



**Universidad Modelo
Escuela de Ingeniería**

**“Go-kart eléctrico como
plataforma de aprendizaje”**

**Proyectos VI
Nuevas Tendencias en la Industria**

**Ingeniería Automotriz
6to Semestre Grupo A**

Docente:

Pascual Gabriel Pech Borges

Elaborado por:

**Roberto Anthony Rivas Millet
Abraham Serrano Broque
Claudio García Durocher
Manuel Torres Cupul
Roberto Aguado Ac
Arturo Rosales Cardoso
Johan Rodrigo Dzul Santos
Mario Alberto Azarcoya Castillo
Elías Suárez Zavala
Diego Castilla Cohen
Marco Antonio Alejandro Robles Herrera
Daniel Bernardo Vite
Oscar Javier Ventura Velazques
Juan Pablo Villavicencio Colonna
Farid De Jesus Caballero Duck
Andres Mauricio López Romero**

**CURSO ESCOLAR
Enero - Junio 2026**

1. Introducción

La industria automotriz atraviesa una de las transformaciones más significativas de su historia, marcada por la transición de los motores de combustión interna hacia la electromovilidad. En este contexto, el presente proyecto, desarrollado para la asignatura de "Nuevas Tendencias de la Industria", se centra en el diseño y ensamblaje de un vehículo tipo Go-kart con propulsión 100% eléctrica.

A diferencia de los enfoques recreativos tradicionales, la finalidad principal de este prototipo es didáctica y técnica: busca fungir como una plataforma de experimentación para comprender la integración de los componentes críticos de un sistema eléctrico de potencia (baterías, controlador, motor y sistemas de seguridad). El proyecto aborda no solo la conexión física de estos elementos, sino también la implementación de protocolos de seguridad indispensables en el manejo de alto voltaje y corriente continua.

En el ámbito profesional, el dominio de estas competencias es crucial para el ingeniero automotriz moderno, quien debe ser capaz de diagnosticar, diseñar y mantener sistemas de nueva energía. Como resultado esperado, se obtendrá un prototipo funcional que demuestre la viabilidad técnica de la conversión eléctrica y sirva como guía práctica para la gestión segura de sistemas de tracción eléctrica.

2. Planteamiento del Problema

A pesar del rápido avance de la tecnología, existe una desconexión entre la formación académica tradicional y las necesidades actuales de la industria. Investigaciones recientes señalan que la educación en ingeniería automotriz a menudo carece de prácticas suficientes en electrónica de potencia y sistemas de baterías, creando una brecha de habilidades en los graduados que deben enfrentarse a la nueva era de la movilidad eléctrica (Borg et al., 2025).

A nivel nacional, aunque la demanda de vehículos híbridos y eléctricos en México creció un 67.3% en 2024 respecto al año anterior (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz [AMIA], 2025), la infraestructura educativa en muchas universidades aún se centra predominantemente en motores de combustión interna. Esta carencia limita la capacidad de los futuros ingenieros para diagnosticar y diseñar sistemas de propulsión eléctrica bajo estándares internacionales de seguridad, como los establecidos por la norma SAE J2344. La falta de plataformas accesibles para la experimentación segura obliga a los estudiantes a aprender teoría sin la validación práctica necesaria para evitar riesgos eléctricos graves.

3. Justificación

La realización de este proyecto es necesaria para alinear la formación académica con las tendencias de la Industria 4.0. Se añaden los siguientes puntos:

- **Iniciación Tecnológica:** El proyecto permite conocer a poca profundidad el conocimiento de nuevas tecnologías, funcionando como un primer acercamiento práctico que facilita la transición de la teoría de combustión interna a la electromovilidad.
- **Relevancia Técnica:** Permite la aplicación de conocimientos en circuitos, selección de componentes y normativas de seguridad.
- **Beneficio Social:** Ofrece una visión desglosada del funcionamiento de un EV sin los costos de un auto comercial.
- **Viabilidad:** Representa una oportunidad de bajo costo y alto retorno educativo para iterar y aprender de errores controlados.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Diseñar y ensamblar un prototipo funcional de Go-kart eléctrico, integrando y validando los componentes del tren motriz (batería, controlador y motor) bajo estándares de seguridad eléctrica, para demostrar el funcionamiento práctico de las nuevas tendencias en propulsión automotriz al finalizar el curso.

4.2. Objetivos Específicos

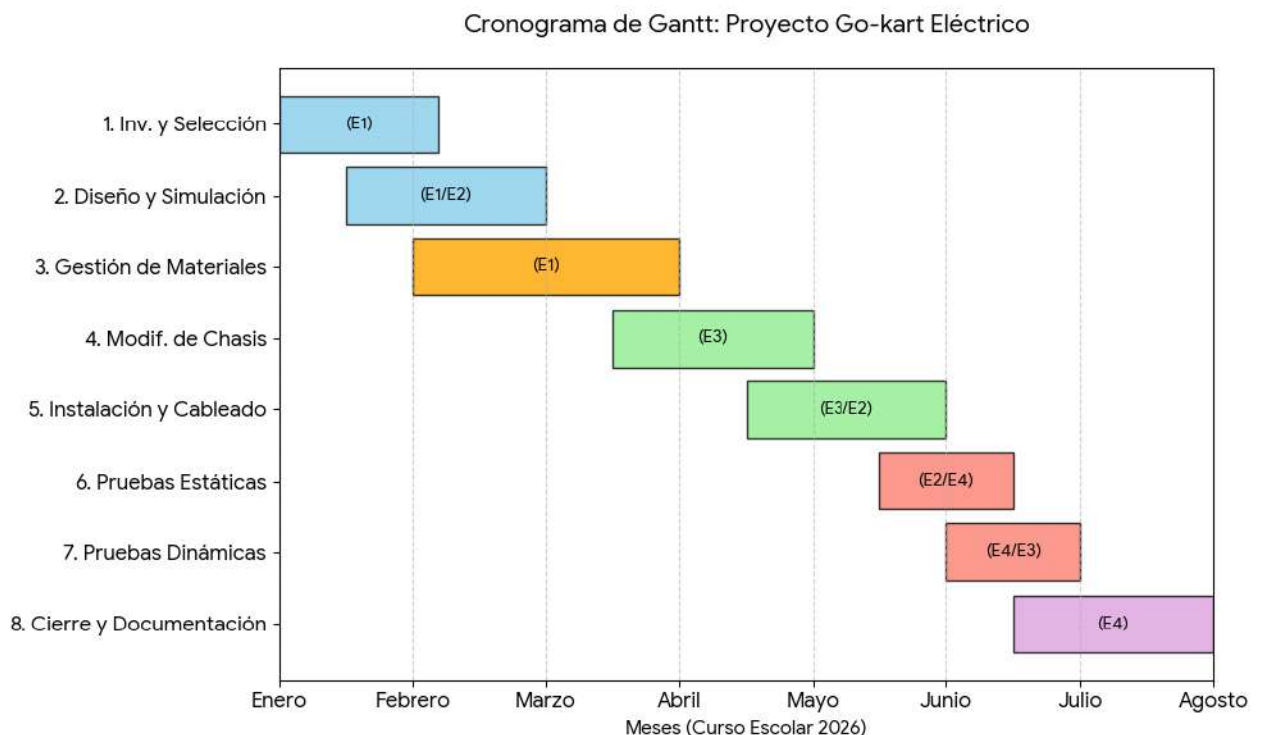
- Identificar y seleccionar los componentes eléctricos adecuados (motor BLDC, controlador de velocidad, banco de baterías) basándose en cálculos de carga y requerimientos de desempeño del chasis, con el fin de asegurar la compatibilidad técnica y el rendimiento óptimo del sistema motriz.
- Diseñar el diagrama esquemático del sistema eléctrico, incorporando elementos de protección obligatorios como interruptores de parada de emergencia, fusibles y aislamiento de cableado, para mitigar riesgos de cortocircuitos y garantizar la integridad física de los operadores.
- Ejecutar el montaje físico del sistema de tracción y control sobre el chasis, asegurando la correcta sujeción y ventilación de los componentes electrónicos, con el propósito de evitar fallos mecánicos por vibración o degradación térmica de los semiconductores.
- Realizar pruebas de continuidad, voltaje y aislamiento en estático antes de la puesta en marcha dinámica para garantizar la integridad del sistema y del usuario.
- Documentar el proceso de conexión y las medidas de seguridad implementadas para generar un manual técnico que sirva de referencia para futuros proyectos académicos.

5. Plan de Trabajo

A. Listado de Actividades Detallado

1. **Investigación y Selección de Componentes:** Análisis de curvas de torque de motores BLDC y compatibilidad química de celdas LiFePO₄.
2. **Diseño y Simulación de Diagramas:** Creación de planos eléctricos en CAD y simulación de la lógica de protección del controlador.
3. **Gestión de Materiales y Logística:** Proceso de cotización, compra e importación de componentes críticos (baterías, motor, BMS).
4. **Acondicionamiento Mecánico del Chasis:** Modificación de la estructura para el reparto de pesos y fabricación de soportes para componentes eléctricos.
5. **Instalación del Tren Motriz y Cableado:** Montaje físico de la etapa de potencia y ruteo de cables bajo norma de seguridad.
6. **Pruebas Estáticas y Protocolos de Seguridad:** Verificación de aislamiento galvánico y pruebas de continuidad sin carga.
7. **Pruebas Dinámicas y Calibración:** Validación en pista, ajuste del pedal *drive-by-wire* y eficiencia del freno regenerativo.
8. **Cierre de Proyecto y Documentación:** Redacción del manual técnico final y entrega del prototipo funcional.

B. Cronograma de Gantt Visual (Enero - Julio 2026)



C. Seccionado de Equipos de Trabajo

Dado que somos un grupo numeroso, la división por objetivos asegurará la eficiencia:

- **Equipo 1: Ingeniería y Selección (Objetivo 1)**
 - *Responsables:* Roberto Rivas, Claudio García, Abraham Serrano.
 - *Misión:* Cálculos de carga, selección de motor/baterías y gestión de compras.
- **Equipo 2: Diseño Eléctrico y Seguridad (Objetivo 2 y 4)**
 - *Responsables:* Manuel Torres, Roberto Aguado, Arturo Rosales, Johan Dzul.
 - *Misión:* Diagramas esquemáticos, selección de fusibles y protocolos de aislamiento.
- **Equipo 3: Manufactura e Integración (Objetivo 3)**
 - *Responsables:* Diego Castilla, Marco Robles, Daniel Vite, Javier Ventura, Mario Azarcoya.
 - *Misión:* Montaje físico en el chasis, soldadura de soportes y ruteo de cableado.
- **Equipo 4: Control de Calidad y Documentación (Objetivo 5)**
 - *Responsables:* Juan Colona, Farid Duck, Mauricio López, Elías Suárez.
 - *Misión:* Pruebas de funcionamiento, registro fotográfico y elaboración del manual técnico.

6. Marco Teórico

6.1. Evolución de la Industria Automotriz y la Electromovilidad

La industria automotriz se encuentra en un punto de inflexión histórico, impulsado por la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética. A diferencia de los vehículos de combustión interna (ICE, por sus siglas en inglés), que dependen de reacciones químicas termodinámicas ineficientes, la electromovilidad plantea un paradigma basado en la conversión electromagnética directa. Como señala Ehsani et al. (2018), "la propulsión eléctrica no solo representa una alternativa ecológica, sino un salto cualitativo en el control dinámico y la eficiencia mecánica del vehículo" (p. 15).

Este cambio requiere que las plataformas de aprendizaje en ingeniería automotriz se adapten rápidamente. El desarrollo de un Go-kart eléctrico funciona como una plataforma de experimentación ideal para comprender la integración de componentes críticos de potencia, permitiendo analizar en tiempo real el comportamiento de las baterías y los controladores bajo demanda de carga.

6.2. Arquitectura de un Vehículo Eléctrico (EV)

La topología del tren motriz en un vehículo eléctrico (EV) representa una simplificación drástica de los mecanismos de transmisión tradicionales, alterando fundamentalmente la distribución de masas y las pérdidas parasitarias del chasis. A diferencia de un motor de combustión interna (ICE), un EV básico elimina la necesidad de cajas de cambios multivelocidad complejas, embragues y sistemas de escape. Esta reducción de componentes mecánicos móviles no solo disminuye la inercia rotacional del sistema, sino que sustituye la planta motriz por tres subsistemas altamente modulares: el sistema de almacenamiento de energía (banco de baterías), la electrónica de potencia (inversor/controlador) y la máquina eléctrica (motor).

Desde el punto de vista de la ingeniería automotriz, este cambio de arquitectura implica una reestructuración en la forma de gestionar la entrega de torque. Según Husain (2021), "la simplicidad mecánica del tren motriz eléctrico transfiere la complejidad operativa del dominio termodinámico al dominio del control electrónico de potencia" (p. 42). En un motor de combustión, el rendimiento está estrictamente ligado a la eficiencia volumétrica, la relación de compresión y la sincronización de válvulas. En contraste, en la arquitectura de un EV, la respuesta dinámica del vehículo y su rendimiento ya no dependen de procesos termodinámicos, sino de la frecuencia y amplitud de las señales enviadas por el controlador.

El inversor/controlador asume el papel de "cerebro" dinámico, gobernando la velocidad y el torque mediante el procesamiento de corrientes eléctricas a través de semiconductores de estado sólido. En el contexto del desarrollo de un prototipo didáctico tipo Go-kart, comprender esta arquitectura modular permite al ingeniero manipular directamente los parámetros de aceleración y respuesta del vehículo mediante software, optimizando la tracción sin necesidad de alterar piezas mecánicas. Figura 1

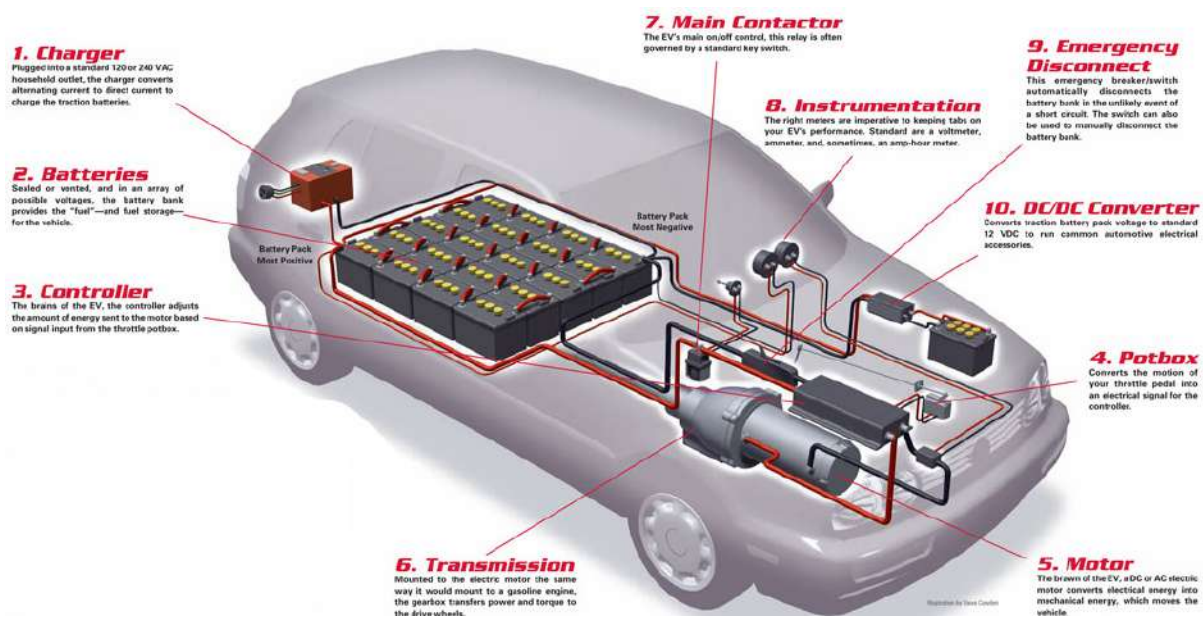


Figura 1.- Arquitectura de un carro eléctrico

6.3. Subsistemas de Propulsión y Control Electrónico

Para garantizar el rendimiento dinámico y la eficiencia energética del sistema motriz, la selección de la topología electromagnética es un parámetro de diseño crítico. En el desarrollo de plataformas de tracción eléctrica ligera, como el presente Go-kart, los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) se establecen como el estándar industrial predominante debido a su alta densidad de potencia, menor inercia rotacional y bajo mantenimiento.

6.3.1. Motores BLDC y Dinámica de Torque

La arquitectura fundamental de un motor BLDC (Figura 2) invierte el diseño clásico de las máquinas de corriente continua: aloja los imanes permanentes en el rotor y los devanados en el estator, logrando la conmutación de manera electrónica en lugar de depender de escobillas mecánicas.

Esta eliminación del contacto físico directo tiene un impacto profundo en la termodinámica y el rendimiento del tren motriz. Como detallan Larminie y Lowry (2012), "la ausencia de fricción mecánica en la conmutación no solo eleva la eficiencia térmica del motor por encima del 85%, sino que permite un control de torque casi instantáneo desde cero revoluciones" (p. 112). Para la cinemática de un Go-kart, esta curva característica de par constante a bajas velocidades es vital, ya que permite vencer la inercia estática del vehículo y del piloto de forma abrupta, ofreciendo una aceleración longitudinal muy superior a la de un motor de combustión de dimensiones equivalentes.

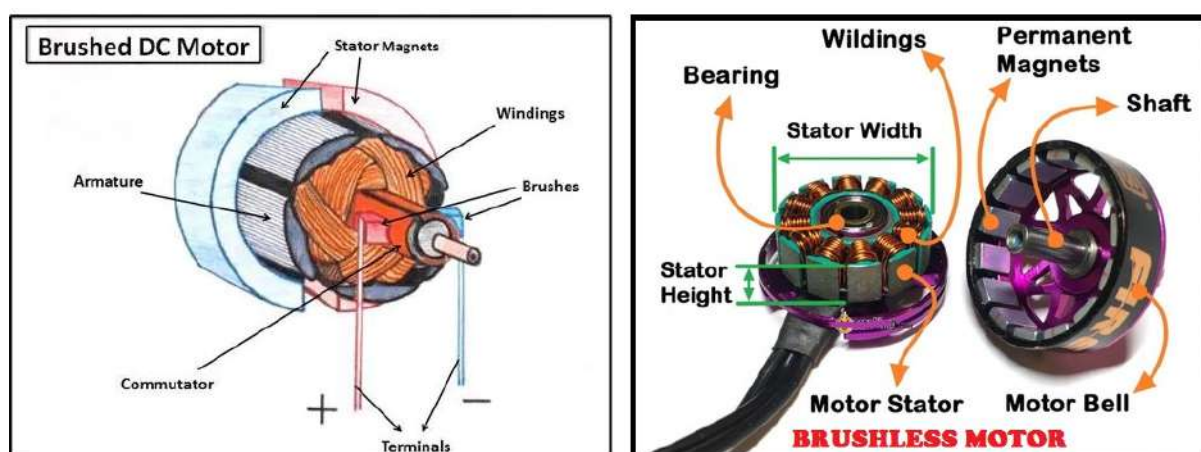


Figura 2.- Motor sin escobillas

6.3.2. Electrónica de Potencia: Inversores y Modulación

El controlador (Figura 3) actúa como el cerebro lógico y dinámico del tren motriz. Su función no se limita a ser un interruptor, sino que opera como un sistema de procesamiento en tiempo real encargado de convertir la corriente continua (DC) estática del banco de baterías en secuencias de fase dinámicas (AC o pulsos secuenciales) para excitar las bobinas del motor BLDC.

Para lograr que el vehículo se mueva, el funcionamiento interno del controlador se divide en un ciclo de tres etapas fundamentales:

- Lectura de Demanda (Interfaz HMI): El microprocesador del controlador recibe una señal analógica de bajo voltaje (típicamente de 0 a 5V) proveniente del potenciómetro o sensor de efecto Hall ubicado en el pedal del acelerador. Esta señal le indica a la unidad lógica cuánto torque está solicitando el piloto.
- Sincronización de Posición (Feedback): A diferencia de un motor de escobillas, el controlador necesita saber exactamente dónde están los imanes del rotor para saber qué bobinas del estator debe encender. Para esto, lee las señales de tres sensores de efecto Hall ubicados dentro del motor (separados a 120 grados eléctricos). Esta retroalimentación le dice al controlador la posición angular exacta del eje en tiempo real.
- Etapa de Potencia y Conmutación (Inversión): Conociendo la demanda del pedal y la posición del rotor, el microprocesador dispara señales a un circuito conocido como puente inversor trifásico. Según Denton (2016), el uso de transistores IGBT o MOSFET en esta etapa de potencia permite manejar altas corrientes continuas de forma segura. El controlador enciende y apaga estos transistores en una secuencia precisa para crear un campo magnético giratorio en el estator que "arrastra" a los imanes del rotor.

Para controlar la velocidad y la fuerza de este arrastre, el controlador regula la energía mediante modulación por ancho de pulsos (PWM). En lugar de enviar un voltaje constante, el controlador "parpadea" los transistores miles de veces por segundo (frecuencia de conmutación). Al variar el ciclo de trabajo (duty cycle) de estos pulsos, altera el voltaje promedio y la corriente que llega al motor, lo que se traduce físicamente en la aceleración longitudinal del Go-kart.



Figura 3.- Controlador de velocidad

Para gestionar la entrega de energía de forma precisa y térmicamente estable, el controlador emplea puentes inversores basados en semiconductores de conmutación rápida. Denton (2016) afirma que "el uso de transistores IGBT o MOSFET en la etapa de potencia del controlador es lo que permite manejar altas corrientes continuas de forma segura, regulando la velocidad mediante modulación por ancho de pulsos (PWM)" (p. 88). En una plataforma experimental, la sintonización de la frecuencia de este PWM no sólo dictamina la linealidad de la respuesta del acelerador, sino que también determina las pérdidas por conmutación (*switching losses*) que se transforman en calor y deben ser gestionadas por los disipadores del chasis. A continuación se tiene un ejemplo de un posible esquema. (Figura 4)

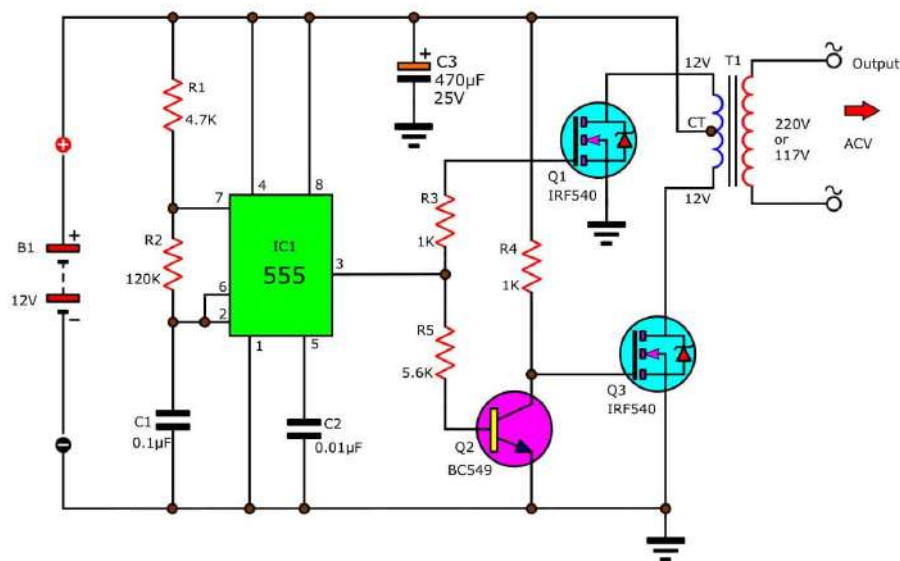


Figura 4.- Esquema de un Inversor de Corriente

6.4. Almacenamiento de Energía y Gestión Activa

El diseño del sistema de almacenamiento de energía constituye el núcleo crítico de la arquitectura eléctrica, representando el mayor desafío técnico en la electromovilidad. A diferencia de un depósito de combustible inerte, el dimensionamiento y ubicación del banco de baterías alteran directamente la masa suspendida, la transferencia de peso en curvas y el centro de gravedad del chasis, dictando la dinámica vehicular del Go-kart.

6.4.1. Electroquímica y Densidad Energética (Ion-Litio)

La selección de la tecnología de celdas debe equilibrar la capacidad de descarga instantánea (necesaria para el torque de arranque) con las restricciones espaciales del chasis tubular. Las celdas basadas en química de Ion-Litio se posicionan como el estándar industrial actual al maximizar esta relación. Como argumenta Pistoia (2014), "la química de iones de litio proporciona una densidad energética específica que supera entre tres y cuatro veces a las baterías tradicionales de plomo-ácido, lo cual es indispensable para vehículos donde el espacio y el peso están restringidos" (p. 55).

No obstante, esta alta concentración de energía trae consigo una inherente sensibilidad térmica. En entornos de operación donde las temperaturas del asfalto y del aire son elevadas, la resistencia interna de las celdas aumenta. Esto exige una consideración rigurosa en el empaquetado del banco para favorecer la disipación de calor por convección, evitando así una caída drástica en la eficiencia de descarga.

6.4.2. Sistema de Gestión de Baterías (BMS) como Bucle de Control

Dada la inestabilidad termodinámica de las celdas de litio bajo estrés eléctrico, el sistema de almacenamiento no puede operar de forma pasiva. El Sistema de Gestión de Baterías (BMS Figura 5, Figura 6) actúa como un controlador de lazo cerrado vital para la integridad del tren motriz.

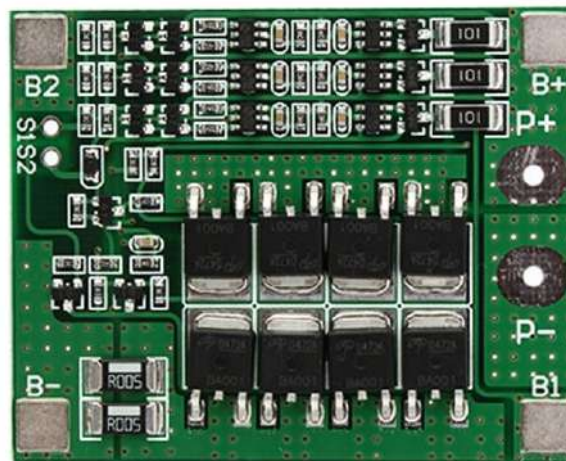


Figura 5.- Ejemplo de módulo BMS

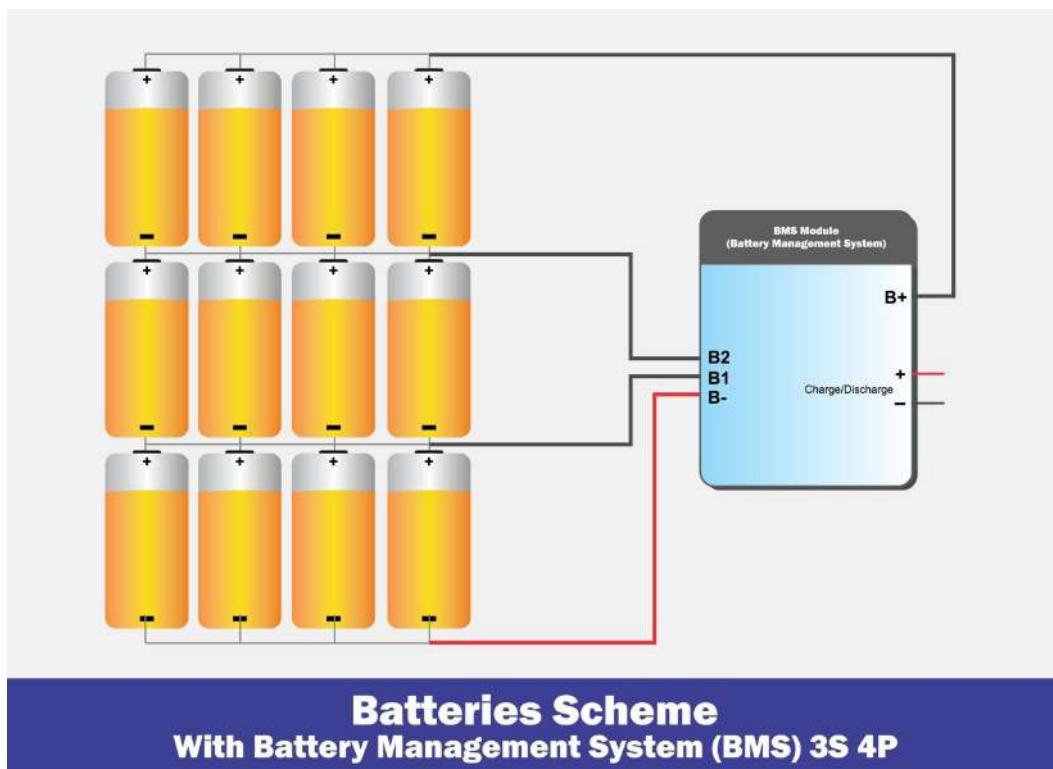


Figura 6.- Conexión de BMS

Chau (2015) advierte categóricamente que "operar un paquete de baterías de litio sin un sistema de gestión activo es garantizar un fallo catastrófico; el BMS debe monitorear el voltaje por celda, la temperatura y equilibrar la carga de manera continua" (p. 201). En la aplicación práctica de este prototipo, el BMS va más allá de un simple monitor de voltaje; es el encargado de gestionar el balanceo de impedancias. Si durante una aceleración prolongada el BMS detecta un incremento anómalo de temperatura en un sector del banco, este debe ser capaz de limitar la corriente máxima demandada por el controlador del motor, protegiendo las celdas de una degradación irreversible o de un embalamiento térmico (thermal runaway).

6.5. Normativas y Seguridad Eléctrica en Prototipos

El ensamblaje de un tren motriz eléctrico, incluso operando en rangos de voltaje menor a 100V DC, involucra corrientes transitorias que exigen el abandono de enfoques empíricos. Para garantizar la integridad física del operador y proteger los componentes de estado sólido, el diseño del Go-kart se fundamenta en las siguientes normativas internacionales de aplicación automotriz:

- SAE J2344 (Guidelines for Electric Vehicle Safety): Esta norma es el pilar de la seguridad en el diseño del tren motriz. Establece que todo sistema de tracción eléctrica debe incorporar sistemas de desconexión rápida capaces de interrumpir el circuito de potencia en menos de 50 milisegundos ante una falla a tierra o cortocircuito. Para el proyecto, esto justifica la selección de fusibles de acción rápida (Clase aR) y contactores principales de alta capacidad.
- ISO 6469-3 (Electrically propelled road vehicles - Safety specifications): Especifica los requisitos estrictos contra choques eléctricos. La norma estipula que es obligatorio

equipar los chasis conductivos con un aislamiento galvánico superior a los 100 ohmios por voltio en sistemas de corriente continua. En la manufactura del Go-kart, esto nos obliga a utilizar soportes dieléctricos entre el chasis tubular y los componentes eléctricos, además de mangueras corrugadas ignífugas para rutear el cableado de potencia.

- ISO 16750-2 (Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment): Aplicada a las cargas eléctricas, esta normativa justifica la necesidad de mitigar el riesgo de arcos eléctricos al energizar el sistema. Implementaremos un circuito con resistencia de precarga; un estándar industrial obligatorio para cargar gradualmente los condensadores del controlador del motor antes de cerrar el contactor principal, evitando que los contactos se suelten por el pico de corriente.
- ECE R100 (Battery Electric Vehicle Safety): Esta regulación europea establece pautas para la mitigación de fallas de software o bloqueos del controlador a máxima potencia. Nos exige incorporar un botón físico de paro de emergencia (Kill Switch) tipo hongo, fácilmente accesible para el piloto, que corte físicamente el suministro de bajo voltaje hacia la bobina del contactor principal, desenergizando todo el sistema de tracción de manera inmediata.

Al basar el ruteo del cableado y la selección de protecciones en este marco normativo, el proyecto trasciende el nivel recreativo para apegarse a estándares de ingeniería homologables en la industria de la electromovilidad.

6.6. Dinámica Longitudinal y Dimensionamiento del Sistema Propulsor

La robustez de la arquitectura eléctrica debe estar estrictamente dimensionada para soportar las demandas físicas impuestas por el movimiento del vehículo. La dinámica longitudinal evalúa el balance de fuerzas que actúan sobre el chasis, determinando el torque mecánico y la potencia eléctrica requeridos.

De acuerdo con Gillespie (1992), "la dinámica longitudinal dicta que el sistema propulsor debe generar el esfuerzo tractivo suficiente para vencer la resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica, la inercia del vehículo y las pendientes del terreno para lograr la aceleración deseada".

Para establecer el torque necesario (T) en el eje de tracción, se emplea la relación directa entre la fuerza tractiva total (Fr) y el radio dinámico del neumático (r):

$$T = Fr \cdot r$$

Una vez definido el torque mecánico necesario para vencer la inercia estática de la masa suspendida (vehículo más piloto), la demanda de potencia mecánica (P) en vatios (W) se define en función de la velocidad angular del motor, expresada en revoluciones por minuto (N):

$$P = (T \cdot N) / 9.5488$$

Esta interdependencia matemática revela la principal ventaja dinámica de la electromovilidad: a diferencia de un motor de combustión interna que requiere alcanzar ciertas RPM para entregar su potencia máxima, el motor eléctrico puede suministrar su torque máximo desde el arranque. Esta característica electromagnética modifica por completo la transferencia de peso longitudinal del Go-kart durante el despegue, exigiendo que tanto los soportes del chasis como los contactores de seguridad soporten picos de esfuerzo mecánico y eléctrico instantáneos.

- Ejemplos de Aplicación en el Diseño del Go-kart

Para dimensionar correctamente el tren motriz del prototipo, las ecuaciones de dinámica longitudinal deben aplicarse a las condiciones operativas reales esperadas. A continuación, se presentan dos escenarios hipotéticos de cálculo que fundamentan la selección de componentes:

Ejemplo 1: Cálculo del Torque de Despegue (Arranque estático) Supongamos que la masa total del sistema (Go-kart + piloto) es de 150 kg. Si el objetivo de diseño exige una aceleración inicial agresiva de 3 m/s^2 , la fuerza tractiva (F_r) requerida para vencer la inercia (despreciando momentáneamente la resistencia a la rodadura y aerodinámica a velocidad cero) se rige por la segunda ley de Newton ($F=m \cdot a$), resultando en 450 N.

Si el Go-kart utiliza neumáticos traseros con un radio dinámico (r) de 0.14 m (aproximadamente 11 pulgadas de diámetro), el torque mecánico necesario directamente en el eje de las ruedas se calcula aplicando la relación establecida:

$$T = 450 \text{ N} \cdot 0.14 \text{ m} = 63 \text{ Nm}$$

Este resultado indica que, considerando una transmisión directa 1:1, el motor BLDC seleccionado debería ser capaz de entregar un pico transitorio de 63 Nm desde el instante de arranque para cumplir con la aceleración objetivo.

Ejemplo 2: Demanda de Potencia Mecánica en Movimiento Una vez vencida la inercia estática, es vital conocer la potencia nominal que el motor debe sostener. Si el vehículo se encuentra en movimiento y el motor eléctrico opera a un régimen de 3000 RPM (N) entregando un torque constante de 10 Nm (T) para mantener la velocidad frente a la fricción del asfalto, la potencia mecánica demandada (P) se determina mediante:

$$P = 9.548810 \cdot 3000 \approx 3141.7 \text{ W}$$

Bajo este escenario, el motor está entregando aproximadamente 3.1 kW de potencia mecánica. Este cálculo es el punto de partida fundamental para dimensionar el controlador y el banco de baterías, ya que estos deberán suministrar una potencia eléctrica superior (añadiendo las pérdidas por ineficiencia térmica y conversión) para mantener este régimen de giro.

6.7. Integración Mecánica de Mecanismos de Transmisión

La función fundamental de cualquier sistema de transmisión en ingeniería automotriz es adaptar el mapa de salida de la planta motriz (torque y velocidad angular) a la demanda de carga dinámica en el eje de las ruedas. En los vehículos de combustión interna (ICE), el motor posee una banda de potencia útil muy estrecha y es incapaz de generar torque a cero revoluciones, lo que hace estrictamente necesario el uso de embragues y cajas de cambios multivelocidad (manuales, automáticas con convertidor de par o CVT) para mantener el motor en su rango óptimo de eficiencia.

La Transmisión en los Vehículos Eléctricos (EVs)

A diferencia de los ICE, los vehículos eléctricos prescinden de transmisiones complejas y embragues friccionales. Esto se debe a la naturaleza electromagnética del motor eléctrico, el cual es capaz de entregar su par máximo desde cero revoluciones y mantener una alta eficiencia térmica en un rango de giro muchísimo más amplio (frecuentemente superando las 10,000 RPM). Aunque la entrega de potencia es directa, la transferencia de esta energía electromagnética a energía mecánica utilizable requiere mecanismos de acoplamiento altamente eficientes. (Figura 7)

En la industria de la electromovilidad actual, los mecanismos de transmisión se clasifican principalmente en:

1. Reductores de una sola velocidad (Single-speed reducers): Es el estándar en la gran mayoría de los vehículos eléctricos de pasajeros. Consiste en un tren de engranajes con una relación de transmisión fija (comúnmente entre 7:1 y 10:1). Su función es reducir las altas revoluciones del motor eléctrico para multiplicar proporcionalmente el torque mecánico que llega a los semiejes, eliminando el peso y la complejidad de cambiar de marchas.
2. Ejes Eléctricos Integrados (e-Axles): Representan una tendencia de alta compacidad donde el motor eléctrico, el inversor y el engranaje reductor de una sola velocidad se alojan en una única carcasa directamente sobre el eje motriz, minimizando las pérdidas mecánicas y el peso del conjunto.
3. Motores en Rueda (Hub Motors / Tracción Directa): En esta topología, el rotor del motor eléctrico está acoplado directamente al rin del vehículo, eliminando por completo cualquier engranaje o eje de transmisión mecánico. Aunque maximiza el espacio y ofrece una eficiencia de transferencia de potencia casi perfecta, incrementa significativamente la masa no suspendida del vehículo, afectando negativamente la dinámica de la suspensión.

Integración Mecánica en Plataformas Ligeras (Go-kart)

En el desarrollo de un Go-kart eléctrico, la transmisión de potencia suele realizarse mediante un sistema de transmisión por cadena (sprocket) o por tracción directa (Hub motor). Optar por una transmisión por cadena y sprockets actúa esencialmente como un reductor de una sola velocidad configurable.

Desde el enfoque de diseño mecánico, la selección de la relación de transmisión mecánica es un proceso iterativo que busca equilibrar la velocidad máxima y la aceleración. Un piñón pequeño en el motor acoplado a una corona grande en el eje trasero sacrificará velocidad punta, pero multiplicará masivamente el torque para lograr aceleraciones bruscas. El diseño de este mecanismo de transmisión debe soportar las altas cargas de torque instantáneo que provee el motor BLDC sin sufrir deformaciones plásticas.

Además, la precisión en el ensamblaje es crítica. Ehsani et al. (2018) señalan que "el acoplamiento mecánico en vehículos eléctricos ligeros debe minimizar las pérdidas por fricción en las partes móviles para maximizar la eficiencia global y la autonomía proporcionada por el banco de baterías".

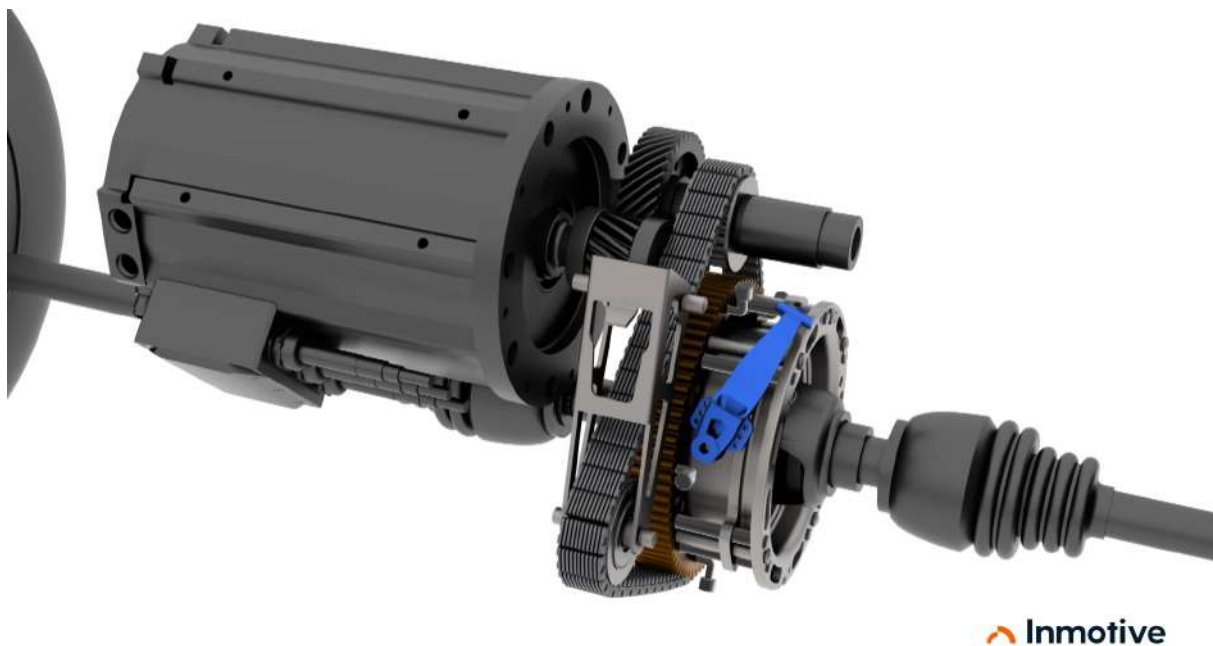


Figura 7.- Ejemplo transmisión de EV

6.8. Análisis de Baterías y Almacenamiento Energético

El dimensionamiento del paquete de baterías no solo impacta el rango de operación, sino la distribución de masa en el chasis. Existen diversas químicas celulares en la industria, cada una con características operativas distintas que deben evaluarse para este prototipo.

Como indica Pistoia (2014), "la selección de la química celular determina no solo el perfil de descarga de voltaje, sino los protocolos de seguridad industrial necesarios para su ensamblaje y operación continua" (p. 82). A continuación, se presenta una comparativa (Tabla 1) técnica de las baterías más comunes utilizadas en proyectos de electromovilidad ligera:

Tabla 1. Comparativa de químicas de baterías para vehículos ligeros.

Característica Técnica	Plomo-Ácido (SLA/AGM)	Ion-Litio (NMC)	Litio Hierro Fosfato (LiFePO4)
Densidad Energética (Wh/kg)	30 - 40	150 - 220	90 - 120
Ciclos de Vida Útil	300 - 500	1,000 - 2,000	2,000 - 4,000
Corriente de Descarga Máx (C)	Baja (1C - 2C)	Media/Alta (2C - 5C)	Muy Alta (Hasta 30C)
Riesgo Térmico (Fuga)	Muy Bajo	Alto (Requiere BMS estricto)	Muy Bajo (Química estable)
Costo por kWh	Bajo	Alto	Medio

Para un Go-kart de aprendizaje, la tecnología LiFePO4 suele ser la más equilibrada al ofrecer altas tasas de descarga continuas (ideales para aceleraciones bruscas) con un nivel de seguridad térmica superior al Litio NMC, reduciendo los riesgos de incendio durante las pruebas estáticas y dinámicas.

6.9. Aislamiento y Protocolos de Seguridad Eléctrica Industrial

El ensamblaje de un tren motriz eléctrico, independientemente de si se trata de un vehículo comercial o una plataforma de aprendizaje, involucra la manipulación de corrientes continuas masivas. Bajo condiciones de falla o conexión abrupta, estas corrientes pueden resultar letales para el operador o destruir los semiconductores en cuestión de milisegundos. Por ello, la ingeniería automotriz aplicada a la electromovilidad establece que el diseño topológico del

chasis debe contemplar una segregación física y electromagnética estricta entre los subsistemas de alto voltaje (potencia motriz) y bajo voltaje (señales de control y telemetría).

Más allá del aislamiento del cableado, uno de los fenómenos transitorios más destructivos al energizar un vehículo eléctrico es la corriente de irrupción (inrush current). Los controladores de motores BLDC integran arreglos de condensadores de alta capacidad en su entrada; estos son esenciales para estabilizar el rizado de voltaje (ripple) provocado por la conmutación a alta frecuencia de los transistores de potencia (IGBT o MOSFET).

Desde el punto de vista de la física de circuitos, un condensador completamente descargado se comporta momentáneamente como un cortocircuito perfecto. Si el banco de baterías se conecta directamente al controlador mediante un contactor simple, la diferencia de potencial forzaría el paso de miles de amperios en una fracción de segundo. Esta energía concentrada genera un arco eléctrico incandescente capaz de fundir y soldar los platinos del contactor principal, dejándolo permanentemente atascado en estado "cerrado" y anulando cualquier posibilidad de desconexión de emergencia.

Es por esto que Denton (2016) subraya que "la implementación de contactores de pre-carga es un estándar industrial obligatorio para evitar arcos eléctricos que puedan soldar los contactos principales al conectar bancos de baterías capacitivos a los controladores del motor".

Para resolver este problema físico en la arquitectura del Go-kart, el circuito de potencia debe incorporar un protocolo de precarga activa (Figura 8). Este sistema interpone un contactor secundario en serie con una resistencia limitadora de potencia térmica. La secuencia de encendido segura opera de la siguiente manera:

1. Al accionar el encendido, el contactor de precarga se cierra primero.
2. La corriente fluye a través de la resistencia, la cual limita drásticamente el amperaje (regido por la Ley de Ohm, $I = R / V$), permitiendo que los condensadores del controlador se carguen de manera controlada y gradual.
3. Una vez que el sistema de gestión detecta que el voltaje del controlador se ha igualado casi por completo al voltaje nominal de la batería (típicamente tras 2 a 5 segundos), se emite la señal para cerrar el contactor principal.
4. Al no haber una diferencia de potencial significativa, el contactor principal cierra sin generar ningún arco eléctrico, permitiendo el flujo seguro de alta corriente demandado por el motor.

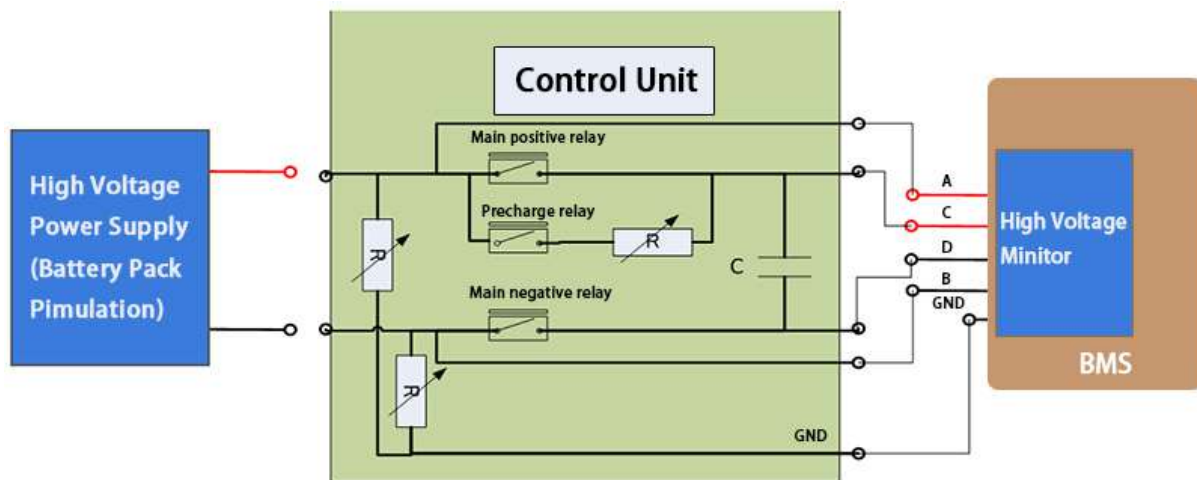


Figura 8.- Diagrama esquemático del circuito de precarga

6.10. Sistemas de Freno Regenerativo y Recuperación de Energía

La eficiencia global de un vehículo eléctrico no se limita a la fase de aceleración, sino que incluye la capacidad de recuperar energía cinética durante las fases de desaceleración. En los vehículos de combustión interna, toda la energía cinética acumulada por el chasis se disipa irremediamente en forma de calor y polvo abrasivo a través de los discos de freno mecánicos. En contraste, la electromovilidad emplea un proceso conocido como freno regenerativo, el cual invierte electrónicamente la operación del motor BLDC para que actúe temporalmente como un generador. (Figura 9)



Figura 9.- Freno regenerativo

¿Cómo funciona el frenado electromagnético?

El principio de operación radica en la gestión bidireccional de la electrónica de potencia. Durante la aceleración, el controlador extrae corriente continua de la batería, la invierte y excita las bobinas del estator para arrastrar magnéticamente al rotor. Sin embargo, cuando el piloto libera el pedal del acelerador (o presiona un interruptor de freno), el microprocesador altera la secuencia de conmutación de los transistores (MOSFETs o IGBTs).

En este instante, la inercia de la masa suspendida del Go-kart sigue forzando mecánicamente el giro del rotor a través de la transmisión. Los imanes permanentes del rotor en movimiento inducen una Fuerza Electromotriz (Back-EMF) en los devanados del estator. El controlador actúa entonces como un rectificador activo: toma esta corriente alterna generada, la convierte en corriente continua, y eleva su tensión ligeramente por encima del voltaje actual del banco de baterías. Esta diferencia de potencial fuerza a los electrones a fluir en reversa, transformando el movimiento mecánico de vuelta en energía eléctrica para recargar las celdas.

La resistencia electromagnética natural que se opone a hacer girar este "generador" es precisamente lo que crea el torque de frenado que desacelera las ruedas traseras.

Impacto Dinámico y Modelado Matemático:

Desde la perspectiva de la termodinámica y el mantenimiento, el impacto es sustancial. Según Ehsani et al. (2018), "la implementación de algoritmos avanzados de frenado regenerativo puede aumentar la autonomía efectiva del vehículo entre un 10% y un 15% en ciclos de conducción con paradas frecuentes, reduciendo simultáneamente el estrés térmico y el desgaste de los componentes mecánicos de fricción".

La potencia teórica de regeneración se puede modelar matemáticamente en función de la fuerza de frenado requerida y la velocidad del vehículo. La potencia eléctrica recuperada (P_{reg}) depende directamente de la eficiencia combinada del generador (η_g) y del inversor (η_i):

$$P_{reg} = F_b \cdot v \cdot \eta_g \cdot \eta_i$$

Donde F_b representa la fuerza de frenado aplicada en los neumáticos y v es la velocidad longitudinal del chasis. En un Go-kart de aprendizaje, calibrar la intensidad de este frenado a través del controlador permite estudiar cómo la resistencia electromagnética altera la dinámica de conducción y la distribución de pesos en curvas, logrando transferencias de carga hacia el eje delantero sin necesidad de accionar el sistema hidráulico.

6.11. Gestión Térmica y Mecánica de Fluidos en Sistemas Eléctricos

El control riguroso de la temperatura es vital para preservar la integridad de las celdas de almacenamiento y los semiconductores de potencia del controlador. Los principios de la mecánica de fluidos y la transferencia de calor dictan que los sistemas de enfriamiento, ya sean pasivos (convección natural por aire) o activos (refrigeración líquida), deben ser capaces de disipar el calor generado por el efecto Joule en los conductores de alta corriente.

Como subraya Dincer (2020), "el diseño térmico de un paquete de baterías de tracción debe asegurar que el gradiente de temperatura entre celdas individuales no supere los 5 °C, ya que variaciones térmicas mayores aceleran la degradación electroquímica asimétrica y reducen drásticamente la vida útil del sistema" (p. 145).

Para calcular la tasa de transferencia de calor por convección (q) que el aire ejerce sobre los disipadores del controlador al estar en movimiento, se emplea la Ley de Enfriamiento de Newton:

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección (que varía según la velocidad del aire que impacta el Go-kart), A es el área superficial de los disipadores de aluminio, T_s es la temperatura de la superficie del componente, y T_∞ es la temperatura del aire ambiente.

6.12. Tendencias Actuales: Plataformas Modulares y Alta Integración (e-Axles)

El análisis de la industria automotriz contemporánea demuestra que la electromovilidad avanza hacia arquitecturas cada vez más compactas y de alta integración. Para comprender esta evolución, es fundamental definir el concepto central que domina la manufactura actual: la plataforma modular.

¿Qué es una Plataforma Modular EV?

En la ingeniería automotriz, una plataforma modular (frecuentemente denominada arquitectura de "patineta" o *skateboard chassis*) es una base estructural estandarizada que agrupa los componentes críticos del tren motriz eléctrico (banco de baterías, motores, suspensión y sistemas de gestión térmica) en un chasis plano y escalable. En lugar de diseñar un bastidor único para cada modelo de auto, los fabricantes desarrollan esta base intercambiable sobre la cual pueden montar diferentes carrocerías (desde un hatchback subcompacto hasta una SUV). Como destaca Gómez (2022), "la modularidad y la

compactación extrema en el diseño del tren motriz eléctrico son la clave para reducir los costos de manufactura y permitir la escalabilidad de las plataformas, desde vehículos subcompactos hasta utilitarios pesados".

Tendencias de Integración: Sistemas "3-en-1" (e-Axles)

La principal tendencia dentro de estas plataformas modulares es la eliminación de componentes mecánicos y eléctricos dispersos mediante la creación de Ejes Eléctricos integrados (e-Axles). Esta tecnología consiste en la unificación del motor, el inversor (controlador de potencia) y el reductor mecánico de velocidad en un solo módulo ultracompacto. Al eliminar el cableado externo de alta potencia entre el inversor y el motor, se reducen las interferencias electromagnéticas (EMI), se minimizan las pérdidas por resistencia parasitaria y se maximiza la eficiencia energética global del sistema.

Ejemplos de la Industria Contemporánea

La observación de vehículos comerciales ultracompactos enfocados en la eficiencia urbana evidencia el éxito de estas nuevas tendencias de empaquetado. Dos claros referentes del mercado actual son el BYD Dolphin Mini (Figura 10) y el Geely EX2. El análisis de la arquitectura de estos modelos demuestra cómo la agrupación de la electrónica de potencia y la tracción en un eje integrado maximiza el espacio útil del habitáculo y reduce drásticamente la masa no suspendida del vehículo, mejorando la respuesta dinámica de la suspensión. En modelos como los de BYD, la integración llega al nivel de "8-en-1", sumando el BMS, convertidores DC-DC y cargadores a bordo en el mismo bloque motriz.



Figura 10.- BYD Dolphin Mini

Aplicación al Prototipo (Go-kart)

En el caso de este prototipo didáctico, se busca aplicar a escala esta misma filosofía de diseño industrial. El objetivo central es integrar el sistema de propulsión de manera compacta en el eje trasero. Al concentrar el motor, la transmisión y el controlador en una única zona estructural, optimizamos el ruteo del cableado y minimizamos la pérdida de energía entre componentes, emulando la eficiencia de empaquetado que exigen las tendencias modernas de la industria.

6.13. Normativas Internacionales y Aislamiento en Prototipos

El ensamblaje de plataformas de experimentación de esta naturaleza debe regirse por lineamientos estrictos que garanticen la integridad física de los operadores. Más allá de los estándares SAE mencionados anteriormente, la Organización Internacional de Normalización (ISO) establece criterios rigurosos para el diseño de circuitos de potencia en electromovilidad.

La norma ISO 6469-3 especifica los requisitos de seguridad eléctrica para vehículos de carretera, haciendo especial énfasis en la protección contra choques eléctricos. El documento oficial estipula que "es mandatorio que los chasis conductivos de los vehículos eléctricos estén equipados con aislamiento galvánico superior a los 100 ohmios por voltio en sistemas de corriente continua, asegurando que ninguna falla simple resulte en la electrificación del bastidor" (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2021, p. 12).

Para cumplir con este apartado teórico en la práctica, el chasis tubular del Go-kart requiere el uso de soportes dieléctricos y mangueras corrugadas ignífugas para todo el cableado de potencia. (Tabla 2)

Tabla 2. Matriz de riesgos eléctricos y métodos de mitigación.

Riesgo Identificado	Causa Potencial	Componente de Mitigación	Normativa de Referencia
Cortocircuito	Falla de aislamiento por vibración	Fusible de acción rápida (Clase aR)	SAE J2344 / ISO 6469

Sobrecalentamiento	Alta demanda de corriente continua	Disipador / Sensor NTC en motor	IEC 60664
Arco Eléctrico	Conexión abrupta de potencia	Contactor con resistencia de precarga	ISO 16750-2
Falla de Software	Bloqueo del controlador a máxima potencia	Botón físico de paro de emergencia	ECE R100

6.14. Ergonomía y la Interfaz Hombre-Máquina (HMI) en Prototipos

La transición de un tren motriz mecánico a uno eléctrico transforma por completo la manera en que el conductor interactúa con la máquina. En un vehículo de combustión, el acelerador está físicamente conectado a una mariposa de admisión; en un EV, la aceleración se gestiona mediante un sistema *drive-by-wire* (acelerador electrónico), donde un potenciómetro o un sensor de efecto Hall envía una señal de voltaje (usualmente de 0V a 5V) al controlador del motor.

Esta dependencia de la precisión electrónica exige que la ergonomía del chasis sea impecable. Como señala Peacock (2018), "el diseño de la cabina y los mandos de control son fundamentales para reducir el tiempo de reacción del conductor; una mala postura o un alcance inadecuado de los controles incrementa exponencialmente el riesgo de accidentes" (p. 210). Para mitigar este riesgo en plataformas experimentales, es altamente recomendable el diseño e integración de pedales ajustables. Implementar un pedal de aceleración y freno que pueda modificar su posición longitudinal permite que operadores de diferentes estaturas lleguen a los controles con el ángulo de flexión óptimo en las rodillas. Esto no solo es una cuestión de comodidad, sino que asegura que la presión ejercida sobre el potenciómetro sea lineal y predecible, evitando picos de corriente abruptos que puedan dañar el inversor.

6.15. Consideraciones Operativas en Ambientes de Alta Temperatura

Un factor crítico que a menudo se subestima en el desarrollo de plataformas de aprendizaje es el entorno geográfico de las pruebas dinámicas. La eficiencia termodinámica de los componentes de estado sólido y la electroquímica de las baterías son extremadamente sensibles a la temperatura ambiente.

Al operar el Go-kart en regiones donde la temperatura ambiente puede alcanzar o superar fácilmente los 35°C a 40°C, el sistema de gestión térmica se ve sometido a un estrés severo desde el momento del arranque. Wang (2019) documenta que "las altas temperaturas ambientales exacerban la resistencia interna de las celdas de litio, requiriendo que el BMS aplique un *derating* (reducción controlada) de la potencia de salida para evitar un embalamiento térmico" (p. 58).

Esto significa que, si los disipadores de aluminio del controlador no están expuestos a un flujo de aire constante, el software interno reducirá el torque disponible para proteger los transistores MOSFET. Por lo tanto, el diseño del carenado o la ubicación de la electrónica en el chasis tubular debe priorizar canales de ventilación directa, alejando los componentes sensibles del asfalto caliente que irradia calor adicional.

6.16. Impacto Ambiental y Sostenibilidad de los Componentes

Aunque la propulsión eléctrica elimina las emisiones locales de gases de efecto invernadero (Zero Emission Vehicle), el ciclo de vida de sus componentes plantea nuevos retos para la ingeniería sostenible. La extracción de minerales raros para motores BLDC y el procesamiento de litio tienen una huella de carbono inicial significativa.

No obstante, las plataformas de aprendizaje con enfoque a nuevas tendencias demuestran que la reutilización es viable. "La adopción de químicas como el Litio Hierro Fosfato (LiFePO_4) no solo elimina el uso de cobalto, un mineral de extracción conflictiva, sino que permite que las baterías conserven hasta un 80% de su capacidad nominal después de 3,000 ciclos, facilitando su uso en aplicaciones secundarias de almacenamiento estacionario una vez que se retiran del vehículo" (Kumar, 2021, p. 112). En este proyecto, la selección consciente de materiales subraya el compromiso ético y profesional del ingeniero moderno con la economía circular.

6.17. Cierre del Fundamento Teórico

En conclusión, el desarrollo de un Go-kart eléctrico trasciende el mero ensamblaje mecánico para convertirse en un ejercicio profundo de integración de sistemas. Como se ha expuesto a lo largo de este marco teórico, el funcionamiento seguro y eficiente del prototipo depende de la correcta aplicación de los principios del electromagnetismo para la selección del motor BLDC, el dimensionamiento preciso del banco de baterías bajo estrictas normativas ISO y SAE, y la programación cuidadosa del controlador de potencia.

Esta base documental demuestra que la electromovilidad exige una convergencia multidisciplinaria. Los cálculos dinámicos de torque, las estrategias de gestión térmica y la implementación de aislamientos galvánicos detallados aquí, conforman la columna vertebral teórica que garantizará el éxito en la fase de manufactura, validando al Go-kart no solo como un vehículo recreativo, sino como una plataforma tecnológica de vanguardia para la educación en ingeniería automotriz.

7. Diseño

7.1. Selección y Justificación del Chasis Base

Para el desarrollo físico del prototipo, se optó por la adquisición y adaptación de un chasis tubular de acero preexistente, manufacturado de manera independiente por docentes de la institución. La selección de esta plataforma responde a una estrategia directa de optimización de recursos y reducción drástica de los tiempos de manufactura.

Al prescindir de la fase de diseño geométrico y soldadura desde cero de la estructura primaria, el equipo de trabajo puede concentrar sus esfuerzos en el objetivo principal del proyecto: la correcta integración del tren motriz eléctrico, el empaquetado del sistema de almacenamiento de energía y la implementación de los protocolos de seguridad.

Desde el punto de vista mecánico y de materiales, la estructura original está conformada por tubería de acero dividida en dos secciones principales:

- Estructura inferior (Base): Fabricada con tubo de 2.7 cm de diámetro, encargada de soportar los anclajes de la dirección, suspensión y el peso central del vehículo.
- Jaula antivuelco superior (Roll cage): Construida con tubo de 3.43 cm de diámetro, diseñada originalmente para brindar rigidez estructural y protección al piloto en aplicaciones off-road.

Esta configuración inicial, aunque estructuralmente íntegra para terrenos irregulares, presenta un exceso de masa suspendida y un centro de gravedad significativamente elevado. Dado que la dinámica longitudinal del Go-kart eléctrico se evaluará exclusivamente sobre asfalto liso, esta topología no resulta óptima, lo que hace imperativa una intervención de rediseño y sustracción de material.

7.2. Topología Original (Estado Actual)

El chasis en su estado original (Figura 11, Figura 12 y Figura 13) presenta una configuración geométrica concebida para la absorción de impactos y la protección del habitáculo en entornos fuera del asfalto (off-road). Como se evidencia en la estructura física, la presencia de una jaula antivuelco (roll cage) completa, fabricada en tubería de acero de 3.43 cm, cumple una función de seguridad para vuelcos, pero eleva drásticamente el centro de gravedad del vehículo.



Figura 11.- Chasis en estado original

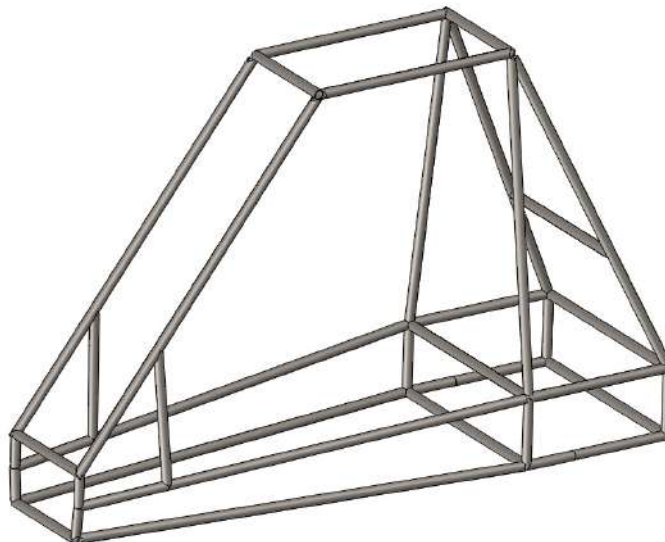


Figura 12.- Chasis original Solidworks vista frontal

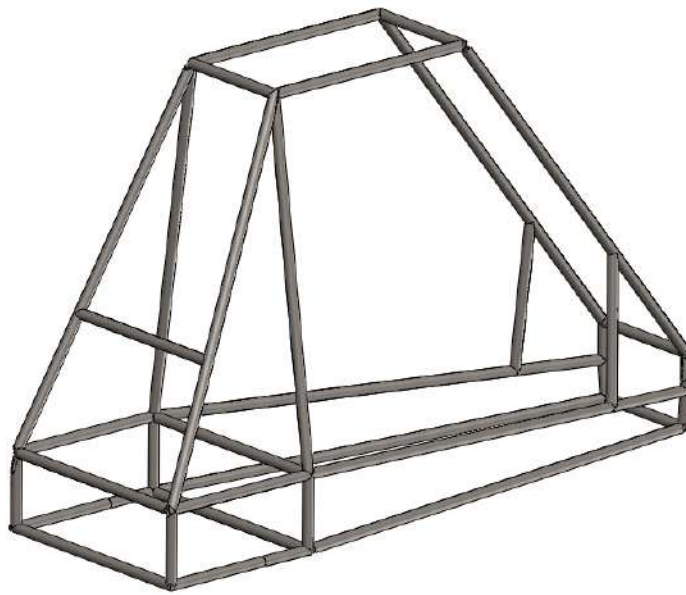


Figura 13.- Chasis original Solidworks vista trasera

Desde el punto de vista de la dinámica longitudinal y lateral, esta topología incrementa significativamente la masa suspendida total, lo cual penaliza de forma directa la relación peso-potencia. Para un tren motriz eléctrico, donde el objetivo es aprovechar al máximo el torque instantáneo entregado por el motor BLDC desde las cero revoluciones y optimizar la autonomía del banco de baterías, este exceso de masa inercial resulta contraproducente.

Además, la arquitectura base cuenta con una geometría de subchasis trasero y anclajes diseñados originalmente para soportar un motor de combustión interna y su respectiva transmisión mecánica. Estos elementos estructurales resultan obsoletos para la nueva topología eléctrica, la cual requiere un empaquetado más compacto (tipo e-Axle o tracción por cadena directa al eje) y una distribución de pesos que favorezca la tracción en un uso exclusivo de pista pavimentada.

7.3. Modificaciones y Reducción de Masa

Para adaptar la plataforma a las exigencias dinámicas de un entorno estrictamente pavimentado, se estableció un protocolo de sustracción de material enfocado en la reducción de la masa suspendida y el descenso del centro de gravedad. Dado que el vehículo operaría sin los riesgos de vuelco inherentes al manejo off-road, la redundancia estructural de la jaula perimetral superior resultaba innecesaria.

Las intervenciones geométricas planificadas en Solidworks (y su posterior ejecución física) se dividen en las siguientes acciones clave (Figura 14, Figura 15 Figura 16):

- Supresión de la jaula antivuelco superior: Se elimina la totalidad de los tubos superiores de 3.43 cm de diámetro que conformaban la cabina del piloto, conservando únicamente la estructura triangular frontal. Este triángulo delantero se mantiene intacto ya que provee protección esencial para el sistema de dirección y los pedales.
- Reducción de la pared de fuego y soporte del asiento: Al eliminarse la conexión superior de la jaula antivuelco, la altura de la estructura detrás del asiento (pared de fuego) se recorta verticalmente. Esto elimina material excedente y reduce el perfil aerodinámico frontal del vehículo.
- Modificación del subchasis trasero: La estructura tubular posterior, originalmente diseñada para albergar un motor de combustión, se somete a un corte transversal reduciendo su altura aproximadamente a la mitad.
- Reaprovechamiento y cierre estructural: El material tubular extraído de la sección trasera se reutiliza mediante soldadura para conectar y cerrar la estructura con la nueva altura de la pared de fuego. Este rediseño crea un compartimiento trasero más compacto y a la medida, ideal para el empaquetado del motor eléctrico.

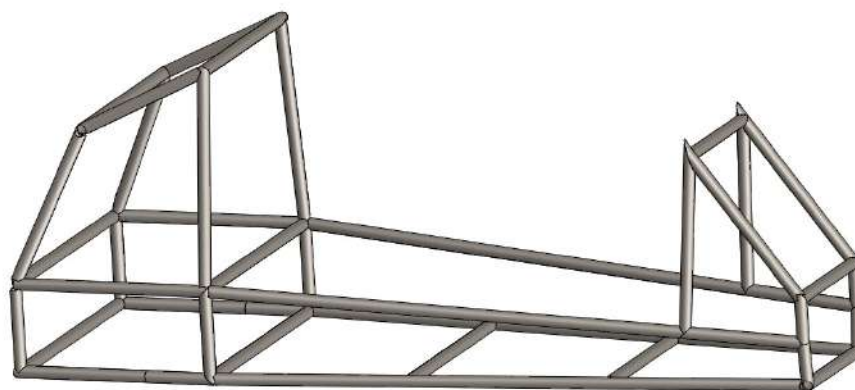


Figura 14.- Chasis modificado vista lateral

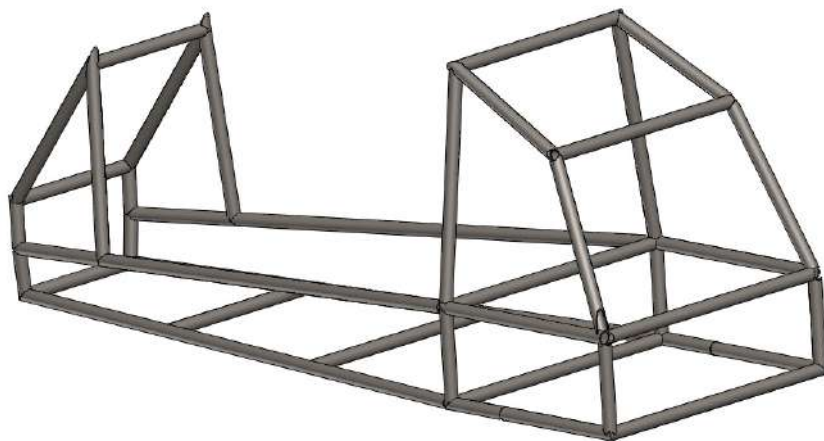


Figura 15.- Chasis modificado vista trasera

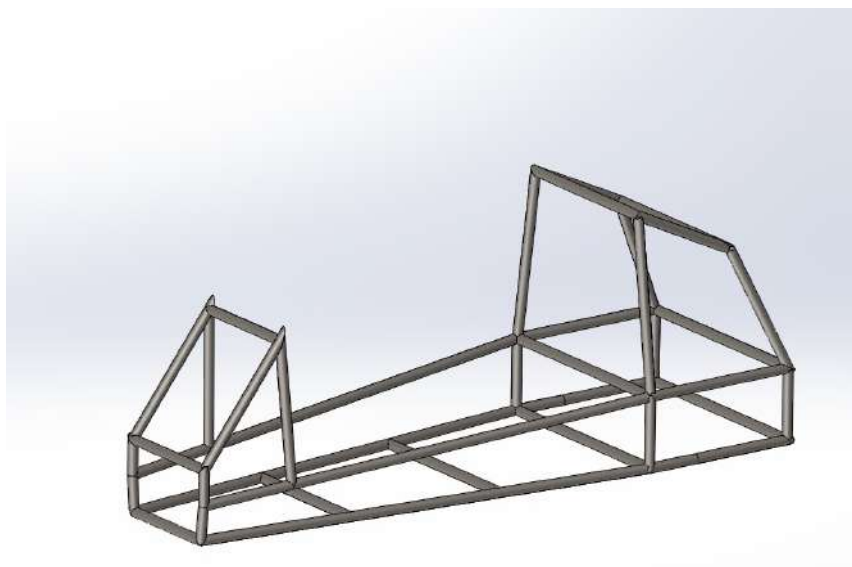


Figura 16.- Chasis modificado vista frontal

El impacto directo de estas modificaciones es una mejora sustancial en la relación peso-potencia del tren motriz eléctrico. Asimismo, al reubicar el centro de masas mucho más cerca del eje de tracción y del asfalto, se mitiga la transferencia de peso longitudinal durante las aceleraciones bruscas, logrando una dinámica de paso por curva mucho más agresiva y estable.

8. Listado de Materiales

A continuación, se detalla la selección de componentes mecánicos y eléctricos que conforman el prototipo, justificando su implementación con base en los requerimientos dinámicos y de seguridad del tren motriz.

1. Motor Eléctrico (Kit de Tracción)

Justificación Técnica: Se selecciona un motor eléctrico de tracción directa o por cadena debido a su alta densidad de potencia y eficiencia. La arquitectura electromagnética de estos motores permite la entrega de un torque máximo y casi instantáneo desde cero revoluciones, lo cual es fundamental para vencer la inercia estática de la masa suspendida del vehículo durante las aceleraciones longitudinales. (Figura 17)



Figura 17.- Kit de tracción

2. Banco de Baterías (72V 30Ah)

Justificación Técnica: El sistema de almacenamiento de energía representa el núcleo crítico de la arquitectura eléctrica. Un paquete con una tensión nominal de 72V y una capacidad de 30Ah proporciona el bus de alto voltaje necesario para satisfacer la demanda de potencia mecánica en movimiento. Esta capacidad asegura el amperaje de descarga continuo requerido por el controlador del motor sin comprometer la estabilidad térmica de las celdas. (Figura 18)



Figura 18.- Batería

3. Chasis Base y Componentes Integrados (Eje, Manguetas, Volante y Asiento)

Justificación Técnica: La adquisición de una plataforma rodante preensamblada optimiza la gestión de materiales y los tiempos de manufactura. Contar con un eje trasero rígido, horquillas delanteras con manguetas y una columna de dirección ya integrados asegura una base cinemática funcional. Además, los frenos de tambor integrados en las ruedas proporcionan el sistema de fricción mecánica primario, el cual trabajará en conjunto con el freno regenerativo del motor eléctrico para disipar la energía cinética de manera segura. (Figura 11)

4. Conjunto de Amortiguadores (Delanteros y Traseros)

Justificación Técnica: El esquema de suspensión, compuesto por dos amortiguadores frontales (montados en las horquillas independientes) y dos traseros, es indispensable para gestionar la dinámica lateral y longitudinal del chasis. Los amortiguadores delanteros son críticos para controlar la transferencia de carga hacia el eje frontal durante las frenadas (mitigando el hundimiento o dive) y mantener la precisión direccional. Por su parte, los traseros aseguran que el parche de contacto de los neumáticos se mantenga adherido al asfalto frente a las fuerzas de aceleración provocadas por el torque instantáneo del tren motriz eléctrico, optimizando la tracción total del vehículo. (Figura 19)



Figura 19.- Amortiguador

5. Solera de Acero (1/2" x 2")

Justificación Técnica: Material estructural primario destinado a la fabricación de pestañas de montaje y soportes personalizados. Su uso es crítico para asegurar la correcta sujeción de las horquillas de suspensión y los componentes de la etapa de potencia, previniendo deformaciones plásticas o fallos por fatiga ante las cargas mecánicas y vibraciones del chasis. (Figura 20)



Figura 20.- Solera de acero

6. Terminales de Dirección (Ball joints hembra 3/8") y Varilla Roscada

Justificación Técnica: Componentes esenciales para el rediseño del sistema steering linkage (brazos de dirección). La utilización de terminales de rótula esférica (Figura 21) ajustables mediante una varilla roscada de 3/8" (Figura 22) permite calibrar con precisión la geometría de la dirección (ángulos de convergencia/divergencia o toe). Esta calibración es vital para asegurar la estabilidad direccional y minimizar la resistencia a la rodadura en una pista de asfalto.



Figura 21.- Ball joints



Figura 22.- Varilla roscada

7. Cables de Accionamiento (Chicotes para frenos)

Justificación Técnica: Elementos de transmisión de fuerza mecánica para el sistema de frenado. Conectan el pedal de freno con las levas de los tres frenos de tambor (dos delanteros y uno trasero). Garantizan una respuesta táctil directa y aseguran la redundancia mecánica necesaria para detener el vehículo en caso de una falla en el sistema de frenado regenerativo electromagnético. (Figura 23)



Figura 23.- Chicote de freno

AVANCE 2: DESARROLLO DEL PROYECTO DE ASIGNATURA - GO-KART ELÉCTRICO

Introducción al Avance

En este segundo avance, el equipo se ha centrado en la ejecución física de las modificaciones del chasis del Go-Kart eléctrico. Tras finalizar la fase de diseño y planeación, se procedió a la intervención directa sobre la estructura metálica. Las actividades reportadas a continuación abarcan desde el corte y preparación de los miembros estructurales hasta la soldadura final y los acabados, asegurando la integridad estructural necesaria para albergar el sistema de propulsión eléctrica. Se han seguido estrictos protocolos de seguridad industrial en cada paso.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL CHASIS

Actividad 1: Planeación y Trazado de Cortes en la Estructura Base

Antes de iniciar cualquier corte definitivo, se procedió a la limpieza superficial de los tubos de acero y al trazado preciso sobre el chasis original. Se utilizaron plantillas y herramientas de medición de precisión (flexómetro y escuadras) para marcar las zonas exactas donde se requerían modificaciones para ajustar el ángulo de la dirección y reubicar los soportes del motor. Esta etapa es crítica para garantizar la simetría final del vehículo. En la evidencia gráfica, se observa la preparación previa del chasis en el banco de trabajo y el inicio del proceso de ajuste dimensional, utilizando prensas para asegurar los componentes antes del corte definitivo. (Figura 24).

Figura 24.- Chasis limpio.



Actividad 2: Ejecución de Cortes de Precisión con Herramienta Abrasiva

Siguiendo el trazado realizado en la actividad anterior, se procedió a cortar los tubos del chasis que necesitaban ser removidos o modificados. Para ello, se utilizó una esmeriladora angular (pulidora) equipada con discos de corte finos para metal. Esta técnica permite cortes limpios y rápidos. El operador utilizó el equipo de protección personal (EPP) adecuado, incluyendo careta facial y guantes, para mitigar el riesgo por proyección de chispas y virutas metálicas. La evidencia muestra la acción directa de corte sobre una sección curva del chasis. (Figura 25) .

Figura 25.- Estructura cortada y perfilada.



Actividad 3: Ajuste de Juntas y Fijación con Prensas ("Fitting")

Una vez cortadas las piezas nuevas y las secciones existentes, se procedió a la fase de "fitting" o ajuste de juntas. Es vital que los extremos de los tubos coincidan perfectamente (boca de pescado o cortes en ángulo) para garantizar una soldadura fuerte y penetrante. Se utilizaron prensas C y prensas de fijación rápida para mantener las piezas en la posición exacta determinada por el diseño. Esta actividad asegura que no haya deformaciones durante el proceso de soldadura debido a la expansión térmica. La imagen muestra una junta crítica preparada y sujeta firmemente antes del primer punto de soldadura. (Figura 26).

Figura 26.- Estructura sujeta y siendo ajustada sobre el chasis.



Actividad 4: Soldadura Estructural del Chasis.

Esta es la actividad central de la fase de modificación. Se utilizó un proceso de soldadura (MIG) para unir de forma permanente las nuevas secciones del chasis y reforzar los puntos críticos. La soldadura se aplicó siguiendo una secuencia específica (empezando por puntos de tacks opuestos) para minimizar la distorsión térmica de la estructura. El soldador utilizó una careta fotosensible y guantes de carnaza largos para su seguridad. Las evidencias muestran la aplicación del arco eléctrico y la ejecución de cordones completos de soldadura en las uniones principales. (Figura 27).

Figura 26.- Soldadura estructural del chasis.



Actividad 5: Acabado y Limpieza de Cordones de Soldadura

Posterior a la soldadura, es necesario realizar un acabado superficial para eliminar la escoria y el exceso de material en los cordones de soldadura, garantizando una superficie lisa para la posterior pintura y, más importante, para permitir la inspección visual de posibles defectos como grietas o porosidad. Se utilizó nuevamente la esmeriladora angular, pero esta vez equipada con un disco de desbaste o un disco laminado (flap disc). Esta actividad mejora la estética del vehículo y asegura la calidad del trabajo realizado. Las imágenes muestran el proceso de desbaste y el resultado final de una junta pulida. (Figura 27).

Figura 27.- Vehículo soldado y limpio.



CONTINUACIÓN DE ACTIVIDADES: FASE DE INTEGRACIÓN Y MONTAJE

Actividad 6: Fabricación y Anclaje de Soportes para el Tren Motriz

Una vez finalizado el acabado del chasis, se procedió a la fabricación de los soportes a medida para el motor BLDC y el eje de transmisión. Utilizando la **solera de acero de $\frac{1}{2}$ x 2**, se diseñaron bases reforzadas capaces de soportar los altos picos de torque instantáneo característicos de la propulsión eléctrica. Se aplicó soldadura MIG para fijar estas estructuras en la sección trasera del subchasis modificado, asegurando una alineación coaxial perfecta con el eje rígido para minimizar pérdidas parasitarias por fricción mecánica.

Figura 28.- Anclajes del tren motriz.



Figura 29.- Fabricación de anclajes del tren motriz.



Actividad 7: Integración de Sistemas de Dirección.

Se reconstruyó el sistema de *steering linkage* utilizando las **terminales de rótula (ball joints)** de 3/8" y varilla roscada. Esto permitió realizar una calibración fina de la geometría de dirección (ángulos de convergencia), vital para la estabilidad en pista.

Figura 30.- Integración de piezas de dirección.



Figura 31.- Integración de piezas de dirección.



Actividad 6: Tratamiento Superficial, Lijado y Preparación para Pintura

Posterior a la limpieza de los cordones de soldadura, se inició la fase de preparación mecánica de la superficie del chasis. Este proceso es crítico para asegurar la adherencia del recubrimiento y proteger la integridad de los tubos de **2.7 cm** y **3.43 cm** contra la corrosión ambiental. La ejecución se dividió en las siguientes etapas técnicas:

- **Desengrasado Químico:** Se aplicó un solvente industrial para eliminar restos de aceites de trefilado, marcas de trazado y residuos del proceso de soldadura MIG.
- **Lijado Mecánico Escalonado:** Se utilizó una técnica de lijado en seco comenzando con **grano grueso (80)** para nivelar imperfecciones superficiales en las uniones soldadas y eliminar la cascarilla de laminación del acero. Posteriormente, se empleó **grano medio (180-220)** en toda la estructura para generar un perfil de anclaje uniforme.
- **Inspección de Porosidad:** Se realizó una revisión visual exhaustiva para detectar posibles defectos superficiales o grietas que pudieran haber quedado ocultos tras el desbaste inicial.

Figura 32.- Chasis lijado y sin pintura.



Referencias:

- Chau, K. T. (2015). *Electric vehicle machines and drives: Design, analysis and application*. John Wiley & Sons.
- Denton, T. (2016). *Electric and hybrid vehicles*. Routledge.
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. CRC press.
- Husain, I. (2021). *Electric and hybrid vehicles: Design fundamentals*. CRC press.
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons.
- Pistoia, G. (Ed.). (2014). *Lithium-ion batteries: Advances and applications*. Elsevier.
- Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE). (2023). *Guidelines for Electric Vehicle Safety (SAE J2344)*. SAE International.
- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers.
- Dincer, I. (2020). *Thermal Management of Electric Vehicles: Systems and Solutions*. Elsevier.
- Gómez, A. (2022). *Arquitecturas avanzadas en vehículos eléctricos urbanos y sus subsistemas*. Editorial Tecnológica.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2021). *Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 3: Electrical safety (ISO 6469-3:2021)*.
- Kumar, A. (2021). *Sustainable Materials for Electric Vehicle Batteries*. Springer.
- Peacock, B. (2018). *Automotive Ergonomics: Driver Interface and Safety*. CRC Press.
- Wang, Q. (2019). *Thermal Management and Safety of Lithium-Ion Batteries*. Elsevier.
- De Gennaro, M., Pautasso, E., & Valerio, G. (2019). The H2020 project FITGEN: Preliminary results and design guidelines of an integrated e-axle for third-generation electric vehicles. *Proceedings of the Electric Vehicle Symposium*.
- Gao, Y., & Ehsani, M. (2010). Electronic braking system of EV and HEV: Integration of regenerative braking. *SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems*, 3(1), 123-130.
- Naunheimer, H., Bertsche, B., Ryborz, J., & Novak, W. (2010). *Automotive transmissions: Fundamentals, selection, design and application* (2da ed.). Springer.
- Pinheiro, L., Passarinho, F., Teixeira, A., & Silva, H. (2012). *New skate chassis concept for electric vehicles* (SAE Technical Paper 2012-01-0039). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0039>
- Wang, L., Mirjafari, M., & Gharpure, P. (2015). A novel solid-state precharge circuit for electric vehicle chargers. *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 1234-1239.