

DE COMBUSTIÓN A ELÉCTRICO: HACIA UN KARTING SOSTENIBLE

ROLANDO GENTIL y
JUAN SEBASTIÁN ARENAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.

2025

CONTENIDO

Lista de figuras.....	4
Lista de tablas.....	5
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4. MARCO REFERENCIAL.....	5
5. MARCO CONCEPTUAL	7
5.1. CONCEPTOS CLAVE	7
5.2. Karting y sus Categorías	8
5.3. Tipos de Pistas de Karting	8
5.4. Componentes del Kart Eléctrico	8
6. MARCO TEÓRICO	10
6.1. CONTEXTO	10
6.2. AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	10
6.3. VENTAJAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS EN KARTS:	10
6.4. DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS EN KARTS:	11
6.5. INVESTIGACIONES PREVIAS:	11
7. DISEÑO CONCEPTUAL.....	14

7.1.	NECESIDADES DEL CLIENTE	14
7.2.	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	14
7.2.1.	Especificaciones de ingeniería	14
7.2.2.	Restricciones de ingeniería	15
8.	ESTADO DEL ARTE	20
9.	PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	25
9.1.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	25
9.1.1.	Descomposición funcional	25
9.1.2.	Matriz TRIZ	25
9.1.2.1.	Consulta de la Matriz TRIZ	26
9.1.3.	Selección de Sistemas	29
10.	DISEÑO DE DETALLE	32
10.1.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FINALES DE LOS COMPONENTES	32
10.2.	INTEGRACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	32
10.3.	ESQUEMAS DETALLADOS DEL DISEÑO FINAL	34
10.4.	SÍNTESIS DEL DISEÑO A DETALLE INICIAL, IDEAL Y FINAL	36
10.5.	JUSTIFICACIÓN OBTENCIÓN KART FINAL	36
10.6.	SISTEMA DE SEGURIDAD DEL KART ELÉCTRICO	37
10.6.1.	Seguridad estructural y mecánica	37
10.6.2.	Seguridad eléctrica	41
10.6.3.	Normas y reglamentos aplicables	41

10.6.4.	Seguridad ergonómica y del usuario	45
10.6.5.	Elementos personales de protección	45
10.7.	RESUMEN KART PROTOTIPO IDEAL	46
11.	FABRICACIÓN Y RESULTADOS.....	47
11.1.	PROCESO DE ENSAMBLAJE DEL KART ELÉCTRICO	47
11.2.	MODIFICACIONES EN EL CHASIS	47
11.3.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	49
11.4.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS INICIALES	49
11.4.1.	Desempeño	49
11.4.2.	Seguridad eléctrica y mecánica	50
11.4.3.	Análisis de eficiencia energética	50
11.5.	VISUALIZACIÓN DEL DISEÑO A DETALLE INICIAL, IDEAL Y FINAL.	51
11.5.1.	Adaptación de Recursos y Rediseño del Prototipo.....	51
11.5.2.	Optimización de la Distribución de Componentes	51
11.5.3.	Adquisición de Componentes Eléctricos y Soluciones Implementadas	51
11.5.4.	Conexión Eléctrica y Estabilización del Vehículo	52
11.5.5.	Ajuste de la Relación de Transmisión	52
11.6.	COMPARATIVA EN SISTEMAS DIFERENTES VERSIONES DEL KART	52
11.6.1.	Motor	53
11.6.2.	Controlador	54
11.6.3.	Baterías	56

11.6.4.	Transmisión	57
11.6.5.	Chasis.....	60
11.6.5.1.	Análisis de resistencia, Adaptación al chasis (Soldaduras y uniones)	64
11.6.6.	Esquema eléctrico de los componentes en el chasis	68
11.6.7.	Cuerpo de aceleración	69
12.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO	71
12.1.	COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL: KART ELÉCTRICO VS. KART DE COMBUSTIÓN INTERNA	71
12.2.	PROCESO DE DESECHO Y RECICLAJE DE BATERÍAS	72
12.3.	ANÁLISIS DE COSTOS DE CONVERSIÓN	73
12.4.	ANÁLISIS DE COSTOS PARA UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA.....	74
12.5.	BENEFICIOS PARA EL MERCADO DE ALQUILER Y ENTRETENIMIENTO.....	77
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
14.	PLANOS Y ANEXOS.....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	82

Lista de figuras

Figura 1	19
Figura 2	21
Figura 3	25
Figura 4	38
Figura 5	39
Figura 6	40

Figura 7	43
Figura 8	44
Figura 9	47
Figura 10	48
Figura 11	48
Figura 12	49
Figura 13	54
Figura 14	58
Figura 15	59
Figura 16	60
Figura 17	60
Figura 18	61
Figura 19	62
Figura 20	63
Figura 21	64
Figura 22	65
Figura 23	66
Figura 24	67
Figura 25	68
Figura 26	70
Figura 27	72

Lista de tablas

Tabla 1	14
Tabla 2	18

Tabla 3	23
Tabla 4	30
Tabla 5	32
Tabla 6	36
Tabla 7	41
Tabla 8	47
Tabla 9	53
Tabla 10	54
Tabla 11	56
Tabla 12	57
Tabla 13	61
Tabla 14	69
Tabla 15	71
Tabla 16	73
Tabla 17	74
Tabla 18	75
Tabla 19	75
Tabla 20	76
Tabla 21	76

1. RESUMEN

Este proyecto propone la conversión de un kart de combustión interna a un modelo eléctrico como alternativa sostenible para el karting de entretenimiento. Se analizan las ventajas ambientales, operativas y económicas de la electrificación, destacando la reducción de emisiones, el menor costo de mantenimiento y la optimización del rendimiento en pista. El diseño y desarrollo del prototipo incluye la integración de un motor eléctrico DC, baterías de Plomo de ciclo profundo y un sistema de transmisión optimizado.

Las pruebas realizadas confirmaron una aceleración eficiente, una velocidad competitiva y una autonomía adecuada para su uso comercial. Además, el análisis de impacto ambiental y económico evidencia la viabilidad y rentabilidad de la conversión en el mediano plazo. Se espera que los karts eléctricos representen una alternativa innovadora y sostenible, recomendando futuras mejoras en la gestión energética y reducción de peso para optimizar su desempeño y autonomía.

2. INTRODUCCIÓN

En Colombia, el proceso de electrificación vehicular enfrenta diversos desafíos, entre ellos la disponibilidad limitada de baterías y componentes eléctricos en el mercado nacional, lo que ha ralentizado la transición hacia energías limpias. Por ello, es fundamental incentivar a empresas y universidades a fortalecer sus capacidades en electrificación vehicular y promover el desarrollo tecnológico en este campo. Según un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el sector del transporte en América Latina y el Caribe es responsable de más del 20% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), lo que ha llevado a los gobiernos de la región a establecer incentivos para fomentar el uso de vehículos eléctricos (Movilidad Eléctrica, 2022).

En este contexto, el karting de entretenimiento también enfrenta un problema ambiental significativo debido a las emisiones generadas por los motores de combustión interna de dos tiempos, los cuales no queman completamente la mezcla de combustible y aceite, liberan gases de escape nocivos. Estas emisiones afectan la salud de operadores y clientes, lo que ha impulsado la búsqueda de soluciones sostenibles dentro de esta industria. Una estrategia viable para reducir el impacto ambiental del karting es la transición hacia modelos eléctricos, diseñados para su uso en circuitos de competición y entretenimiento sin generar emisiones contaminantes.

Este cambio no solo mitigaría la huella ambiental del sector, sino que también generaría nuevas oportunidades de negocio. Al sustituir los karts de combustión por versiones eléctricas, se estaría dando un paso crucial en la adopción de tecnologías sostenibles, beneficiando tanto al medio ambiente como a los clientes que buscan innovación y competitividad en el mercado. Dentro del marco de este proyecto, se plantea el diseño y desarrollo de un kart eléctrico que aproveche la tecnología disponible en el sector automotriz y sustituya a los karts convencionales.

Este vehículo estará orientado al mercado de alquiler y entretenimiento, ofreciendo un equilibrio entre prestaciones de nivel medio y la posibilidad de adaptarse a competencias, gracias a las capacidades de su motor eléctrico. Como resultado, se presentará un prototipo funcional de kart eléctrico para uso comercial en la empresa "INDOOR KARTS", la cual actualmente opera con karts de combustión interna. De esta manera, se ofrece una alternativa sostenible que marca una evolución en la industria del karting, promoviendo una movilidad más limpia y eficiente para el futuro.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Convertir un kart convencional en un modelo eléctrico adaptado para el karting de ocio, garantizando eficiencia, sostenibilidad y un desempeño competitivo.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el prototipo del kart utilizando software CAD, tomando como base un chasis convencional.
- Seleccionar e implementar los componentes adecuados para optimizar la relación entre potencia y peso del vehículo, incluyendo el motor, controlador, batería y sistema de transmisión.
- Integrar y ensamblar los componentes en el chasis para desarrollar un prototipo funcional.
- Realizar pruebas de rendimiento y documentar detalladamente el proceso, incluyendo los resultados obtenidos para evaluar su viabilidad y eficiencia.

4. MARCO REFERENCIAL

El karting es una disciplina automovilística que se practica con pequeños vehículos de cuatro ruedas llamados karts. Desde su invención en la década de 1950 (Karting Salou, 2019), se ha consolidado tanto como actividad recreativa como una categoría de formación para pilotos profesionales. Tradicionalmente, los karts han sido impulsados por motores de combustión interna que utilizan gasolina o mezclas de aceite y combustible para su funcionamiento. Aunque estos motores ofrecen un rendimiento potente y eficaz, también presentan inconvenientes significativos, como la emisión de gases contaminantes y el ruido excesivo.

Los karts convencionales, equipados con motores de dos y cuatro tiempos, han dominado las pistas durante décadas. Los motores de dos tiempos destacan por su diseño simple y su favorable relación potencia-peso, lo que los hace ideales para competencias de iniciación y carreras amateur. Sin embargo, son menos eficientes y generan mayores emisiones contaminantes. Por otro lado, los motores de cuatro tiempos, aunque más eficientes y con menor impacto ambiental, son más complejos y costosos de mantener.

Ante el creciente interés por la sostenibilidad, la industria del karting ha explorado alternativas más limpias.

En este contexto, los karts eléctricos, alimentados por baterías, han emergido como una solución innovadora que ofrece una experiencia de conducción equiparable a la de los modelos tradicionales, pero con beneficios adicionales. El desarrollo de karts eléctricos representa un avance tecnológico significativo en el sector, alineado con la demanda global de opciones de movilidad más sostenibles (Gómez, s. f.). La adopción de esta tecnología permite reducir considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuir la contaminación acústica, mejorar la eficiencia energética y simplificar el mantenimiento de los vehículos.

Empresas pioneras han desempeñado un papel clave en la transición hacia el karting eléctrico, comprendiendo la necesidad de innovación en la industria. Compañías como Tesla han inspirado el desarrollo de nuevas tecnologías en movilidad eléctrica, incentivando a fabricantes especializados a diseñar karts eléctricos de alto rendimiento. Estas empresas han logrado expandir la tecnología vehicular eléctrica desde las carreteras hasta las pistas de karting, proporcionando modelos personalizados para el entretenimiento y la competencia.

Los karts eléctricos no solo ofrecen ventajas medioambientales, sino que también mejoran la experiencia del usuario en comparación con los modelos convencionales. Su menor impacto ambiental se traduce en una mejor calidad del aire y una reducción significativa de la contaminación sonora en los espacios donde se practican estas actividades. Además, su sistema de propulsión eléctrica proporciona una conducción suave y eficiente, con una aceleración instantánea y un menor tiempo de mantenimiento.

En conclusión, la evolución del karting eléctrico representa un paso fundamental hacia un futuro más sostenible en el sector del entretenimiento y la competición. Con el avance de estas tecnologías y su creciente aceptación, el karting eléctrico se posiciona como una alternativa viable y alineada con las tendencias globales de eficiencia energética y movilidad sustentable.

5. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual establece los principios fundamentales y las bases teóricas que sustentan el desarrollo del kart eléctrico. En este apartado, se presentan los conceptos clave relacionados con la compatibilidad de los componentes, eficiencia, seguridad y rendimiento, así como los elementos esenciales que conforman un kart eléctrico. Además, se describen las características de las pistas y las diferentes categorías de karting, con el fin de proporcionar una comprensión integral del contexto en el que se enmarca este proyecto.

5.1. CONCEPTOS CLAVE

Compatibilidad: Garantizar la correcta integración entre el chasis, el motor eléctrico, la batería y el controlador, asegurando su funcionamiento eficiente y seguro.

Eficiencia: Optimizar el rendimiento del sistema eléctrico para maximizar la autonomía del kart y su desempeño en pista.

Seguridad: Implementar medidas y sistemas de protección que garanticen una operación segura tanto para el piloto como para el entorno.

Rendimiento: Ajustar los parámetros del sistema eléctrico para alcanzar la velocidad, aceleración y autonomía requeridas en el karting de ocio.

Mantenimiento: Diseñar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que prolongue la vida útil del sistema eléctrico y sus componentes.

Costo: Evaluar los costos de conversión, incluyendo los componentes, la instalación y la mano de obra, para asegurar la viabilidad económica del proyecto.

Diseño de la Instalación: Planificar la distribución adecuada de los componentes eléctricos, considerando la estabilidad, refrigeración y accesibilidad para el mantenimiento.

Cableado: Instalar un sistema de cableado eficiente y seguro que garantice una conexión estable entre los componentes eléctricos.

Conexiones Eléctricas: Implementar conexiones confiables y seguras, cumpliendo con las normativas de seguridad eléctrica vigentes.

5.2. Karting y sus Categorías

Karting de Ocio: Práctica recreativa que permite a usuarios de todas las edades y niveles de habilidad disfrutar de la conducción en circuitos especializados.

Kart de Combustión Interna: Vehículo ligero diseñado para carreras y entretenimiento, propulsado por motores de gasolina en versiones de dos o cuatro tiempos.

Kart Eléctrico: Vehículo propulsado por un motor eléctrico y alimentado por baterías recargables, ofreciendo una alternativa ecológica y eficiente.

Categorías del Karting: Clasificación de pilotos en función de su edad, experiencia y nivel de habilidad.

Karts de Ocio: Diseñados exclusivamente para el entretenimiento, sin intención de ser utilizados en competencias profesionales.

5.3. Tipos de Pistas de Karting

Pista de Interior: Circuitos cubiertos, técnicos y con numerosas curvas, frecuentemente ubicados en centros comerciales o zonas urbanas de alto tráfico.

Pista al Aire Libre: Circuitos de mayor extensión, con rectas y curvas amplias, diseñados para proporcionar una experiencia de conducción más fluida y dinámica.

5.4. Componentes del Kart Eléctrico

Motor Eléctrico: Elemento principal encargado de transformar la energía eléctrica en

energía mecánica para la propulsión del kart.

Batería: Fuente de energía del sistema, generalmente de iones de litio debido a su alta densidad energética y durabilidad.

Controlador Electrónico (ESC): Dispositivo que regula la potencia suministrada al motor, gestionando la aceleración y velocidad del kart.

Chasis: Estructura que soporta todos los componentes del kart y proporciona estabilidad durante la conducción.

Sistema de Frenado: Conjunto de elementos encargados de detener el vehículo de manera segura; puede incluir frenos de disco o de tambor según el diseño del kart.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. CONTEXTO

Los karts de combustión interna han sido ampliamente utilizados tanto para el entretenimiento como para competiciones a nivel mundial, incluyendo Colombia. Sin embargo, su uso plantea serios problemas ambientales debido a las emisiones contaminantes y el ruido que generan, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles. No fue sino hasta mediados de la década de 2010 que el uso de energías limpias en vehículos, incluyendo los karts eléctricos, comenzó a ganar popularidad. Estos modelos han demostrado ventajas significativas sobre los karts convencionales, gracias a su mayor torque, menor mantenimiento y eficiencia operativa. En respuesta a esta transición, entidades como la CIK (Comisión Internacional de Karting) y la FIA (Federación Internacional del Automóvil) han promovido la incorporación gradual de energías limpias en el karting (Ariza Racing Circuit, 2023).

6.2. AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE MOTORES ELÉCTRICOS

En las últimas décadas, la tecnología de los motores eléctricos ha experimentado avances significativos, lo que ha permitido su aplicación en distintos sectores, incluyendo el karting. En comparación con los motores de combustión interna, los motores eléctricos destacan por su mayor eficiencia energética, entrega instantánea de torque, menor mantenimiento y reducción drástica de emisiones contaminantes y ruido. Además, su diseño versátil permite una distribución optimizada del peso y una mejor maniobrabilidad, lo que los convierte en una opción ideal para el karting de entretenimiento y competición.

6.3. VENTAJAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS EN KARTS:

Reducción de emisiones: Los motores eléctricos no generan gases de escape ni contaminantes locales, lo que mejora la calidad del aire y disminuye la huella de carbono.

Menor ruido: Al ser significativamente más silenciosos que los motores de combustión interna, mejoran la experiencia de conducción y reducen la contaminación acústica.

Mayor eficiencia energética: Su consumo de energía es menor en comparación con los motores de combustión, lo que se traduce en menores costos operativos a largo plazo.

Mantenimiento simplificado: Con menos piezas móviles, los motores eléctricos requieren menos mantenimiento, lo que reduce los costos de servicio y prolonga la vida útil del kart.

Además, los karts eléctricos eliminan la necesidad de sistemas complejos de escape, transmisión y refrigeración, simplificando su diseño y reduciendo los costos de mantenimiento y operación.

6.4. DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS EN KARTS:

Autonomía y tiempo de recarga: Uno de los principales desafíos es la duración de la batería y el tiempo requerido para su recarga. Se deben desarrollar estrategias de gestión energética y soluciones de carga rápida para minimizar los tiempos de inactividad.

Costo inicial y depreciación: Aunque los costos de baterías y motores eléctricos han disminuido, la inversión inicial sigue siendo elevada. Un análisis económico detallado es esencial para evaluar la viabilidad financiera a largo plazo.

6.5. INVESTIGACIONES PREVIAS:

En los últimos años, se han desarrollado múltiples investigaciones que exploran la viabilidad y el rendimiento de los karts eléctricos en distintos ámbitos, desde el entretenimiento hasta la competición profesional. Estos estudios han permitido evaluar aspectos clave como la

eficiencia energética, el diseño mecánico, la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica de los karts eléctricos.

En la Universidad de los Andes se llevó a cabo un proyecto sobre la construcción de un kart eléctrico y la caracterización de su sistema de frenos, con el propósito de evaluar su desempeño en condiciones reales (Gómez, 2015). Asimismo, en la Universidad Politécnica de Cataluña, se diseñó un kart eléctrico destinado al mercado de alquiler, optimizando su estructura para lograr un equilibrio entre eficiencia y rendimiento (Lancharro, 2015).

Otra investigación relevante es la realizada en la Universidad Politécnica Salesiana, donde se analizó la integración de sistemas fotovoltaicos como medio de recarga para karts eléctricos, destacando su impacto positivo en la reducción de costos operativos y su contribución a la sostenibilidad (Gualán, 2021). De manera similar, en la Universidad de Zaragoza, se diseñó un kart eléctrico con sistema de control remoto, explorando la automatización y el control inteligente en estos vehículos (Zaragoza, 2019).

Además, estudios en la Universidad Autónoma de Aguascalientes han comparado el rendimiento de baterías de ion-litio y níquel en karts eléctricos, analizando su impacto en la autonomía y eficiencia del vehículo (Martínez, 2018). Por otro lado, en la Universidad Carlos III de Madrid, se realizó un plan de negocio para la implementación de una pista de karting indoor con karts eléctricos, abordando la rentabilidad y el impacto ambiental de esta tecnología (Fernández, 2020).

En términos de desarrollo técnico, investigadores de la Universidad de Lima presentaron un estudio sobre la prefactibilidad de un kartódromo sostenible con karts eléctricos, analizando los costos de implementación y la viabilidad operativa (Calderón, 2019). Asimismo, estudios en la Universidad Politécnica de Valencia han explorado la optimización de la distribución de peso y la aerodinámica en karts eléctricos de competición (Hernández, 2021).

Finalmente, investigaciones internacionales han abordado el impacto de los karts eléctricos en competiciones oficiales. Por ejemplo, en Letonia y Alemania, se han realizado campeonatos nacionales exclusivos para karts eléctricos, destacando su potencial en el automovilismo deportivo y su creciente adopción en eventos profesionales (European Electric Kart Championship, 2022).

Estas investigaciones reflejan la evolución tecnológica y la creciente aceptación de los karts eléctricos en distintos contextos, resaltando su contribución a la eficiencia energética, la reducción de emisiones y la innovación en el sector del karting.

7. DISEÑO CONCEPTUAL

7.1. NECESIDADES DEL CLIENTE

Con base en los requerimientos de la empresa INDOOR KARTS, potencial cliente del proyecto, se han identificado las siguientes necesidades clave para la conversión de karts de combustión interna a eléctricos:

Autonomía: El kart debe contar con una batería de alta capacidad que permita al menos 20 minutos de conducción continua, con un tiempo de recarga rápido para optimizar su operación en un entorno de alquiler y entretenimiento.

Rendimiento: Se busca una experiencia de conducción emocionante y dinámica. El motor eléctrico debe proporcionar un torque instantáneo, asegurando una aceleración rápida y una velocidad máxima adecuada para la pista.

Seguridad: Se requiere un chasis resistente, junto con un sistema de seguridad que incluya cinturones de seguridad, protección contra colisiones y controles de tracción, garantizando la protección del piloto y la fiabilidad del vehículo.

Mantenimiento: El kart debe ser fácil de mantener, utilizando un motor eléctrico con pocas partes móviles y un diseño simplificado, lo que reducirá los costos operativos y mejorará la fiabilidad a largo plazo.

7.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

7.2.1. Especificaciones de ingeniería

A continuación, se presentan las especificaciones clave para el diseño del kart eléctrico:

Tabla 1

Especificaciones de ingeniería

Categoría	Especificación
Aceleración	Sistema de transmisión eficiente para minimizar la pérdida de potencia del motor.
Velocidad Máxima	Relación de transmisión optimizada para alcanzar un desempeño adecuado en pista.
Batería	Capacidad para soportar ciclos de carga y descarga repetidos sin degradación significativa.
Sistemas de dirección y transmisión	Diseño específico para garantizar estabilidad en línea recta y en curvas.
Seguridad estructural	Chasis con estructura tipo jaula para protección en caso de colisión.
Vida útil	Proyectada en 10 años con mantenimientos programados.

Fuente: Elaboración Propia

7.2.2. Restricciones de ingeniería

El diseño del kart debe cumplir con las regulaciones técnicas establecidas por la FIA (Federación Internacional del Automóvil), asegurando que el vehículo sea apto para competiciones y entornos comerciales.

- Chasis

El chasis es la estructura principal de un kart y proporciona la base sobre la cual se montan los componentes mecánicos y auxiliares. Su diseño debe garantizar rigidez estructural y capacidad de absorción de fuerzas generadas durante el movimiento del vehículo (FIA, 2023). La flexibilidad y la suspensión del chasis dependen de la construcción tubular y las propiedades elásticas del material empleado. El chasis se fabrica en tubos de acero con sección transversal cilíndrica, integrando los soportes de los ejes delantero y trasero y soldándose en una sola pieza para evitar desmontajes (Sánchez & López, 2022).

- Material del chasis

El acero estructural o aleaciones utilizadas en la construcción del chasis deben cumplir

con las clasificaciones ISO 4948 y ISO 4949, garantizando resistencia mecánica y durabilidad. Se permite el uso de aceros aleados con un contenido máximo de 5% de masa en elementos de aleación, asegurando un balance óptimo entre resistencia y flexibilidad (ISO, 2022). Adicionalmente, estos materiales deben superar pruebas de fuerza de contacto con imanes de campo magnético axial, verificando su composición y calidad estructural (Real Federación Española de Automovilismo [RFEDA], 2023).

- Sistema de dirección

El sistema de dirección de un kart está compuesto por un volante, columna de dirección, brazos de dirección y manguetas. Estos componentes deben estar firmemente ensamblados con fijaciones de alta seguridad, como pasadores partidos y tuercas autoblocantes, para evitar holguras o fallos mecánicos (FIA, 2023).

- Volante de dirección

El volante debe estar fabricado en acero o aluminio con un diseño circular continuo, sin ángulos obtusos. Además, su buje debe fijarse a la columna con un tornillo M6 de grado mínimo 8.8 y una tuerca autoblocante para evitar desprendimientos o roturas en condiciones extremas de uso (RFEDA, 2023).

- Columna de dirección

La columna de dirección debe contar con un soporte y una junta articulada que permitan un desplazamiento preciso sin interferencias mecánicas. Además, debe poseer un diámetro mínimo de 18 mm, un grosor de pared de 1.8 mm y estar construida en acero magnético, asegurando rigidez y resistencia a impactos (ISO, 2022).

- Brazos de dirección

Los brazos de dirección pueden ser ajustables y están conectados mediante juntas

esféricas. Se recomienda su fabricación en aluminio o acero de alta resistencia, con fijaciones de tuercas autoblocantes para mantener la estabilidad del sistema en condiciones de alta exigencia (Sánchez & López, 2022).

- Dispositivos de volante de dirección

Cualquier dispositivo instalado en el volante no debe sobresalir más de 20 mm del plano frontal del mismo, evitando interferencias en la conducción y garantizando la seguridad del piloto (FIA, 2023).

- Bandeja del piso

La bandeja del piso debe fabricarse en material rígido y extenderse desde el puntal central hasta la parte delantera del chasis. Se permite perforarla, siempre que los orificios no superen los 10 mm de diámetro ni estén separados por menos de cuatro veces su diámetro. Adicionalmente, se autoriza un único orificio de 35 mm para facilitar el acceso a la columna de dirección (RFEDA, 2023).

- Asiento

El asiento debe garantizar la estabilidad del piloto durante la conducción, evitando deslizamientos laterales o movimientos hacia adelante en frenadas o curvas. Se recomienda el uso de materiales compuestos y el cumplimiento de la norma FIA 8873-2018, que regula los estándares de seguridad para asientos de karting (FIA, 2023). Además, se requieren placas de refuerzo con un espesor mínimo de 1.5 mm, superficie mínima de 13 cm² y un diámetro de 40 mm para soportar cargas estructurales adicionales (Sánchez & López, 2022).

- Barras de sujeción del asiento

Todas las barras de sujeción deben fijarse con tornillos en cada extremo. En caso de no utilizarlas, deben retirarse del chasis y del asiento para evitar interferencias en la estructura del

kart (RFEDA, 2023).

- Frenos

En la categoría OK del Grupo 2, los karts deberán contar con un sistema de frenos de disco hidráulicos en el eje trasero. El pedal de freno y los elementos del cilindro maestro deben estar contruidos en acero, garantizando resistencia ante las fuerzas generadas durante el frenado. Se recomienda la instalación de una luz de freno, mejorando la visibilidad y seguridad en entornos de competición (FIA, 2023).

- Ruedas

Los neumáticos deben estar homologados por la Comisión Internacional de Karting (CIK-FIA) y tener un diámetro máximo de 5 pulgadas. Esta medida asegura un adecuado equilibrio entre adherencia, estabilidad y desempeño en pista (RFEDA, 2023).

Tabla 2
Medidas de neumáticos

	Delantero	Trasero
Diámetro exterior máximo	280 mm	300 mm

Karting Technical Regulations (2024) Tabla II [Reporte]

- Dimensiones del chasis:

Grupo 2 categoría OK:

Distancia entre ejes: 101-107 cm.

Distancia entre el centro de las ruedas: al menos 2/3 de la distancia entre ejes delantero y trasero.

Longitud total: máximo 210 cm, sin carenado delantero y trasero.

Ancho total del vehículo: máximo permitido 140 cm.

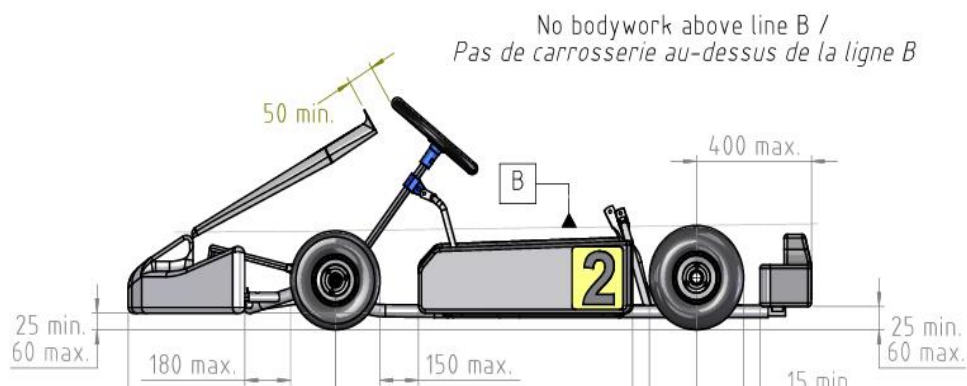
Altura máxima del vehículo: 65 cm desde el suelo, sin incluir el asiento.

El chasis debe respetar siempre las dimensiones indicadas. Ninguna parte puede

sobresalir del cuadrilátero formado por el carenado delantero, las ruedas y la protección de la rueda trasera.

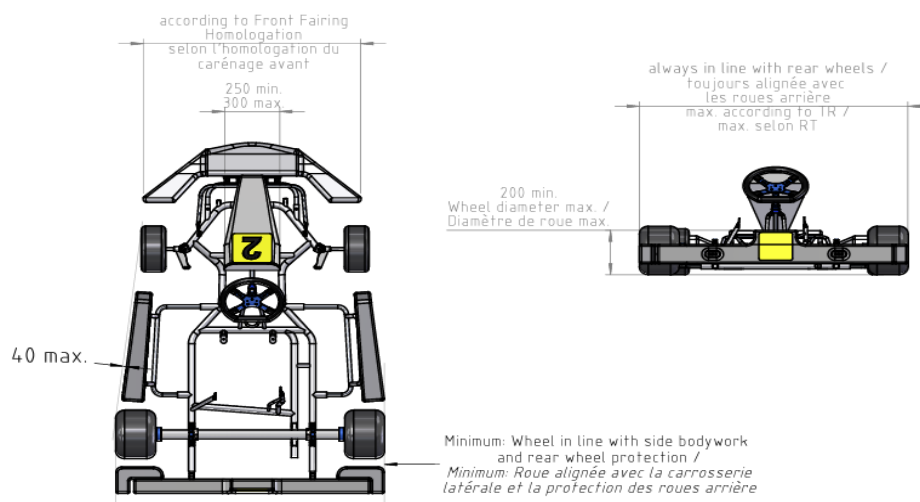
Figura 1

Medidas Estándar del chasis



FIA KARTING TECHNICAL DRAWINGS (vista lateral KART estándar grupo 2).

[Imagen 1]



FIA KARTING TECHNICAL DRAWINGS (vista superior, trasera KART estándar

grupo 2.) [Imagen 2]

8. ESTADO DEL ARTE

El karting es un deporte de competición en el que se utilizan vehículos motorizados de cuatro ruedas para disputar carreras en circuitos especializados, conocidos como kartódromos. Para muchos, representa el primer paso hacia el automovilismo profesional, ya que cuenta con distintos niveles que lo convierten en una disciplina completa y exigente.

La Comisión Internacional de Karting (CIK-FIA) ha establecido diversas categorías dentro de este deporte, agrupadas en tres principales modalidades: DD (Direct Drive), KZ (Karting Zanardi) y Superkarts (Racing, 2022).

- Clase DD: Incluye vehículos con motores de tiro directo, es decir, sin motor de arranque. En esta categoría se limitan las revoluciones por minuto (RPM) para prolongar la vida útil del motor, reducir el mantenimiento y disminuir costos. A su vez, se divide en dos subcategorías:
- OK (Original Karting): Utiliza motores de dos tiempos de 125 cc con un límite de hasta 16,000 RPM.
- OKJ (Original Karting Junior): Mantiene las mismas especificaciones, pero con un límite reducido a 12,000 RPM.
- Categoría KZ: Es la más popular en este ámbito. Aunque comparte el mismo motor de la clase DD, incorpora carburadores con un difusor más amplio, lo que aumenta la potencia. Además, cuenta con una transmisión de seis velocidades, lo que mejora significativamente el rendimiento en pista.
- Categoría Superkarts: Se distingue por emplear vehículos de alta velocidad y potencia, diseñados para trayectos lineales. Utilizan motores de 250 cc, con dos cilindros y un sistema de frenos hidráulico tanto en el eje delantero como en el trasero.

En los últimos años, la creciente preocupación por el impacto ambiental de los motores de combustión ha impulsado la búsqueda de alternativas más limpias y eficientes. En este contexto, los karts eléctricos han surgido como una solución prometedora, aunque su implementación en competencias oficiales aún requiere pruebas y homologaciones por parte de organismos como la FIA y la CIK. Se espera que en el futuro puedan formar parte de eventos internacionales como el FIA Electric GT, promoviendo la transición energética sin comprometer el rendimiento de los vehículos.

Aunque no se conoce con certeza qué empresa desarrolló el primer kart eléctrico, la compañía italiana OTL se consolidó en 1996 como uno de los fabricantes líderes en el sector. Actualmente, provee karts eléctricos a más de 88 pistas en todo el mundo para competencias profesionales.

Además, empresas como Segway Ninebot, especializada en la fabricación de vehículos eléctricos ligeros, han apostado por la innovación en este campo. Un ejemplo de ello es el desarrollo del Segway GoKart Pro, un modelo refinado durante dos años con la participación de un piloto profesional, demostrando así el potencial de los karts eléctricos en el automovilismo.

Figura 2

Segway Gokart Pro



SEGWAY NINEBOT (vista isométrica GoKart Pro.) [Imagen 3]

Empresas como Tesla Motors, con su enfoque innovador en la movilidad eléctrica, han inspirado a otras compañías del sector a explorar el potencial de la electrificación en el karting. Esto ha impulsado el desarrollo de modelos personalizados tanto para competencias como para entretenimiento.

Como resultado, han surgido numerosos proyectos y estudios experimentales que implementan tecnologías eléctricas en vehículos ligeros, como GoKarts, patinetas y automóviles infantiles. Asimismo, diversas investigaciones académicas se han centrado en el diseño de karts eléctricos desde cero, con el objetivo de analizar su desempeño en pista, optimizar su estructura y perfeccionar la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos.

A pesar de estos avances, actualmente no existen patentes específicas que regulen la conversión de un kart de combustión interna a eléctrico. Sin embargo, algunas patentes relacionadas incluyen:

US 2013/0025950 A1 ("Electric Kart"), que describe un vehículo eléctrico con una o más baterías, diseñado para facilitar el acceso y reemplazo del paquete de energía durante una carrera.

ES 2 884 262 T3 ("Chasis de un vehículo"), que detalla el diseño y organización del chasis de un kart eléctrico, asegurando su seguridad estructural e incorporando un compartimento lateral para alojar los paquetes de baterías.

Tabla 3*Go karts actuales de referencia*

Nombre - Precio	Imagen de referencia	Características
Segway Ninebot Gokart: \$8,999,900.00		Asiento ajustable. Reversible. Carga de peso 220 libras. 10% grado de colina. Control de aplicaciones. Rango de altura: 4'5 "a 6'3". Velocidad máxima de 15 mph. Resistente al agua IPX4.
GoKart eléctrico "EK06M/EK06H" \$5,412,554.90		350/400W batería de litio. Carga de peso: 200kg. Velocidad máxima 40km. Transmisión por cadena.
Daymak C5 Blast: \$22'406.438.33		Aceleración de 0 a 100 kilómetros/hora en menos de 2 segundos, probablemente sea el kart más rápido de la historia. Propulsor de 10 kW (13,4 CV). Motor de 10 kW –unos 13,6 caballos. 10 ventiladores eléctricos.

Fuente: Elaboración Propia

El análisis del estado del arte ha permitido establecer un panorama claro sobre los avances en la electrificación del karting, destacando las innovaciones en diseño de chasis, sistemas de propulsión eléctrica y estrategias de optimización energética. Se ha identificado que la transición de los karts de combustión interna a eléctricos no solo responde a la necesidad de reducir emisiones contaminantes, sino que también representa una mejora en términos de eficiencia, mantenimiento y seguridad. A pesar de los desafíos tecnológicos y económicos asociados a la implementación de estas soluciones, el creciente interés por la

movilidad sostenible y las regulaciones ambientales están impulsando su adopción en el ámbito del karting recreativo y competitivo. Con base en la literatura revisada, se concluye que la electrificación del karting es una tendencia en evolución, con oportunidades significativas para la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías que optimicen su rendimiento y viabilidad comercial.

9. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Se propone la transformación directa de un kart de combustión a eléctrico. El objetivo es validar un diseño de conversión eficiente, comparando su rendimiento (velocidad, aceleración, autonomía) con el kart original de combustión. Esto busca vislumbrar la viabilidad de un karting más sostenible y accesible.

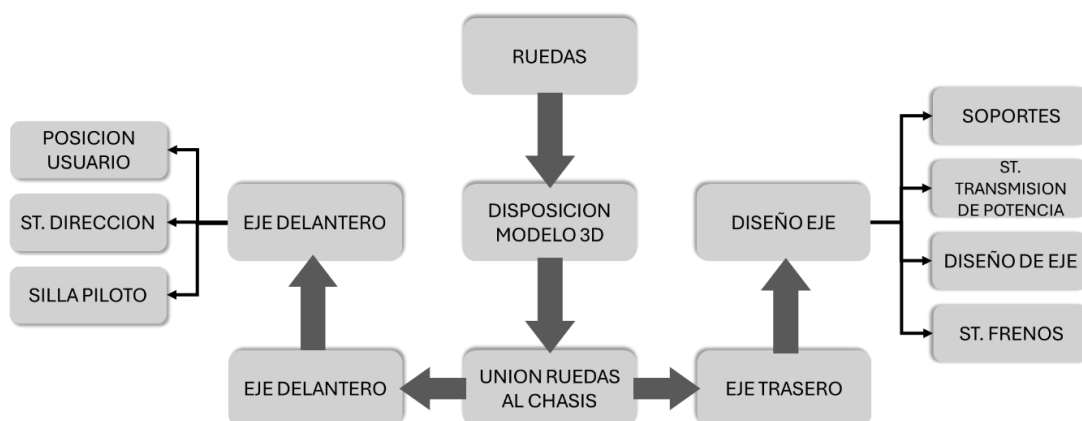
9.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

De acuerdo con las necesidades del cliente, se plantean las siguientes alternativas de diseño:

9.1.1. Descomposición funcional

Figura 3

Diagrama descomposición funcional



Gentil, R. Arenas, S (2024)

9.1.2. Matriz TRIZ

La conversión de un kart de combustión interna a eléctrico presenta diversos desafíos

técnicos, como la optimización del peso, la mejora de la autonomía y el incremento del rendimiento sin comprometer la seguridad. Para abordar estos retos de manera innovadora, se emplea la Matriz TRIZ, una herramienta de análisis basada en la Teoría para Resolver Problemas de Inventiva (TRIZ). Esta matriz permite identificar contradicciones técnicas y aplicar principios de innovación que han sido exitosos en diferentes industrias. A continuación, se presenta la Matriz TRIZ, donde se analizan los principales desafíos del proyecto y las soluciones estratégicas que pueden implementarse para optimizar el diseño y desempeño del kart eléctrico.

Se identificaron varios conflictos entre características deseadas del kart eléctrico y efectos no deseados asociados. Por ejemplo, al aumentar la autonomía de la batería, se incrementa también el peso total del kart, lo que afecta el rendimiento general. Este tipo de conflictos fueron estructurados en pares contradictorios, lo que permitió consultar la Matriz de Contradicciones TRIZ para obtener principios inventivos aplicables.

9.1.2.1. Consulta de la Matriz TRIZ

A continuación, se presentan los problemas clave analizados y cómo se aplicó TRIZ para cada uno de ellos:

- Mayor autonomía de la batería vs. Aumento de peso del kart

Contradicción: Se desea mejorar la autonomía, pero esto incrementa el peso.

Principios TRIZ aplicables: 35. Cambio de propiedades físicas, 28. Sustitución mecánica

Interpretación y soluciones generadas:

Sustituir baterías de plomo-ácido por baterías de iones de litio, que poseen mayor densidad energética y menor peso.

Rediseñar el sistema de soporte de baterías con materiales compuestos más

livianos.

- Mayor velocidad y potencia vs. Aumento del consumo de energía

Contradicción: Incrementar la velocidad puede reducir la eficiencia energética.

Principios TRIZ aplicables: 19. Eliminación de intermediarios, 6. Universalidad

Interpretación y soluciones generadas:

Usar un controlador electrónico inteligente que module la entrega de energía según la demanda real.

Unificar el sistema de potencia y control para reducir pérdidas por componentes intermedios.

- Reducción del tiempo de carga vs. Mayor temperatura en el sistema eléctrico

Contradicción: Cargar más rápido aumenta la generación de calor.

Principios TRIZ aplicables: 18. Vibración mecánica, 33. Refrigeración

Interpretación y soluciones generadas:

Implementar un sistema de refrigeración activa para las baterías durante la carga.

Usar ventilación forzada o elementos disipadores de calor.

- Menor costo de producción vs. Uso de materiales de menor calidad

Contradicción: Reducir costos puede comprometer la seguridad o durabilidad.

Principios TRIZ aplicables: 1. Segmentación, 27. Descubrimiento de defectos beneficiosos

Interpretación y soluciones generadas:

Emplear materiales compuestos o reciclados en partes no estructurales.

Aprovechar materiales con defectos aceptables en zonas que no comprometan la integridad del kart.

- Mayor durabilidad del motor vs. Aumento del mantenimiento

Contradicción: Hacer que el motor dure más puede requerir mantenimiento más frecuente.

Principios TRIZ aplicables: 10. Acción previa, 16. Acción parcial o excesiva

Interpretación y soluciones generadas:

Utilizar motores sin escobillas (brushless), que tienen menor desgaste y requieren menos mantenimiento.

Aplicar lubricación o protección adicional en puntos críticos del sistema.

- Mayor seguridad en el kart vs. Aumento del peso por refuerzos estructurales

Contradicción: Incrementar la seguridad estructural añade peso al vehículo.

Principios TRIZ aplicables: 15. Dinamización, 29. Neumáticos flexibles.

Interpretación y soluciones generadas:

Emplear un chasis tubular reforzado optimizado, con secciones sólo donde sea necesario.

Diseñar la estructura con software CAD/CAE para maximizar resistencia con mínimo peso.

- Reducción del ruido del kart vs. Menor sensación de velocidad para el piloto

Contradicción: El motor eléctrico es silencioso, lo cual puede reducir la percepción de velocidad y emoción.

Principios TRIZ aplicables: 13. Inversión, 24. Intermediario

Interpretación y soluciones generadas:

Implementar un sistema de sonido artificial que simule un motor de combustión.

Utilizar un sistema que permita al piloto sentir vibraciones o retroalimentación sonora para una mejor experiencia.

Es importante destacar que TRIZ no se utilizó como una herramienta de selección de componentes, sino como una fuente estructurada de generación de ideas creativas. Estas ideas luego fueron evaluadas y refinadas mediante criterios técnicos, económicos y prácticos,

lo que permitió definir la selección final de sistemas del kart eléctrico.

9.1.3. Selección de Sistemas

Con el fin de evaluar las alternativas de modificación del kart eléctrico en función de los requerimientos establecidos por el cliente, se emplea la Matriz de Pugh como herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

Los criterios del cliente se les debe asignar un peso relativo según su importancia para conseguir resultados cuantitativos que permitan identificar más fácilmente la alternativa más conveniente para el proyecto:

- Autonomía (0.35): Se requiere una batería con una duración mayor a 20 minutos y recarga rápida, por esto se vuelve crítico en el kart ya que determina el tiempo de operación continua y el modelo de negocio del cliente.
- Rendimiento (0.30): Debe ser torque instantáneo y velocidad similar a modelos de combustión interna con el fin de garantizar la experiencia de conducción agradable.
- Seguridad (0.20): Debe ser un vehículo confiable, aunque sea un requisito importante y no negociable, no se puntea tan alto debido a que ya se cuenta con un chasis que cumple esta característica y las modificaciones no deberían alterar esta característica.
- Mantenimiento (0.15): Se requiere sencillez al realizar la operación esto con el fin de reducir los costos operativos, pero no compromete de inmediato en la funcionalidad del kart.

Se consideraron las siguientes alternativas para el proyecto:

- A. un pack de baterías grande.

B. Sistema de baterías intercambiables sin modificaciones considerables al chasis.

C. Carga ultrarrápida (se debe tener en cuenta la infraestructura)

D. Utilizar frenos regenerativos con controlador.

Se toma como referencia la opción A, Mejorar la capacidad de las baterías, por ser la opción más realista al modificar el kart, pero compromete el peso.

Tabla 4

Selección de sistemas:

Alternativa	Autonomía	Rendimiento	Seguridad	Mantenimiento	Total, ponderado
A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B	+0.35	0.0	0.0	-0.15	+0.20
C	0.0	0.0	0.0	-0.15	-0.15
D	+0.35	0.0	0.0	0.15	+0.50

Fuente: Elaboración propia

La mejor opción en la matriz es la regeneración por su aumento en la autonomía y reducción de mantenimiento en los frenos, pero este resultado es poco práctico debido a su alto costo de implementación y los frenos de disco seleccionados resultan eficientes y una opción aterrizada que no reemplaza un buen pack de baterías.

La siguiente opción de un pack de baterías intercambiables resulta una opción práctica para operaciones de alquiler, ya que minimiza los tiempos de inactividad por carga y no requiere rediseñar el kart. Su coste radica en la logística e inventario de baterías y mantenimiento de múltiples packs.

La opción de carga rápida tiene beneficios operativos, pero reduce la vida útil de las baterías y requiere controladores apropiados generando sobrecostos.

Se elige la opción de baterías intercambiables ya que es una opción realista y

equilibrada asegurando una disponibilidad operativa, autonomía extendida y menores costos de mantenimiento.

10. DISEÑO DE DETALLE

El diseño de detalle del kart eléctrico comprende la definición precisa de las especificaciones técnicas de los componentes, la integración de los sistemas eléctricos y mecánicos, la configuración del sistema de seguridad y la representación de esquemas detallados del diseño final. A continuación, se presentan estos aspectos clave.

10.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FINALES DE LOS COMPONENTES

Para garantizar un rendimiento óptimo y una operación segura del kart eléctrico, se han establecido las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 5
Especificaciones técnicas de diseño

Componente	Especificación
Motor Eléctrico	Motor sin escobillas (BLDC) de 2-3 kW, con una eficiencia superior al 85%.
Batería	Paquete de iones de litio de 48V y 60Ah, con autonomía estimada de 45-60 min.
Sistema de Carga	Cargador rápido de 220V, tiempo de carga completo: 90 minutos.
Transmisión	Sistema de cadena y piñón, con una relación optimizada para rendimiento en pista.
Chasis	Estructura tubular de acero, diseñada para minimizar peso y absorber impactos.
Asiento	Fabricado en fibra de vidrio, con fijación de 4 puntos para mayor estabilidad.
Sistema de Frenado	Frenos de disco hidráulicos en el eje trasero, con pastillas de alto rendimiento.
Neumáticos	Llantas de 10 pulgadas, homologadas por la CIK-FIA, optimizadas para agarre y tracción

Fuente: Elaboración Propia

10.2. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

Para optimizar la funcionalidad y el desempeño del kart eléctrico, se ha desarrollado un esquema de integración eficiente entre los sistemas eléctricos y mecánicos.

- Sistema de propulsión eléctrica:

- El motor BLDC está conectado a un controlador de potencia que regula la entrega de energía de acuerdo con la demanda del piloto.

- La batería se encuentra montada en un compartimento lateral, asegurando un centro de gravedad óptimo.

- Sistema de transmisión:

- La potencia del motor se transfiere a las ruedas a través del sistema de cadena y piñón, garantizando una respuesta rápida y eficiente.

- Sistema de dirección y chasis:

- Se ha implementado un sistema de dirección de barras, optimizando la estabilidad y maniobrabilidad del kart.

- El chasis tubular ha sido diseñado para distribuir de manera uniforme las cargas mecánicas y absorber impactos en caso de colisión.

- Sistema de carga y gestión de batería:

- Incorpora un BMS (Battery Management System) que monitorea la eficiencia de carga, prolongando la vida útil de la batería.

- Configuración del Sistema de Seguridad

Para garantizar la seguridad del piloto y mejorar el rendimiento del kart, se han considerado los siguientes aspectos:

- Frenos: Se ha implementado un sistema de frenos de disco hidráulicos, asegurando

una respuesta rápida y eficiente en la desaceleración.

-El asiento de fibra de vidrio y el sistema de transmisión han sido ubicados estratégicamente para optimizar la distribución de masas.

Sistema de absorción de impactos:

-El chasis tubular de acero ha sido diseñado para disipar la energía de impacto en caso de colisión.

Control y seguridad eléctrica:

-Se ha integrado un interruptor de desconexión rápida para cortar el suministro de energía en caso de emergencia.

10.3. ESQUEMAS DETALLADOS DEL DISEÑO FINAL

Para complementar la documentación técnica del proyecto, se presentan los siguientes esquemas detallados:

- Plano estructural del chasis tubular, mostrando las dimensiones y puntos de anclaje.
- Diagrama de integración eléctrica, que ilustra la conexión entre la batería, el motor y el sistema de control.
- Esquema del sistema de transmisión, detallando la relación de piñones y la conexión con el motor eléctrico.
- Distribución de peso y ubicación de los componentes clave, asegurando el balance óptimo del kart en pista.

El diseño de detalle del kart eléctrico establece la base técnica para su implementación, integrando de manera óptima sistemas eléctricos y mecánicos con un enfoque en rendimiento, seguridad y eficiencia. La selección de componentes ha sido realizada considerando criterios

de durabilidad, peso y desempeño en pista, asegurando un equilibrio entre autonomía, velocidad y estabilidad. Además, la configuración del sistema de seguridad ha sido diseñada para cumplir con los estándares exigidos en la competición, incorporando frenos de disco hidráulicos, una distribución de peso optimizada y sistemas de protección eléctrica.

Finalmente, los esquemas detallados proporcionan una visión clara de la estructura del kart y la interconexión de sus sistemas, facilitando su fabricación y mantenimiento. Con este capítulo se concluye el desarrollo técnico del proyecto, sentando las bases para su prototipado y validación en pruebas de desempeño, asegurando que el kart eléctrico cumpla con los objetivos establecidos en términos de sostenibilidad, innovación y competitividad.

10.4. SÍNTESIS DEL DISEÑO A DETALLE INICIAL, IDEAL Y FINAL

Tabla 6

Diseño de detalle para las diferentes versiones de construcción

COMPONENTES	INICIAL	IDEAL	FINAL
Motor	Motor a combustión interna 2 tiempos, 100 CC, 5.5 HP	Motor de 2-3 W, 20.5 A, 48V	Motor sin escobillas (BLDC) de 500 kW, eficiencia >85%
Batería	Tanque de gasolina de 3 L, autonomía variable	Paquete de iones de litio de 48V y 60Ah, autonomía de 45-60 min	Paquete de baterías de plomo de 48V y 20Ah, autonomía de 50 min
Sistema de carga	No aplica	Cargador rápido de 220V, tiempo de carga: 90 min	Cargador normal 110V, tiempo de carga: 130 min
Transmisión	Sistema de cadena y piñón	Sistema de cadena y piñón, relación optimizada para pista	Sistema de cadena y piñón, relación optimizada para velocidad
Chasis	Estructura tubular de acero	Estructura tubular de acero	Estructura tubular de acero
Asiento	Fibra de vidrio, fijación estándar en 4 puntos	Fibra de vidrio, fijación estándar en 4 puntos	Fibra de vidrio, fijación estándar en 4 puntos
Sistema de frenado	Frenos de disco hidráulicos en el eje trasero, pastillas convencionales	Frenos de disco hidráulicos en el eje trasero, pastillas convencionales	Frenos de disco hidráulicos en el eje trasero, pastillas convencionales
Neumáticos	Llantas de 5 pulgadas estándar, diseñadas para resistencia	Llantas de 10 pulgadas, homologadas por la CIK-FIA, optimizadas para agarre	Llantas de 5 pulgadas convencionales

Fuente: elaboración propia

10.5. JUSTIFICACIÓN OBTENCIÓN KART FINAL

El prototipo de kart eléctrico elaborado es el resultado de una optimización entre viabilidad técnica junto con los costos de inversión. Al momento de realizar el proyecto, la principal limitante fue el alto costo de los componentes clave, especialmente el motor BLDC de alta potencia y las baterías de iones de litio, que representaban una inversión inicial

considerable.

Por lo tanto, para mantener la rentabilidad del proyecto, se optó por un motor de menor potencia (500W) y una batería de plomo, sacrificando tanta autonomía como rendimiento, pero asegurando un funcionamiento accesible. Sin embargo, se conservaron elementos esenciales como el chasis, transmisión y asiento, ya que estos no representaban una diferencia significativa en costos.

Por otro lado, el sistema de frenado y los neumáticos fueron seleccionados bajo criterios de costo-beneficio, eligiendo versiones más convencionales sin comprometer la seguridad.

En conclusión, el kart final es una solución económicamente viable, que, aunque tiene limitaciones en desempeño al igual que de autonomía, permite reducir la barrera de entrada a la tecnología eléctrica en el karting, facilitando su desarrollo.

10.6. SISTEMA DE SEGURIDAD DEL KART ELÉCTRICO

El diseño de seguridad constituye un componente fundamental dentro del proceso de conversión, ya que garantiza la integridad del usuario, la estabilidad del vehículo y la protección de los sistemas eléctricos. Las consideraciones de seguridad se agrupan en tres categorías: seguridad estructural y mecánica, seguridad eléctrica y seguridad ergonómica y del usuario.

10.6.1. Seguridad estructural y mecánica

La seguridad estructural y mecánica del kart eléctrico se concibe como el conjunto de medidas orientadas a proteger la integridad física del piloto durante condiciones normales y extremas de operación.

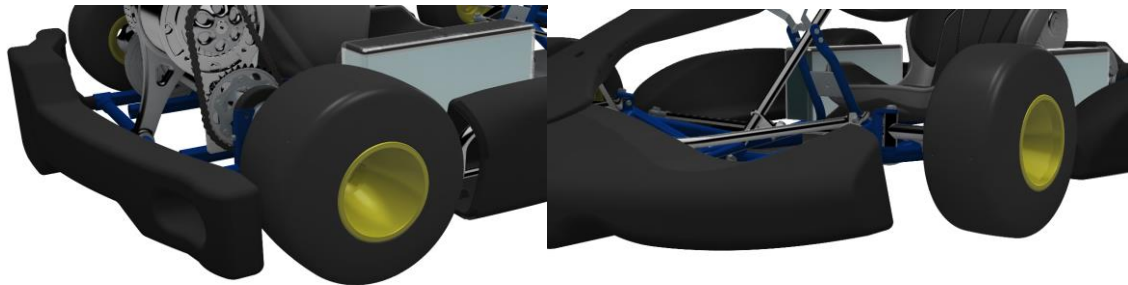
En el proceso de diseño se adoptaron criterios de resistencia, rigidez y absorción de impactos conforme a las normas CIK-FIA 2024, Grupo 2 – Categoría OK, garantizando el cumplimiento de los parámetros de deformación admisible en estructuras tubulares de acero.

Refuerzos y geometría del chasis:

- El chasis se diseñó en tubo de acero estructural ASTM A513 (acero de precisión para estructuras tubulares) de 1-1/4 in de diámetro y 2 mm de espesor.
- Se incorporaron barras laterales y frontales de protección, conformadas por tuberías soldadas en configuración de marco cerrado, con el objetivo de desviar la energía de impacto hacia las zonas no críticas.
- Los puntos de unión fueron reforzados con cordones de soldadura MIG de 6 mm, lo que aumenta la rigidez torsional sin agregar peso excesivo.
- El análisis de esfuerzos en Solid Edge arrojó deformaciones máximas de 1.2 mm bajo una carga lateral de 800 N, lo que se considera seguro según los límites estructurales establecidos por la FIA.

Figura 4

Refuerzos y seguridad en la estructura del chasis



Fuente: elaboración propia

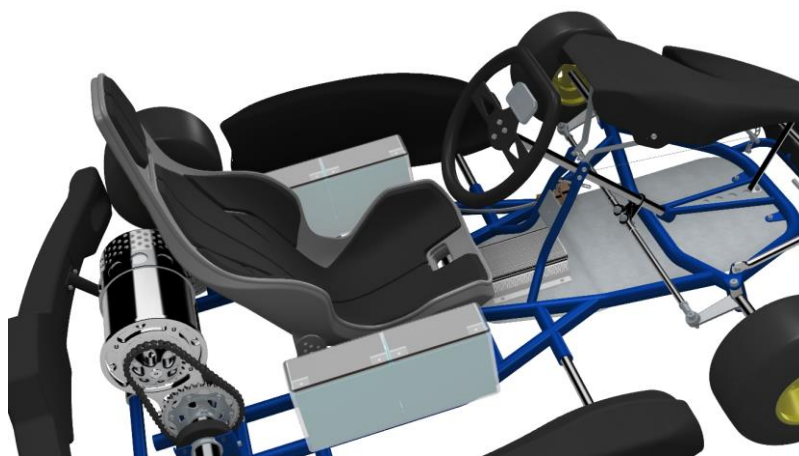
Protección del área del piloto

- Se integró una barra trasera de seguridad en la zona del motor y las baterías, evitando el contacto directo con otros vehículos o con obstáculos externos.

- Se añadió un reposacabezas acolchado de alta densidad, incorporado en un asiento especializado en la seguridad del ocupante, para reducir el riesgo de lesiones cervicales en colisiones por alcance.
- El asiento se ancló mediante cuatro puntos de fijación con placas reforzadas y tornillería grado 8.8, garantizando la estabilidad del piloto, además de estar montado en rieles para diferentes tipos de usuario
- El área de pedales y volante cuenta con una estructura tubular frontal que actúa como zona de deformación controlada en caso de impacto frontal.

Figura 5

Asiento diseñado para seguridad del piloto



Fuente: elaboración propia

Sistema de protección perimetral y absorción de impacto

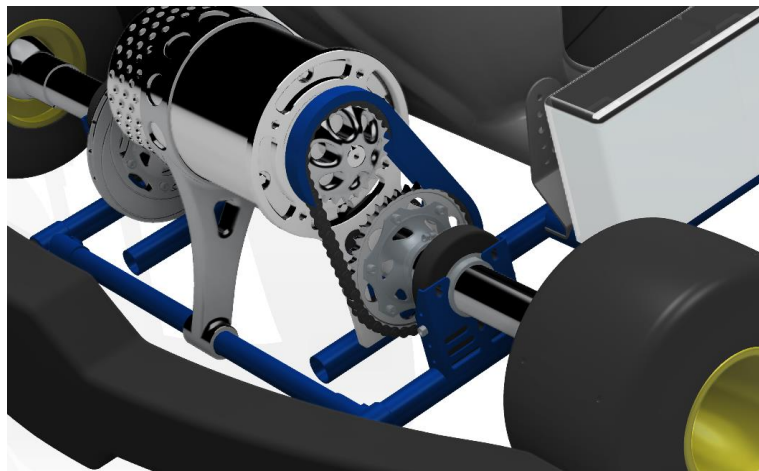
- Las defensas laterales, frontales y traseras están construidas en tubo de acero de 33 mm, con fijaciones desmontables mediante abrazaderas metálicas, permitiendo sustitución rápida.
- En los puntos de contacto con el suelo y otros vehículos se colocaron topes de goma

EPDM que actúan como amortiguadores de baja densidad para reducir vibraciones e impactos menores.

- Se añadieron protectores de cadena, piñón y eje, fabricados en aluminio 6061-T6, para evitar atrapamientos y exposición a partes móviles.

Figura 6

Protector de cadena para atrapamiento



Fuente: elaboración propia

Materiales y fabricación

- Todos los materiales estructurales cumplen con las normas ASTM A36 y A513, y se verificó su soldabilidad y resistencia mediante pruebas destructivas en laboratorio.
- Se realizaron ensayos de torsión del chasis y rigidez a la flexión, confirmando una rigidez torsional superior a $1300 \text{ N}\cdot\text{m}/^\circ$, valor adecuado para vehículos de esta categoría.
- Se aplicó tratamiento anticorrosivo por recubrimiento de zinc y pintura electrostática para prolongar la vida útil estructural.

Requisitos de mantenimiento y verificación

- Se recomienda inspección visual de soldaduras, uniones atornilladas y defensas cada 20 horas de uso o después de cualquier impacto.
- Las piezas de fijación deben reemplazarse en caso de deformación, fisura o pérdida de recubrimiento.

10.6.2. Seguridad eléctrica

El desarrollo de los karts eléctricos implica la integración de sistemas de almacenamiento y distribución de energía, así se corren riesgos específicos asociados al manejo de la energía. Por esta razón, resulta fundamental incorporar medidas de seguridad eléctrica que garanticen la protección de los pilotos, técnicos y del entorno.

A nivel internacional, diferentes organismos han establecido normas que orientan el diseño, montaje y operación segura de los vehículos eléctricos, entre ellos los karts eléctricos de ocio. Con esto se busca prevenir incidentes derivados de cortocircuitos, sobrecalentamientos, fugas de corriente, fallas de aislamiento.

10.6.3. Normas y reglamentos aplicables

Las principales normas y reglamentaciones técnicas que orientan la seguridad en karts eléctricos. Establecen los requisitos para el diseño, instalación y protección de los sistemas de almacenamiento de energía, así como las medidas necesarias para garantizar la integridad del piloto y del entorno durante la operación.

Tabla 7

Normativa seguridad del Kart

Norma	Organismo	General	Aplicación
IEC 62133	IEC (International Electrotechnical Commission)	Seguridad de celdas y baterías recargables (Li-ion, NiMH) para equipos portátiles y vehículos ligeros.	Asegura que las celdas utilizadas en el pack de baterías cumplan con requisitos de seguridad frente a cortocircuitos, sobrecarga,

				descarga profunda y sobre temperatura.
IEC 62619/62660	International Electrotechnical Commission	Seguridad y rendimiento de baterías de ion-litio utilizadas en aplicaciones industriales o de tracción.		Aplica a los packs de tracción de karts eléctricos; evalúa pruebas de vibración, choque mecánico, aislamiento y ciclos de vida.
EN 50604-1	CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica)	Ensayos de seguridad para baterías desmontables usadas en vehículos eléctricos ligeros.		Requiere pruebas de resistencia térmica, eléctrica y mecánica para el pack completo; útil para homologación de e-karts rental.
ISO 6469	ISO (International Organization for Standardization)	Seguridad funcional, protección contra descargas eléctricas y gestión de energía en vehículos eléctricos.		Define medidas de protección frente a contactos directos e indirectos, aislamiento y desconexión de emergencia; aplicable al diseño del chasis y cableado.
FIA EKARTING	Fédération Internationale de l'Automobile (FIA)	Reglamento técnico para karts eléctricos oficiales.		Limita el voltaje máximo (≈ 60 V), exige la instalación central del pack, desconexión de emergencia, y sistemas de monitoreo eléctrico (BMS).

Fuente: Elaboración propia a partir de IEC, ISO, FIA y UL (2024).

La correcta aplicación de estas normas se traduce en un conjunto de medidas preventivas que abarcan el diseño del kart, la instalación del sistema eléctrico y los procedimientos de operación. Con base en esto se describe una instalación ideal:

- **Batería e instalación**

El pack de baterías debe instalarse centrado y bajo, preferiblemente debajo del asiento o en el túnel central del chasis, para mantener un centro de gravedad bajo, protegerlo de impactos laterales. Debe ir dentro de una caja rígida metálica o de material compuesto con resistencia mecánica certificada y ventilación adecuada. Los puntos de fijación deben soportar las fuerzas de impacto definidas en la norma **ISO 6469-3**.

Se recomienda colocar sistemas de monitoreo para la batería BMS (Battery

Management System) que supervisa tensión, corriente y temperatura. Este sistema tiene diferentes funciones que resultan esenciales para el rendimiento y la seguridad del vehículo. Para acompañar la información que recoge lo ideal es utilizar indicadores visuales de estado (Led o pantalla).

Figura 7

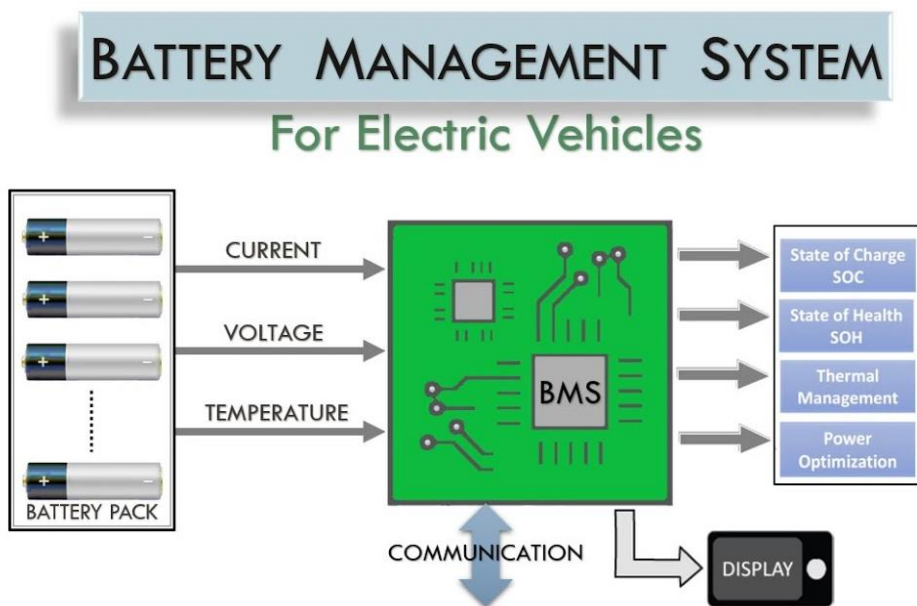


Diagrama conexión BMS (BATERIA, BMS, PREVENCIÓN, SEGURIDAD) [Imagen x]

- **Procedimiento de carga**

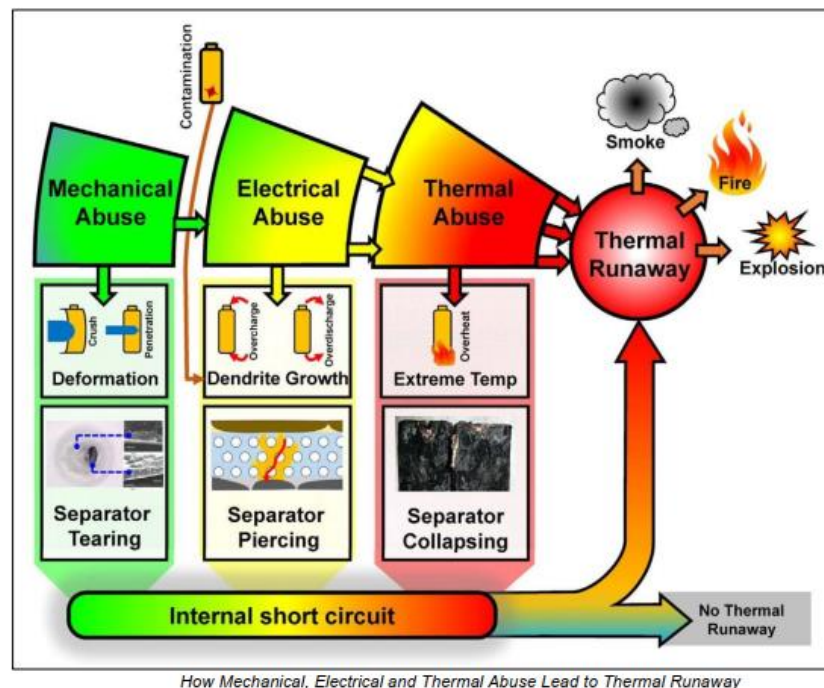
Para cargar los packs de baterías se deben designar áreas especiales, con sistemas de ventilación y sistemas contra incendios clase D específicos para metales combustibles (Sodio, magnesio. Litio) que utilizan polvos secos especializado para no reaccionar agresivamente con los metales.

Debido a que existe una amenaza de incendio, con base en la jornada de CEPREVEN se resume que:

“Las baterías que están compuestas por celdas electroquímicas, con Electrodo (ánodo

y cátodo), electrolito y separador. Cuando se produce un daño en el separador, se produce un cortocircuito interno que da lugar al desbordamiento térmico o “thermal runaway”. El proceso genera emisión de gases tóxicos, humos y expulsión de partículas sólidas inflamadas. La liberación de energía se mantiene mientras la celda tenga carga; generando en el proceso oxígeno; por lo que no necesita oxígeno para desarrollarse, Contamina el agua, que deberá ser tratada. No son intrínsecamente peligrosas; siendo la agresión mecánica y el sobrecalentamiento las dos principales causas de fallo, al ser un producto encapsulado dificulta aún más que los agentes de extinción penetren en el interior de las celdas.”

Figura 8



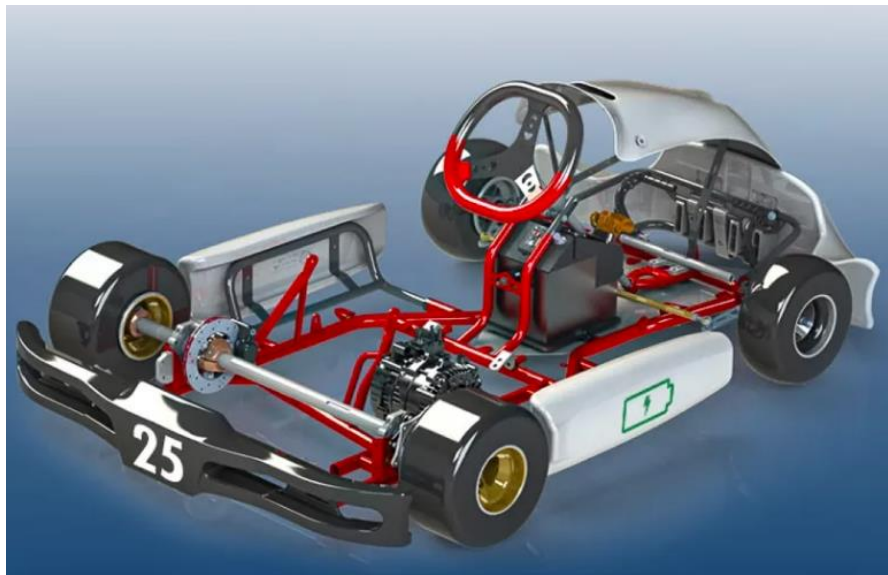
Fuga térmica – baterías de litio (Thermal Runaway in Lithium-Ion Batteries: Causes, Risks, and Prevention) [Imagen x]

- **Sistema de desconexión eléctrica**

El interruptor de emergencia debe estar ubicado en la parte posterior o superior del chasis, accesible al personal técnico, Se debe colocar un kill Switch para el piloto que debe

cortar la alimentación del sistema en menos de 5 s.

- Fusibles y disyuntores: protegen el circuito principal frente a sobre corrientes o cortocircuitos.
- Aislamiento y canalización: los cables de alta corriente deben ir protegidos por fundas ignífugas o tubos aislantes.



E-KART (vista isométrica Kart. Info Kartcom / Visual FIA Karting) [Imagen x]

10.6.4. Seguridad ergonómica y del usuario

- Asiento ajustable y pedales desplazables para usuarios de 1.40 m a 1.85 m.
- Volante ergonómico recubierto en material antideslizante.
- Panel de indicadores de estado de carga y temperatura.
- Iluminación LED frontal y trasera para operación en espacios cerrados o con baja visibilidad.

10.6.5. Elementos personales de protección

De acuerdo con las normativas de seguridad de karting recreativo, todo usuario debe portar:

- Casco homologado CMR/CMS 2022 o superior.
- Collarín cervical tipo foam.
- Mono ignífugo o traje de protección.
- Guantes de alta fricción.
- Botas cerradas con suela antideslizante.

10.7. RESUMEN KART PROTOTIPO IDEAL

A continuación, se muestra el prototipo ideal del kart ensamblado, resaltando sus componentes y como debería ser construido:



Fuente: elaboración propia

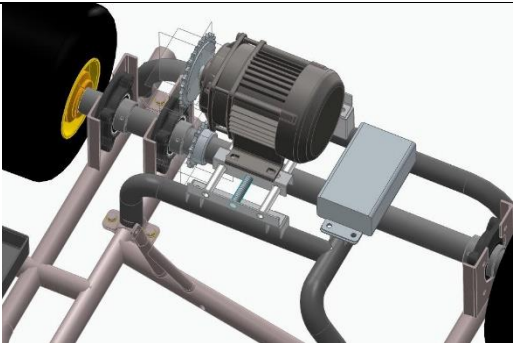
11. FABRICACIÓN Y RESULTADOS

Este capítulo describe el proceso de ensamblaje del kart eléctrico, detallando las modificaciones realizadas en el chasis y el sistema de transmisión. Asimismo, se presentan los resultados de las pruebas iniciales, evaluando el desempeño del vehículo en términos de aceleración, velocidad máxima, autonomía, seguridad y eficiencia energética.

11.1. PROCESO DE ENSAMBLAJE DEL KART ELÉCTRICO

El ensamblaje del kart eléctrico requirió la adaptación de un chasis tubular convencional para alojar los nuevos componentes eléctricos, así como la implementación de un sistema de transmisión optimizado para la propulsión eléctrica.

Tabla 8

Chasis inicial	Chasis esperado
	

Fuente: elaboración propia

11.2. MODIFICACIONES EN EL CHASIS

- Se reforzó la estructura tubular del chasis para soportar el peso de la batería sin comprometer la estabilidad.

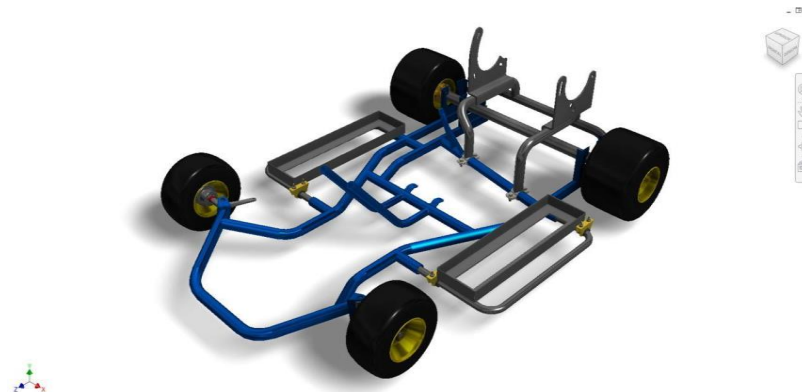
Figura 9

Modificación en la estructura de adaptación



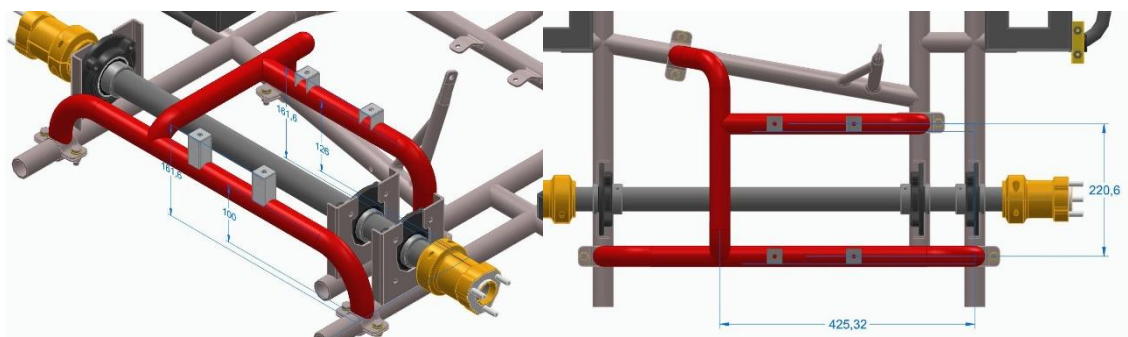
- Se incluyó un compartimento lateral para la batería, asegurando una distribución equilibrada del peso.

Figura 10



- Se instalaron puntos de anclaje adicionales para fijar el motor eléctrico y el controlador de potencia.

Figura 11



11.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

- Se sustituyó la relación sistema de transmisión por un sistema de cadena y piñón adaptado al motor eléctrico.

Figura 12

Sistema de transmisión final



- Se optimizó la relación de transmisión para maximizar la eficiencia energética y el desempeño en pista.
- Se instaló un sistema de tensión ajustable para mejorar la durabilidad de la transmisión.

11.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS INICIALES

Se realizaron diversas pruebas para evaluar el desempeño, seguridad y eficiencia del kart eléctrico en condiciones reales de operación.

11.4.1. Desempeño

Las pruebas de circuito permitieron evaluar la aceleración, velocidad máxima y autonomía del kart:

- Aceleración: De 0 a 20 km/h en 3 segundos.
- Velocidad máxima: Alcanzó 25 km/h en pista recta.
- Autonomía: Aproximadamente 50 minutos con una sola carga completa de batería de Plomo de ciclo profundo de 48V y 20Ah.

11.4.2. Seguridad eléctrica y mecánica

- Se verificó la integridad del sistema eléctrico, asegurando que no presentara fugas de corriente ni sobrecalentamientos.
- Se probó el sistema de frenos de disco hidráulicos, obteniendo una distancia de frenado de 3 metros desde 25 km/h.
- Se evaluó la estabilidad del kart en curvas cerradas, asegurando un control adecuado a máxima velocidad.

11.4.3. Análisis de eficiencia energética

Se midió el consumo energético promedio en distintas condiciones de conducción, registrando un consumo de 0.41 kWh. La relación entre autonomía y peso del kart resultó óptima, sin comprometer el rendimiento.

El proceso de ensamblaje con las pruebas iniciales ha confirmado que el diseño del kart eléctrico cumple con los requisitos de rendimiento, seguridad y eficiencia establecidos en la fase de diseño. Los resultados obtenidos en aceleración junto velocidad son satisfactorios en las pruebas de manejo realizadas, la estabilidad del kart en el circuito casero demuestra la eficacia de la distribución de peso. Las pruebas también validaron el correcto funcionamiento tanto del sistema eléctrico como el mecánico, asegura un manejo seguro. Además, el análisis de eficiencia energética indica que el sistema de propulsión es sostenible y útil para una aplicación recreativa. Con estos resultados, el kart está listo para su fase de validación en

condiciones de prueba en circuito profesional, con el fin de mejorar su desempeño.

11.5. VISUALIZACIÓN DEL DISEÑO A DETALLE INICIAL, IDEAL Y FINAL.

11.5.1. Adaptación de Recursos y Rediseño del Prototipo

El proyecto se inició con recursos compartidos provenientes del SENA, incluyendo baterías, motor y controlador. Tras la presentación de un prototipo no funcional, se decidió emplear recursos propios a fin de desarrollar un prototipo funcional, esto implicó acondicionar el motor al chasis debido a que el motor presentado por el SENA era de mayores dimensiones, comúnmente utilizado en carros de golf eléctricos, se reemplazó por un motor de menor tamaño común en el mercado para aplicaciones de movilidad eléctrica urbana.

11.5.2. Optimización de la Distribución de Componentes

La distribución inicial de los componentes en el diseño inicial del Kart reveló una distribución de peso deficiente durante la fase de construcción. Dado que la mayor parte del peso, incluido el del piloto, se concentraba distribuido hacia el eje trasero y como consecuencia, el eje delantero tendía a elevarse, lo que resultaba en una pérdida de tracción al tomar curvas. Por consiguiente, se implementó una mejora para la distribución del peso, considerando la inclinación del asiento del piloto hacia el lado izquierdo del vehículo, para esto se ubicaron un par de baterías junto con el controlador delante del piloto lo que añadió peso al eje delantero y adicionalmente, se posiciona el otro par de baterías al lado derecho del piloto con el fin de equilibrar lateralmente el kart.

11.5.3. Adquisición de Componentes Eléctricos y Soluciones Implementadas

La obtención de componentes eléctricos para la conversión representó un desafío considerable, puesto que estos no están específicamente diseñados para este nicho de mercado, en consecuencia, la búsqueda de un pedal de acelerador eléctrico (potenciómetro)

para regular la corriente resultó compleja. Por esta razón, se toma la decisión de adaptar un puño de motocicleta, al cual se le acopló una palanca con guaya, a fin de simular el movimiento del pedal del acelerador.

11.5.4. Conexión Eléctrica y Estabilización del Vehículo

La conexión entre las baterías, el motor y el controlador se llevó a cabo con éxito. La configuración en serie de las baterías junto con las funciones del controlador permitió establecer tres velocidades y la reversa en el kart. Asimismo, se optimizó la distribución del peso en el sentido transversal del vehículo. En lugar de colocar las baterías en los laterales, lo que ampliaría el centro de gravedad e incrementaría la inercia en las curvas, se optó por posicionarlas más cerca del eje central para maximizar el control.

11.5.5. Ajuste de la Relación de Transmisión

Inicialmente el diseño contemplaba un motor de alta potencia orientado a la velocidad. Por lo tanto, se había calculado una relación de transmisión enfocada en el desarrollo del torque del motor. Sin embargo, el motor adquirido para el prototipo es de bajas revoluciones y está diseñado para torque. En consecuencia, se realizaron diversas modificaciones en el piñón de salida con el fin de lograr una velocidad final considerable, acorde con el tipo de motor y la capacidad del controlador.

11.6. COMPARATIVA EN SISTEMAS DIFERENTES VERSIONES DEL KART

11.6.1. Motor

Tabla 9

Comparativa elementos del Kart (motor)

KART INICIAL	KART IDEAL ELÉCTRICO	PROTOTIPO
		
Motor de combustión interna 2 tiempos 100 C.C	5KW BLDC Motor 48V/5 kW	Motor eléctrico prototipo 48V/500W
Fuente: Elaboración propia		

Con el fin de garantizar un rendimiento similar al que ofrece el motor de combustión, se opta por igualar la potencia, considerando un punto medio, si un motor de 100 cc de 2 tiempos produce alrededor de 6 hp (aproximadamente 5 kW), se necesitaría un motor eléctrico con una potencia nominal similar para igualar el rendimiento. Para el prototipo se utilizó un motor con menor potencia por viabilidad económica, teniendo en cuenta un factor clave a considerar: el par motor. Los motores eléctricos entregan su par máximo desde cero RPM, lo que puede dar una sensación de aceleración superior a la de un motor de combustión.

Opciones de motorización kart eléctrico ideal:

Se tenía la siguiente opción para la compra e importación del motor ideal para la alternativa propuesta ya que entrega una velocidad similar a un motor de 100cc, aunque se debe tener presente que el torque inicial es mayor respecto al de combustión interna:

- *Golden* Motor 5 kW (PMAC / BLDC, aire)

Descripción: motor BLDC / PMAC 5 kW, disponible air/liquid cooled, pensado para scooters/EV ligeros. Buena opción si quieres motor compacto y refrigeración.

Figura 13

Referencia de motor eléctrico en el mercado para finalidad del proyecto.

Product Description

High Efficiency + Very Compact
5KW BLDC Motor

- 1. Voltage: 48V/72V/96V/120V
- 2. Rated Power: 3KW-7.5KW
- 3. Efficiency: 91%
- 4. Phase Resistance (Milliohm): 6.2/48V; 12.0/72V; 36.0/120V
- 5. Phase Induction(100KHZ): 68uH/48V; 154uH/72V; 504uH/120V
- 6. Speed: 2000-6000rpm (customizable)
- 7. Weight: 11Kg(air), 11.35kg(water)
- 8. Cooling: air or liquid cooling



5KW Air Cooling 5KW Liquid Cooling



Electric Motor Kit for Go Kart



El mejor rendimiento 5kw motor eléctrico de CC para karts eléctricos

Precio FOB de Referencia / Cantidad de Compra. [Conseguir Precio Último >](#)

US\$ 446,00	US\$ 340,00	US\$ 310,00	US\$ 295,00
1-9 Piezas	10-49 Piezas	50-99 Piezas	100+ Piezas

Aplicación: Universal, Industrial, Coche, Motorcycle
Velocidad de funcionamiento: Velocidad Alta
Modo de excitación: Permanent Magnet
Función: Conducir
Protección de la carcasa: Tipo de protección
Número de polos: 8

la referencia cumple con los requerimientos del cliente, sin embargo, como se mencionó anteriormente, debido al presupuesto limitado tanto en costo como en tiempo ya que la importación suele tardar de 1 a 2 meses, y con la finalidad de cumplir con el objetivo del proyecto, se optó por adquirir un motor de 500W de potencia, a penas una décima parte de la potencia deseada.

11.6.2. Controlador

Tabla 10

Comparativa elementos del kart (Controlador)

KART INICIAL	KART IDEAL ELÉCTRICO	PROTOTIPO
N/A		
	Controlador Kelly KLS series 300–400A a 48 V	Controlador Genérico– 5A a 48 V

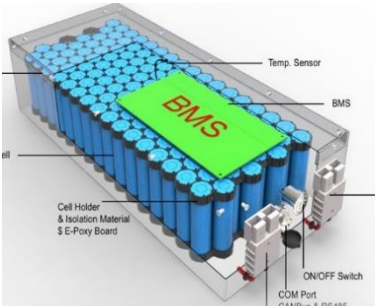
Fuente: elaboración propia

El controlador **Kelly KLS** fue seleccionado para el sistema de propulsión del kart eléctrico debido a su **eficiencia y compatibilidad** con motores de corriente continua sin escobillas (BLDC). Esta familia de controladores está diseñada específicamente para aplicaciones de tracción eléctrica en vehículos ligeros —como motocicletas, scooters y go-karts— donde se requiere un control preciso del par y una alta respuesta dinámica.

Sin embargo, se utiliza un controlador genérico que supliera las necesidades del motor que se obtuvo para fabricar el prototipo.

11.6.3. Baterías

Tabla 11
Comparativa elementos del kart (baterías)

KART INICIAL	KART IDEAL ELÉCTRICO	PROTOTIPO
		
Depósito de combustible convencional 2 litros	Paquete de baterías de litio, Molicel P42A	Paquete de 4 baterías de 12V Plomo

Fuente: elaboración propia

Debido a la necesidad de modificar el sistema de almacenamiento de energía, se debe reemplazar el tanque convencional de 2 litros, Se sustituirá por un paquete de baterías de alta capacidad.

Inicialmente, el SENA gestionó la integración del paquete de baterías; sin embargo, no se logró que funcionara de manera adecuada, por esto se toma la decisión de probar con otras baterías que faciliten las conexiones.

Para un kart indoor pequeño sesiones 10–30 minutos el sistema de baterías seleccionado se basa en un conjunto de celdas de ion-litio, con un voltaje nominal aproximado de 48 V junto con una capacidad de 60 Ah, para una autonomía mayor a 20 minutos. Esta arquitectura se eligió por su bajo peso relativo, características esenciales en aplicaciones de competición o recreativas donde el espacio y la masa son factores limitantes.

Para el prototipo actual, se implementó un paquete con cuatro baterías de litio de 12V. La selección de estas baterías de capacidad media se fundamentó en la viabilidad económica del proyecto, las pruebas realizadas con esta configuración arrojaron una autonomía de 50 minutos a máxima velocidad.

11.6.4. Transmisión

Tabla 12
Comparativa elementos del kart (transmisión)

KART INICIAL	KART IDEAL ELÉCTRICO	PROTOTIPO
		
Relación balanceada, motor de torque y velocidad. 3.5:1	Relación enfocada a un motor de velocidad. 4:1	Relación enfocada a un motor de torque de bajas rpm. 1:1

Fuente: elaboración propia

El kart disponía inicialmente de un kit de arrastre con una relación aproximada de 4:1, compatible tanto con el motor de combustión interna como con el motor implementado con la colaboración con el SENA.

Se evaluó la posibilidad de modificar esta relación para incrementar la velocidad, dado que el motor adquirido no alcanzaba la velocidad deseada ya que es un motor más comercial de bajas revoluciones enfocado al torque, no un motor de velocidad. Los cálculos se muestran a continuación tanto para la versión anterior como para el prototipo construido:

- Cálculo de relación de transmisión, Motor de velocidad (3000 RPM):

Paso de eslabón de cadena 0,5" ~ 12,7 mm

Piñón pequeño - Dientes 15 - Diámetro de paso 61

Piñón grande - Dientes 60 - Diámetro de paso 243

Eslabones de cadena 81 - Longitud de cadena 1029

Centros de piñones 260

Relación de engranajes 4: 1

Velocidad de la cadena a 3000 RPM Piñón pequeño 571,8 m/min

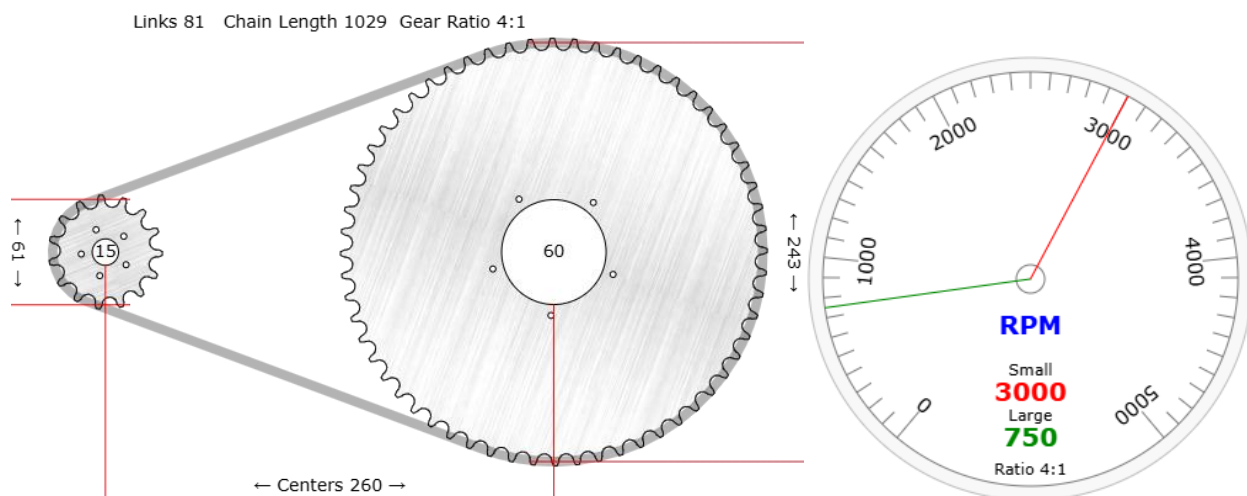
Diámetro del neumático en la rueda dentada grande = 280 mm

Velocidad de la cadena a 3000 RPM Piñón pequeño = 571,8 m/min

Velocidad a 280 mm de diámetro de neumático en piñón grande = **39,6 km/h**

Figura 14

Representación Calculo de transmisión Motor de velocidad



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de relación de transmisión, Motor de torque (480 RPM):

Paso de eslabón de cadena 0,5" ~ 12,7 mm

Piñón pequeño - Dientes 17 - Diámetro de paso 69

Piñón grande - Dientes 17 - Diámetro de paso 69

Eslabones de cadena 58 - Longitud de cadena 737

Centros de piñones 260

Relación de engranajes 1: 1

Velocidad de la cadena a 480 RPM Piñón pequeño 104,2 m/min

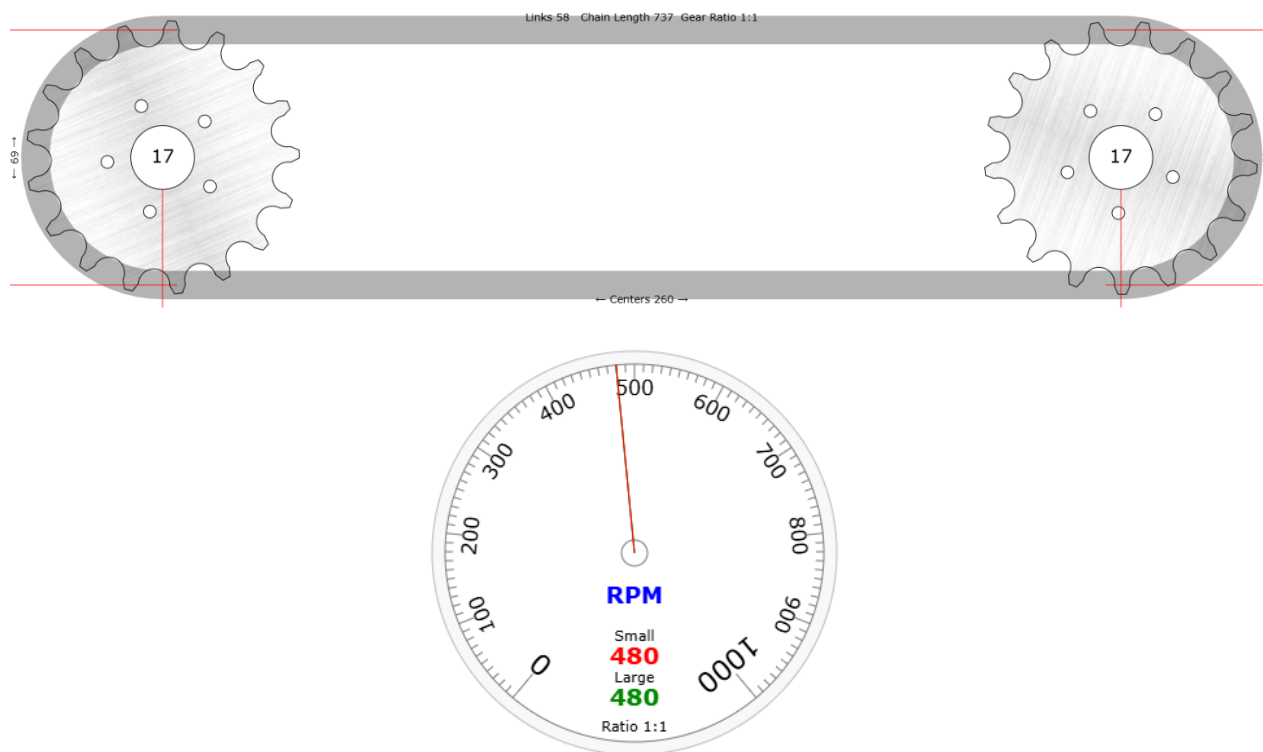
Diámetro del neumático en la rueda dentada grande 280 mm

Velocidad de la cadena a 480 RPM Piñón pequeño = 104,2 m/min

Velocidad a 280 mm de diámetro de neumático en piñón grande = **25,3 km/h**

Figura 15

Representación Calculo de transmisión Motor de torque



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el diámetro del eje trasero representó un desafío significativo. Las coronas disponibles comercialmente tenían un diámetro inferior al requerido, y aquellas con el diámetro adecuado no ofrecían una mejora sustancial en la relación de transmisión.

Figura 16

Ejemplo de piñón comercial usado



Por esta razón, se modificó el diámetro del agujero central a 40 mm (diámetro del eje) para adaptarlo al eje de trasero con cuñeros y prisionero, como resultado se optimiza mejor la velocidad final y el torque o el empuje que siente el piloto al momento de pisar el acelerador.

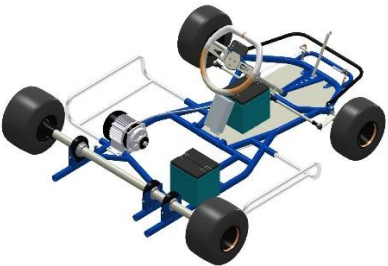
Figura 17

Piñón modificado para acoplamiento al diámetro eje trasero



11.6.5. Chasis

Tabla 13*Comparativa elementos del kart (chasis)*

KART INICIAL	KART IDEAL ELÉCTRICO	PROTOTIPO
		

Fuente: elaboración propia

El objetivo de convertir un kart convencional a eléctrico. No fueron necesarias modificaciones importantes al chasis, fueron necesarios accesorios con el fin de Instalar las baterías y el motor.

Se fabricó un soporte tubular robusto en la parte posterior con el fin de alojar el motor y el paquete de baterías que se consiguió en colaboración con el SENA, estas se instalaron en los laterales del asiento sin necesidad de modificaciones.

Figura 18*Fabricación de soportes para los elementos del kart SENA*



Para el prototipo final se elaboró un soporte tubular más esbelto ya que el motor adquirido no es robusto, se realizaron varias pruebas para ajustar el motor al eje y desarrollar un sistema que tensara la cadena.

Figura 19

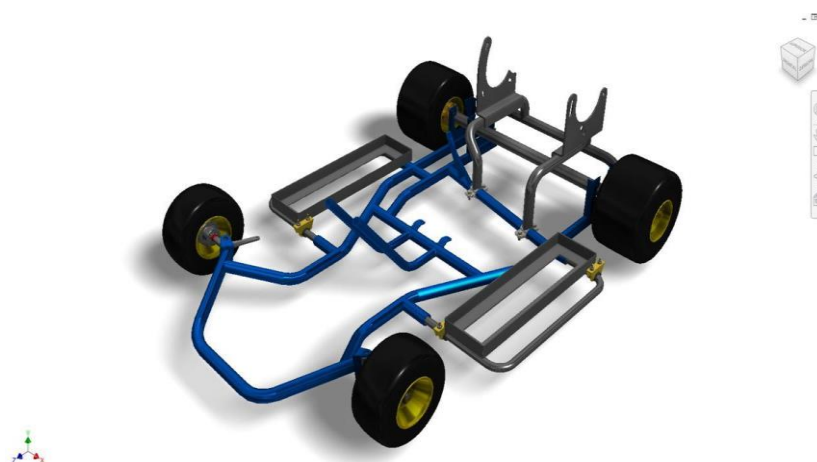
Fabricación de soporte prototipo final



Se realizaron diferentes configuraciones con los soportes de las baterías. Sin embargo, estos generaban contrapesos indeseados que levantaban el tren delantero del kart ya que el peso se ubicaba detrás del eje transversal del centro de masa e impedía virar a cierta velocidad. Por esta razón se descartan los soportes laterales.

Figura 20

Modelo 3D para distribución de baterías en soportes laterales



Finalmente, después de probar diferentes configuraciones se decide ubicar las baterías dentro del chasis para una distribución uniforme del peso.

Figura 21

Ubicación de las baterías prototipo final



Se dispone un grupo de baterías delante del asiento y otra en la parte posterior derecha, con el fin de equilibrar el peso del kart, ayudando a corregir los levantamientos indeseados junto con la capacidad de girar adecuadamente a altas velocidades.

11.6.5.1. Análisis de resistencia, Adaptación al chasis (Soldaduras y uniones)

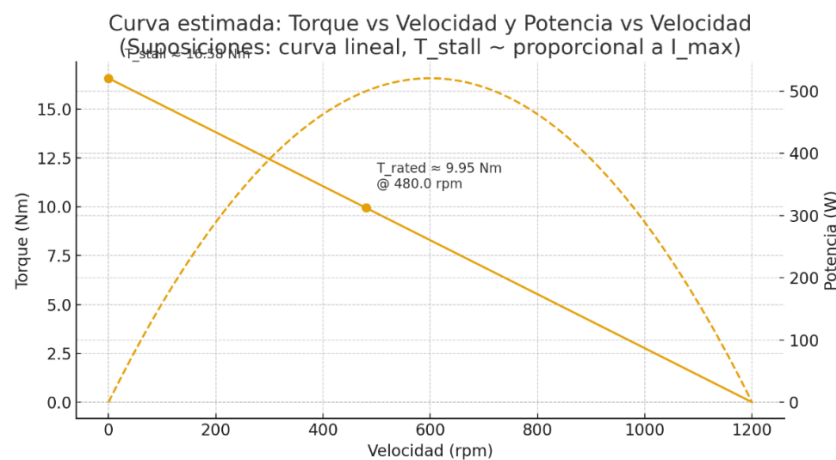
El motor analizado presenta las siguientes características nominales: potencia de 500 W, voltaje de 48 V, velocidad nominal de 480 rpm y corriente nominal de 13.5 A. Las baterías asociadas pueden entregar hasta 22.5 A. Se realizan los siguientes cálculos:

- Conversión de velocidad nominal: $480 \text{ rpm} \approx 50.27 \text{ rad/s}$.
- Torque nominal: $T = P/\omega = 500 / 50.27 \approx 9.95 \text{ Nm}$.
- Relación corriente–torque: proporcional, por lo tanto, el torque máximo teórico (con 22.5 A) es $T_{\text{max}} \approx 9.95 \times (22.5 / 13.5) \approx 16.6 \text{ Nm}$.

El motor entrega un torque nominal de aproximadamente 10 Nm a su velocidad nominal. El torque máximo teórico estimado es de 16.6 Nm con la corriente máxima de la batería. Este valor representa un pico y no puede mantenerse de forma continua debido a limitaciones térmicas y del controlador. Se construyó además una curva de torque vs. velocidad, estimando un comportamiento lineal típico de motores DC. Se obtuvo una velocidad sin carga estimada de ~1200 rpm y se verificó que el punto nominal se encuentra en torno a 500 W. La curva mostró que el motor es capaz de mantener torque constante a bajas rpm y que la potencia máxima se alcanza aproximadamente en la mitad de la velocidad sin carga:

Figura 22

Curva Torque vs Velocidad motor

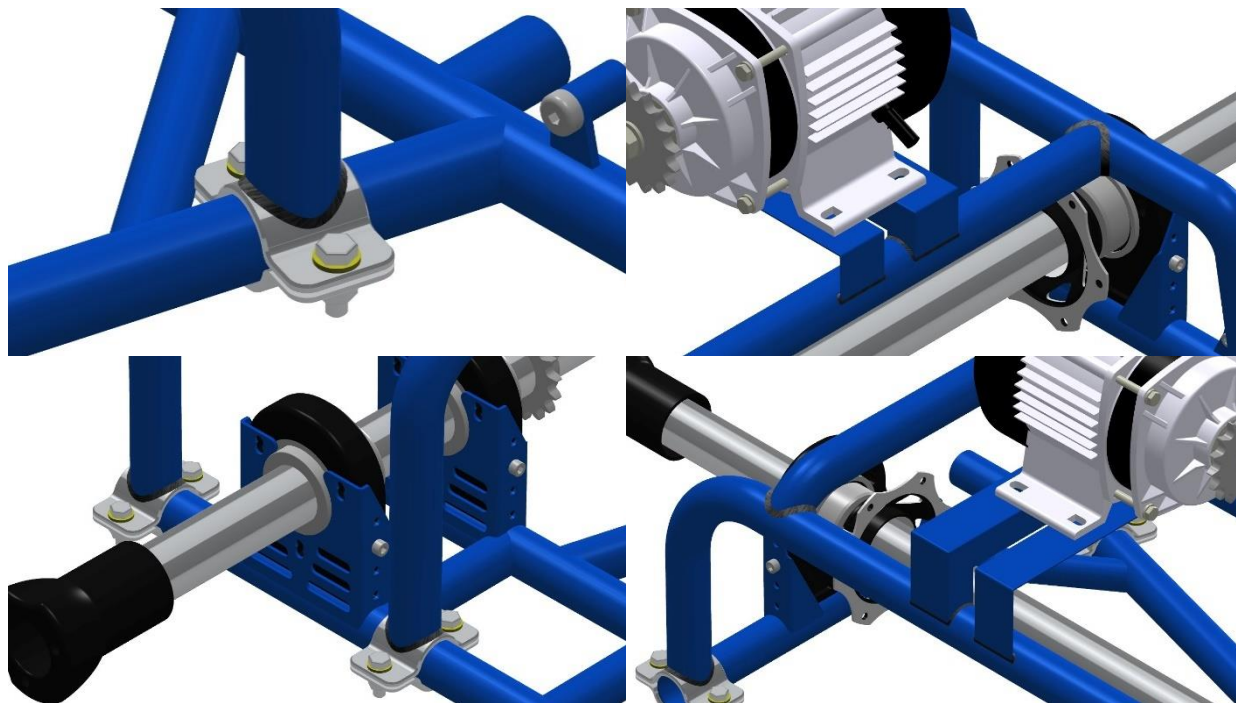


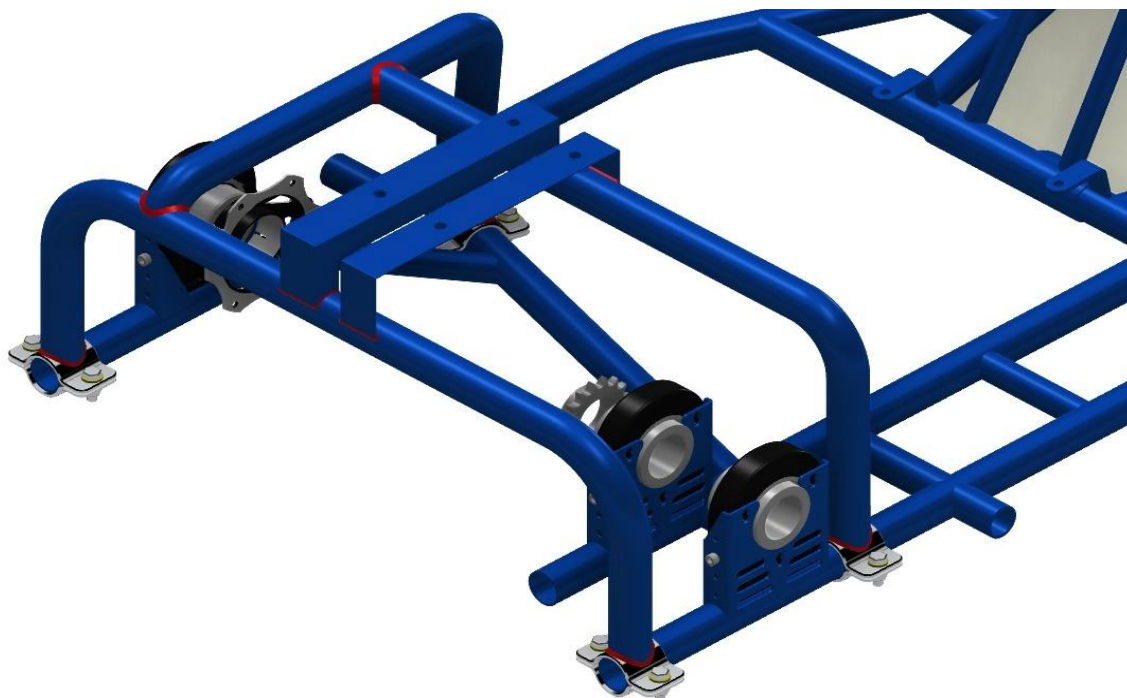
Se analizó la resistencia de uniones soldadas aplicando las metodologías presentadas en el libro 'Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley' (capítulo 9). Este caso particular corresponde a uniones tipo boca de pescado entre tubos redondos, soldadas con cordón perimetral utilizando electrodo E6013. Además, se realizó un estudio de esfuerzos y deformaciones en el Software Solid Edge (informe completo en anexos), colocando las cargas críticas para el análisis como el torque o momento generado por el motor y omitiendo las cargas irrelevantes como el peso de la estructura debido a la complejidad del ensamble y para facilitar los cálculos. Se tienen los siguientes datos de entrada:

- Tubo de diámetro 33 mm, unión perimetral.
- Longitud de contacto: aproximadamente 40 mm.
- Garganta de soldadura: 10 mm.
- Resultados FEA: Von Mises ≈ 100 MPa, Cortante máximo ≈ 80 MPa.
- Electrodo E6013 ($S_y \approx 345$ MPa, $S_{ut} \approx 427$ MPa).

Figura 23

Ilustración de las soldaduras aplicadas tanto en diseño como en el prototipo del Kart

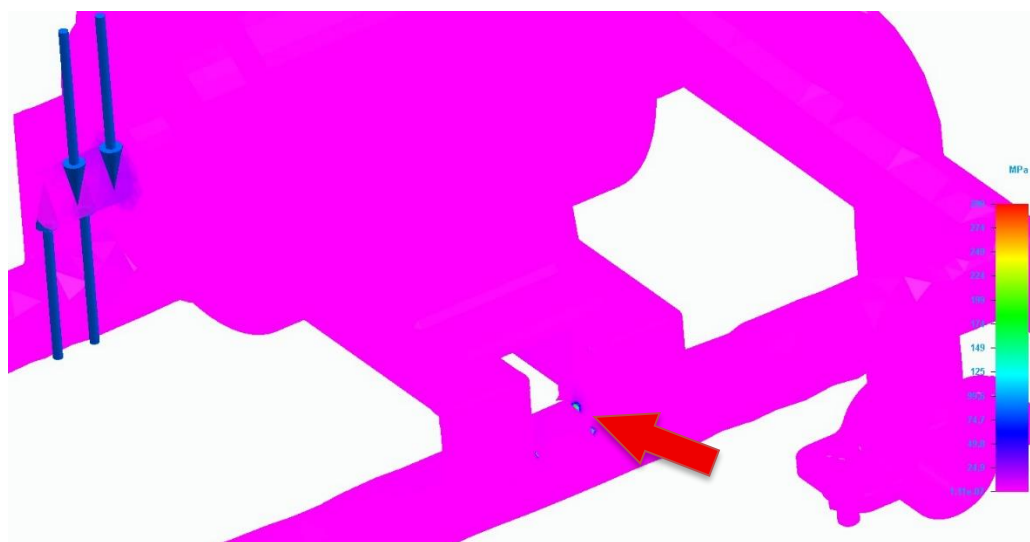




Para rapidez y facilidad en los cálculos, se realiza el estudio completo de la estructura, y se analiza especialmente en la zona que, según el estudio de Solid Edge, es crítica y se presenta el mayor esfuerzo, es decir, donde es más probable que se presente la falla:

Figura 24

Zona crítica, análisis SOLID EDGE



Procedimiento aplicado (según Shigley) y resultados:

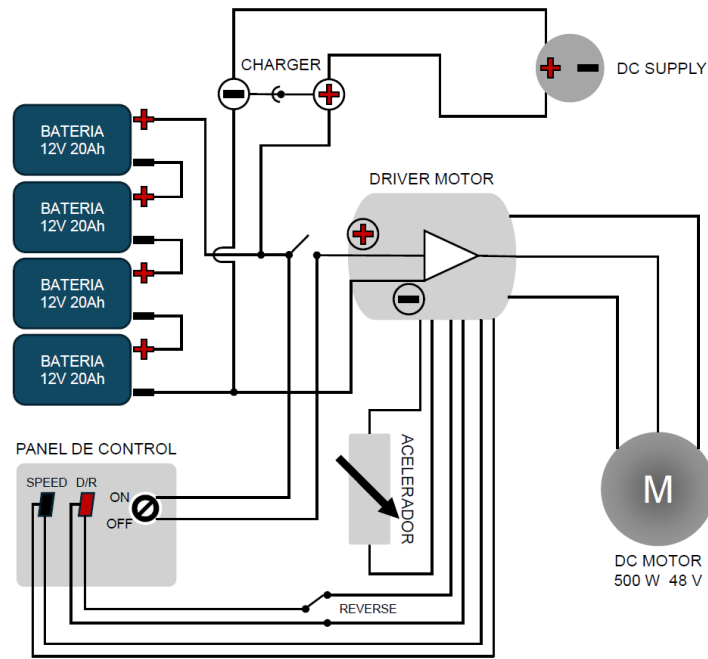
- A. Determinar área de garganta: $A = a \times L$.
Área de garganta: $A = 10 \times 40 = 400 \text{ mm}^2$.
- B. Calcular tensiones actuantes: cortante y Von Mises.
Arrojados por el resultado del Análisis SOLID EDGE
- C. Comparar contra tensiones admisibles obtenidas de tablas (cap. 9 Shigley).
Comparación por Von Mises: $\sigma_{eq} = 100 \text{ MPa}$, $\sigma_{adm} \approx 199 \text{ MPa} \rightarrow FS \approx 2.0$.
Comparación en corte: $\tau_{act} = 80 \text{ MPa}$, $\tau_{perm} \approx 124 \text{ MPa} \rightarrow FS \approx 1.55$.
- D. Evaluar factor de seguridad (FS).
- E. Revisar condiciones de servicio (estáticas o de fatiga) para determinar la validez del diseño.
Interpretación: la unión es aceptable según Von Mises ($FS \approx 2$), pero presenta menor seguridad al corte ($FS \approx 1.55$).

Se identificó que, si la carga predominante es cortante, la seguridad es menor al rango recomendado (2–3) para uniones soldadas. El criterio Von Mises muestra un resultado aceptable, sin embargo, el análisis de corte directo indica una reserva limitada. El diseño de la unión soldada es marginalmente seguro: cumple bajo criterio de Von Mises ($FS \approx 2$) pero no bajo el criterio de corte ($FS \approx 1.55$). Para mejorar la seguridad, se recomienda, incrementar la garganta efectiva o la longitud de soldadura si el esfuerzo predominante es cortante, considerar el uso de electrodos de mayor resistencia (E70xx) para mejorar el factor de seguridad. Implementar controles de calidad en soldadura (ensayos no destructivos, acabados adecuados) para reducir concentradores de esfuerzo. En conclusión, el diseño puede considerarse aceptable en condiciones estáticas moderadas, pero se recomienda reforzar o dimensionar mejor la soldadura si se esperan cargas variables, de impacto o de larga duración.

11.6.6. Esquema eléctrico de los componentes en el chasis

Figura 25

Diagrama esquema eléctrico kart prototipo



11.6.7. Cuerpo de aceleración

Tabla 14
Comparativa elementos del kart (acelerador)

KART INICIAL	KART ELECTRICO	PROTOTIPO

Fuente: elaboración propia

Se optó por suprimir el sistema de aceleración mecánico, esta decisión se tomó porque el controlador seleccionado para el prototipo requiere una señal eléctrica para su funcionamiento.

Aunque el acelerador proporcionado por el SENA operaba correctamente, su adaptación al controlador elegido no fue viable. A pesar de la búsqueda exhaustiva de un pedal de pie compatible, no se encontró una opción adecuada en el mercado es así como se determina utilizar un acelerador de puño y adaptarlo para que su funcionalidad sea similar a la de un acelerador de pie.

Figura 26

Acelerador conseguido y adaptado al prototipo



12. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO

Este capítulo analiza el impacto ambiental y económico de la conversión de un kart de combustión interna a eléctrico. Se comparan las emisiones y huella ecológica de ambos sistemas, se realiza un análisis de costos de conversión y se evalúan los beneficios potenciales en el mercado de alquiler y entretenimiento.

12.1. COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL: KART ELÉCTRICO VS. KART DE COMBUSTIÓN INTERNA

En términos ambientales, los karts de combustión interna dependen de combustibles fósiles, lo que genera emisiones de CO₂, NO_x y partículas contaminantes. Además, la extracción y refinamiento del combustible tienen un impacto significativo en el ecosistema, incrementando la huella ecológica de estos vehículos. Por otro lado, los karts eléctricos eliminan las emisiones directas y pueden cargarse con fuentes de energía renovable, lo que reduce su impacto ambiental. Otro aspecto clave es la contaminación acústica. Mientras que los karts de combustión interna producen altos niveles de ruido debido al funcionamiento del motor y el sistema de escape, los karts eléctricos operan con un nivel sonoro considerablemente más bajo, lo que permite su uso en entornos urbanos sin generar molestias.

Tabla 15

Comparación de Impacto Ambiental

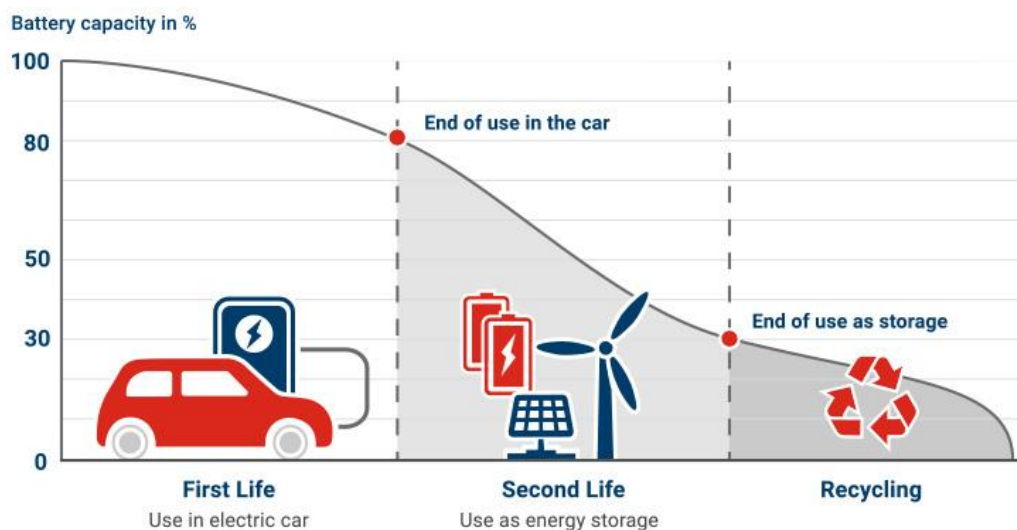
Parámetro	Kart de Combustión Interna	Kart Eléctrico
Emisiones de CO ₂	Alta	Nula
Emisiones de NO _x y partículas	Alta	Nula
Consumo de recursos fósiles	Alto	Bajo
Contaminación acústica	Alta	Baja
Huella de carbono	Elevada	Reducida

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, las baterías de iones de litio no se deterioran de repente, la capacidad de estas se degrada gradualmente (la vida media es entre 8 a 15 años). El final de la vida útil de una batería se considera cuando su capacidad baja entre un 70% - 80% de su capacidad original, en este punto las baterías ya no son óptimas para la tracción de un kart, aun así, tiene la suficiente capacidad para aplicaciones menos exigentes, como almacenamiento de energía estática, así podría seguir en servicio alrededor de 8 años más teniendo en cuenta el mantenimiento y cuidados.

Figura 27

Imagen del Ciclo de vida de una batería



Nota. Tomada de: 5 iniciativas de Second Life Battery - Emotion. (s. f.).
<https://emotion.green/blog/iniciativas-second-life-battery/>

12.2. PROCESO DE DESECHO Y RECICLAJE DE BATERÍAS

El desecho de las baterías es un proceso especial, requiere un reproceso especializado debido a los diferentes materiales que resultan útiles o peligrosos, el proceso general de reciclaje consta de:

- Recolección.
- Desmantelamiento.

- Separación de componentes (pirometalurgia, hidrometalurgia, reciclaje directo).

Se tiene presente que el Kart de combustión interna tiene un impacto directo y constante de emisiones durante su fabricación y operación, para el caso del Kart eléctrico el impacto es principalmente al momento de la fabricación (principalmente las baterías) y al final de su vida útil, el reciclaje y reacondicionamiento de los componentes de las baterías resulta obligatorio para la protección del medio ambiente ya que un mal manejo de las baterías puede afectar significativamente los suelos y las fuentes hídricas por sus materiales de fabricación (cobalto, níquel, manganeso, electrolito). Aunque Colombia no cuenta con regulaciones específicas en términos de economía circular sería importante generar responsabilidad ambiental y conciencia social.

12.3. ANÁLISIS DE COSTOS DE CONVERSIÓN

La conversión de un kart de combustión interna a eléctrico implica una inversión inicial significativa, pero presenta menores costos operativos y de mantenimiento a largo plazo. El costo del sistema eléctrico, compuesto por el motor, las baterías y el controlador, representa la mayor parte del gasto. Sin embargo, la reducción en costos de combustible y mantenimiento justifica la inversión inicial en pocos años. El siguiente análisis desglosa los principales costos asociados con la conversión:

Tabla 16

Costos de conversión a kart eléctrico

Concepto	Costo Aproximado (USD)
Motor eléctrico	200 - 1,000
Batería de iones de litio	500 - 1,500
Controlador y sistema BMS	400 - 1,500
Adaptaciones al chasis	100 – 1,000

Mano de obra	400 - 500
Total, estimado	1,600 – 5,500

Fuente: Elaboración Propia

Además del costo de conversión, el mantenimiento de los karts eléctricos es más económico en comparación con los de combustión interna. Los motores eléctricos no requieren cambios de aceite ni ajustes frecuentes, y la durabilidad de las baterías permite un uso prolongado antes de necesitar reemplazo. A continuación, se comparan los costos de mantenimiento anuales de ambas tecnologías.

Tabla 17

Comparación de Costos de Mantenimiento

Concepto	Kart de Combustión (USD/año)	Kart Eléctrico (USD/año)
Cambio de aceite y filtros	50 - 150	No aplica
Mantenimiento del motor	250 - 500	50 - 100
Sustitución de baterías	No aplica	500 – 1,500 (cada 5 años)
Costo de carga eléctrica	200-300	50 - 150
Total, estimado	500 - 950	200 - 550

Fuente: Elaboración Propia

La amortización de la inversión en un kart eléctrico depende de su uso y del costo de la electricidad en cada región. En promedio, la recuperación de la inversión se estima entre 2 y 5 años, dependiendo de los costos operativos y la frecuencia de uso.

12.4. ANÁLISIS DE COSTOS PARA UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA

El análisis de costos para una empresa que busca adquirir los karts convencionales y realizar la transformación para un volumen específico de unidades, se debe tener presente el costo base:

Tabla 18

Costos previstos para empresa comercializadora

Ítem	Valor USD
Precio de compra del kart sin modificar	500 - 1500
Costos de importación en Colombia (si aplica) Arancel 10%, IVA 19%	Arancel: $1000 * 10\% = 100$ IVA: $(1100) * 19\% = 209$ Total, de impuestos: $100 + 209 = 309$
Costes de transporte interno hasta el taller	50 - 100
Total	1384≈1400

Fuente: Elaboración Propia

Junto a los costos de adquisición se deben tener presentes los costos de conversión individual, planteados en la tabla 13 y los de mantenimiento de la tabla 14, con esto presente se consideran valores promedio:

Tabla 19

Costos generales

Ítem	Valor USD
Adquisición de kart base	1400
Conversión	3550
Mano de obra	450
Gastos generales (Servicios. Herramientas, supervisión, alquiler, etc.)	$10\% * (1400+3550+450) = 540$
Total	5940

Fuente: Elaboración Propia

Si se quiere realizar una producción anual de 20 unidades anuales, el costo total de producción sería de aproximadamente \$ 118,800 USD/año. Para cubrir el costo total por unidad, teniendo presente la competencia y los karts que ofrece el mercado se debe tomar un margen de utilidad entre 25% - 40%

Tabla 20

Precio de venta sugerido con un margen de utilidad bruto del 30%	$PVP = \$5940 / (1 - 0.3)$ \$8485.71 USD/Unidad
Margen de utilidad	$MU = \$8485.71 - \$5940 = \$2545.71\text{USD}$
Proyección de ingresos anuales (20 unidades)	$IP = \$8485.71 * 20 = \$169714.20 \text{ USD/año}$

Fuente: Elaboración Propia

Se debe considerar solo los ingresos proyectados por ventas menos el costo de producción anual, que será el estimado para gastos de operación así la ganancia bruta anual, sin tener en cuenta costes administrativos, marketing, y demás) sería de aproximadamente:

$$\$169714.20 - \$118800 = \$50914.20 \text{ USD}$$

Teniendo presente la fecha de realización de este documento en Colombia el impuesto de renta para las Pymes es del 27% (la tasa no se ajusta a beneficios o incentivos) entonces:

$$\text{Impuestos} = \$50914.20 * 0.27 = \$13746.83\text{USD}$$

Con esto el flujo de caja neto anual sería aproximadamente de:

$$\$50914.20 - \$13746.83 = \$37167.37 \text{ USD}$$

Si se requiere montar la operación se deben tener presente las inversiones fijas o gastos únicos al inicio de la operación:

Tabla 21

Ítems	Estimados en USD
Diseño y desarrollo: es conveniente desarrollar o estandarizar un kit de conversión que incluya planos, prototipos y pruebas iniciales.	5000
Herramientas	7000
Adecuaciones del taller o planta	3000
Capital de trabajo inicial: Financiamiento inicial para la compra de karts base y	15000

componentes, antes de que se obtengan los primeros ingresos.	
Total, inversión inicial fija	30000

Fuente: Elaboración Propia

Si una empresa que busca comercializar 20 karts eléctricos convertidos, la inversión inicial se fija en aproximadamente \$30000 USD. Cada Kart convertidos tiene un costo de producción total de \$5940 USD, con un precio de venta de \$8485.71 USD, que ofrece un margen bruto de 30%, se proyectan ingresos anuales de \$169.714 USD y con un flujo de caja aproximado de \$37167.37 USD se estima un periodo de recuperación de $\$30000/\$37167.37=0.8$ años. Con estas estimaciones se prevé que la inversión inicial será recuperada en aproximadamente 8 meses, así se demuestra la viabilidad económica del modelo de negocio, permitiendo que se generen ganancias significativas a partir del primer año de operación en este volumen.

12.5. BENEFICIOS PARA EL MERCADO DE ALQUILER Y ENTRETENIMIENTO

El mercado de karts de alquiler se ha visto beneficiado por la adopción de vehículos eléctricos, no solo por la reducción en costos operativos, sino también por las ventajas ambientales y de experiencia para los usuarios. Los karts eléctricos son más silenciosos, lo que permite su uso en espacios cerrados o urbanos sin restricciones por ruido. Además, la menor cantidad de mantenimiento y la ausencia de combustible inflamable hacen que la operación sea más segura. El aumento de la demanda de soluciones ecológicas también ha impulsado el interés en circuitos de karting eléctricos, atrayendo a clientes conscientes del medio ambiente. Esta tendencia no solo mejora la imagen corporativa de los negocios de alquiler, sino que también amplía su mercado potencial.

El análisis de impacto ambiental y económico demuestra que la conversión de karts de combustión a eléctricos es una solución viable y sostenible. Desde una perspectiva ambiental, los karts eléctricos eliminan las emisiones de gases contaminantes y reducen

significativamente la contaminación acústica. En términos económicos, aunque la inversión inicial es mayor, los menores costos de mantenimiento y operación permiten recuperar la inversión en pocos años, generando beneficios a largo plazo. Para el sector de alquiler y entretenimiento, los karts eléctricos ofrecen una alternativa más rentable y atractiva, alineada con las tendencias globales de movilidad sostenible. Con base en estos hallazgos, se concluye que la transición hacia karts eléctricos representa una oportunidad de innovación y competitividad dentro del sector.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La conversión de un kart de combustión interna a un modelo eléctrico ha demostrado ser una alternativa viable y sostenible dentro del ámbito del karting de entretenimiento y competición. A lo largo del desarrollo de este proyecto, se ha logrado diseñar, ensamblar y evaluar un prototipo funcional, obteniendo resultados satisfactorios en términos de desempeño, eficiencia y seguridad. Desde una perspectiva ambiental, los karts eléctricos eliminan las emisiones de gases contaminantes y reducen significativamente la contaminación acústica, permitiendo su operación en entornos urbanos y cerrados.

A nivel económico, aunque la inversión inicial es más elevada que en un kart de combustión, los costos de mantenimiento y operación son considerablemente menores, permitiendo la recuperación de la inversión en un período de dos a cinco años, dependiendo del uso y las tarifas de electricidad. En términos de rendimiento, el kart eléctrico desarrollado ha alcanzado una velocidad máxima de veinte kilómetros por hora, con una aceleración de cero a máxima velocidad por hora en 3 segundos, manteniendo una autonomía aproximada de cincuenta minutos con una sola carga. Estos valores lo posicionan como una opción competitiva dentro del mercado de alquiler y entretenimiento, sin comprometer la experiencia del usuario en comparación con los modelos de combustión.

El sistema de seguridad del kart ha sido diseñado conforme a estándares internacionales, incorporando frenos de disco hidráulicos, distribución optimizada del peso y sistemas de protección eléctrica, garantizando la protección del piloto y la estabilidad del vehículo en diferentes condiciones de conducción. Además, la evaluación del impacto ambiental y económico ha confirmado que la electrificación del karting representa una solución alineada con las tendencias globales de movilidad sostenible. La posibilidad de integrar fuentes de energía renovable para la recarga de baterías refuerza aún más su viabilidad como una alternativa ecológica en la industria.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la implementación de karts eléctricos es un paso crucial hacia la modernización del karting, permitiendo un modelo de negocio más eficiente, rentable y sostenible. Para futuras iteraciones y mejoras del diseño del kart eléctrico, se recomienda continuar explorando nuevas configuraciones de baterías con mayor capacidad energética y sistemas de gestión de carga más eficientes para ampliar el tiempo de operación del kart. Asimismo, la reducción del peso total del vehículo mediante la implementación de materiales más ligeros y resistentes en la fabricación del chasis y componentes estructurales contribuiría a mejorar su eficiencia y rendimiento.

La integración de un sistema de frenado regenerativo podría optimizar aún más la autonomía del kart sin necesidad de incrementar la capacidad de la batería. Adicionalmente, el desarrollo de infraestructura de carga rápida facilitaría la operatividad en entornos de alquiler y competencia, reduciendo los tiempos de recarga y aumentando la disponibilidad de los vehículos. También se sugiere evaluar la viabilidad de adaptar el diseño a diferentes configuraciones, permitiendo su aplicación en múltiples categorías de karting, desde el karting recreativo hasta el competitivo. La implementación de sensores y telemetría en tiempo real permitiría monitorear el estado del vehículo, optimizar el consumo de energía y mejorar la experiencia de conducción.

Finalmente, para facilitar la adopción del kart eléctrico en el sector de entretenimiento, se recomienda realizar estudios de mercado detallados y diseñar estrategias comerciales que resalten sus beneficios frente a los modelos tradicionales. La introducción de karts eléctricos en el mercado presenta una gran oportunidad comercial, especialmente en el sector de alquiler y entretenimiento. Dado que los karts eléctricos ofrecen ventajas significativas en términos de mantenimiento, seguridad y reducción de emisiones, su adopción en kartódromos indoor y outdoor es altamente factible. Además, su escalabilidad permite expandir su uso a competencias semiprofesionales y eventos especializados, brindando un espacio para la innovación tecnológica en el karting.

La creciente regulación ambiental en el ámbito del transporte y el automovilismo también puede impulsar la adopción de estos vehículos en el mediano plazo. Finalmente, la conversión de karts de combustión a eléctricos representa una alternativa económica y ecológica que puede ser implementada progresivamente en diferentes mercados. Con el desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de costos, los karts eléctricos tienen el potencial de convertirse en el nuevo estándar dentro del karting moderno, promoviendo una movilidad más eficiente y sostenible.

14. PLANOS Y ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

Calderón, H. (2019). Estudio de prefactibilidad para la instalación de un kartódromo sostenible. Universidad de Lima. Recuperado de <https://repositorio.ulima.edu.pe>

European Electric Kart Championship. (2022). Electric karting competitions in Europe. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_go-kart

Federación Internacional del Automóvil (FIA). (2023). Reglamento técnico de karting 2023. Recuperado de <https://www.fiakarting.com/page/technical-regulations>

Federación Internacional del Automóvil (FIA). (2024). Regulaciones técnicas del karting.

Fernández, R. (2020). Plan de negocio para una pista de karting indoor con karts eléctricos. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de <https://e-archivo.uc3m.es>

Gómez, J. (2015). Construcción de un kart eléctrico y caracterización de su freno. Universidad de los Andes. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co>

Gualán, J. (2021). Análisis de las prestaciones de un sistema fotovoltaico para la recarga de un kart eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec>

Hernández, C. (2021). Optimización aerodinámica en karts eléctricos de competición. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es>

International Organization for Standardization (ISO). (2022). ISO 4948-1:2022: Steels — Classification — Part 1. Recuperado de <https://www.iso.org>

Lancharro, C. (2015). Diseño mecánico de un kart eléctrico. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu>

Martínez, A. (2018). Comparación del rendimiento de baterías de ion-litio y níquel en karts eléctricos. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Recuperado de <https://repositorio.uaa.mx>

Real Federación Española de Automovilismo (RFEDA). (2023). Reglamento Técnico CEK 2023. Recuperado de https://www.rfeda.es/docs/pdf/reglamentos/10_cek

Sánchez, J., & López, M. (2022). Diseño y estudio de chasis para kart eléctrico de competición. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu>

Zaragoza, F. (2019). Diseño de un kart eléctrico con sistema de control remoto. Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es>

5 iniciativas de Second Life Battery. (s/f). Emotion.green. Recuperado el 27 de julio de 2025, de <https://emotion.green/blog/iniciativas-second-life-battery/>

Bramich, A. (2022, diciembre 28). *Second life electric vehicle batteries.* Connected Energy. <https://connected-energy.co.uk/about-us/second-life-ev-batteries/>

Qué es la batería de segunda vida: significado y proceso. (s/f). Enel X. Recuperado el 27 de julio de 2025, de <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-second-life-battery>

Ramírez, D. (2023, octubre 17). Economía circular y reciclaje de baterías de vehículos eléctrico. *Enerlink.com*. <https://blog.enerlink.com/economia-circular-y-reciclaje-de-baterias-de-vehiculos-electricos>

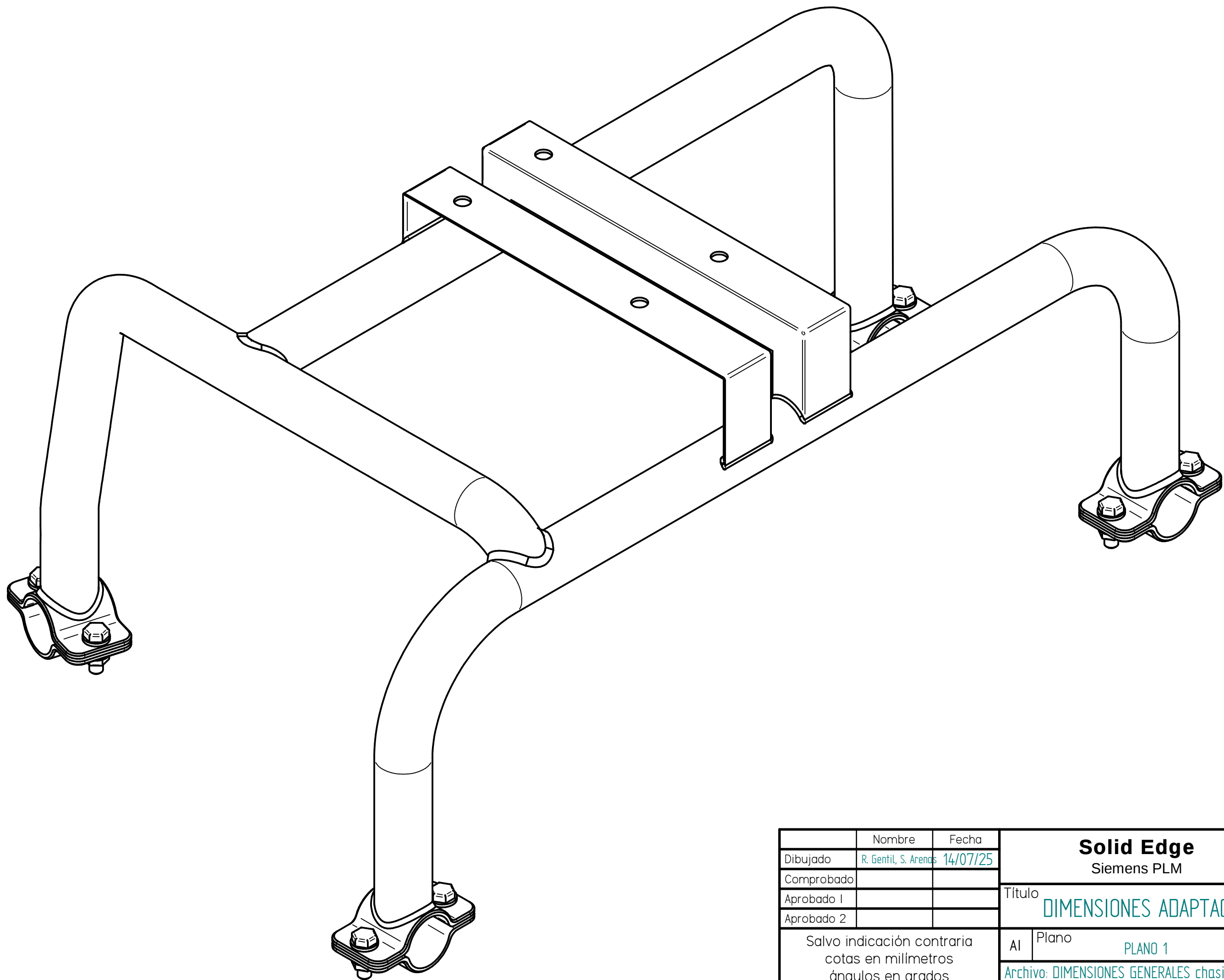
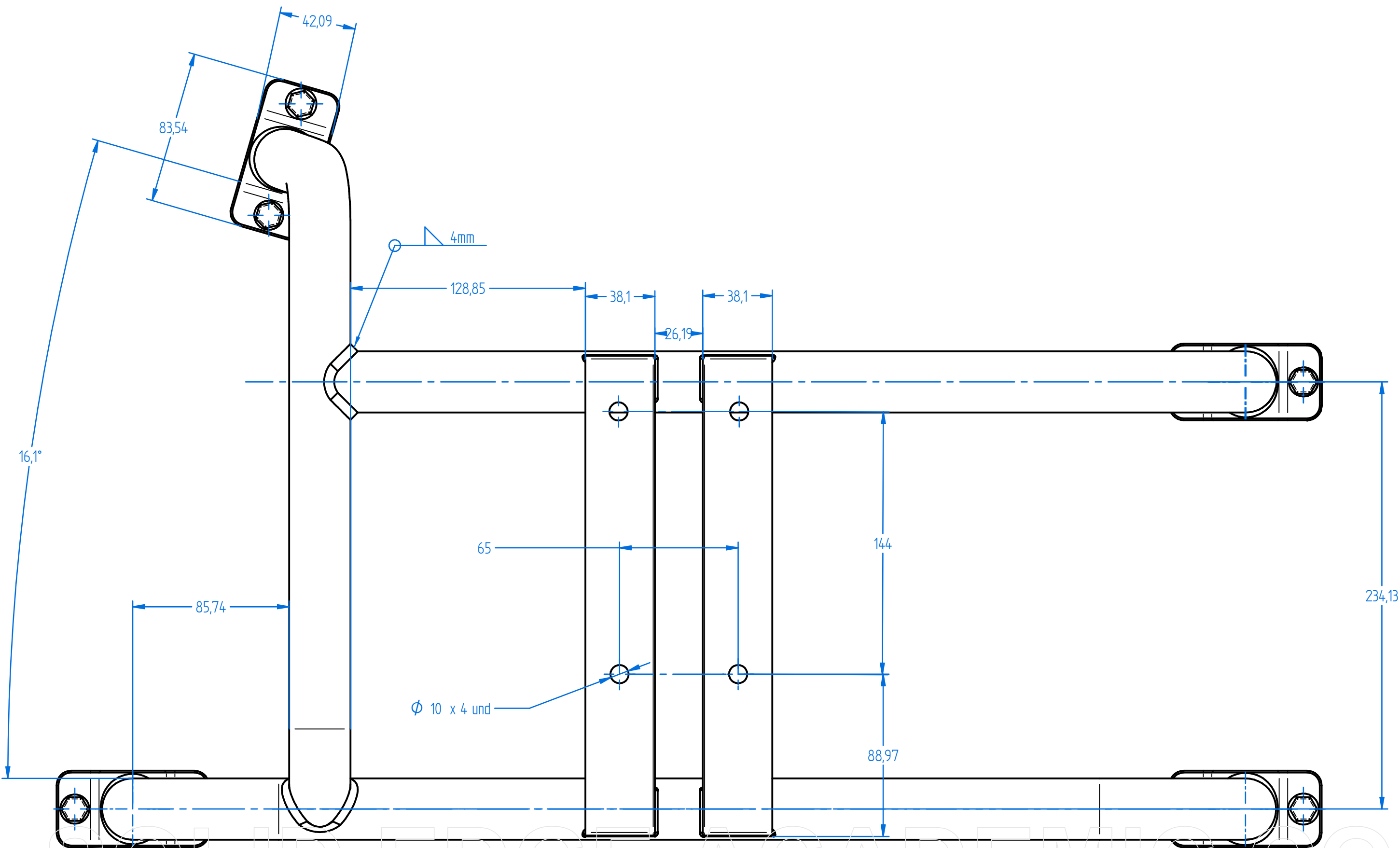
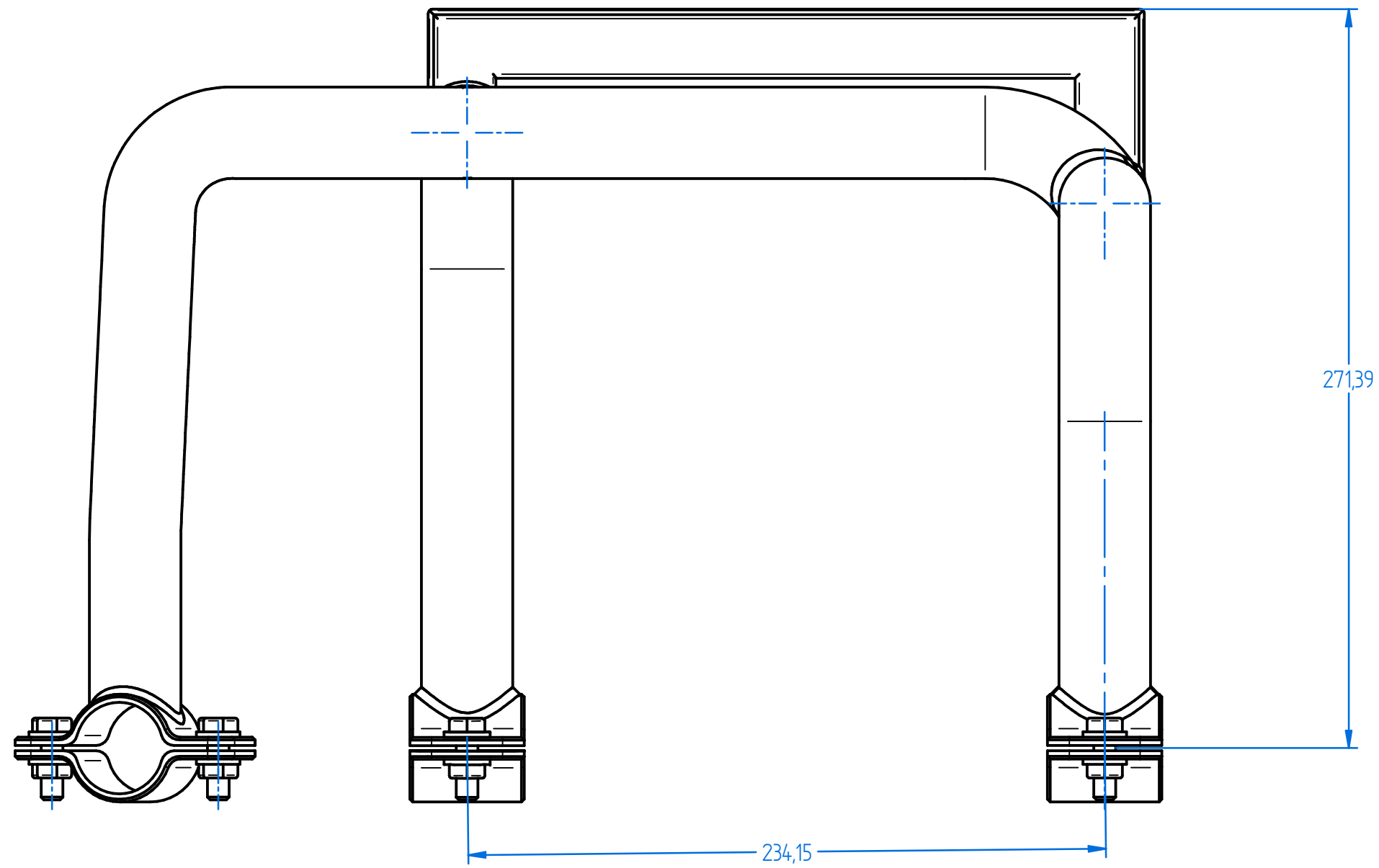
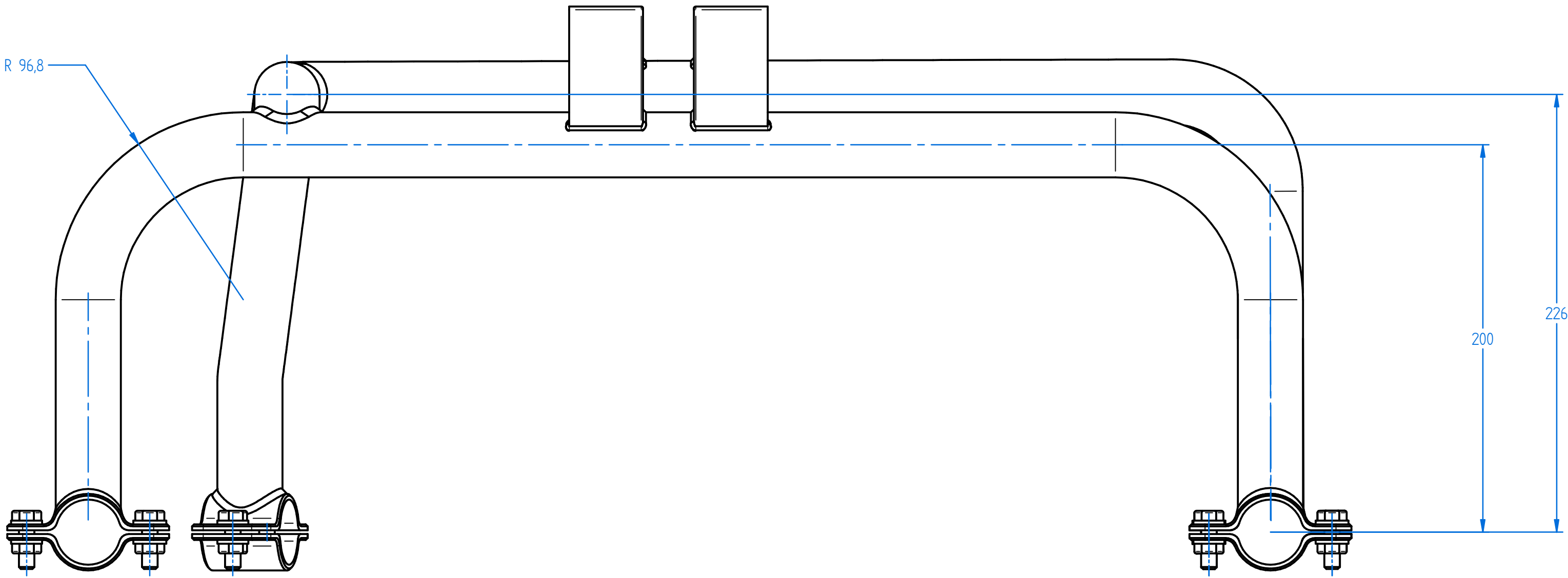
Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8a ed.). McGraw-Hill.

FIA Karting Technical Regulations 2024. Commission Internationale de Karting – Fédération Internationale de l'Automobile (CIK-FIA).

UNE-EN ISO 6469-1:2023. Electric road vehicles — Safety specifications — Part 1: Rechargeable energy storage system (RESS).

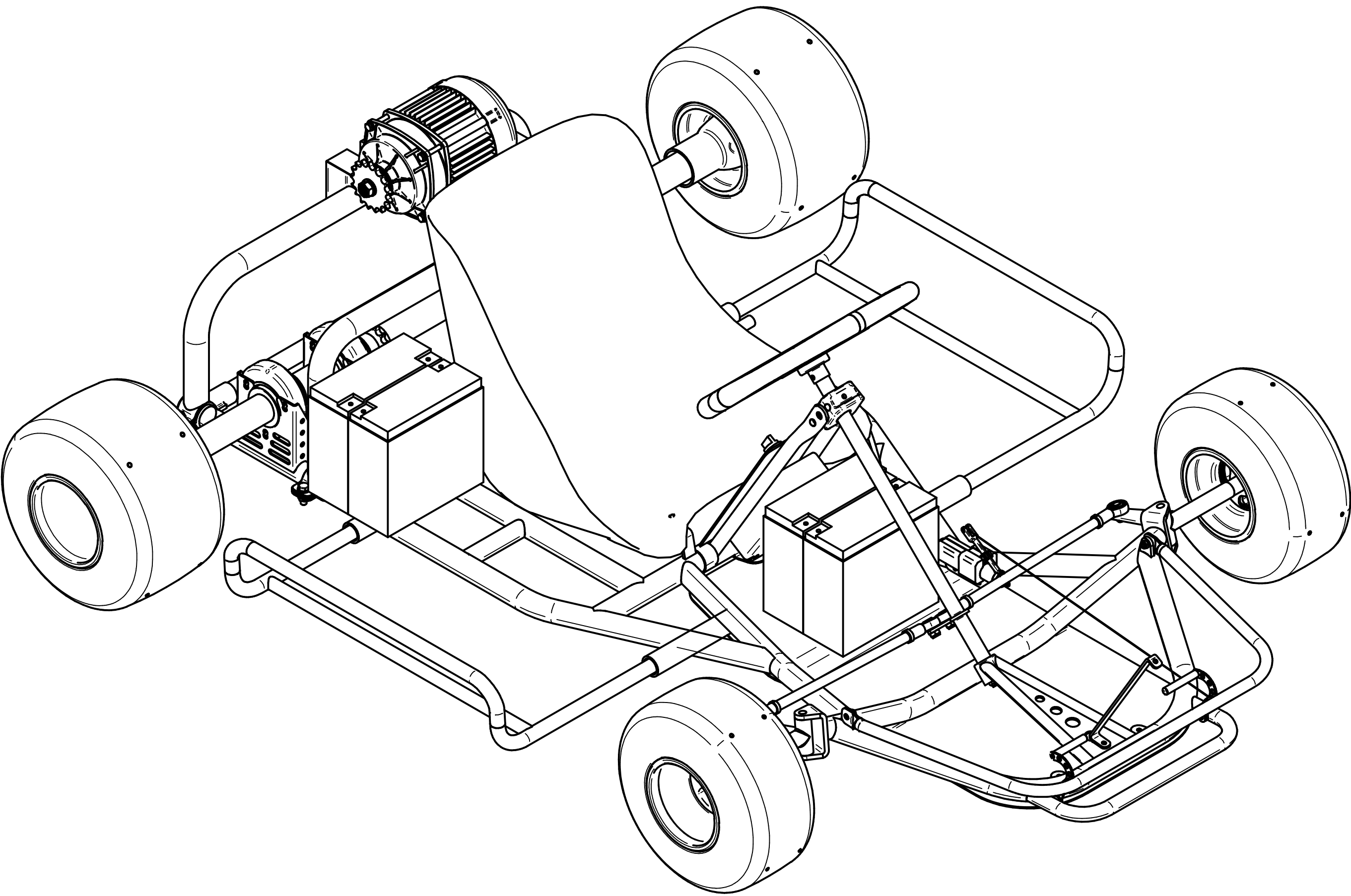
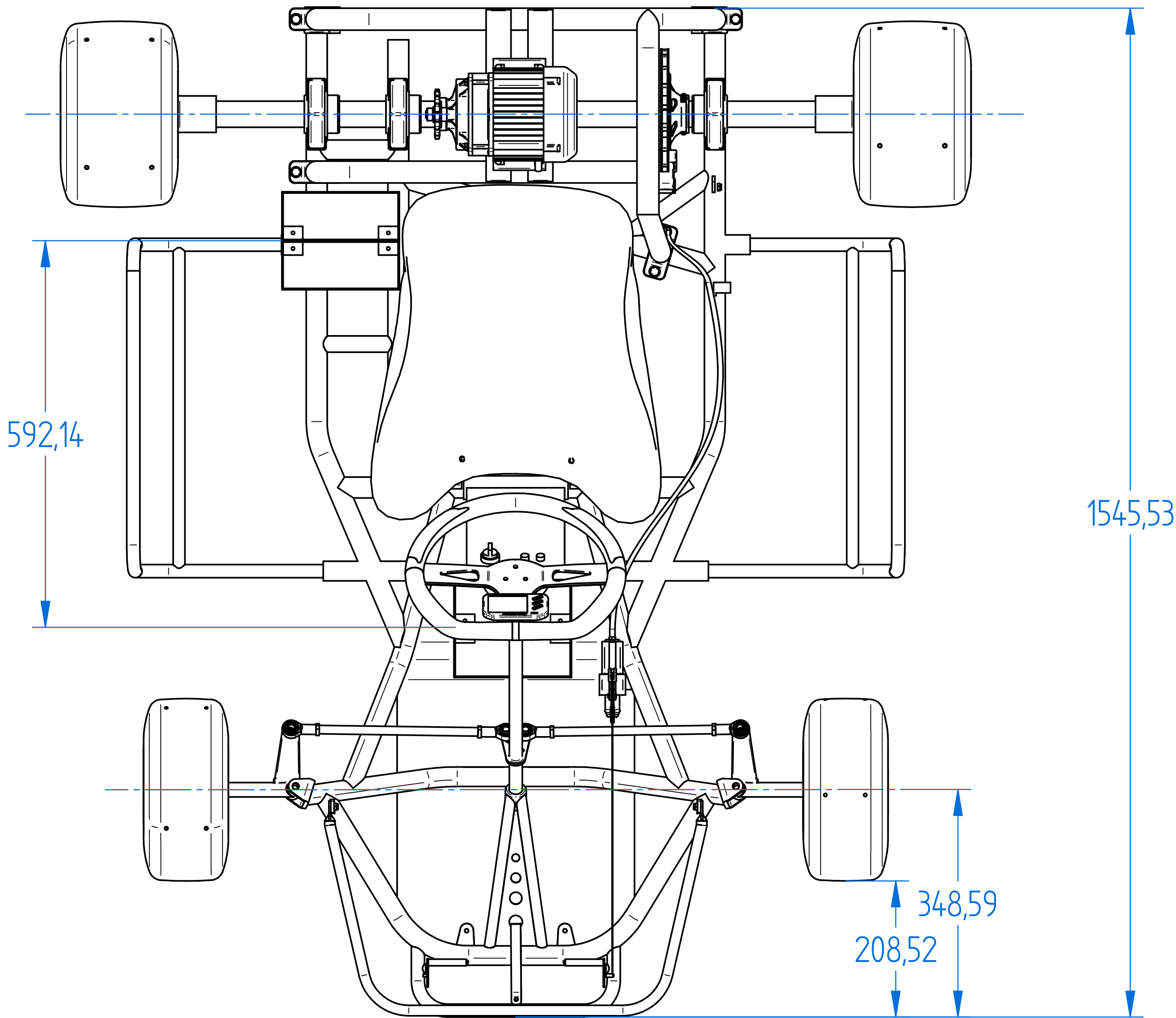
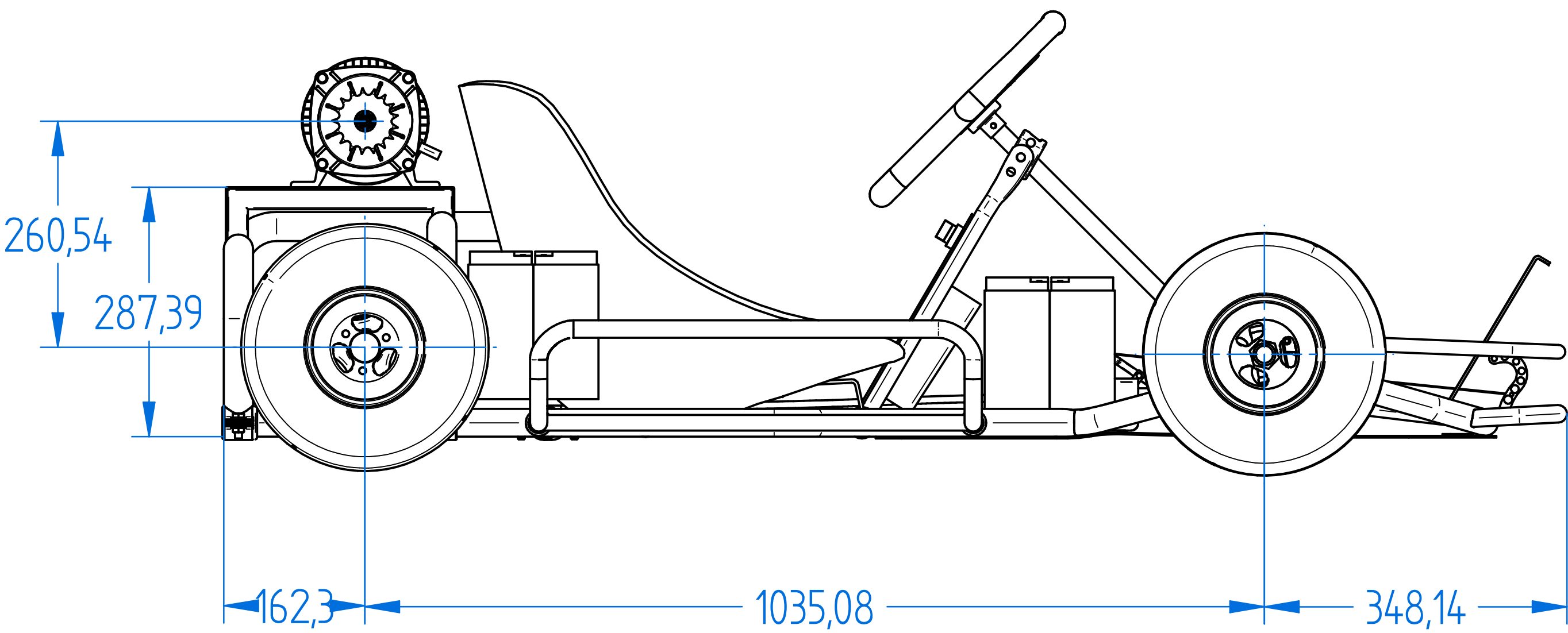
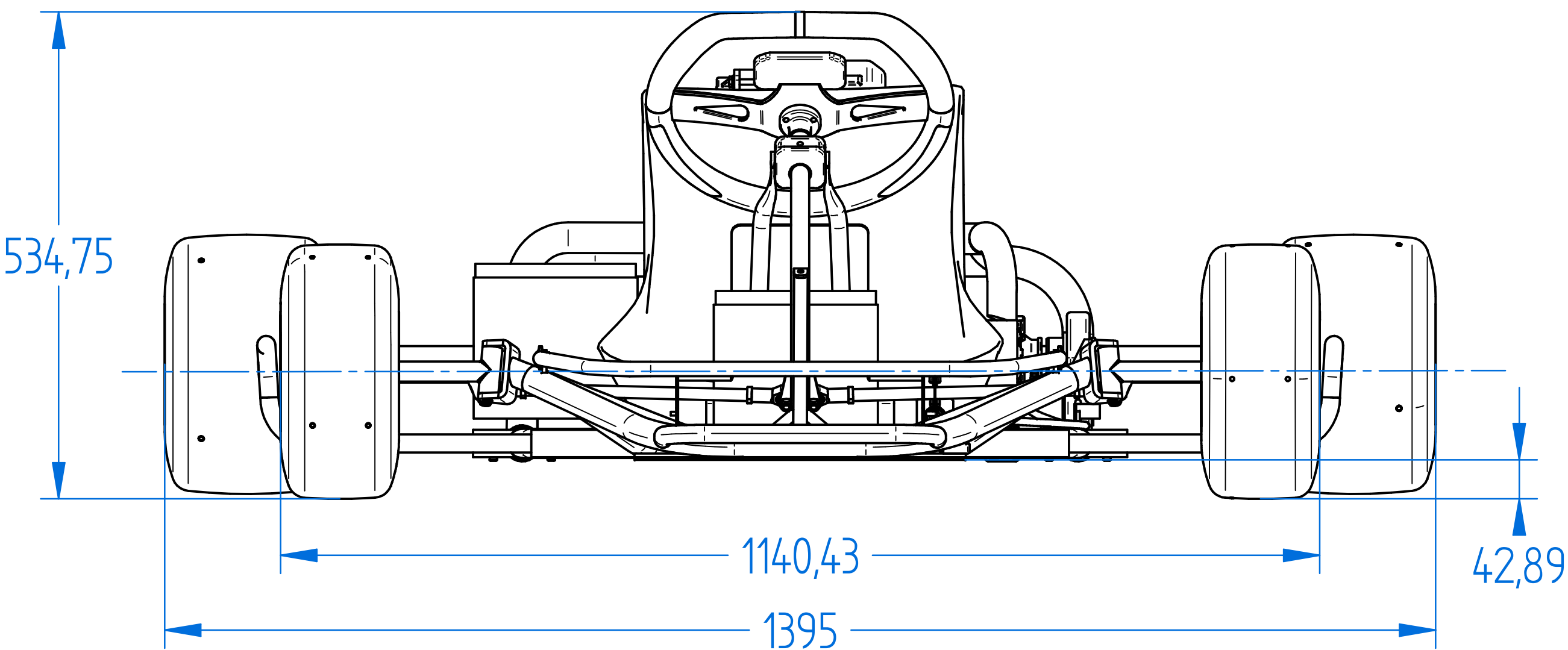
SAE J1766. Electric and Hybrid Electric Vehicle Battery Systems Crash Integrity Testing.
Society of Automotive Engineers.

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	Solid Edge	
R. Genil, S. Arenas	14/07/25	Siemens PLM	
Comprobado		Título	
Aprobado 1		DIMENSIONES ADAPTACIÓN	
Aprobado 2		Rev	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		Al	Plano
		Archivo: DIMENSIONES GENERALES chasis adaptacion.dft	
		Escala 1:5	Peso
		Hoja 1 de 1	

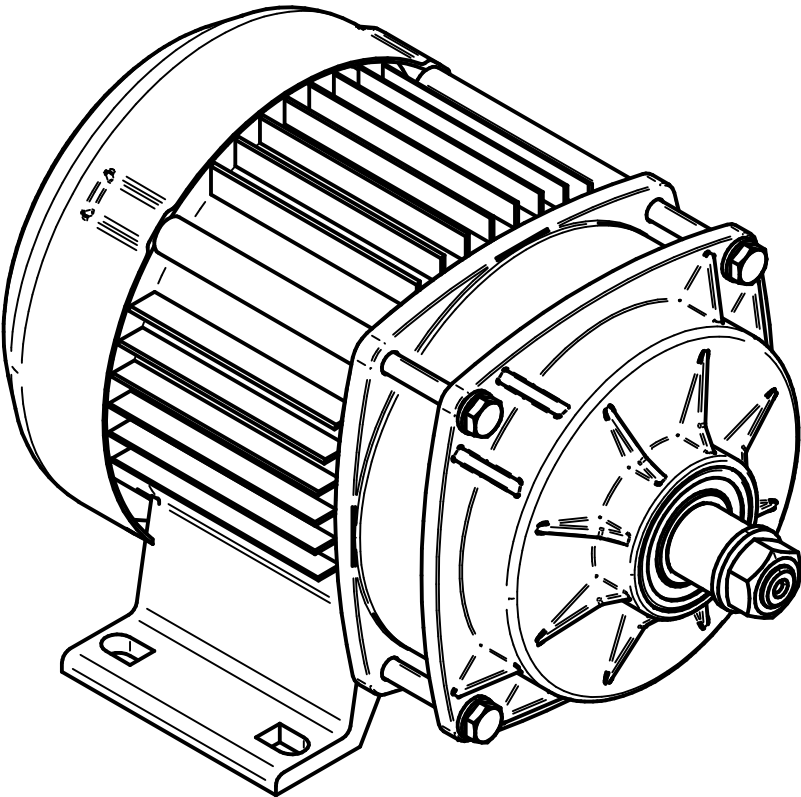
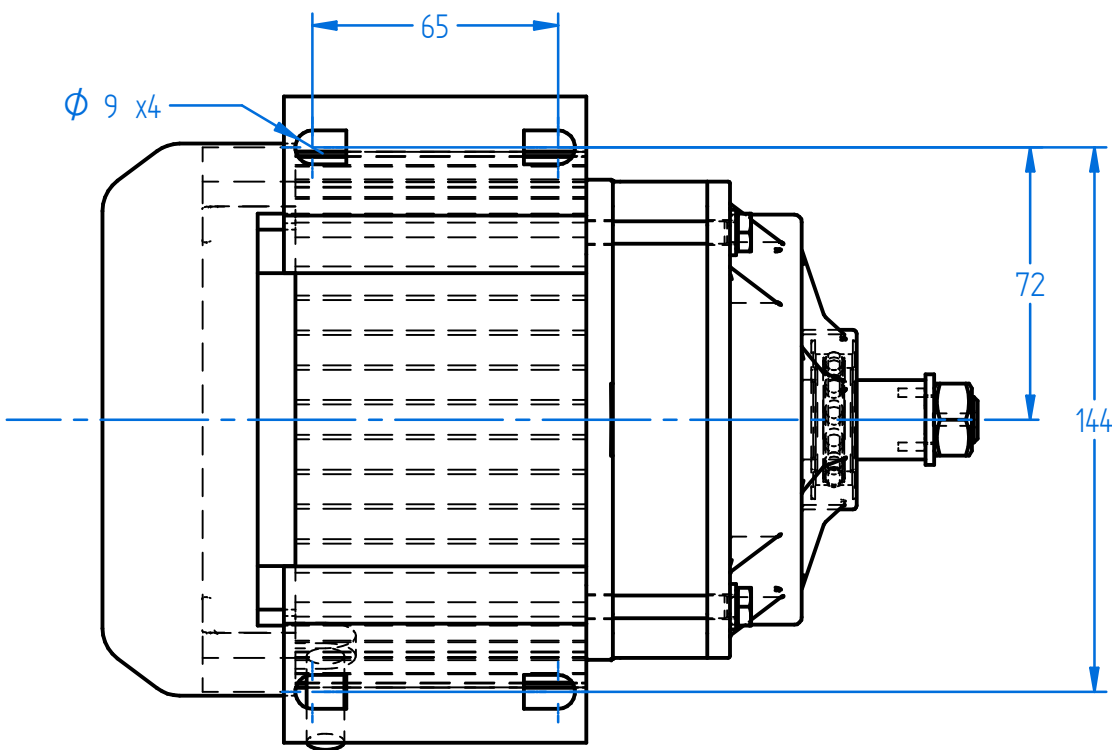
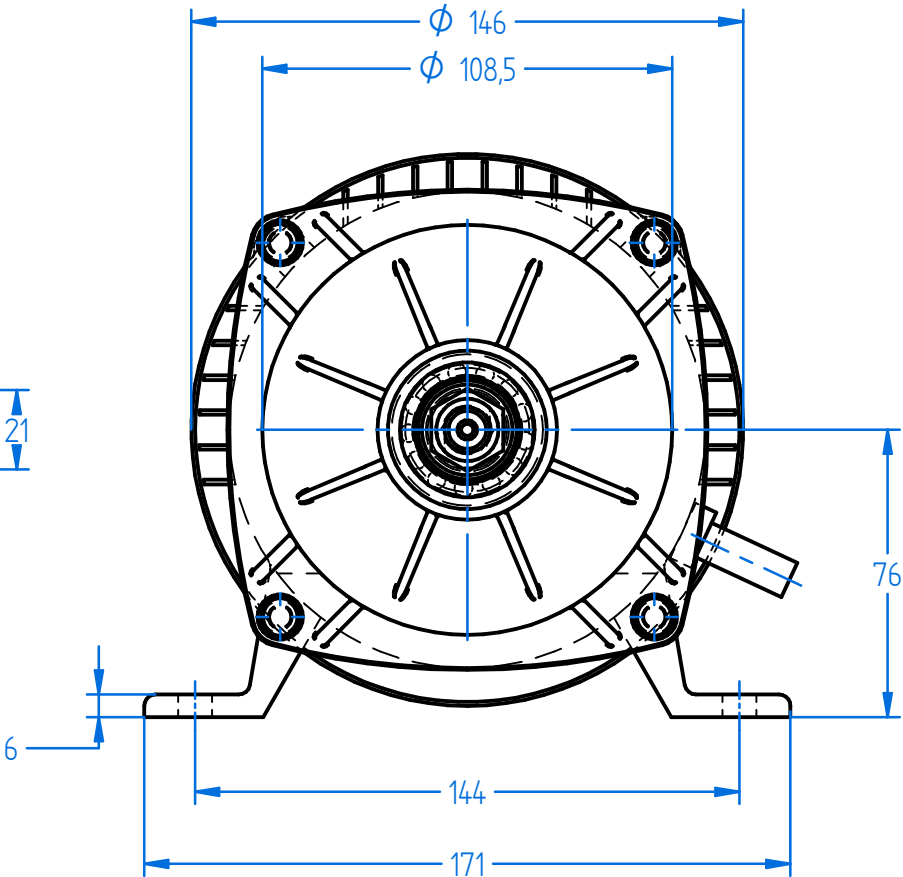
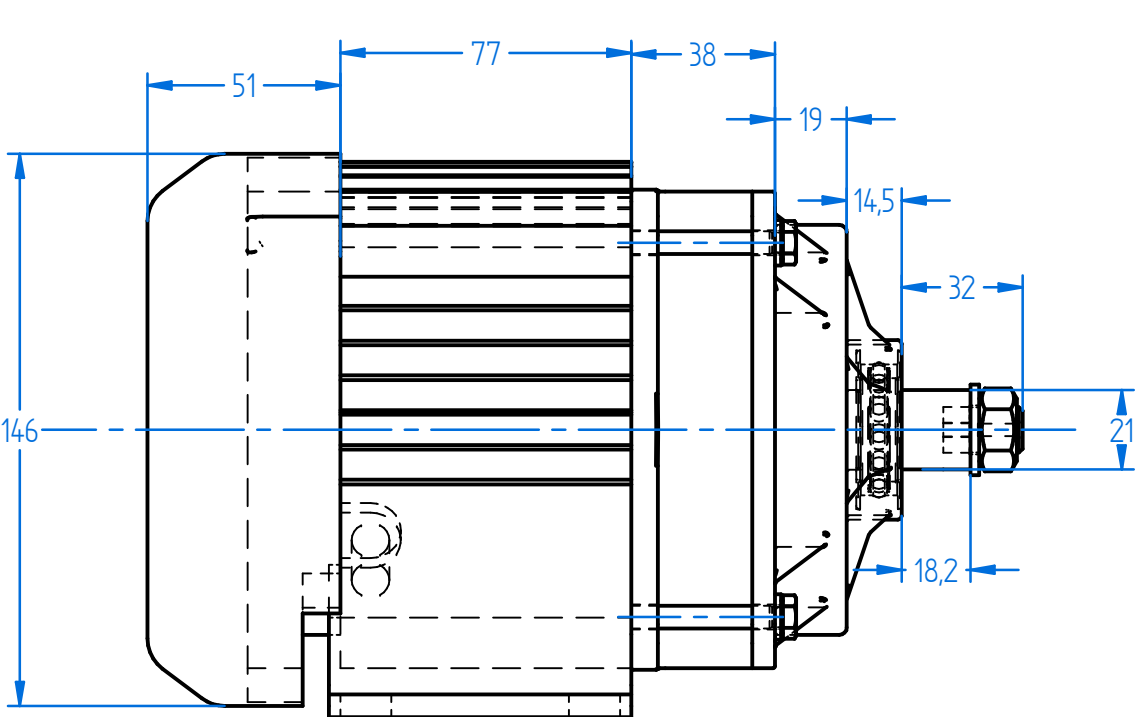
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Nombre	Fecha	Solid Edge	
Dibujado	R. Gentil, S. Arendt	Siemens PLM	
Comprobado		Título	
Aprobado 1		DIMENSIONES GENERALES	
Aprobado 2		Rev	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		Al	Plano
		Archivo:	PLAN0 1
		Escala 1:5	Peso
		Hoja 1 de 1	

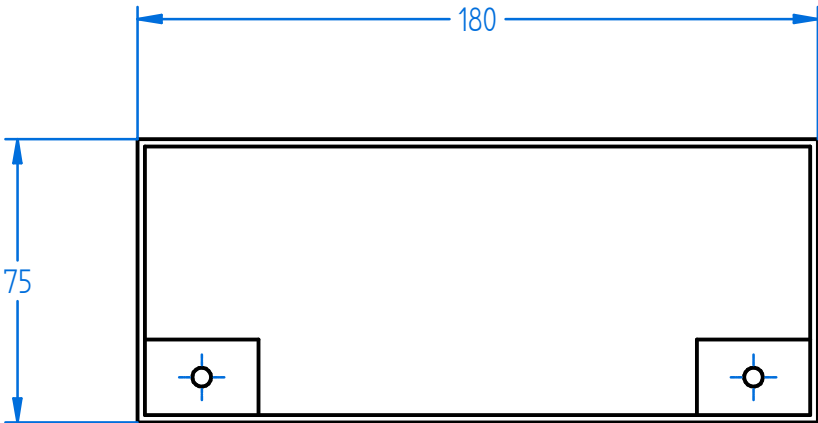
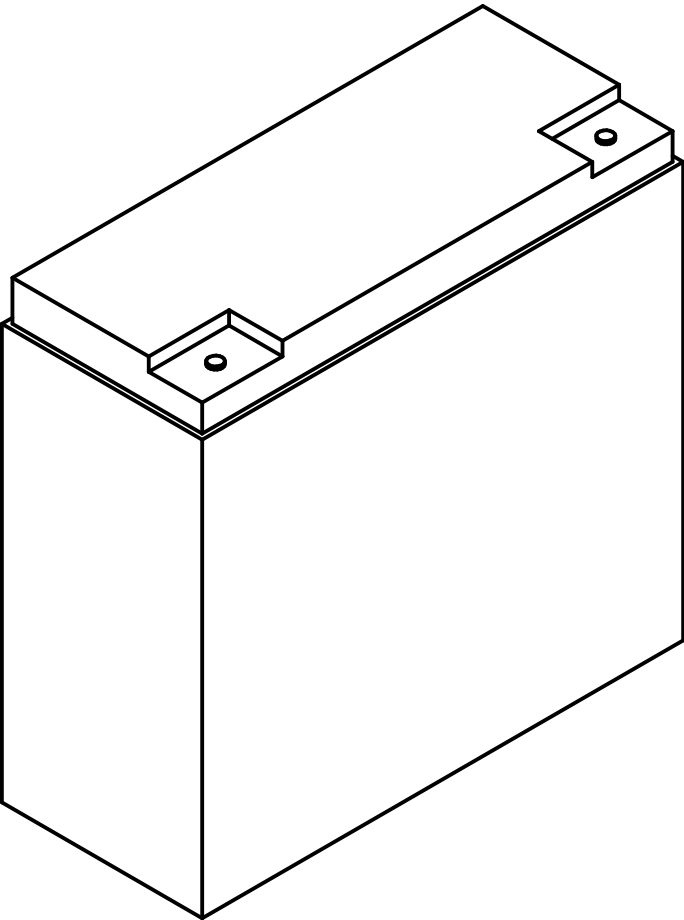
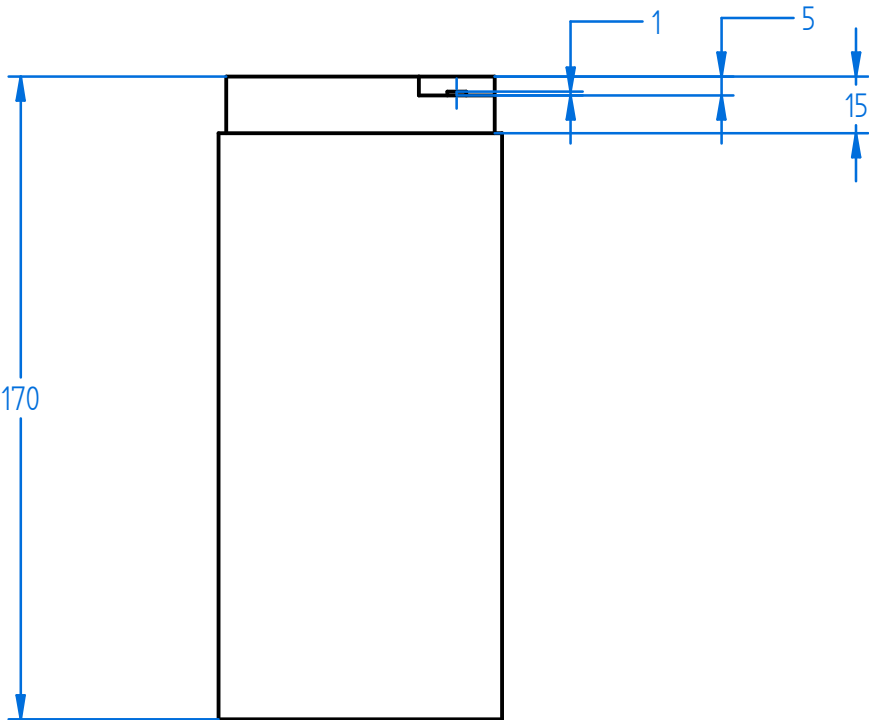
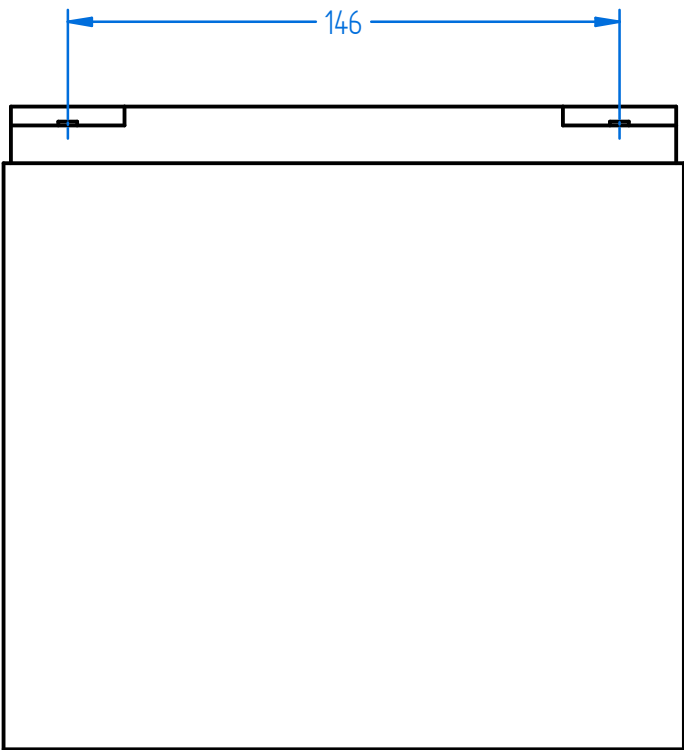
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	Solid Edge Siemens PLM		
Dibujado	R. Gentil, S. Arenas	14/07/25			
Comprobado			Título DIMENSIONES MOTOR		
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			A3	Plano PLANO 2	Rev
			Archivo: MOTOR.dft		
			Escala 1:2	Peso	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	Solid Edge Siemens PLM	
Dibujado	R. Gentil, S. Arenas	14/07/25		
Comprobado			Título DIMENSIONES BATERIAS	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º			A3	Plano PLANO 3
			Archivo: BATERIA.dft	
			Escala 1:2	Peso Hoja 1 de 1

INFORME SIMULACIÓN ESFUERZOS CHASIS ADAPTACIÓN

Empresa

Universidad Santotomas

Autor

R. Gentil, S. Arenas

Fecha

miércoles, 17 de septiembre de 2025

Programa informático utilizado

Solid Edge (225.00.01.004 x64)

Femap (2401.0.0)

Solver utilizado

NX Nastran (2312.0)

Contenido

1. [Introducción](#)
2. [Información sobre el modelo](#)
3. [Propiedades del estudio](#)
4. [Geometría del estudio](#)
5. [Propiedades del material](#)
6. [Sustituciones de propiedad](#)
7. [Cargas](#)
8. [Restricciones](#)
9. [Conectores](#)
10. [Información sobre mallado](#)
11. [Resultados](#)
12. [Optimizaciones](#)
13. [Conclusión](#)
14. [Descargo de responsabilidad](#)

1. Introducción

2. Información sobre el modelo

Documento	- D:\USTA\2024-1\PROYECTO DE GRADO\Diseño CAD\Ensamble\Ensamble chasis kart para soldadura.asm
-----------	--

3. Propiedades del estudio

Propiedad del estudio	Valor
Nombre del estudio	Estudio estático 1
Tipo de estudio	Estático lineal
Tipo de mallado	Cuerpos mixtos y generales
Solver iterativo	Desactivado
Verificación de geometría de NX Nastran	Solo advertencia
Línea de comandos de NX Nastran	
Opciones de estudio de NX Nastran	
Opciones generadas de NX Nastran	
Opciones predeterminadas de NX Nastran	
Opción Solamente los resultados de superficie	Activado

4. Geometría del estudio

4.1 Sólidos

Nombre del sólido	Material	Masa	Volumen	Peso
Angular 56	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
barra2.1.par:1	Acero (Ocurrencia)	1,228 kg	156723,581 mm^3	12030,635 mN
acoplemetal.par:3	Acero (Ocurrencia)	0,318 kg	40610,756 mm^3	3117,420 mN
acoplemetal.par:4	Acero (Ocurrencia)	0,318 kg	40610,756 mm^3	3117,420 mN
acoplemetal.par:1	Acero (Ocurrencia)	0,318 kg	40610,756 mm^3	3117,420 mN
barra1.par:1	Acero (Ocurrencia)	1,414 kg	180518,709 mm^3	13857,230 mN
acoplemetal.par:2	Acero (Ocurrencia)	0,318 kg	40610,756 mm^3	3117,420 mN
barra3.par:1	Acero (Ocurrencia)	1,557 kg	198775,282 mm^3	15258,666 mN
Motor ilustrativo.par:1	Aluminio, 1060 (Ocurrencia)	7,300 kg	2691921,434 mm^3	71544,811 mN
Perfil L base motor.par:1	Acero (Ocurrencia)	0,315 kg	40156,696 mm^3	3082,565 mN
Perfil L base motor_mir.par:1	Acero (Ocurrencia)	0,315 kg	40155,408 mm^3	3082,466 mN
Angular 47	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 48	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 49	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 50	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 51	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 52	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 53	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 54	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN
Angular 55	Acero (Predeterminado)	0,000 kg	0,000 mm^3	0,000 mN

5. Propiedades del material

5.1 Acero

Propiedad	Valor
Densidad	7833,000 kg/m ³
Coefficiente de expansión térmica	0,0000 /C
Conductividad térmica	0,032 kW/m-C
Calor específico	481,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	199947,953 MPa
Coefficiente de Poisson	0,290
Límite elástico	262,001 MPa
Tensión de rotura	358,527 MPa
% de elongación	0,000

5.2 Aluminio, 1060

Propiedad	Valor
Densidad	2712,000 kg/m ³
Coefficiente de expansión térmica	0,0000 /C
Conductividad térmica	0,221 kW/m-C
Calor específico	920,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	68947,570 MPa
Coefficiente de Poisson	0,330
Límite elástico	27,579 MPa
Tensión de rotura	68,948 MPa
% de elongación	0,000

6. Sustituciones de propiedad

7. Cargas

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
Par 1	Par	20 N-m	Por entidad	Posición = (-0,12, 0,39, -1,03), Eje = (1,00, 0,00, 0,00)	

8. Restricciones

Nombre de restricción	Tipo de restricción	Grados de libertad
-----------------------	---------------------	--------------------

9. Conectores

9.1 Otros conectores

Nombre de conector	Tipo de conector	Distancia de búsqueda	Distancia de búsqueda mínima	Coefficiente de fricción estática	Valor de la penalización
Conector 1	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 2	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 3	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 4	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 5	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 6	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 7	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 8	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 9	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 10	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 11	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 12	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 13	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 14	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 15	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 16	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 17	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 18	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 19	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 20	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 21	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 22	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 23	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 24	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 25	Pegado	0,46 mm			100,00
Conector 26	Pegado	5,00 mm			100,00
Conector 27	Pegado	5,00 mm			100,00
Conector 28	Pegado	5,00 mm			100,00

9.2 Conectores empernados

Nombre de conector	Tipo de roscado	Diámetro del perno	Diámetro del eje	Diámetro de la tuerca	Valor del preesfuerzo
--------------------	-----------------	--------------------	------------------	-----------------------	-----------------------

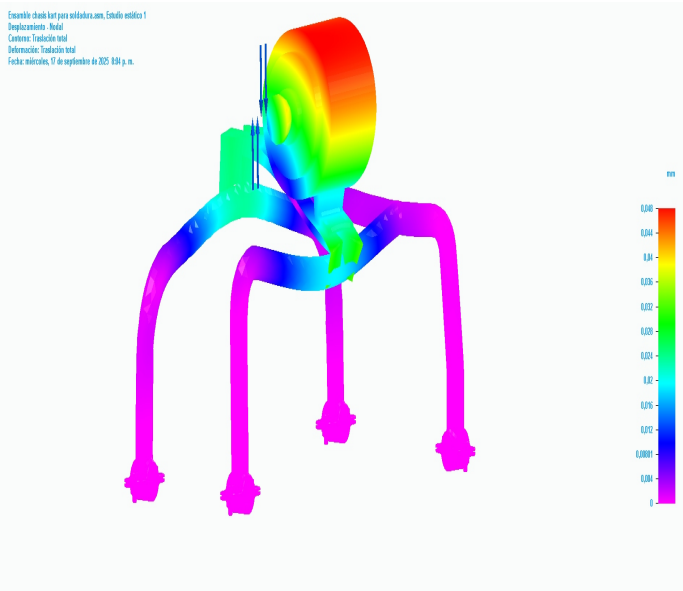
10. Información sobre mallado

Tipo de mallado	Cuerpos mixtos y generales
Mallador	Malla de cuerpo
Número total de cuerpos mallados	20
Número total de elementos	444.421

11. Resultados

11.1 Resultados del desplazamiento

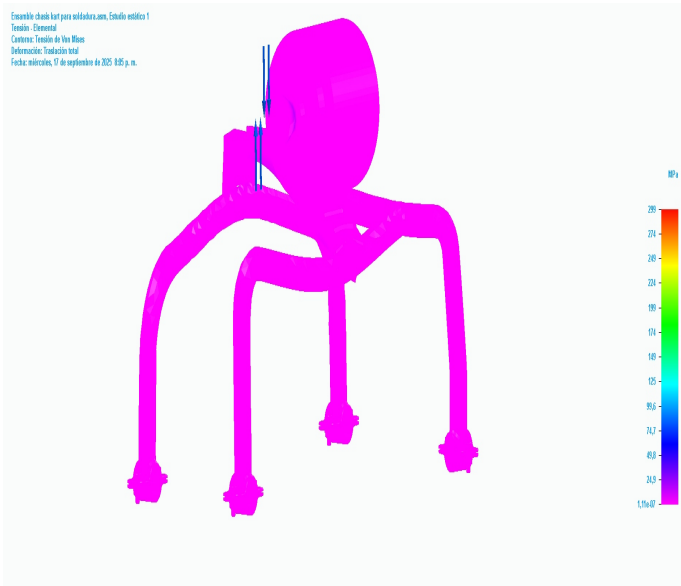
Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	224,180 mm	59,898 mm	-833,538 mm
Máxima	0,048 mm	-72,388 mm	466,394 mm	-1034,570 mm



Traslación total

11.2 Resultados de tensión

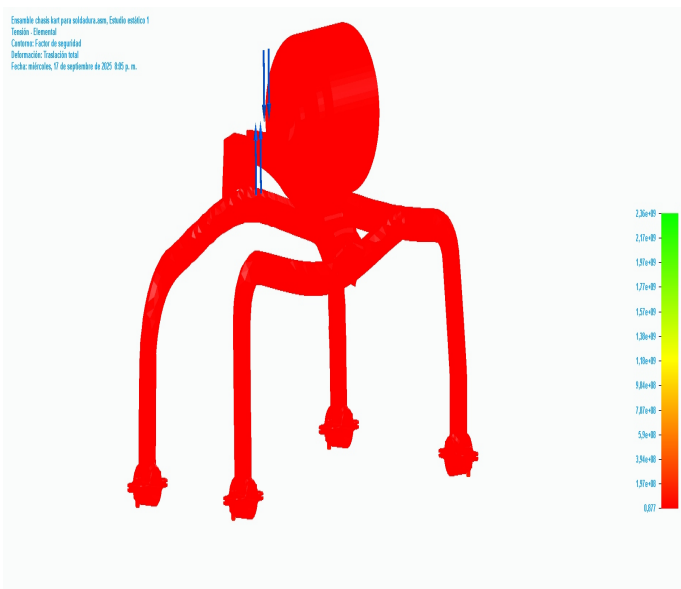
Componente resultante: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	1,11e-07 MPa	234,217 mm	28,000 mm	-853,888 mm
Máxima	299 MPa	17,206 mm	289,179 mm	-944,164 mm



Von Mises

11.3 Resultados del factor de seguridad

Componente resultante: Factor de seguridad				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,877	17,206 mm	289,179 mm	-944,164 mm
Máxima	2,36e+09	234,217 mm	28,000 mm	-853,888 mm



Factor de seguridad

11.4 Resultados de verificación de equilibrio

Componente resultante: Suma total

Fx	Fy	Fz	Mx	Mi	Mz
-0,00848 mN	-0,012 mN	0,0786 mN	0 N-m	0 N-m	0 N-m

11.5 Resultados de fuerzas en los conectores de pernos

Nombre de conector	Material	Fuerza cortante PL1	Fuerza cortante PL2	Fuerza axial	Momento en el plano 1	Momento en el plano 2	Par torsor
--------------------	----------	---------------------	---------------------	--------------	-----------------------	-----------------------	------------

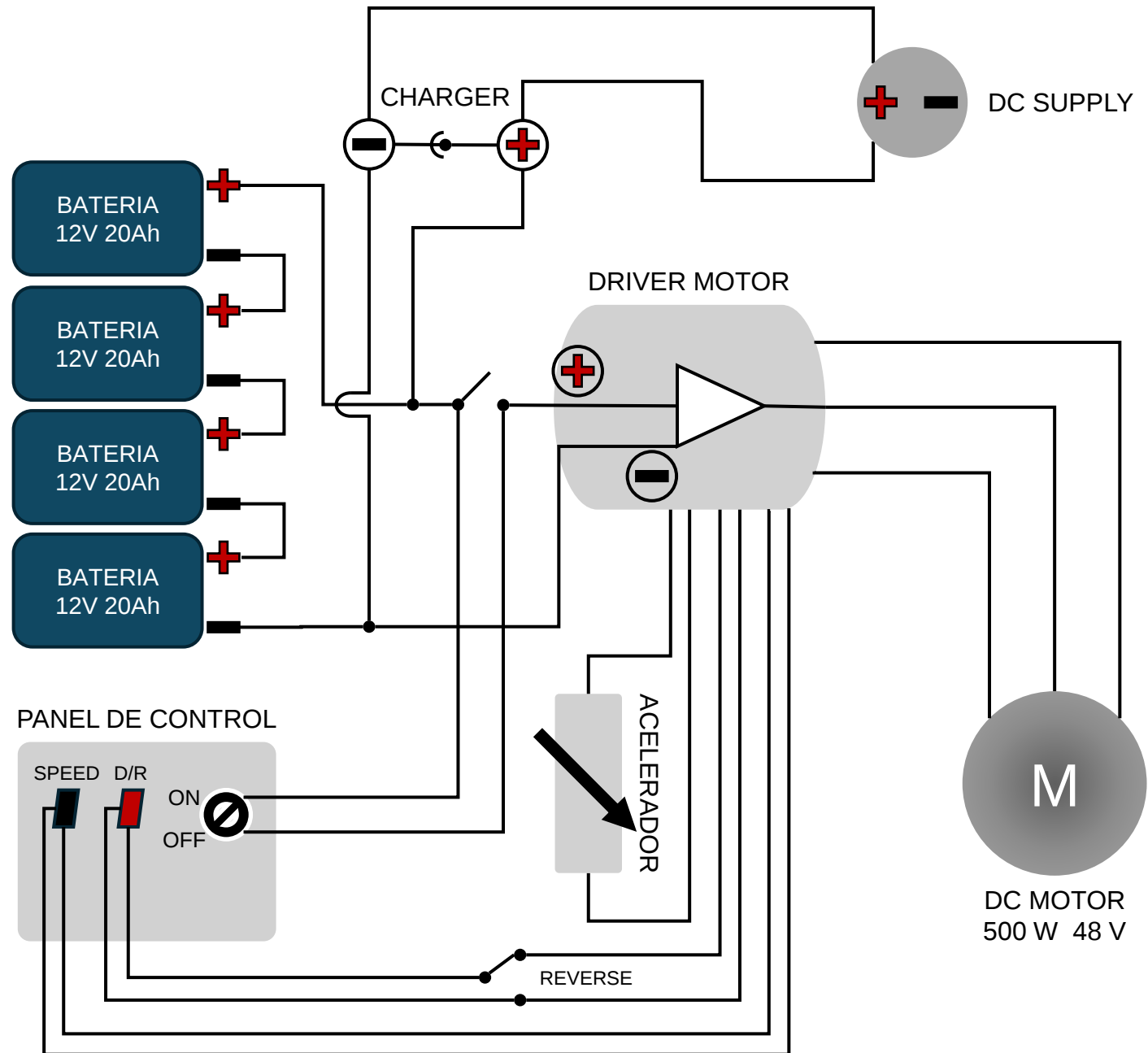
12. Optimizaciones

13. Conclusión

14. Advertencia

Información importante

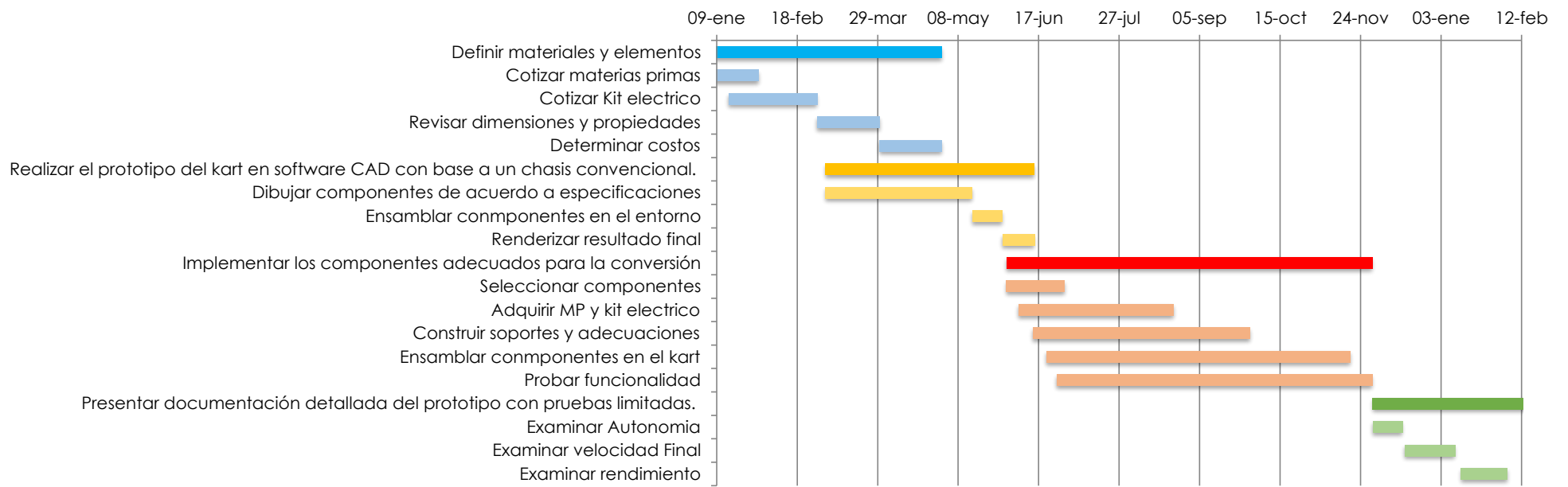
No se debe usar este informe como única medida de la idoneidad de una idea de diseño bajo condiciones ambientales determinadas. Siemens ha realizado todos los esfuerzos posibles para asegurar que sus productos ofrezcan la ayuda y el asesoramiento posibles. Sin embargo esto no sustituye el buen criterio de ingeniería, que es siempre responsabilidad del usuario. Un enfoque de ingeniería cualitativa debe asegurar que los resultados de estos cálculos sean evaluados en conjunto con la experiencia práctica de los diseñadores y analistas, y en último caso, con el respaldo de datos de pruebas experimentales. Los resultados contenidos en este informe están considerados fiables, pero no deben considerarse como garantía de validez.



CRONOGRAMA PROYECTO KART ELECTRICO

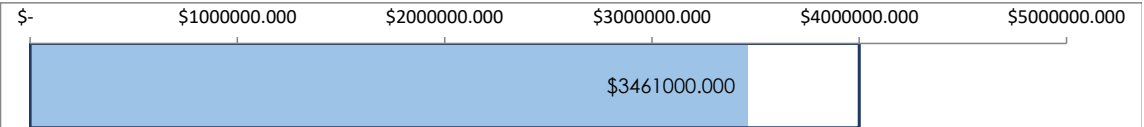
ITEM	NOMBRE DE LA TAREA	NOMBRE DE LA SUBTAREA	ESTADO	ASIGNADA A	FECHA DE INICIO 2024	FECHA DE FINALIZACIÓN 2024	DURACIÓN (días)	COMENTARIOS
	Definir materiales y elementos		En curso	R. GENTIL	03-ene	30-abr	118	
☐	Cotizar materias primas	Cotizar materias primas	En curso	S. ARENAS	03-ene	30-ene	27	
☐	Cotizar Kit electrico	Cotizar Kit electrico	En curso	R. GENTIL	15-ene	28-feb	44	Retrasos debido a la dificultad de encontrarlo, recursos economicos, etc.
☐	Revisar dimensiones y propiedades	Revisar dimensiones y propiedades	En curso	R. GENTIL	28-feb	30-mar	31	
☐	Determinar costos	Determinar costos	En espera	S. ARENAS	30-mar	30-abr	31	
☐	Realizar el prototipo del kart en software CAD con base a un chasis convencional.		En curso	R. GENTIL	03-mar	15-jun	104	Para esta fase, se tomo un prototipo que se habia trabajado con anterioridad, el cual se le realizaron modificaciones, partiendo de los nuevos componentes a utilizar, sin embargo, se tenian avances previos.
☐	Dibujar componentes de acuerdo a especificaciones	Dibujar componentes de acuerdo a especificaciones	En curso	R. GENTIL	03-mar	15-may	73	
☐	Ensamblar componentes en el entorno	Ensamblar componentes en el	En Espera	R. GENTIL	15-may	30-may	15	
☐	Renderizar resultado final	Renderizar resultado final	En espera	R. GENTIL	30-may	15-jun	16	
☐	Implementar los componentes adecuados para la conversión		En curso	S. ARENAS	01-jun	30-nov	182	Se tiene un avance significativo desde inicios del presente año 2024, ya que se relizo una inversion para los componentes como se evidencia en el Presupuesto del proyecto, debido a esto se tienen estas fechas para finales del año 2024.
☐	Seleccionar componentes	Seleccionar componentes	En espera	S. ARENAS	01-jun	30-jun	29	
☐	Adquirir MP y kit electrico	Adquirir MP y kit electrico	En curso	R. GENTIL	07-jun	23-ago	77	
☐	Construir soportes y adecuaciones	Construir soportes y adecuaciones	En espera	S. ARENAS	14-jun	30-sep	108	
☐	Ensamblar componentes en el kart	Ensamblar componentes en el kart	En espera	S. ARENAS	21-jun	19-nov	151	
☐	Probar funcionalidad	Probar funcionalidad	En espera	S. ARENAS	26-jun	30-nov	157	
☐	Presentar documentación detallada del prototipo con pruebas limitadas.		En espera	R. GENTIL	30-nov	15-feb	77	
☐	Examinar Autonomia	Examinar Autonomia	En espera	R. GENTIL	30-nov	15-dic	15	
☐	Examinar velocidad Final	Examinar velocidad Final	En espera	R. GENTIL	16-dic	10-ene	25	
☐	Examinar rendimiento	Examinar rendimiento	En espera	R. GENTIL	13-ene	05-feb	23	

Gantt Chart



PRESUPUESTO PROYECTO KART ELECTRICO

FONDOS	
R. Gentil	\$ 3.000.000,00
S. Arenas	\$ 1.000.000,00
Total de fondos	\$ 4.000.000,00
Fondos utilizados hasta la fecha	\$ 3.461.000,00
Fondos restantes	\$ 539.000,00



ARTÍCULO	FECHA	CATEGORÍA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO	COSTAR	EQUILIBRAR
CHASIS	2023-01-31	VEHICULO	Compra del Vehiculo para conversion	\$1.000.000,00	\$ 850.000,00	\$ 150.000,00
RUEDAS (LLANTAS Y RINES)	2023-02-01	VEHICULO	Compra del Vehiculo para conversion	\$450.000,00	\$ 387.000,00	\$ 213.000,00
VOLANTE	2023-02-02	VEHICULO	Compra del Vehiculo para conversion	\$50.000,00	\$ 85.000,00	\$ 178.000,00
ASIENTO	2023-02-03	VEHICULO	Compra del Vehiculo para conversion	\$100.000,00	\$ 78.000,00	\$ 200.000,00
DIRECCION	2023-02-04	VEHICULO	Compra del Vehiculo para conversion	\$150.000,00	\$ 120.000,00	\$ 230.000,00
FRENOS (DISCO Y LINEA HUMEDA)	2023-02-05	VEHICULO	Compra del Vehiculo para conversion	\$250.000,00	\$ 275.000,00	\$ 205.000,00
PLATINA CALIBRADA 1/4"	2023-02-06	MATERIALES	Aceros y materiales para conversion a electrico	\$50.000,00	\$ 48.000,00	\$ 207.000,00
ANGULO 1/2" X 1/4"	2023-02-07	MATERIALES	Aceros y materiales para conversion a electrico	\$50.000,00	\$ 40.000,00	\$ 217.000,00
KIT DE ARRASTRE	2023-02-08	VEHICULO	Compra del Vehiculo para conversion	\$150.000,00	\$ 200.000,00	\$ 167.000,00
MOTOR Y CONTROLADOR ELECTRICO	2023-02-09	CONVERSION	Elementos de conversion	\$1.000.000,00	\$ 1.250.000,00	\$ (83.000,00)
BATERIAS	2023-02-10	CONVERSION	Elementos de conversion	\$600.000,00	\$ -	\$ 517.000,00
HERRAMIENTALES	2023-02-11	MATERIALES	Aceros y materiales para conversion a electrico	\$150.000,00	\$ 88.000,00	\$ 579.000,00
TORNILLERIA	2023-02-12	MATERIALES	Aceros y materiales para conversion a electrico	\$40.000,00	\$ 40.000,00	\$ 579.000,00
HORAS HOMBRE	2023-02-13	TRAJABO	Trabajo requerido	\$2.000.000,00	\$ -	\$ 2.579.000,00