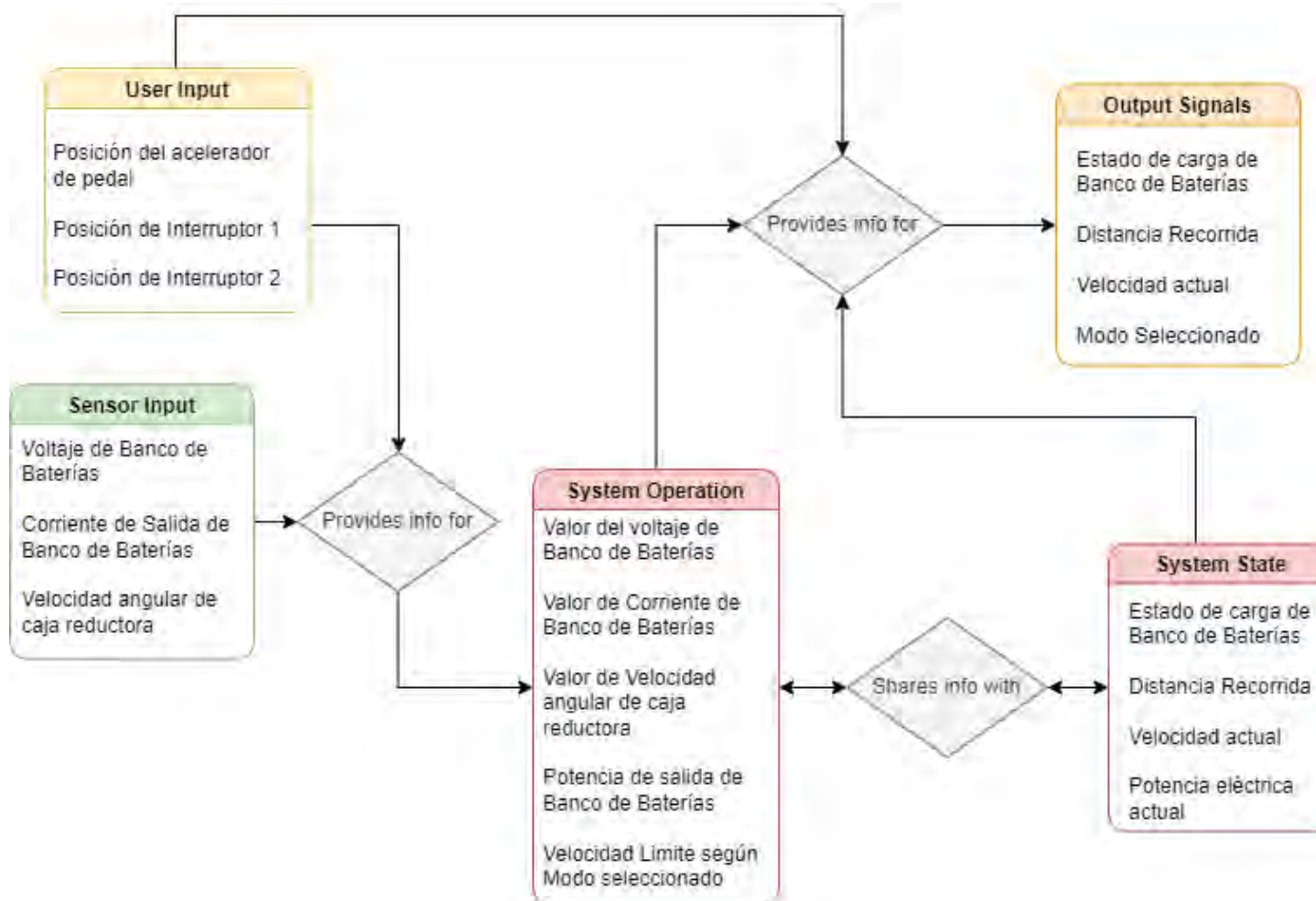


ANEXO D: Arquitectura del Sistema Eléctrico/Electrónico

Architecture of electric/electronic system

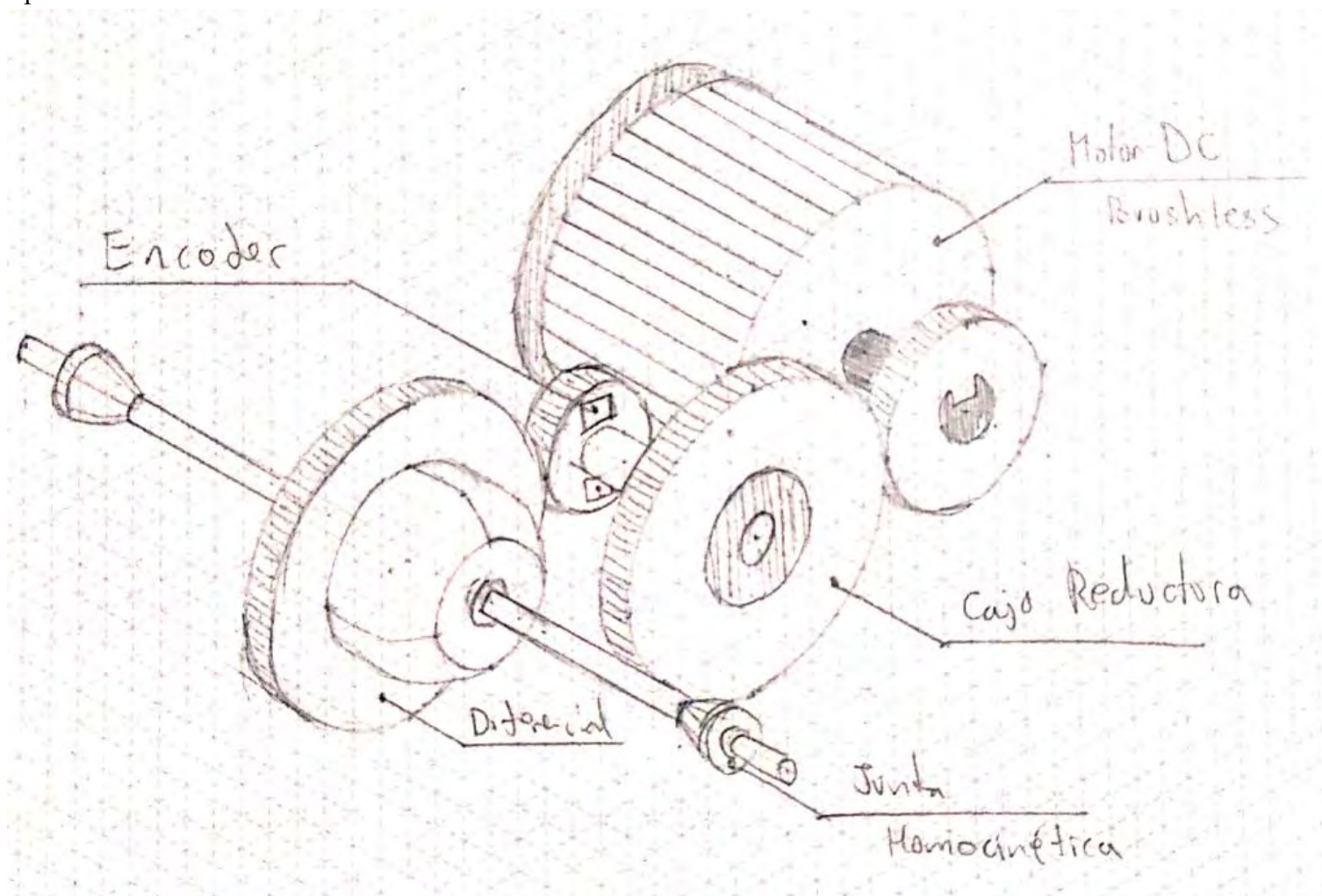


ANEXO E: Diagrama de Clases

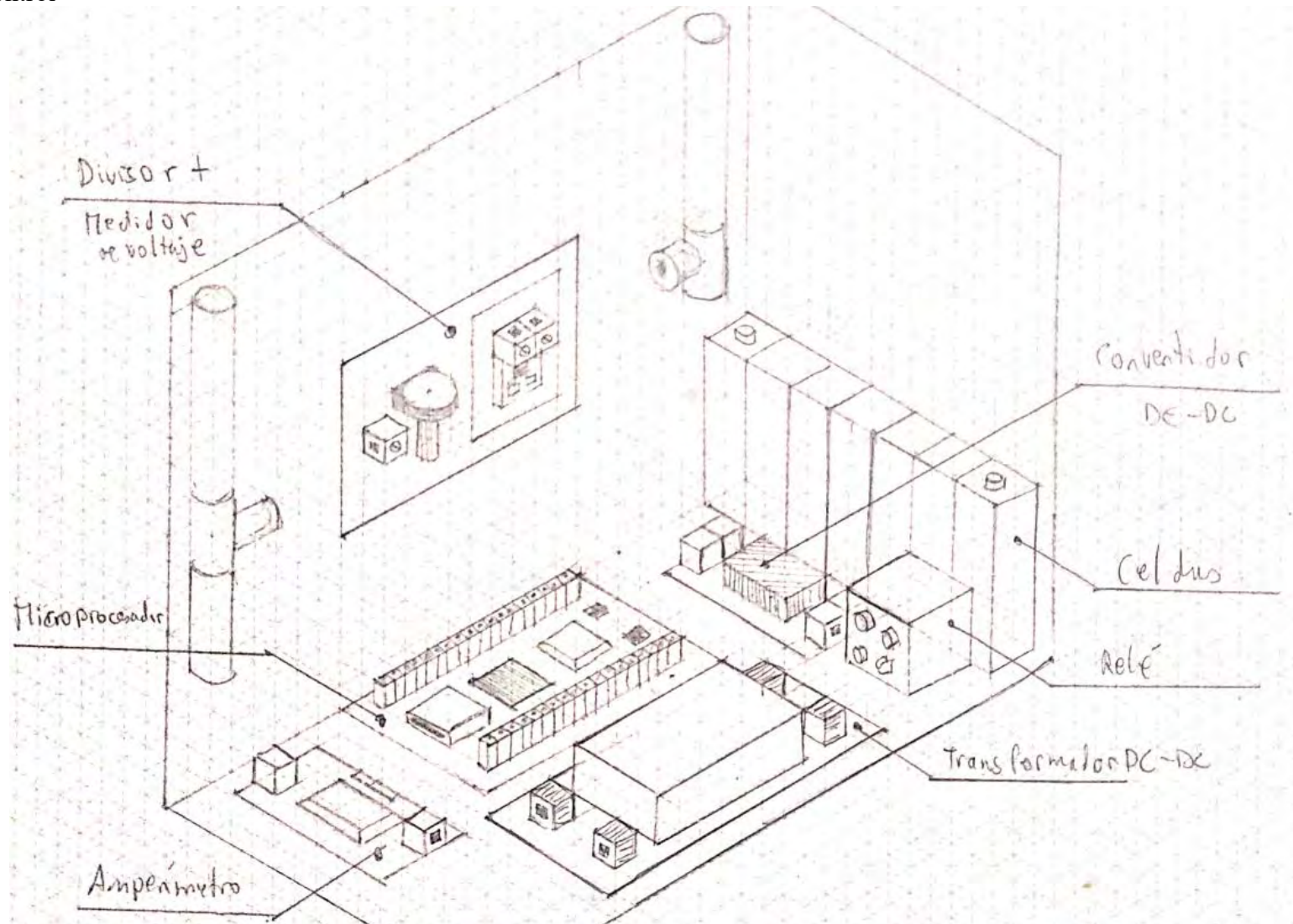


ANEXO F: Bosquejos del sistema

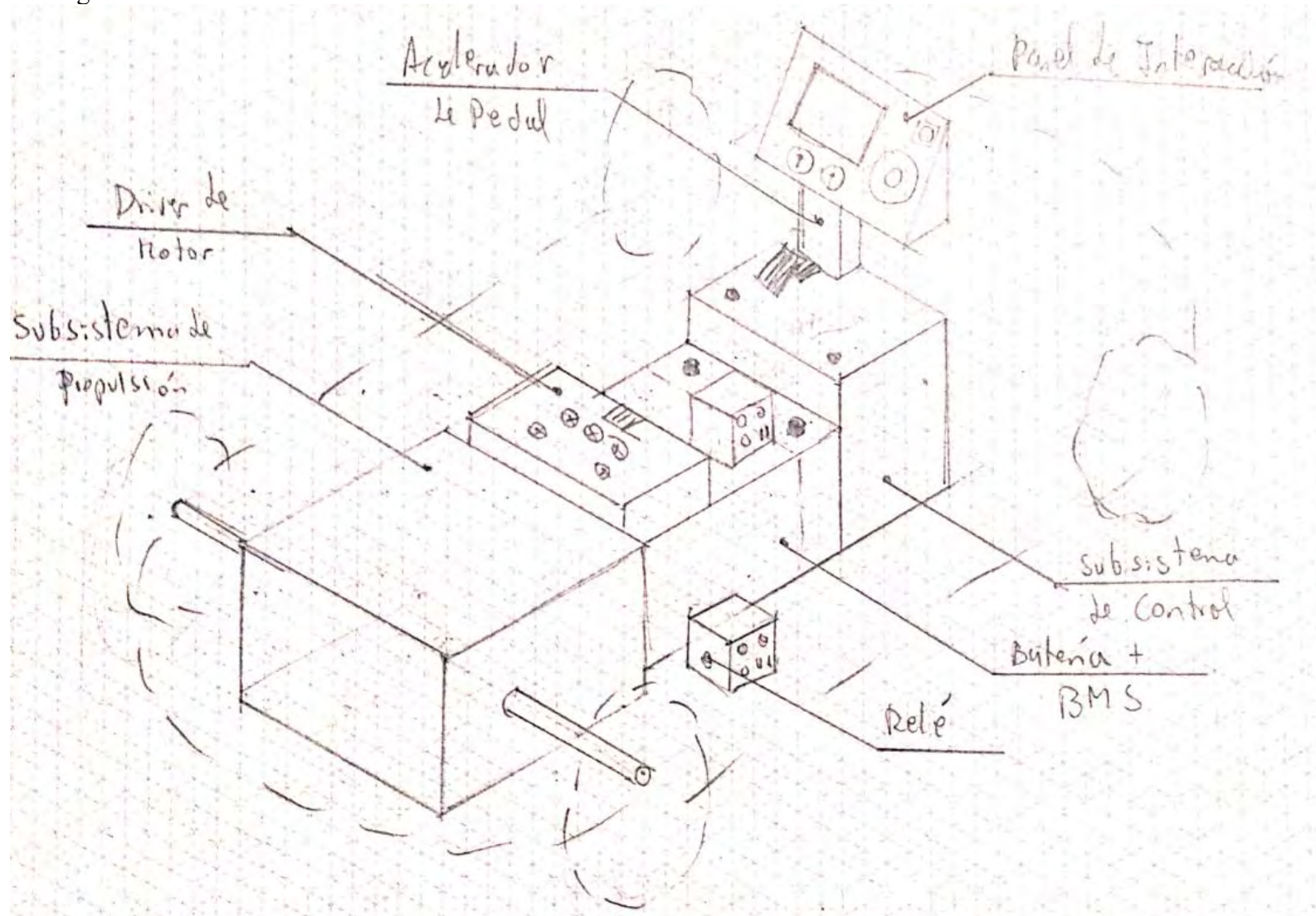
- Subsistema de propulsión



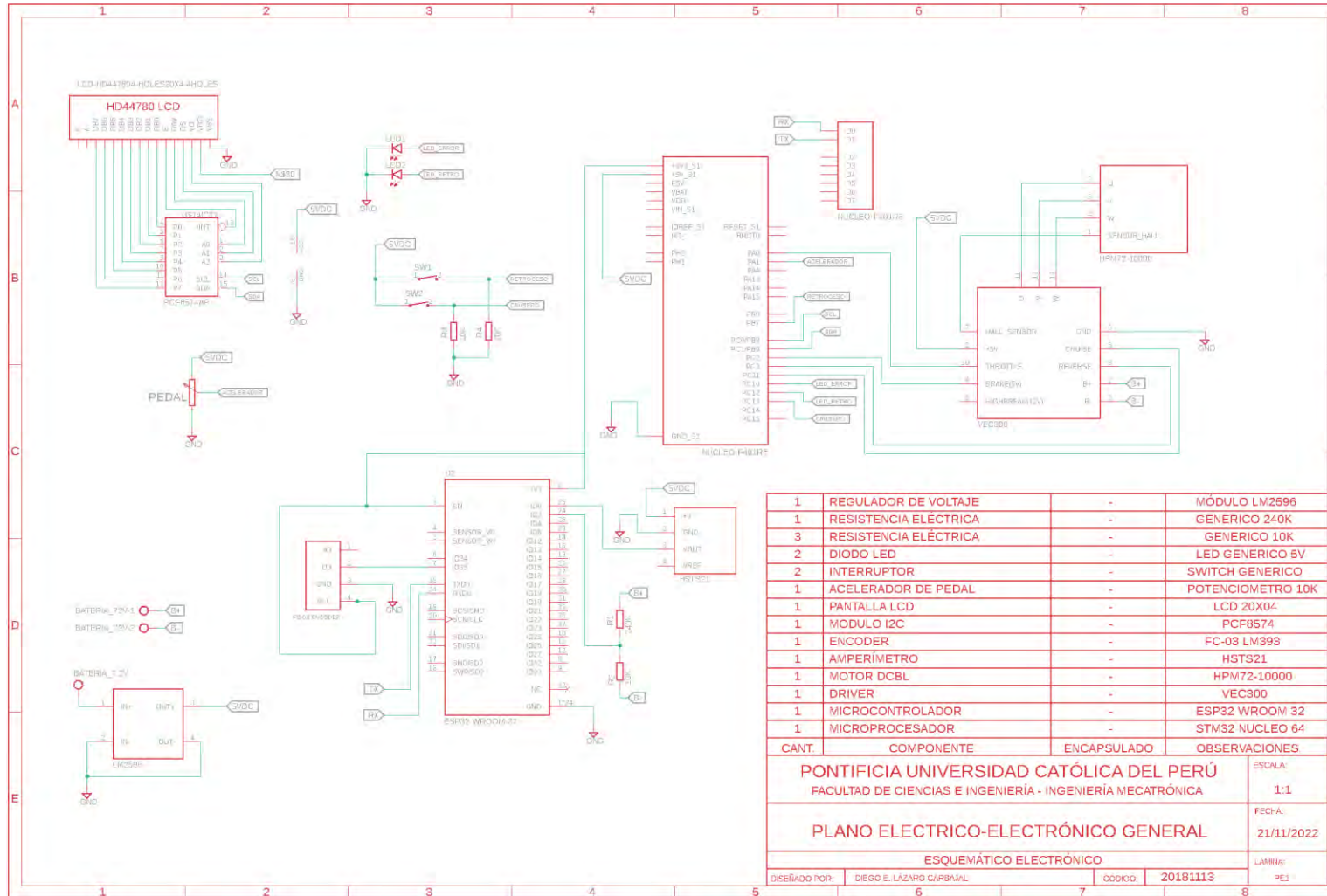
- Subsistema de control



- Ensamble del sistema general



ANEXO G: Plano Eléctrico

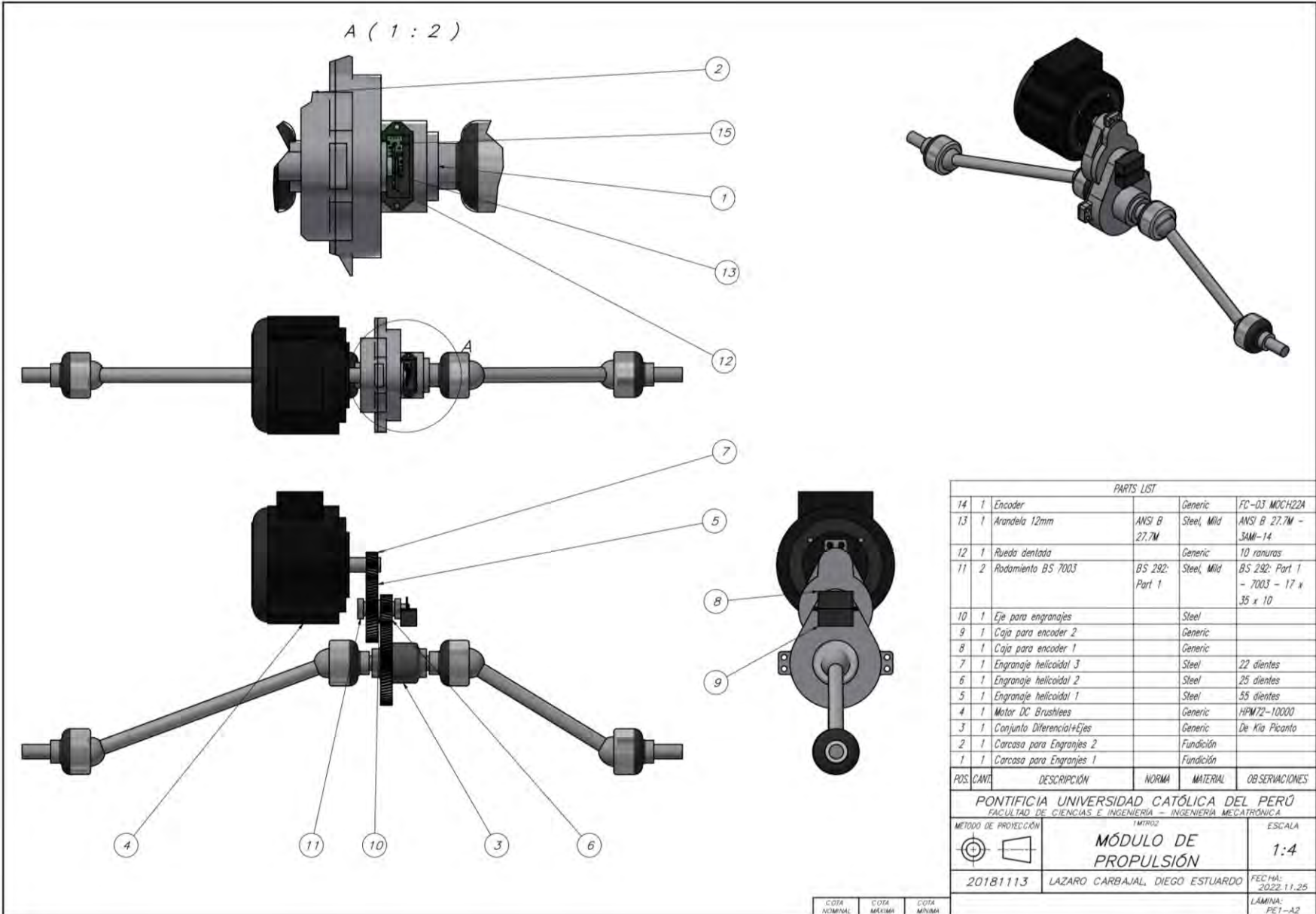


CANT.	COMPONENTE	ENCAPSULADO	OBSERVACIONES
1	REGULADOR DE VOLTAJE	-	MÓDULO LM2596
1	RESISTENCIA ELÉCTRICA	-	GENÉRICO 240K
3	RESISTENCIA ELÉCTRICA	-	GENÉRICO 10K
2	DIODO LED	-	LED GENÉRICO 5V
2	INTERRUPTOR	-	SWITCH GENÉRICO
1	ACELERADOR DE PEDAL	-	POTENCIÓMETRO 10K
1	PANTALLA LCD	-	LCD 20X04
1	MÓDULO I2C	-	PCF8574
1	ENCODER	-	FC-03 LM393
1	AMPERÍMETRO	-	HSTS21
1	MOTOR DCBL	-	HPM72-10000
1	DRIVER	-	VEC300
1	MICROCONTROLADOR	-	ESP32 WROOM 32
1	MICROPROCESADOR	-	STM32 NUCLEO 64

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA
 ESCALA: 1:1
 FECHA: 21/11/2022
PLANO ELECTRICO-ELECTRÓNICO GENERAL
 ESQUEMÁTICO ELECTRÓNICO
 DISEÑADO POR: DIEGO E. LAZARO CARBAJAL CÓDIGO: 20181113 LÁMINA: PE1



ANEXO H: Planos Mecánicos

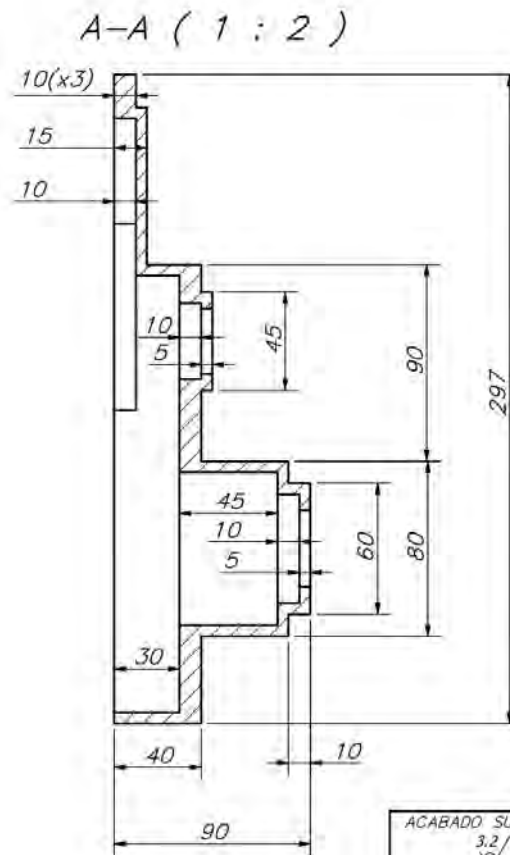
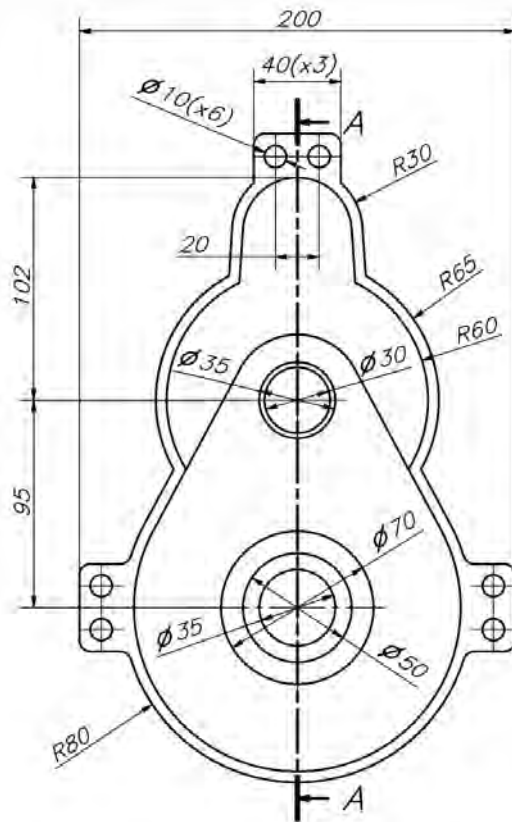


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
14	1	Encoder		Generic	FC-03 M0CH22A
13	1	Arandela 12mm	ANSI B 27.7M	Steel, Mild	ANSI B 27.7M - 3AM-14
12	1	Rueda dentada		Generic	10 ranuras
11	2	Rodamiento BS 7003	BS 292: Part 1	Steel, Mild	BS 292: Part 1 - 7003 - 17 x 35 x 10
10	1	Eje para engranajes		Steel	
9	1	Caja para encoder 2		Generic	
8	1	Caja para encoder 1		Generic	
7	1	Engranaje helicoidal 3		Steel	22 dientes
6	1	Engranaje helicoidal 2		Steel	25 dientes
5	1	Engranaje helicoidal 1		Steel	55 dientes
4	1	Motor DC Brushless		Generic	HPM2-10000
3	1	Conjunto Diferencial+Ejes		Generic	De Kia Picanto
2	1	Carcasa para Engranajes 2		Fundición	
1	1	Carcasa para Engranajes 1		Fundición	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

METODO DE PROYECCIÓN	TÉRMINOS	ESCALA
	MÓDULO DE PROPULSIÓN	1:4
20181113	LAZARO CARBAJAL, DIEGO ESTUARDO	FEC HA: 2022.11.25
		LÁMINA: PET-A2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

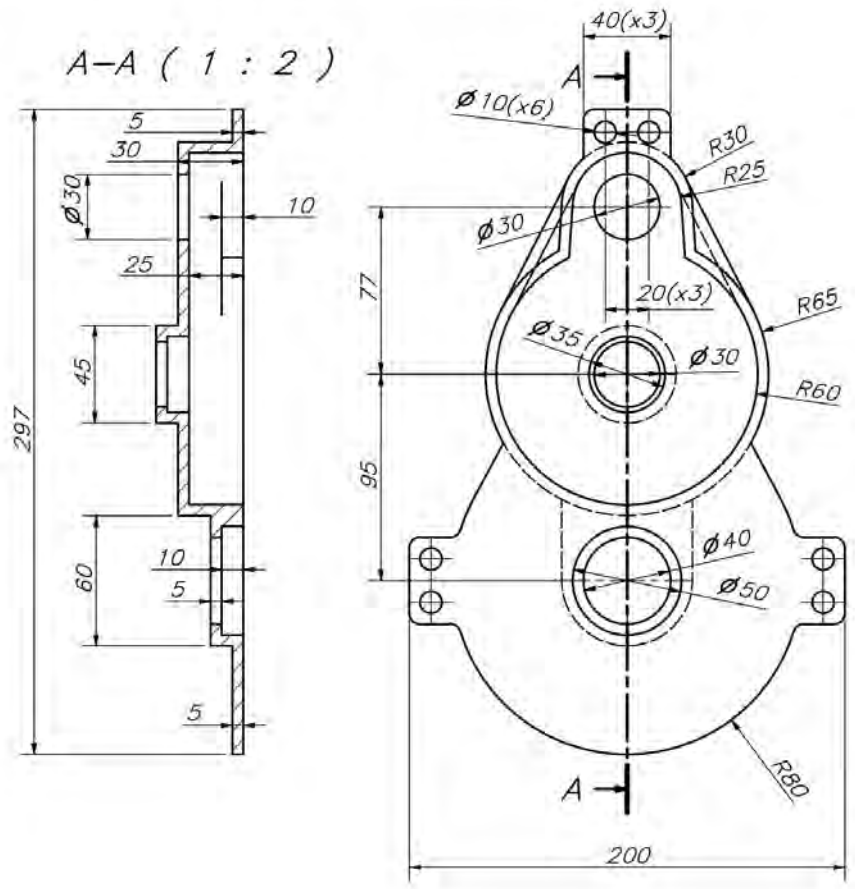


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN E 7168

TIPO DE FUNDICIÓN	Más de 10 hasta 30	Más de 30 hasta 80	Más de 80 hasta 150	Más de 150 hasta 315	Más de 315 hasta 500
FUNDICIÓN GRIS	+2 -1	+3 -1,5	+4 -2	+5 -2,5	+7 -3,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN E 7168	MATERIAL Fundición
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 CARCAZA PARA ENGRANAJES 1	ESCALA 1:2
20181113	LÁZARO CARBAJAL, DIEGO ESTUARDO	FECHA: 2022.11.25
		LÁMINA: PD1-A3



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN E 7168

TIPO DE FUNDICIÓN	Más de 10 hasta 30	Más de 30 hasta 80	Más de 80 hasta 180	Más de 180 hasta 315	Más de 315 hasta 500
FUNDICIÓN GRIS	+2 -1	+3 -1,5	+4 -2	+5 -2,5	+7 -3,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN E 7168	MATERIAL Fundición
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 CARCAZA PARA ENGRANAJES 2	ESCALA 1:2
20181113	LÁZARO CARBAJAL, DIEGO ESTUARDO	FECHA: 2022.11.25
		LÁMINA: PD2-A3

ANEXO I: Precios Referencia y Cotizaciones:


- **Componentes comerciales / Precios referenciales:**

- **Motor DC Brushless (www.goldenmotor.com)**


10KW BLDC Motor

10KW Fan Cooling			10KW Liquid Cooling		
					
Buy Now			Buy Now		
48V 10KW Fan Cooling \$690 	72V 10KW Fan Cooling \$690 	96V 10KW Fan Cooling \$690 	48V 10KW Liquid Cooling \$715 	72V 10KW Liquid Cooling \$715 	96V 10KW Liquid Cooling \$715 

- **Driver (www.goldenmotor.com)**

Model	Rated Voltage	Rated Current	Max Phase Current	Dimensions L*W*H Weight	Price	Buy
VEC300-48	48V	120A	300A	190*180*50mm (2.5kg)	USD452	
VEC300-72	72V	100A	300A	190*180*50mm (2.5kg)	USD452	
VEC500-48	48V	200A	500A	200*190*58mm (3.2kg)	USD598	
VEC500-72	72V	150A	500A	200*190*58mm (3.2kg)	USD598	

- **Celdas de Ion Litio (www.18650battery.com)**



EVE 26V 18650 2550mAh 7.5A - Button Top Battery

★★★★★ (67)

Save 63%

EVE 

Price: \$1.85 ~~\$4.99~~

Pay in 4 interest-free installments for orders over \$50.00 with [shop pay](#) [Learn more](#)

- **Diferencial + juego de engranajes** (Mercado de autopartes San Jacinto)



- **Par de palieres con junta homocinética**



○ BMS

Made-in-China
Connecting Buyers with Chinese Suppliers

Products | Enter a keyword to search products

Post My RFQ

All Categories | Secured Trading Service | Video Channel | Top-ranking Products | Supplier

Home > Electrical & Electronics > Battery, Storage Battery & Charger > Battery Management System

Daly Li-ion Battery Waterproof BMS 20s 72V 200A Common Port with Balance BMS

Reference FOB Price | Get Latest Price >

US \$111.84 / Piece | 5 Pieces (Min. Order)

Accessory Type: Battery Accessories
Applications: 3.7V Lithium Battery Rated
Battery Series: 20s

For 3.7V Lithium battery
20S 72V BMS
multiple specifications available

○ Amperímetro

AliExpress | daly 8s-36 volts

YHDC Store | 98.6% valoraciones positivas

Página principal | Productos | Comentarios

PEN45.87
Al por mayor: +5 unidades, -7% dto. extra

YHDC-Sensor de corriente de núcleo dividido, entrada HSTS21, 50A, 100A, 200A, 300A, 400A, 500A, 600A, salida 2,5 ± 0.625V, voltaje de suministro + 5V

11 Vendidos

Color: 600A

50A | 100A | 200A | 300A | 400A | 500A | 600A

○ Voltímetro - Divisor de voltaje en placa PCB (www.pcbway.es)

Reiniciar | Calcular

Selección de las especificaciones de la PCB | Cómo funciona (3 pasos) | PCB de pedido rápido

Tipo de placa: Piezas sueltas | Panel del cliente | Panel creado por PCBWay

Diseños diferentes en el panel: 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | p.e.

* Dimensiones (único): 25 X 50 mm | inch↔mm

* Cantidad (único): 5 piezas

Capas: 1 Capa | 2 Capas | 4 Capas | 6 Capas | 8 Capas | 10 Capas | 12 Capas | 14 Capas

Capa de cobre: -- | Máscara de soldadura: -- | Serigrafía: --

Material: FR-4 | Aluminio | Rogers | HDI (Vias enterradas / ligadas) 24 Capas

Base de Cobre

Precio y tiempo de producción

Precio de la PCB | Matriz de comparación de precios PCB

Tiempo de preparación	Cantidad	Total
<input checked="" type="radio"/> 3-4 días	5	\$5.00
<input type="radio"/> Express 48horas	5	\$38.43
<input type="radio"/> Express 24horas	5	\$63.06

⚠ Precio final pendiente de nuestra comprobación


Gastos de envío: \$7.01

SPAIN | China Post 20-44 días laborales, wt.0.01kg

Fecha de envío: 2024/4/23 AM | Fecha de entrega: 2024/5/25

Precio PCB: \$5.00
Envío: \$7.01
Total: \$12.01

○ Encoder + Disco



0 ARTÍCULO(S)

[PRODUCTOS](#)
[IMPRESIÓN 3D](#)
[TUTORIALES](#)
[NOTICIAS](#)

Inicio > Sensores > Proximidad > Sensor Encoder Infrarrojo FC-03 (MOCH22A)



SENSOR ENCODER INFRARROJO FC-03 (MOCH22A)

#SKU: 000240

Sensor FC-03 basado en el opto-interruptor infrarrojo MOCH22A, puede ser utilizado como final de carrera óptico o como encoder adicionando un disco ranurado.

S/ 6,00

En stock

- 1 + [Añadir Al Carrito](#)

[Código QR](#) [Compartir](#)



DISCO CON RANURAS PARA ENCODER

#SKU: 000613

Disco de 20 ranuras para encoder óptico

S/ 0,50

En stock

- 1 + [Añadir Al Carrito](#)

[Código QR](#)

☆ A Lista De Deseos

○ Microprocesador



 En existencias RoHS

[Productos](#)
[Fabricantes](#)
[Servicios y herramientas](#)
[Recursos técnicos](#)
[Ayuda](#)
[Cuenta y pedidos](#)

[Todos los productos](#) >
 [Soluciones incluidas](#) >
 [Herramientas de ingeniería](#) >
 [Kits de desarrollo de procesador integrado](#) >
 [Tableros y Juegos de Desarrollo - ARM](#) >
 STMicroelectronics NUCLEO-F446RE

NUCLEO-F446RE



Mouser N.º: 511-NUCLEO-F446RE
 Fabricante N.º: NUCLEO-F446RE
 Fabricante: STMicroelectronics
 Ref. Cliente:
 Descripción: Tableros y Juegos de Desarrollo - ARM STM32 Nucleo-64 development board STM32F446RE MCU, supports Arduino & ST morpho
[Complete su diseño](#)
 Hoja de datos: [NUCLEO-F446RE Hoja de datos \(PDF\)](#)

En existencias: 343

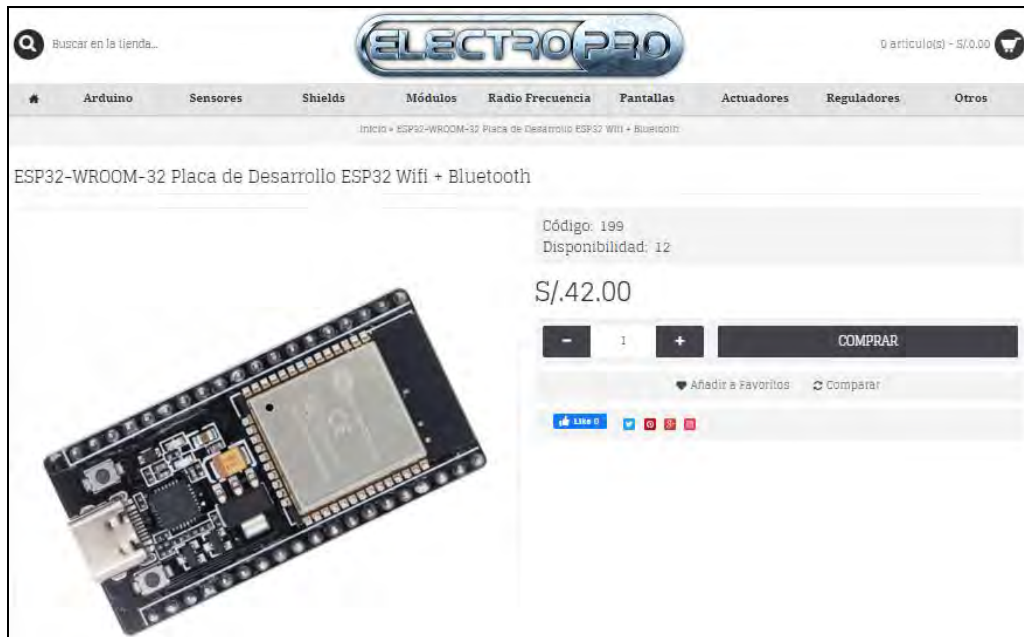
Existencias: 343 Se puede enviar inmediatamente
 En pedido: 838 Se espera el 25-jun.-24
 Mínimo: 1 Múltiples: 1 Máxima: 25
 Introducir cantidad: [Comprar](#)

Precio (PEN)

Cantidad	Precio unitario	Precio ext.
1	S/66.00	S/66.00

Las imágenes son para

○ Microcontrolador



The screenshot shows the product page for an ESP32-WROOM-32 development board on the ELECTROPRO website. The page features a search bar at the top, a navigation menu with categories like Arduino, Sensores, Shields, Módulos, Radio Frecuencia, Pantallas, Actuadores, Reguladores, and Otros. The product title is "ESP32-WROOM-32 Placa de Desarrollo ESP32 Wifi + Bluetooth". The price is listed as S/42.00. There is a "COMPRAR" button and a "Añadir a Favoritos" option. The product image shows a black PCB with various components and a USB port.

○ Soporte 4 celdas



The screenshot shows the product page for a 4-cell battery holder on the TEMU website. The page features a search bar at the top, a navigation menu with categories like Más vendidos, 5 estrellas, Gran Apertura, Recién Llegados, and Categorías. The product title is "Caja De Batería 18650 Batería De Litio 1/2/3/4 Serie 18650 Soporte De Batería De Conexión Con Ca.". The price is listed as S/ 7.78. There is an "Añadir al carrito" button and a "Todos los detalles" link. The product image shows a black plastic battery holder with four slots and a red and black wire.

○ Regulador 5V



The screenshot shows the product page for an LM2596S 5V DC-DC converter module on the TEMU website. The page features a search bar at the top, a navigation menu with categories like Más vendidos, 5 estrellas, Gran Apertura, Recién Llegados, and Categorías. The product title is "LM2596S Módulo De Fuente De Alimentación De Reducción De Paso DC-DC 3A Módulo De Co.". The price is listed as S/ 4.98. There is an "Añadir al carrito" button and a "Todos los detalles" link. The product image shows a blue PCB with a large black inductor, a blue capacitor, and a black integrated circuit.

○ Pantalla LCD



The screenshot shows a product page for a 'Pantalla LCD 2004A' on the website 'electromania'. The product is a blue LCD screen on a green PCB. The price is listed as S/22.00. The page indicates it is 'En stock' and 'Hay existencias'. There is a quantity selector set to 1 and an 'AÑADIR AL CARRITO' button. Below the product image, there are links for 'Compare' and 'Agregar al Wishlist'. The SKU is D002-LCD2004A and the category is 'Pantallas'. Social media sharing icons for Facebook, Twitter, and LinkedIn are also present.

○ Driver de pantalla



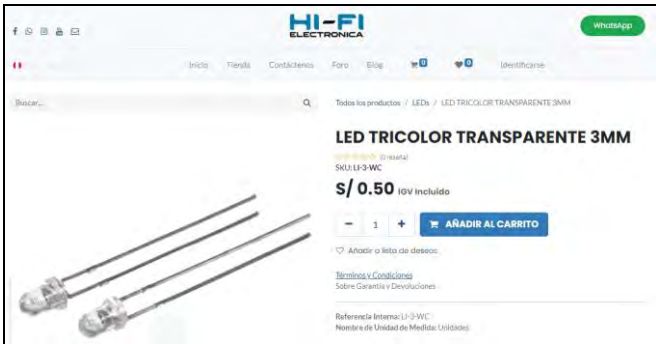
The screenshot shows a product page for a 'MÓDULO EXPANSOR IO PCF8574' on the website 'NAYLAMP MECHATRONICS'. The product is a blue PCB with a black IC and several pins. The price is S/ 12,00. The page indicates it is 'En stock'. There is a quantity selector set to 1 and an 'Añadir Al Carrito' button. The SKU is 000359. A description explains that the PCF8574 chip is an I2C compatible expander that allows up to 8 I2C devices to be connected to a single I2C bus using only 2 pins. The page also includes a search bar, navigation menu, and social media icons.

○ Interruptores (www.mtlab.pe)



The screenshot shows a product page for a 'Switch / Interruptor ON/OFF, soporta 3A en 220VAC 10x15mm de 3 PINES' on the website 'www.mtlab.pe'. The product is a black rectangular switch with three pins. The price is S/ 1.50. The page indicates it is '160 disponibles'. There is a quantity selector set to 1 and an 'Añadir al carrito' button. Below the product image, there is a link for 'Añadir a la lista de deseos'. The SKU is BD07 and the category is 'PCB y soldadura'. The page also includes a search bar and social media icons.

○ Leds



The screenshot shows a product page for a 'LED TRICOLOR TRANSPARENTE 3MM' on the website 'HI-FI ELECTRONICA'. The product is a small, clear LED with three pins. The price is S/ 0.50. The page indicates it is '10V incluido'. There is a quantity selector set to 1 and an 'AÑADIR AL CARRITO' button. Below the product image, there is a link for 'Añadir a lista de deseos'. The page also includes a search bar, navigation menu, and social media icons.

- **Resistencias** (www.teslaelectronic.com.pe)



Resistencia 10k Ohm, 1/4 Watt, +/-5%
S/0.20

339 disponibles

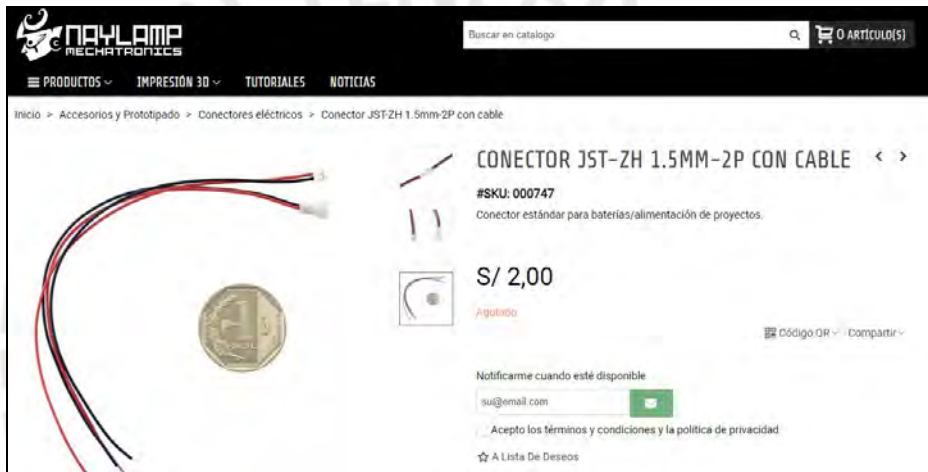
1 **AÑADIR AL CARRITO**

SKU: C-58 / XY

Categorías: [Dispositivos](#), [Resistencias](#)

Etiquetas: [Potenciómetro](#), [Resistencia](#)

- **Cable**



NAYLAMP MECHATRONICS

Buscar en catálogo 0 ARTÍCULO(S)

PRODUCTOS IMPRESIÓN 3D TUTORIALES NOTICIAS

Inicio > Accesorios y Prototipado > Conectores eléctricos > Conector JSTZH 1.5mm-2P con cable

CONECTOR JST-ZH 1.5MM-2P CON CABLE

#SKU: 000747
Conector estándar para baterías/alimentación de proyectos.

S/ 2,00

Agotado

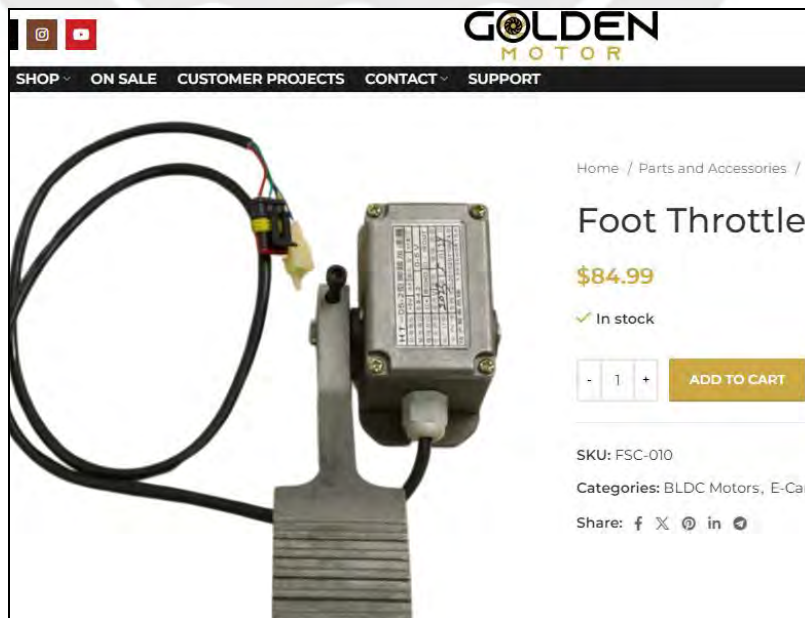
Código QR Compartir

Notificarme cuando esté disponible

Acepto los términos y condiciones y la política de privacidad

☆ A Lista De Deseos

- **Pedal del Acelerador**



GOLDEN MOTOR

SHOP ON SALE CUSTOMER PROJECTS CONTACT SUPPORT

Home / Parts and Accessories / T

Foot Throttle

\$84.99

✓ In stock

- 1 + **ADD TO CART**

SKU: FSC-010

Categories: [BLDC Motors](#), [E-Car](#)


Share: [f](#) [X](#) [@](#) [in](#) [G](#)

○ Caja para los engranajes (<https://www.alibaba.com>)

Super Hydun SH12M5A1-1701001 Brand New Transmission Gearbox Assy For Chevrolet Spark

No reviews yet

Qingdao Hydun Autoparts Manufacturing Co., Ltd. · Verified Custom manufacturer · 4 yrs · CN



1 - 9 sets \$229.00 10 - 49 sets \$222.00 >= 50 sets \$209.00

Quantity: 0


Shipping: Shipping solutions for the selected quantity are currently unavailable

Item subtotal (0 variations 0 items)	\$0.00
Shipping total	\$0.00
Subtotal	\$0.00

Start order request Contact supplier

● Procesos de fabricación:

○ Ensamble de banco de baterías (<https://articulo.mercadolibre.com.pe>)



Nuevo | +25 vendidos

Fabricación De Bancos/packs

Baterías De Litio 18650

4.5 (2)

S/ 5

Ver los medios de pago

Llega entre el lunes y el martes por S/ 15⁰⁰

Más formas de entrega

Devolución gratis

Tienes 30 días desde que lo recibes.

Conocer más

Cantidad: 1 unidad (98 disponibles)

Comprar ahora

Vendido por SLARKRASKOLNIKOV
+100 ventas

Tu pregunta

Si ya tengo las celdas y quisiera un arreglo de 22 celdas en paralelo y 20 en serie, cuanto constaría el servicio?

└ Buenas tardes estimado, es bastante la cantidad a unir, aqui se usa niquel, espaciadores y todos los materiales a excepcion del bms, el costo es de s/1290.00

04/04/2024

○ Impresión 3d de caja y tapa para componentes electrónicos


LABORATORIO DE MANUFACTURA DIGITAL

P240429A
Lima, 29 de abril del 2024

Señores
Pontificia Universidad Católica del Perú
Presente.

Atn.: Diego Estuardo Lázaro Carbajal
Ref.: Cotización para impresiones en 3D

De nuestra consideración:

Atendiendo su solicitud de cotización, nos es grato saludarlo a través de la presente y así poner a su disposición nuestra propuesta económica para la adquisición del servicio de impresión 3D que es de su interés:

Descripción del servicio	Precio (inc. (GV))
<ul style="list-style-type: none">• Servicio: impresión en 3D• Cantidad: 2 piezas en impresión 3D• Resolución: 0.32 mm por capa• Material: PLA+• Boquilla: 0.4 mm• Color: A disposición de stock	S/ 164.00