



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GO KART IMPULSADO POR UN  
MOTOR ELÉCTRICO”**

**AUTORES: ERIK FRANCISCO BUITRÓN NARVÁEZ**

**DANNY ALEXANDER MÉNDEZ MANOSALVAS**

**DIRECTOR: ING. JORGE LUIS MELO OBANDO, MSC**

**Ibarra, 2024**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 21 de mayo de 2024

Ing. Jorge Melo, MSc  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f) .....  
*Ing. Jorge Melo, MSc*  
*C.C.: 1718346529*



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	0401886650	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Buitrón Narváez Erik Francisco	
DIRECCIÓN:	El Playón de San Francisco/Sucumbíos/Ecuador		
EMAIL:	efbuitronn@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 348 040	TELF. MOVIL	0963869606

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	1003742101	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Méndez Manosalvas Danny Alexander	
DIRECCIÓN:	Ibarra/Imbabura/Ecuador		
EMAIL:	damendezm@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	0992288676	TELF. MOVIL	0992288676

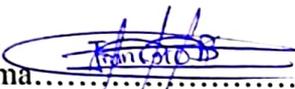
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GO KART IMPULSADO POR UN MOTOR ELÉCTRICO”
AUTOR (ES):	Buitrón Narváez Erik Francisco Méndez Manosalvas Danny Alexander
FECHA: AAAAMMDD	2024/05/21
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Erik Paúl Hernández Rueda , MSc Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc

## CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días, del mes de mayo de 2024

### EL AUTOR(ES):

  
Firma.....

Nombre: Buitrón Narváez Erik Francisco

  
Firma.....

Nombre: Méndez Manosalvas Danny Alexander

## DEDICATORIA

A mi madre María Narváez, este logro no habría sido posible sin tu amor incondicional, tu constante apoyo y tus sacrificios invaluable. Tu luz ha iluminado mi camino a lo largo de esta travesía académica, y esta tesis está dedicada a ti con profundo agradecimiento y amor. Gracias por ser mi inspiración, mi guía y mi mayor defensora. Tu fortaleza y dedicación han sido mi faro en los momentos más oscuros, y cada página de esta tesis lleva impresa la huella de tu amor maternal.

A mi hermana, Sara Narváez, a mis hermanos, por llenar mi existencia de alegría con su ingenio y ocurrencias únicas. Su presencia constante, respaldo incondicional, sabios consejos y palabras alentadoras han desempeñado un papel esencial en cada fase de mi vida, motivándome continuamente a alcanzar mis metas. También agradezco profundamente a mi novia, quien me ha brindado su apoyo, cariño y la motivación necesaria para avanzar y alcanzar los objetivos que me propuse.

A mis respetados docentes, quienes han compartido su sabiduría, paciencia y orientación a lo largo de mi formación académica, les extiendo mi más sincero agradecimiento. Sus enseñanzas han sido faros que han iluminado mi camino intelectual, desafiándome a alcanzar nuevas alturas y expandiendo mi perspectiva. Cada comentario constructivo y cada guía proporcionada han sido invaluable para mi desarrollo como estudiante y como persona. Esta tesis es también un reflejo de la enseñanza excepcional que he recibido.

Quiero expresar mi gratitud a la universidad que me ha acogido y ha sido el escenario de mi crecimiento académico. Los recursos, las instalaciones y, sobre todo, la comunidad educativa ha desempeñado un papel crucial en mi formación. A través de esta tesis, rindo homenaje a esta institución que ha nutrido mi mente y ha cultivado mi amor por el aprendizaje.

**BUITRÓN NARVÁEZ ERIK FRANCISCO**

Quiero empezar agradeciendo a Dios de todo corazón, porque sin su guía y fuerza, este camino habría sido mucho más difícil. Su luz ha iluminado mi camino y brindado la inspiración necesaria para alcanzar este logro.

A mis padres, mi mayor inspiración, quienes merecen un agradecimiento especial quienes con su dedicación y enseñanzas han moldeado mi carácter. Su amor incondicional y sacrificio han sido la chispa que encendió mi deseo de aprender y crecer.

A mis amigos más cercanos, quienes han sido mi apoyo incondicional. Gracias por las risas, las lágrimas y por estar conmigo en cada paso del camino. Su amistad ha sido mi refugio y mi alegría. Agradezco a mis profesores y mentores por su invaluable orientación y conocimientos compartidos. Su guía ha sido esencial para mi crecimiento académico y profesional,

A su vez a todos los que han creído en mí, gracias de todo corazón. Esta tesis no solo representa mi esfuerzo, sino la contribución valiosa de todos los que han sido una parte fundamental en mi persona.

**MÉNDEZ MANOSALVAS DANNY ALEXANDER**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación y alcanzar la culminación de mis estudios. Su compromiso con la excelencia académica y el apoyo continuo han sido fundamentales en mi desarrollo profesional.

Además de extender mi gratitud a mis compañeros de clase, cuyas discusiones y retroalimentación fueron invaluablemente enriquecedoras. Asimismo, agradezco a mi familia y amigos por su constante apoyo emocional y motivación durante este arduo proceso.

Este logro no habría sido posible sin el respaldo de todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a este proyecto. A cada uno de ustedes, gracias por ser parte fundamental de este viaje académico.

**MÉNDEZ MANOSALVAS DANNY ALEXANDER**

Doy gracias a Dios por brindarme la oportunidad de vivir y completar con éxito esta fase de mi carrera profesional. Agradezco profundamente a mi madre por su constante confianza y por ser un ejemplo de lucha incesante, lo que me ha impulsado a seguir adelante.

Expreso mi gratitud al Ing. Luis Melo, MSc, mi tutor, por sus valiosas contribuciones que fueron cruciales para el éxito de este proyecto de investigación.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte, especialmente a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y la Carrera de Ingeniería Automotriz, por cultivar profesionales con sólidos valores y conocimientos, preparados para contribuir al desarrollo del país. Su enseñanza ha instilado en mí un sentido de responsabilidad y rigor académico, indispensables para mi formación integral como profesional.

Por último, mi eterno agradecimiento a mis familiares, amigos y todas las personas que, de manera directa o indirecta, me ofrecieron su apoyo incondicional durante esta significativa etapa de mi vida.

**BUITRÓN NARVÁEZ ERIK FRANCISCO**

## ÍNDICE

Capítulo I .....	18
Revisión Bibliográfica .....	18
1.1 Antecedentes: .....	18
1.2 Situación actual: .....	19
1.3 Prospectiva: .....	19
1.4 Planteamiento del problema: .....	19
1.5 Objetivos .....	20
1.5.1 Objetivo general .....	20
1.5.2 Objetivos específicos .....	20
1.6 Alcance .....	20
1.7 Justificación .....	21
1.8 Contexto .....	21
1.9 Marco teórico .....	22
1.9.1 Historia del go kart .....	22
1.9.2 Tipos de go kart .....	23
1.9.2.1 Buggy .....	23
1.9.2.2 Go karts de sendero .....	24
1.9.2.3 Go karts de pista .....	25
1.9.2.4 Go karts eléctricos .....	25
1.9.3 Tipos de Soldadura .....	26
1.9.3.1 Soldadura SMAW .....	26
1.9.3.2 MIG/ MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) .....	27
1.9.3.3 Soldadura TIG .....	28

1.9.3.4 Soldadura GMAW .....	29
1.9.4 Motor eléctrico .....	30
1.9.4.1 Tipos de motor eléctrico .....	30
1.9.4.1.1 Motor de corriente continua (DC).....	31
1.9.4.1.1.1 Motor de escobillas (Brushed).....	31
1.9.4.1.1.2 Motor sin escobillas (Brushless).....	31
1.9.4.1.2 Motor de corriente alterna (AC): .....	32
1.9.4.1.2.1 Motor de inducción.....	32
1.9.4.1.2.2 Motor síncrono .....	33
1.9.4.1.3 Aplicaciones de los motores eléctricos .....	33
1.9.5 Batería.....	34
1.9.5.1 Ácido plomo.....	34
1.9.5.2 Iones de litio (Li-ion) .....	35
1.9.5.3 Polímero de litio (Li-Po).....	35
1.9.5.4 Níquel-metal hidruro (Ni-MH) .....	36
1.9.5.6 Baterías de estado sólido.....	36
Capítulo II .....	38
Materiales y Métodos.....	38
2.1 Materiales.....	38
2.1.3 Chasis.....	39
2.1.4 Sistema de dirección.....	40
2.1.4.1 Ejes de dirección .....	40
2.1.4.2 Volante.....	41
2.1.4.3 Columna de dirección .....	42
2.1.4.4 Manguetas de las ruedas del go kart .....	43

2.1.5 Motor .....	43
2.1.5.1 Controlador de motor BLDC .....	45
2.1.6 Batería.....	46
2.1.7 Cargador .....	48
2.1.8 Neumáticos y aros .....	49
2.1.9 Sistema de tracción.....	50
2.1.9.1 Piñón y catalina de transmisión .....	50
2.1.9.2 Cadena de transmisión .....	51
2.1.10 Sistema de frenado.....	52
2.1.10.1 Disco de freno .....	52
2.1.10.2 Caliper de Freno.....	53
2.1.10.3 Pastilla de freno.....	54
2.1.11 Asiento.....	54
2.1.12 Velocímetro digital .....	55
2.2 Métodos.....	56
2.2.1 Diseño CAD karting .....	56
2.2.1.1 Modelado 3D .....	56
2.2.2 Diseño y simulación CAD de chasis .....	57
2.2.2.1 Parámetros de diseño y requerimientos generales de diseño .....	57
2.2.2.2 Cálculo de aceleraciones y cargas.....	59
2.2.2.2.1 Ensayo de aceleración.....	60
2.2.2.2.2 Ensayo de frenado brusco .....	61
2.2.2.2.3 Ensayo de paso por curva .....	62
2.2.2.2.3.1 Transferencia de masa en curva.....	63
2.2.2.3 Metodología para análisis del chasis por elementos finitos.....	65

2.2.2.3.1 Propiedades y dimensiones de material .....	65
2.2.2.3.2 Distribución de centros de gravedad.....	66
2.2.2.3.3 Mallado .....	68
2.2.2.3.4 Ensayo de aceleración.....	70
2.2.2.3.5 Ensayo de frenado brusco .....	71
2.2.2.3.6 Ensayo paso por curva .....	72
2.2.2.3.7 Análisis de rigidez torsional del bastidor.....	73
2.2.2.3.8 Colisión frontal .....	75
2.2.2.3.9 Colisión lateral.....	76
2.2.2.3.9.1 Colisión Lateral Izquierda .....	76
2.2.2.3.9.2 Colisión Lateral derecha.....	77
2.2.3 Diseño y simulación CAD de eje de transmisión.....	77
2.2.3.1 Definición de parámetros de diseño, requerimientos generales y cálculos. ....	77
2.2.3.2 Metodología para análisis del eje de transmisión por elementos finitos .....	79
2.2.3.2.1 Asignación de material, cargas y sujeciones.....	79
2.2.3.2.2 Mallado y ejecución de estudio de diseño .....	79
2.2.4 Dimensionamiento Del Tren Automotriz .....	81
2.2.4.1 Resistencia aerodinámica.....	81
2.2.4.2 Resistencia a la pendiente .....	81
2.2.4.3 Resistencia a la rodadura .....	82
2.2.4.4 Potencia necesaria.....	82
2.2.5 Dimensionamiento Del Paquete De Baterías.....	83
2.2.5.1 Potencia de la batería .....	83
2.2.5.2 Resistencia interna .....	83
2.2.5.3 Voltaje del circuito abierto de la batería.....	84

2.2.5.4 Intensidad de corriente.....	84
2.2.5.5 Autonomía.....	85
2.2.6 Cálculos Dimensionamiento del Tren Automotriz .....	86
2.2.6.1 Resistencia aerodinámica.....	86
2.2.6.2 Resistencia a la pendiente .....	87
2.2.6.3 Resistencia a la rodadura .....	87
2.2.6.4 Potencia necesaria.....	87
2.2.7 Cálculos Dimensionamiento Del Paquete De Baterías.....	88
2.2.7.1 Potencia de la batería .....	88
2.2.7.2 Resistencia interna .....	88
2.2.7.3 Voltaje del circuito abierto de la batería.....	88
2.2.7.4 Intensidad de corriente.....	89
2.2.7.5 Autonomía.....	89
Capítulo III.....	90
Resultados y Discusión .....	90
3.1 Resultados correspondientes al bastidor del go kart: .....	90
3.1.1 Ensayo de aceleración .....	91
3.1.2 Ensayo de frenado brusco.....	92
3.1.3 Ensayo de paso por curva .....	94
3.1.3.1 Curva a la derecha.....	94
3.1.3.2 Curva a la izquierda .....	96
3.1.4 Análisis de rigidez torsional .....	98
3.1.5 Colisión frontal.....	99
3.1.6 Colisión lateral.....	100
3.1.6.1 Colisión lateral izquierda .....	100

3.1.6.2 Colisión lateral derecha.....	102
3.2 Resultados correspondientes del ensayo de torsión del eje de transmisión: .....	104
3.2.1 Esfuerzo de Von Mises.....	104
3.2.2 Desplazamientos resultantes.....	105
3.2.3 Factor de seguridad.....	106
3.3 Construcción del go kart .....	106
3.3.1 Fabricación del chasis.....	107
3.3.1.1 Implementación de la dirección .....	108
3.3.1.2 Implementación del motor .....	109
3.3.1.3 Implementación del controlador .....	109
3.3.1.4 Implementación de las baterías.....	110
3.3.2 Inspección final.....	111
3.4 Prueba de manejo .....	112
3.4.1 Evento de autonomía .....	112
3.4.1.1 Resultados .....	113
3.4.2 Evento de aceleración.....	114
3.4.2.1 Resultados .....	115
3.4.3 Evento skidpad .....	117
3.4.3.1 Resultados.....	119
Capítulo IV.....	122
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	122
4.1.1 Conclusiones.....	122
4.1.2 Recomendaciones .....	123
Referencias Bibliográficas .....	124
Anexos .....	132

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.1	Kunray Características del motor sin escobillas MY1020 .....	44
Tabla.2	Características del controlador para motores sin escobillas MY1020.....	45
Tabla.3	Características de la batería 6-EVF-32 de 12V y 32Ah .....	47
Tabla.4	Especificaciones para las dimensiones (CIK/FIA).....	57
Tabla.5	Cargas que soporta cada rueda. ....	65
Tabla.6	Constantes y simbología utilizada .....	86
Tabla.7	Evento de autonomía .....	113
Tabla.8	Evento de aceleración.....	115
Tabla.9	Evento skidpad .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1	Buggy.....	24
Figura.2	Go kart de sendero.....	24
Figura.3	Go Kart de pista.....	25
Figura.4	Go kart eléctrico .....	26
Figura.5	Proceso de soldadura SMAW.....	27
Figura.6	Soldadura MIG/MAG.....	28
Figura.7	Diagrama del arco eléctrico utilizando un electrodo de tungsteno.....	29
Figura.8	Equipo de soldadura GMAW básico.....	30
Figura.9	Motor Brushless.....	32
Figura.10	Chasis go kart eléctrico.....	40
Figura.11	Ejes de Dirección .....	41
Figura.12	Volante Go Kart.....	41
Figura.13	Columna De Dirección .....	42
Figura.14	Manguetas de las ruedas del go kart.....	43
Figura.15	Motor BLDC MY1020 .....	44
Figura.16	Controlador de Motor BLDC.....	46
Figura.17	Batería.....	48
Figura.18	Cargador Batería 72V30Ah .....	49
Figura.19	Neumáticos .....	50
Figura.20	Piñón.....	51
Figura.21	Catalina.....	51
Figura.22	Cadena De Transmisión.....	52
Figura.23	Disco de freno.....	53
Figura.24	Caliper De Freno.....	53
Figura.25	Pastilla De Freno.....	54
Figura.26	Asiento .....	55
Figura.27	Velocímetro Digital .....	55
Figura.28	Modelado 3D de bastidor y soportes .....	56
Figura.29	Modelado 3D de eje de transmisión.....	56
Figura.30	Centro de masa del go kart eléctrico.....	58
Figura.31	Propiedades mecánicas del material .....	66
Figura.32	CG del piloto y asiento .....	66

Figura.33	CG del conjunto de baterías .....	67
Figura.34	CG del motor eléctrico.....	67
Figura.35	CG del eje de transmisión.....	68
Figura.36	Modelado 3D de bastidor (mallado) .....	68
Figura.37	Espectro de métrica de calidad de malla. Fuente: [67].....	69
Figura.38	Calidad de malla .....	70
Figura.39	Condiciones de borde para ensayo de aceleración.....	71
Figura.40	Condiciones de borde para ensayo de frenada brusca .....	72
Figura.41	Condiciones de borde para ensayo de paso por curva a la derecha .....	73
Figura.42	Condiciones de borde para ensayo de paso por curva a la izquierda.....	73
Figura.43	Condiciones de borde para análisis de rigidez torsional .....	74
Figura.44	Condiciones de borde para la colisión frontal.....	75
Figura.45	Condiciones de borde para la colisión lateral izquierda .....	76
Figura.46	Condiciones de borde para la colisión lateral derecha.....	77
Figura.47	Asignación de cargas y sujeciones al eje de transmisión.....	79
Figura.48	Mallado del Modelo del Eje de Transmisión.....	80
Figura.49	Calidad de malla para el eje de transmisión.....	80
Figura.50	Estructura del proceso de simulación CAE .....	90
Figura.51	Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de aceleración .....	91
Figura.52	Deformación máxima en el ensayo de aceleración.....	92
Figura.53	Factor de seguridad en el ensayo de aceleración .....	92
Figura.54	Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de frenada brusca.....	93
Figura.55	Deformación máxima en el ensayo de frenada brusca.....	93
Figura.56	Factor de seguridad en el ensayo de frenada brusca .....	94
Figura.57	Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de paso por curva a la derecha.....	95
Figura.58	Deformación máxima en el ensayo de paso por curva a la derecha .....	95
Figura.59	Factor de seguridad en el ensayo de paso por curva a la derecha.....	96
Figura.60	Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de paso por curva a la izquierda .....	96
Figura.61	Deformación máxima en el ensayo de paso por curva a la izquierda.....	97
Figura.62	Factor de seguridad en el ensayo de paso por curva a la izquierda .....	97
Figura.63	Deformación máxima en el ensayo de rigidez torsional .....	98
Figura.64	Resultado de la deformación en colisión frontal.....	99
Figura.65	Esfuerzo máximo en colisión frontal .....	99
Figura.66	Factor de seguridad en colisión frontal.....	100

Figura.67	Resultado de la deformación en colisión lateral izquierda .....	101
Figura.68	Resultado de esfuerzos en colisión lateral izquierda .....	101
Figura.69	Factor de seguridad en colisión lateral izquierda.....	102
Figura.70	Resultado de la deformación en colisión lateral derecha.....	102
Figura.71	Resultado de esfuerzos en colisión lateral derecha.....	103
Figura.72	Factor de seguridad en colisión lateral derecha .....	103
Figura.73	Tensión de Von Mises en el eje de transmisión.....	104
Figura.74	Desplazamientos resultantes en el eje de transmisión .....	105
Figura.75	Distribución del factor de seguridad en el eje de transmisión .....	106
Figura.76	Construcción del Go Kart .....	107
Figura.77	Fabricación chasis.....	108
Figura.78	Implementación de la Dirección.....	108
Figura.79	Implementación del Motor.....	109
Figura.80	Implementación del controlador .....	110
Figura.81	Implementación de las baterías.....	110
Figura.82	Go kart armado en su totalidad .....	111
Figura.83	Mapa de recorrido en evento de autonomía .....	113
Figura.84	Prueba de autonomía.....	114
Figura.85	Evento de aceleración conductor 1 .....	116
Figura.86	Evento de aceleración conductor 2 .....	117
Figura.87	Circuito evento skidpad .....	117
Figura.88	Evento skidpad conductor 1.....	120
Figura.89	Evento skidpad conductor 2.....	121

## Resumen Ejecutivo

El presente trabajo se centra en el "Diseño y Construcción de un go kart Impulsado por un Motor Eléctrico". El objetivo principal del estudio es desarrollar un vehículo de carreras tipo go kart que funcione exclusivamente con un sistema de propulsión eléctrica. El diseño abarca desde la selección y adaptación del motor eléctrico hasta la configuración del chasis y la integración de sistemas de control electrónico. En la fase de diseño, se analizan las especificaciones técnicas del motor eléctrico, considerando factores como potencia, torque y eficiencia, se aborda la estructura del chasis, considerando factores de seguridad y resistencia. La construcción del prototipo se lleva a cabo siguiendo las directrices del diseño, utilizando materiales ligeros y resistentes. La implementación de sistemas de control electrónico es esencial para gestionar la potencia del motor y garantizar un manejo seguro y eficiente del vehículo. Se incorporan también elementos de seguridad, como frenos y sistemas de protección para el piloto. El estudio incluye pruebas y evaluaciones en pista para validar el desempeño del go kart eléctrico. Se recopilan datos sobre la velocidad y autonomía, comparándolos con estándares de referencia en la industria. Se realizan ajustes y mejoras en base a los resultados obtenidos durante las pruebas. En conclusión, se ofrece una contribución significativa al campo de la movilidad eléctrica en el ámbito de los deportes de motor, presentando un diseño innovador y la construcción exitosa de un go kart impulsado por un motor eléctrico. Los resultados y aprendizajes obtenidos a lo largo del proceso de diseño y construcción brindan valiosa información para futuros desarrollos en la integración de tecnologías eléctricas en vehículos de competición.

## **Abstract**

The present thesis focuses on the "Design and Construction of an Electric Motor-Powered Go-Kart." The main objective of the study is to develop a racing go kart vehicle that operates exclusively with an electric propulsion system. The design encompasses everything from the selection and adaptation of the electric motor to the configuration of the chassis and the integration of electronic control systems. In the design phase, technical specifications of the electric motor are analyzed, considering factors such as power, torque, and efficiency, while addressing the chassis structure considering safety and resistance factors. The construction of the prototype follows the design guidelines, utilizing lightweight and durable materials. The implementation of electronic control systems is essential to manage the motor power and ensure safe and efficient vehicle handling. Safety elements such as brakes and pilot protection systems are also incorporated. The study includes track tests and evaluations to validate the performance of the electric go kart. Data on speed and autonomy are collected and compared with industry reference standards. Adjustments and improvements are made based on the results obtained during the tests. In conclusion, the thesis offers a significant contribution to the field of electric mobility in the realm of motor sports, presenting an innovative design and the successful construction of an electric motor-powered go kart. The results and learnings obtained throughout the design and construction process provide valuable insights for future developments in the integration of electric technologies into racing vehicles.

**LISTA DE SIGLAS**

**FZ:** Formula Zero.

**SMAW:** Shielded Metal Arc Welding (Soldadura con Electrodo Revestido o Soldadura al Arco con Electrodo de Protección).

**MIG/MAG:** Metal Inert Gas/Metal Active Gas (Soldadura con Gas Inerte/Metal Activo).

**TIG:** Tungsten Inert Gas (Soldadura de Gas Inerte con Tungsteno)

**GMAW:** Gas Metal Arc Welding (Soldadura por Arco con Gas Metálico o MIG)

**BLDC:** Brushless Direct Current (Corriente Continua Sin Escobillas)

**HEV:** Hybrid Electric Vehicles (Vehículos Híbridos Eléctricos).

**EV:** Electric Vehicles (Vehículos Eléctricos).

**BMS:** Battery Management System (Sistema de Gestión de Batería).

## Introducción

En la actualidad, la innovación tecnológica en el campo de la movilidad sostenible ha ganado relevancia como una respuesta al creciente problema medioambiental y la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles. En este contexto, los vehículos eléctricos emergen como una solución prometedora, ofreciendo beneficios significativos en términos de reducción de emisiones de gases contaminantes y eficiencia energética.

Un go kart eléctrico, al integrar los principios de la ingeniería mecánica y eléctrica, representa un excelente prototipo para explorar las aplicaciones prácticas y los desafíos técnicos de la movilidad eléctrica en un formato compacto y dinámico. Este tipo de estudio no solo fomenta el entendimiento de los sistemas de propulsión eléctrica y su integración en vehículos ligeros, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades prácticas en diseño mecánico, control electrónico y técnicas de fabricación.

La presente tesis tiene como objetivo diseñar y construir un go kart que sea impulsado exclusivamente por un motor eléctrico. Comprenderá desde la conceptualización y diseño del vehículo hasta la selección de componentes, ensamblaje, y pruebas de funcionamiento. Se prestará especial atención al diseño del chasis, la selección del tipo de motor y batería, asegurando que el vehículo no solo sea funcional sino también seguro y eficiente desde el punto de vista energético y mecánico.

A través de este trabajo se espera contribuir al campo de la ingeniería mecánica y eléctrica aplicada a vehículos eléctricos, proporcionando un caso práctico que sirva de referencia para futuras investigaciones y desarrollos en el ámbito de la movilidad eléctrica recreativa y deportiva. Este enfoque no solo tiene relevancia académica, sino que también posee el potencial de influir positivamente en el desarrollo de tecnologías verdes y sostenibles, alineándose con las tendencias globales hacia un futuro más limpio y eficiente.

# Capítulo I

## Revisión Bibliográfica

### 1.1 Antecedentes:

La ingeniería automotriz, día a día presenta nuevos avances tecnológicos, que son el producto de la evolución de la tecnología, para eso se debe conocer de donde nace la necesidad de crear nuevos sistemas automotrices. Uno de los problemas y el principal, es la contaminación ambiental, la que obliga a mejorar cada sistema.

Durante más de cien años, el transporte global ha dependido exclusivamente de combustibles fósiles. El petróleo es la fuente de energía que mueve todos los tipos de transporte, como automóviles, camiones, aviones, trenes y equipos agrícolas. Este recurso no es renovable porque existe en cantidades limitadas en el planeta. [1].

El uso de fuentes de energía no habituales para el transporte es una cuestión de preocupación mundial. Desde los principios del automóvil, la batalla entre los vehículos de combustión interna y los eléctricos ha quedado rezagada debido a la restringida franquicia de las baterías, pero con la llegada de los vehículos híbridos actuales, esta realidad ha comenzado a cambiar. Dado el importante aumento de la autonomía de las baterías y la caída de los precios durante la última década [2].

Los karts han existido desde la década de 1950 después de la guerra como pasatiempo para los aviadores. Las carreras de karts son un juego relativamente seguro en comparación con las carreras de coches. Los karts suelen funcionar con motores eléctricos o de gasolina [3, p. 1].

Un go kart es un pequeño vehículo de cuatro ruedas de uso deportivo, comúnmente utilizado en las carreras de automovilismo, con una estructura abierta que no hace contacto con el suelo. Las dos ruedas traseras transmiten la potencia del motor y las ruedas delanteras determinan la dirección[4, p. 1].

Debido a la desaparición de los hidrocarburos y al aumento de la contaminación, los go karts eléctricos han ganado popularidad recientemente y se espera que el mundo se pase a los vehículos totalmente eléctricos[5].

### **1.2 Situación actual:**

La contaminación en la actualidad está siendo un gran problema por lo cual existen competencias cero emisiones de go karts en las que destacan Formula Zero (FZ) siendo esta una nueva categoría de carreras para vehículos de pila de combustible (FC) de hidrógeno de cero emisiones que defiende un futuro ecológico y divertido. El concurso es una plataforma ideal para el desarrollo de nuevas tecnologías y para atraer la atención del público en general [6].

### **1.3 Prospectiva:**

Las actuales soluciones para go karts eléctricos permiten el desarrollo de sistemas de propulsión eficaces, duraderos y eficientes. El uso de go karts eléctricos se está convirtiendo en una alternativa de competencias cero emisiones.

Lo que queremos conseguir con este vehículo es una menor carga de la batería con corriente alterna. Esto no quiere decir que no se pueda realizar este tipo de carga. Por tanto, como ya se ha indicado anteriormente, queremos conseguir la máxima autonomía con distintas baterías. cargando sistema [7].

### **1.4 Planteamiento del problema:**

Este proyecto investigativo se realiza con el fin de construir un go kart de cero emisiones que sea capaz de competir en carreras de velocidad e igual rendimiento que los karts convencionales. Otro punto importante es el medio ambiente que tiene la necesidad de reducir los contaminantes en sus emisiones ya que como es de conocimiento global los gases que producen los vehículos que se han puesto en el mercado, generan gases de los más nocivos para el ambiente.

Eje transición ecológica.

Objetivo 12. Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

Políticas: 12.3: Implementar mejores prácticas ambientales con responsabilidad social y económica, que fomenten la concientización, producción y consumo sostenible, desde la investigación, innovación y transferencia de tecnología [8].

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar y construir un go kart impulsado por un motor eléctrico.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Diseñar un go kart mediante un software CAD.
- Plantear la gestión electrónica de un motor eléctrico que cumpla con las prestaciones requeridas.
- Construir un go kart e implementar el motor eléctrico.

## **1.6 Alcance**

El presente proyecto pretende diseñar y construir un go kart eléctrico, para el cual se contempla un límite aproximado de nueve a doce meses, además, se implementará un sistema de tracción por cadena arrastrado por un motor eléctrico con su respectivo controlador y alimentados por un conjunto de baterías de ÁCIDO PLOMO conectadas en serie. Para la fabricación de su estructura se efectuará con acero estructural y soldadura MIG/MAG ya que este proceso es ampliamente utilizado para espesores pequeños además de medianos de estructura de acero o aleaciones de aluminio, especialmente donde se requiere mucho trabajo manual.

## **1.7 Justificación**

Es fundamental entender que la Tierra está sufriendo los efectos del cambio climático causado por la contaminación. Por esta razón, el principal objetivo es encontrar fuentes de energía renovable y limpia. En este contexto, se ha decidido diseñar y construir un go kart eléctrico con el fin de optimizar la duración de las baterías. Esto permitirá en el futuro implementar diferentes sistemas de carga en vehículos más grandes.

Actualmente, los go karts eléctricos están ganando popularidad gracias a los avances tecnológicos. Por eso, se ha decidido diseñar y construir un go kart eléctrico que ofrezca las mismas prestaciones que uno equipado con un motor de combustión interna.

## **1.8 Contexto**

En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de sostenibilidad ambiental, la industria automotriz busca innovar y adaptarse mediante la implementación de tecnologías más verdes. Los vehículos eléctricos han emergido como una solución prometedora para reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir la emisión de gases contaminantes. Dentro de este contexto, el diseño y construcción de un go kart impulsado por un motor eléctrico emerge como un proyecto de tesis relevante. Este proyecto no solo permite explorar y desarrollar tecnologías eléctricas aplicables a vehículos ligeros, sino que también proporciona una plataforma educativa para el estudio de la eficiencia energética y la innovación en el diseño automotriz [9].

El proyecto se centra en la ingeniería detrás de la construcción de un go kart eléctrico, abordando desafíos como la optimización del chasis para equilibrar la ligereza y la seguridad, la selección de componentes eléctricos que maximicen la eficiencia del motor y la gestión de la energía de las baterías. El diseño contempla la integración de sistemas avanzados que permitan un control preciso y una respuesta ágil del vehículo, elementos críticos para la funcionalidad y el desempeño en pista. Además, se hace hincapié en la estética y la ergonomía del go kart, buscando ofrecer una experiencia de conducción confortable y atractiva [10].

## 1.9 Marco teórico

### 1.9.1 Historia del go kart

Art Engels en un día de verano en 1956 en California EE. UU estaba tomando un descanso luego de un largo día de trabajo, en el cual terminaba de colocar la cubierta del radiador de su último proyecto. El proyecto trataba de un pequeño auto de carreras, anteriormente ya había construido algunos de estos para unos clientes, este mini coche tenía un gran rendimiento, además estaba construido en línea de acero y aluminio con cuatro llantas, un motor, dirección y un asiento [11, p. 7].

El primer go Kart fue una versión básica de Art Engels. Sin embargo, con el tiempo, Art y su amigo Lou Borelli tomaron la decisión de llevar su proyecto a la mesa de trabajo. Su creación consistía en un motor de cortadora de césped al que habían acoplado una estructura de acero. Fue en ese momento cuando nació tanto el deporte como la industria de las carreras de Karts. La empresa Caretta West Bend rápidamente se estableció como un competidor destacado en este ámbito. En los meses siguientes, cada vez más personas se sumaron a las carreras de exhibición que se celebraban en estacionamientos alrededor de Pasadena, California [12].

En pocos años desde su invención, los go karts han experimentado una expansión global notable. Han surgido fabricantes y empresas de apoyo para respaldar el acelerado crecimiento de la industria del karting. Los carros y las piezas se envían desde fabricantes europeos, americanos, sudamericanos, asiáticos y australianos. Los eventos locales, regionales e internacionales brindan un lugar de reunión para que los corredores compitan y celebren en karting.

Durante las últimas seis décadas, el karting ha servido como la vía principal para que un mayor número de pilotos ingresen al mundo del deporte motor en comparación con cualquier otra disciplina. A pesar de la evolución de los karts hacia velocidades más altas y una investigación más avanzada, la esencia de estos vehículos sigue siendo sorprendentemente simple: un motor, un chasis, cuatro ruedas, un asiento y un volante[13].

En la actualidad, se observa un claro enfoque en la preservación del medio ambiente, impulsando así un marcado crecimiento en el desarrollo tecnológico de motores eléctricos y baterías. Esta tendencia ha desencadenado una auténtica revolución en la industria del automovilismo, destacándose el surgimiento de go karts eléctricos que compiten directamente con la fórmula cero, una categoría especialmente diseñada para vehículos eléctricos[14].

## **1.9.2 Tipos de go kart**

El go kart es un vehículo especialmente diseñado para desplazarse sobre tierra. Cuenta con cuatro ruedas que no están alineadas entre sí. Dos de estas ruedas tienen la función de controlar la dirección del vehículo, mientras que las otras dos se encargan de transmitir la potencia necesaria para su movimiento. [15]. Se utiliza comúnmente en carreras de carretera dentro de deportes de motor, donde se compite con vehículos de estructura de rueda abierta o de cuatro ruedas [16].

Existen cuatro tipos de go Kart entre los cuales tenemos: Buggies, go karts de sendero, de pista y eléctricos.

### **1.9.2.1 Buggy**

Son vehículos con un chasis tubular y motor posterior, principalmente son utilizados en carreteras destapadas o tercer orden debido a su diseño 4x4. Un buggy es típicamente un vehículo diseñado para el transporte en terrenos no estructurados, a veces utilizado también en carreteras. Este tipo de vehículo se compone de una carrocería y una estructura tubular ligera, sin techo, que aprovecha la distribución de fuerzas para proporcionar capacidad de absorción de impactos, son parte de la familia de los go kart debido a su estructura tubular y ubicación del motor, a diferencia de los go kart estos poseen suspensión y ruedas de mayor magnitud [17].



Figura.1 Buggy

*Fuente:* [18]

### 1.9.2.2 Go karts de sendero

Los karts de trail están específicamente diseñados para terrenos suaves, como carreteras y colinas. Se desarrollan y utilizan con frecuencia para cubrir los requisitos intermedios entre los karts de pista y los "buggy". Aunque poseen una potencia superior a los karts de pista, no alcanzan la potencia de los "buggy". Asimismo, presentan una velocidad superior a la de un kart de pista, pero son más lentos en comparación con un "buggy". Estos karts suelen alcanzar velocidades que oscilan entre los 55 km/h y los 70 km/h [19]



Figura.2 Go kart de sendero

*Fuente:* [20]

### 1.9.2.3 Go karts de pista

Un go kart de pista es un vehículo compacto de cuatro ruedas no alineadas, destinado a carreras de karting. Está equipado con un motor de construcción abierta, donde las ruedas traseras transmiten la potencia del motor, mientras que las ruedas delanteras se encargan de controlar la dirección. El chasis de los go karts generalmente se compone de una estructura de carrocería construida con tubos de acero soldados, siguiendo diseños y dimensiones específicas.[16].



Figura.3 Go kart de pista

*Fuente:* [21]

### 1.9.2.4 Go karts eléctricos

Es accionado eléctricamente y consta de cuatro ruedas sin suspensión, normalmente son monoplazas con uno o dos motores eléctricos alimentados por baterías. Las ruedas delanteras del go kart brindan control direccional, mientras que las ruedas traseras se encargan de transmitir la potencia del motor al suelo [22].



Figura.4 Go kart eléctrico

### 1.9.3 Tipos de Soldadura

La soldadura destaca por su notable versatilidad, ya que permite unir componentes de diferentes formas, tamaños y espesores. Esta técnica puede emplearse para unir materiales tan finos como láminas o alambres de apenas décimas de milímetro, hasta ensamblar piezas de diámetros muy pequeños o considerablemente gruesos, sin un límite máximo establecido. En numerosas situaciones, la soldadura es indispensable para la fabricación de ciertos productos, que de otro modo serían difíciles de producir o resultarían excesivamente caros sin el uso de esta técnica [23].

#### 1.9.3.1 Soldadura SMAW

En este proceso de soldadura, se genera un arco eléctrico entre el electrodo revestido y el metal base, siendo este arco la principal fuente de calor que funde ambos elementos. La fusión resultante se utiliza para unir las piezas a medida que el charco se solidifica. Los electrodos empleados están

compuestos del mismo material que el sustrato y, al fundirse, aportan el material necesario para completar la conexión. Los recubrimientos de los electrodos, que pueden ser básicos, de rutilo o celulósicos, desempeñan un papel crucial al proporcionar un gas de protección durante la generación del arco. Este gas protege la soldadura de la contaminación atmosférica, asegurando un resultado más limpio y resistente [24].

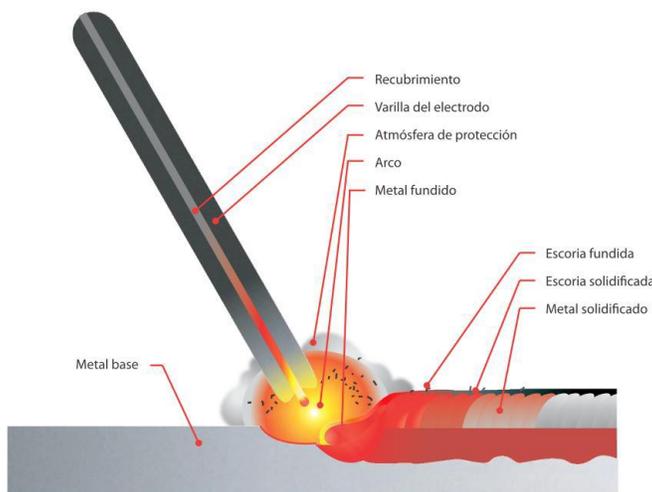


Figura.5 Proceso de soldadura SMAW

*Fuente:*[24]

### 1.9.3.2 MIG/ MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas)

MIG/MAG ha surgido como uno de los procesos de soldadura más críticos a nivel mundial. Su capacidad para aumentar la productividad, mejorar la estética de las soldaduras y reducir la formación de escoria, junto con su cumplimiento de las normativas medioambientales, le confieren un papel destacado en la industria metalúrgica. Este método utiliza gases inertes, como argón (Ar) o helio (He), o combinaciones de ambos (Ar+He), como agentes de protección. Además, se emplean gases activos, que son mezclas basadas en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), para optimizar el proceso y garantizar resultados de alta calidad [25].



Figura.6 Soldadura MIG/MAG

*Fuente:[25]*

### 1.9.3.3 Soldadura TIG

La soldadura TIG, también conocida como soldadura por arco de tungsteno con gas, se destaca como un método de unión preciso y versátil. Este proceso utiliza un electrodo de tungsteno no conductor para llevar a cabo la soldadura, siendo crucial la incorporación de un metal de relleno. La elección del alambre del electrodo consumible se basa en las propiedades del material base y las dimensiones de la soldadura. Además, el gas de protección desempeña un papel esencial en la prevención de la contaminación del cordón de soldadura, asegurando así una calidad óptima[26].

En este proceso, la generación de calor tiene lugar mediante un arco que se forma entre un electrodo refractario no consumible y la pieza que va a ser soldada. Los electrodos utilizados para transportar la corriente suelen estar fabricados con tungsteno o sus aleaciones, aunque también pueden estar hechos de grafito. El material base calentado, el metal fundido y las áreas del electrodo refractario están protegidos de la atmósfera mediante un gas inerte que fluye a través del soporte del electrodo, conocido como "antorcha" en este proceso.[27].

Existe diversos tipos de gases protectores disponibles, y la elección del más adecuado depende de los materiales que se estén soldando y del tipo deseado de transferencia de metal. La selección

cuidadosa del gas de protección es esencial para garantizar un ambiente adecuado durante el proceso de soldadura TIG, lo que contribuirá significativamente a la calidad del resultado final [28]

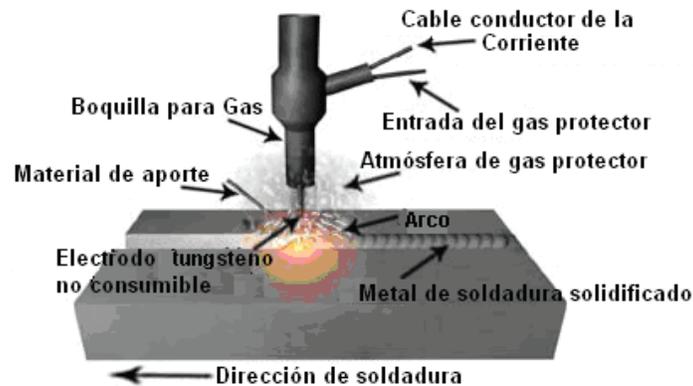


Figura.7 Diagrama del arco eléctrico utilizando un electrodo de tungsteno.

*Fuente:*[27]

#### 1.9.3.4 Soldadura GMAW

La soldadura por arco con gas de metal (GMAW) es un procedimiento en el que se introduce de manera automática un electrodo continuo consumible, el cual se encuentra protegido por un gas suministrado externamente [29].

Se emplea extensamente en diversas industrias debido a su alta velocidad, alta tasa de deposición, calidad de unión, facilidad de automatización y capacidad para soldar una amplia variedad de metales [30].

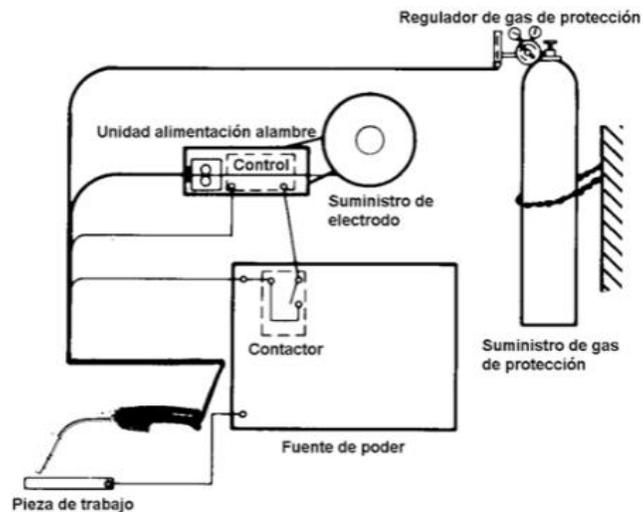


Figura.8 Equipo de soldadura GMAW básico.

*Fuente:*[31]

## 1.9.4 Motor eléctrico

Los motores eléctricos son dispositivos rotativos diseñados para transformar la energía eléctrica en energía mecánica de rotación a través de un eje. Operan utilizando energía eléctrica como entrada y producen movimiento o trabajo mecánico como salida. Una de sus principales ventajas es la capacidad de convertir eficientemente la energía eléctrica en mecánica, además de ofrecer beneficios significativos en comparación con otros tipos de motores [32]

### 1.9.4.1 Tipos de motor eléctrico

Los motores eléctricos desempeñan un papel fundamental en distintas industrias y aplicaciones al suministrar la energía requerida para una amplia variedad de dispositivos. Existen diversos tipos de motores eléctricos, cada uno con sus características particulares y beneficios exclusivos.

### **1.9.4.1.1 Motor de corriente continua (DC)**

#### **1.9.4.1.1.1 Motor de escobillas (Brushed)**

Los motores de escobillas constituyen un tipo específico de motor eléctrico que emplea escobillas para facilitar la modificación del flujo magnético en el rotor. Estos motores han sido ampliamente utilizados a lo largo de los años en diversas aplicaciones debido a su simplicidad y bajo costo. Su estructura incluye un rotor central compuesto por una serie de electro magnetos y un estator externo estacionario que alberga las escobillas, las cuales entran en contacto con el conmutador en el rotor. Por lo general, las escobillas en un motor de este tipo están fabricadas con materiales como carbono o grafito, asegurando el contacto eléctrico con el conmutador.

Este tipo de motor presenta varias ventajas, entre ellas, un bajo costo de mantenimiento, un rendimiento elevado y una fácil regulación del par y la velocidad. No obstante, los motores de escobillas también exhiben algunas desventajas. Una de las principales limitaciones radica en su eficiencia, ya que el sistema de conmutación de escobillas puede ocasionar pérdidas de energía debido a la fricción entre las escobillas y el conmutador. Estas pérdidas generan calor y reducen la eficiencia general del motor. Además, las escobillas en estos motores están sujetas al desgaste, lo que implica la necesidad de un mantenimiento regular y su eventual reemplazo [33].

#### **1.9.4.1.1.2 Motor sin escobillas (Brushless)**

Un motor sin escobillas, también denominado motor BLDC (siglas en inglés de Brushless DC), constituye un tipo de motor eléctrico que prescinde del empleo de escobillas convencionales. Este diseño elimina la necesidad de contar con escobillas tradicionales, optando en su lugar por un control electrónico para alterar las fases del motor[34].

Los motores sin escobillas presentan diversas ventajas, entre las cuales se incluyen una mayor confiabilidad, una alta eficiencia, una larga vida útil, bajos requisitos de mantenimiento, operación a alta velocidad con un mínimo de ruido, control preciso del motor y un tamaño compacto. En términos generales, los motores sin escobillas, también conocidos como motores BLDC, superan

a los motores de corriente continua con escobillas al ofrecer alta confiabilidad y eficiencia, capacidad de par elevada, larga vida útil, bajos requisitos de mantenimiento, un rango de operación a alta velocidad con funcionamiento silencioso, buena respuesta dinámica, y una reducción en tamaño y peso[35].

En resumen, los motores sin escobillas ofrecen numerosas ventajas, como mayor confiabilidad, alta eficiencia, larga vida útil, bajos requisitos de mantenimiento, operación a alta velocidad con un mínimo de ruido, control preciso del motor y tamaño compacto, lo que los hace idóneos para aplicaciones que requieren un control fuerte y preciso del motor, larga vida útil, bajo mantenimiento, operación silenciosa a alta velocidad y un diseño compacto.



Figura.9 Motor Brushless

*Fuente:* [36]

### 1.9.4.1.2 Motor de corriente alterna (AC):

#### 1.9.4.1.2.1 Motor de inducción

El motor de inducción se caracteriza por la ausencia de conexiones eléctricas directas con el rotor, lo que implica que la transferencia de energía ocurre mediante la inducción electromagnética. Esta

característica fundamental posibilita el funcionamiento del motor de inducción de manera más eficiente y confiable, prescindiendo de componentes móviles tales como escobillas o anillos deslizantes[37].

Se basa en el principio de la inducción electromagnética, es una tecnología ampliamente empleada en diversas aplicaciones industriales, comerciales y residenciales. Este tipo de motor es preferido debido a sus múltiples ventajas tanto tecnológicas como económicas. Se estima que más del 60% del mercado en sectores como fábricas, departamentos industriales, compresores de aire, ventiladores, electrodomésticos y aplicaciones automotrices está ocupado por motores de inducción[38]

#### **1.9.4.1.2.2 Motor síncrono**

El motor síncrono es un tipo de motor eléctrico que funciona a una velocidad sincronizada con la frecuencia de la corriente suministrada. Esto implica que la velocidad de rotación del motor guarda una relación directa con la frecuencia de la corriente alterna proporcionada, se emplea comúnmente en aplicaciones que demandan un control preciso de la velocidad, tales como maquinaria industrial, sistemas robóticos y vehículos eléctricos. Además, los motores síncronos presentan varias ventajas en comparación con otros tipos de motores.

Una de sus ventajas reside en la capacidad de mantener una velocidad constante, independientemente de la carga aplicada. Además, destaca por su alta eficiencia, lo que se traduce en una notable reducción tanto en el consumo de energía como en los costos operativos. Asimismo, son reconocidos por su operación fiable y estable, haciéndolos idóneos para aplicaciones críticas[38].

#### **1.9.4.1.3 Aplicaciones de los motores eléctricos**

Los motores eléctricos desempeñan un papel integral en diversas industrias y sectores. Por ejemplo, en la industria automotriz, se emplean en vehículos eléctricos para suministrar la potencia

necesaria que impulsa el movimiento del automóvil. Además, en el ámbito manufacturero, estos motores son esenciales para alimentar maquinaria y equipos utilizados en la producción de bienes. En el campo de la energía renovable, los motores eléctricos se utilizan en turbinas eólicas para convertir la energía del viento en electricidad además en la industria aeroespacial, los motores eléctricos desempeñan un papel vital en aviones no tripulados y satélites, contribuyendo al control del movimiento y la ejecución de funciones específicas. Asimismo, en el entorno doméstico, estos motores se encuentran en una variedad de electrodomésticos como lavadoras, secadoras, aspiradoras y refrigeradores, brindando eficiencia y comodidad en la vida cotidiana [39].

### **1.9.5 Batería**

Las baterías operan almacenando energía en una forma química que posteriormente puede transformarse en energía eléctrica cuando se requiere. Este proceso electroquímico implica el desplazamiento de iones entre los electrodos positivo y negativo de la batería. Como consecuencia de este movimiento, se generan electrones que fluyen a través de un circuito externo, suministrando energía al dispositivo electrónico[40]. Existen varios tipos de baterías, entre los cuales se incluyen los siguientes:

#### **1.9.5.1 Ácido plomo**

Las baterías de plomo-ácido son ampliamente utilizadas en vehículos convencionales, aunque no son comunes en vehículos híbridos. Estas baterías suelen tener voltajes de 6 V y 12 V, cada una conformada por celdas de 2 V [41]. Es decir, hay dos electrodos, uno positivo y otro negativo, que al estar conectados en un circuito cerrado producirán una corriente. Una batería consta de múltiples pares de estos electrodos dispuestos en cámaras separadas llamadas celdas además ambos electrodos están inmersos en una solución conocida como electrolito [42].

### **1.9.5.2 Iones de litio (Li-ion)**

Es una batería recargable que consta de celdas, donde durante la descarga, los iones de litio se desplazan desde el electrodo negativo hacia el electrodo positivo a través de un electrolito, y realizan el proceso inverso al cargarse. Estas baterías destacan por su elevada densidad energética y carecen de efecto memoria. Sin embargo, es importante destacar que presentan riesgos de seguridad, ya que contienen electrolitos inflamables y pueden sufrir explosiones o incendios en caso de daño o carga inapropiada. Este tipo de baterías se utiliza ampliamente en herramientas eléctricas, equipos médicos y otras aplicaciones[43].

El reciclaje incorrecto de las baterías conlleva el potencial de generar desechos peligrosos, especialmente a través de la liberación de metales tóxicos, y puede aumentar el riesgo de incendios. Además, la extracción de minerales estratégicos, como el litio y el cobalto, que se utilizan en la fabricación de baterías, plantea desafíos significativos. La obtención de litio, en particular, implica el consumo de una cantidad considerable de agua, lo cual puede ser problemático en regiones generalmente áridas. Por otro lado, el cobalto, a menudo empleado en baterías, a menudo se asocia con la explotación en zonas de conflicto.

### **1.9.5.3 Polímero de litio (Li-Po)**

Estos acumuladores son recargables y se encuentran en la vanguardia de los sistemas de almacenamiento de energía. Se destacan por su notable desempeño en cuanto a capacidad, peso, volumen y voltaje, superando a otros tipos de baterías recargables, utilizan un electrolito basado en polímeros, lo que resulta en una celda extremadamente delgada y flexible. Esta característica hace que sea a prueba de derrames, resistente a la presión y adaptable a diversas formas. Debido a estas propiedades, estas baterías son conocidas por su ligereza, flexibilidad y resistencia a fugas. Además, su electrolito altamente conductor tiene el potencial de proporcionar una potencia considerable. No obstante, es importante señalar que también presentan una elevada tasa de descarga y ciertos problemas de seguridad debido a la volatilidad de su electrolito. [44].

#### **1.9.5.4 Níquel-metal hidruro (Ni-MH)**

Las baterías de níquel/hidruro metálico (Ni/MH) son ampliamente utilizadas en una variada gama de aplicaciones, abarcando desde dispositivos electrónicos portátiles hasta sistemas de almacenamiento de energía estacionarios, vehículos híbridos eléctricos (HEV) y vehículos eléctricos (EV), así como en diversas aplicaciones de transporte, que abarcan desde vehículos ligeros hasta vehículos pesados y trenes. El desarrollo de estas baterías ha implicado investigaciones en cuanto a los materiales utilizados en los cátodos, ánodos y electrolitos.

Estas baterías exhiben una relativamente alta densidad de energía, que varía entre 140 y 300 Wh/l. En líneas generales, la eficiencia económica del almacenamiento de energía se alcanza cuando la variabilidad en el costo marginal de la electricidad supera los costos relacionados con el almacenamiento y la recuperación de energía, además del valor de la energía perdida durante dicho proceso [45].

#### **1.9.5.6 Baterías de estado sólido.**

El almacenamiento de energía se considera económicamente viable cuando la variabilidad en el costo marginal de la electricidad supera los costos asociados con el almacenamiento y la recuperación de energía, sumados al valor de la energía perdida durante dicho proceso. Este análisis estratégico toma en cuenta la dinámica compleja de los costos energéticos y busca optimizar la eficiencia económica en el contexto de sistemas de almacenamiento energético.

Las baterías de estado sólido constituyen una tecnología de batería particular que se distingue por el empleo de electrodos y electrolitos en estado sólido, en contraste con los electrolitos líquidos o poliméricos que se encuentran en las baterías de polímeros de litio tradicionales.

Las baterías de estado sólido presentan posibles soluciones a varios desafíos intrínsecos asociados con las baterías de iones de litio convencionales. Estos desafíos abarcan la inflamabilidad, la limitación de voltaje, la creación de interfaces sólido-electrolito inestables, el bajo rendimiento en

ciclos y la resistencia. Uno de los desafíos más significativos que siempre se ha enfrentado es la inestabilidad en la interfaz entre el electrodo y el electrolito [43].

## Capítulo II

### Materiales y Métodos

#### 2.1 Materiales

En esta etapa se incorporan los materiales fundamentales para alcanzar los resultados previstos en el desarrollo y fabricación del go kart. Uno de los objetivos clave de este proyecto radica en la creación de un go kart mediante el empleo de software CAD. Para asegurar el éxito en el desarrollo de los diseños y simulaciones, resulta imperativo tomar decisiones acertadas en la selección de los materiales que conformarán la estructura del go kart. Este paso estratégico garantiza no solo la viabilidad técnica, sino también la eficiencia y rendimiento óptimo del vehículo en todas sus fases de producción y uso.

Es fundamental tener en cuenta que en nuestro entorno actual no existe una regulación específica orientada a la estructura de estos modelos. En este contexto, se realizaron diversas simulaciones siguiendo las pautas establecidas por la norma INEN 1323. Dichas simulaciones se llevaron a cabo con el propósito de analizar posibles variaciones en la estructura y asegurar que no se presenten deformaciones que puedan ocasionar lesiones al ocupante.

La selección del material para la construcción de la estructura del go kart implica evaluar diversas opciones que presentan variaciones en su disponibilidad en el mercado. Este proceso de selección requiere un análisis exhaustivo, tomando en cuenta factores como la resistencia, la durabilidad, el peso y la accesibilidad de los materiales disponibles. La adecuada ponderación de estas variables es esencial para garantizar que la selección cumpla con los requisitos específicos del proyecto, contribuyendo así al rendimiento óptimo y la eficiencia del go kart en su conjunto. Tras una exhaustiva revisión de los procesos de selección de materiales presentes en la literatura especializada en diseño, hemos llegado a una conclusión, el material más idóneo para la construcción del prototipo en este proyecto es el acero ASTM A500 grado C. Este material es fácilmente accesible en nuestro entorno y cumple con los requisitos necesarios en cuanto a resistencia para el go kart.

El acero ASTM A500 grado C es uno de los aceros más comunes utilizados en la industria. La especificación ASTM A500 Grado C establece de manera detallada los estándares técnicos aplicables a tubos de acero estructurales, tanto soldados como sin costura, que son fabricados mediante procesos en frío. Esta normativa es fundamental en disciplinas como la ingeniería estructural y la construcción, ya que especifica rigurosamente los requisitos de resistencia mecánica, las tolerancias dimensionales y las propiedades químicas de estos materiales. La conformidad con la norma ASTM A500 Grado C asegura que estos componentes estructurales brinden un rendimiento confiable y duradero en aplicaciones donde la seguridad y la integridad estructural son críticas[46].

### **2.1.3 Chasis**

El chasis debe ser lo suficientemente flexible para brindar una suspensión efectiva y lograr un buen agarre en la parte delantera. Normalmente, la construcción del chasis se realiza con tubos. Este componente juega un papel fundamental al proporcionar soporte tanto a la unidad de potencia como al sistema de marcha del go kart. [47].

Después de realizar un minucioso análisis de ingeniería para la construcción del chasis, se optó por utilizar un tipo de tubería estructural redonda de 1 1/4 pulgadas con un espesor de 2 mm. La elección de este material se basó en su fácil disponibilidad en el mercado local. Para lograr el diseño previsto, fue necesario aplicar dobleces y llevar a cabo un proceso de soldadura. Además, se incorporó una lámina de aluminio en la parte inferior del chasis para prevenir cualquier contacto directo del piloto con el suelo.

La elección de este diseño específico del chasis se fundamentó en su cumplimiento con las normas de seguridad pertinentes. La resistencia del chasis se evaluó mediante simulaciones numéricas utilizando el método de elementos finitos. Los resultados detallados de estas simulaciones se presentarán más adelante.

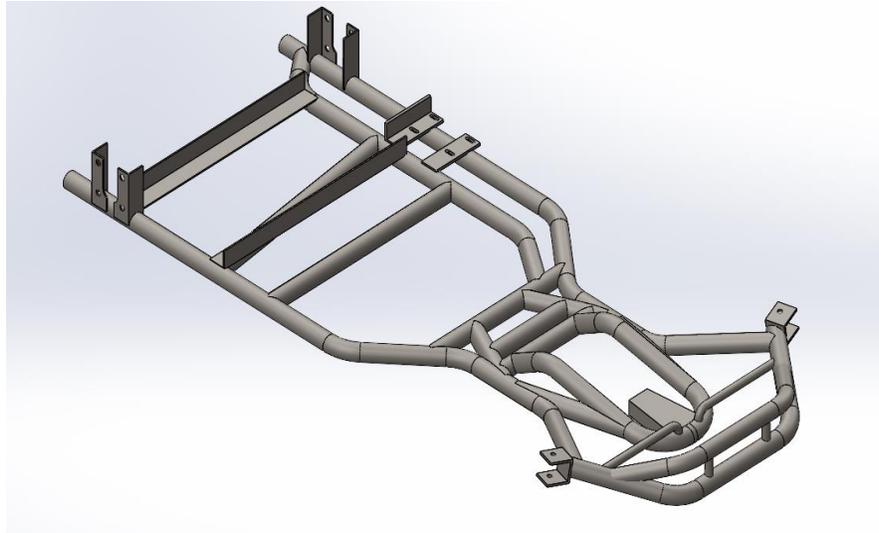


Figura.10 Chasis go kart eléctrico

#### **2.1.4 Sistema de dirección**

La misión fundamental del sistema de dirección es guiar al vehículo de modo que siga la ruta elegida por el conductor. El sistema de dirección, en esencia, se compone de una serie de mecanismos que funcionan como intermediarios entre el piloto y el automóvil. Cuando el conductor gira el volante, dicho movimiento se transmite a través de la columna de dirección hasta las varillas de dirección, las cuales transforman el giro en un movimiento lineal capaz de girar las ruedas delanteras del vehículo[48].

##### **2.1.4.1 Ejes de dirección**

Los ejes de dirección son componentes cruciales en vehículos, determinando el movimiento de las ruedas. Divididos en eje delantero y trasero, el eje delantero, conectado al volante, habilita al conductor para dirigir el vehículo al transmitir su movimiento a las ruedas delanteras. Este proceso es esencial para la precisión en la conducción y la seguridad del automóvil[49].



Figura.11 Ejes de Dirección

#### 2.1.4.2 Volante

Este componente desempeña un papel fundamental al brindar soporte a la unidad de potencia, al tren de potencia y al sistema de marcha del go kart. Este componente circular, ubicado en el interior del automóvil, está conectado al sistema de dirección. Su principal función es proporcionar al conductor el control total sobre la dirección del vehículo, permitiéndole realizar giros hacia la izquierda o derecha. Además, el diseño del volante se distingue por ser cómodo y fácil de sujetar, incluyendo superficies texturizadas que mejoran la sujeción para una conducción más segura y ergonómica [50]

El volante empleado es un volante de kart de 10.5 pulgadas con tres radios de liberación rápida todoterreno y perforaciones específicamente diseñadas para su aplicación en go karts.



Figura.12 Volante go kart

### 2.1.4.3 Columna de dirección

La funcionalidad del eje de dirección en un go kart se erige como un elemento de importancia en la gestión y maniobrabilidad del vehículo. Este componente ayuda al conductor para dirigir el go kart con una precisión destacada, al transmitir eficazmente los movimientos del volante a las ruedas delanteras. Más allá de facilitar la capacidad de realizar giros en la dirección deseada, el eje de dirección ostenta una relevancia crucial en la preservación de la estabilidad y equilibrio del go kart, sobre todo en situaciones desafiantes como curvas pronunciadas y maniobras exigentes. En síntesis, la función integral del eje de dirección aporta de manera sustancial a una experiencia de conducción que destaca por su precisión y seguridad[51].



Figura.13 Columna De Dirección

#### 2.1.4.4 Manguetas de las ruedas del go kart

Las manguetas de las ruedas se vinculan a los soportes del bastidor y a las varillas de dirección. En proximidad a estas, se ensamblan las ruedas delanteras. Sobre estas mismas manguetas, se incorporan separadores circulares diseñados para ajustar la amplitud de la vía delantera, un aspecto crucial en la configuración de un kart. Este conjunto puede complementarse con anillos de seguridad que previenen que la columna de dirección se desplace fuera del soporte en caso de rotura.

Fueron fabricadas a partir de modelos estandarizados en el ámbito del kartismo, dando lugar a un tipo de manguetas diseñadas específicamente para optimizar el rendimiento del sistema de dirección del go kart. Para su fabricación, se eligió el acero al carbono A36, en consonancia con los estándares de seguridad y considerando su amplia disponibilidad en el entorno local.



Figura.14 Manguetas de las ruedas del go kart

#### 2.1.5 Motor

Un motor de corriente continua sin escobillas es un dispositivo eléctrico que opera sin la necesidad de cepillos. Este tipo de motor utiliza un mecanismo distinto, conocido como conmutación, para modificar la dirección de la corriente y así generar movimiento rotacional. En lugar de depender de cepillos, este motor emplea circuitos electrónicos e imanes para llevar a cabo dicho proceso. La

sugerencia de optar por motores de corriente continua sin escobillas en vehículos eléctricos de alto rendimiento se basa en su destacada confiabilidad [52].

Es este tipo de monoplaza se utilizó un motor sin escobillas MY1020 de marca Kunray que presenta las siguientes características.

Tabla.1 *Kunray Características del motor sin escobillas MY1020*

<b>Especificaciones</b>	<b>Características</b>
Potencia nominal	3000W
Corriente	45 A
Voltaje	72V
Velocidad nominal	4900 rpm/min, (máximo 5800 RPM)
Piñón	T8F 11 dientes
Peso de carga	100-200 kg



Figura.15 Motor BLDC MY1020

### 2.1.5.1 Controlador de motor BLDC

Desempeña un papel fundamental en los sistemas que emplean motores sin escobillas. Su función principal consiste en supervisar tanto la velocidad como la dirección del motor, al mismo tiempo que suministra la potencia esencial para su operación. Este controlador logra esta tarea al regular la secuencia de suministro de energía a las bobinas del motor, garantizando así una rotación fluida y eficiente [53].

Se adquirió un controlador específico para el motor utilizado, con el objetivo de maximizar su rendimiento. Por esta razón, el controlador cuenta con las siguientes características:

Tabla.2 *Características del controlador para motores sin escobillas MY1020.*

<b>Especificaciones</b>	<b>Características</b>
Voltaje	48-72V,
Protección	42V
Potencia	3000W
Cantidad de transistores MOSFET	24 MOSFET
Corriente	50A
Grado de fase	120°,
Número de velocidades	3 velocidades



Figura.16 Controlador de Motor BLDC

### 2.1.6 Batería

La batería de plomo-ácido se clasifica como una batería recargable y consta de componentes clave que incluyen placas de plomo, un electrolito de ácido sulfúrico y un recipiente que aloja el electrolito. El funcionamiento de esta batería se basa en una reacción química entre el ácido sulfúrico y las placas de plomo. En el transcurso de esta reacción, las placas de plomo experimentan una transformación en sulfato de plomo, mientras que el ácido sulfúrico se convierte en agua. Este proceso libera energía eléctrica, la cual puede ser aprovechada para alimentar una variedad de dispositivos y sistemas. La batería de plomo-ácido ha demostrado ser una fuente de energía confiable y versátil, ganándose popularidad en diversas aplicaciones como la industria automotriz, la marina y los sistemas de energía renovable [54].

Para este modelo de monoplaza, se implementó la batería 6-EVF-32 de 12V y 32Ah. Se trata de una batería de plomo diseñada específicamente para aplicaciones de potencia motriz, como bicicletas/scooters eléctricos, triciclos eléctricos, motocicletas eléctricas y otros dispositivos que demandan una fuente de alimentación de corriente continua.

Tabla.3 *Características de la batería 6-EVF-32 de 12V y 32Ah*

<b>Especificaciones</b>	<b>Características</b>
Voltaje nominal (V)	12V
Voltaje de circuito abierto (V / Block)	13.1V - 13.45V
Número de celdas (por bloque)	6 celdas
Capacidad nominal (Ah, 25 °C)	Velocidad de 3 h (a 1,75 V / celda) a 32Ah
Peso	10.1 kg
Dimensión	(267 mm ± 2) X (77 mm ± 2) X (170 mm ± 2)
Material del contenedor	ABS mejorado
Voltaje de carga	Flotar (V / Bloque) 13.50V - 13.80V
	Ciclo (V / Bloque) 14.60V - 14.80V
Corriente de descarga máxima (A)	225A (5s)
Corriente de carga máxima (A)	4.4A
Temperatura de trabajo (°C)	Operación (máximo): -20 °C a 50 °C
	Operación (recomendada): 20 °C a 30 °C
Temperatura de almacenamiento (°C)	-20 °C a 50 °C



Figura.17 Batería

### 2.1.7 Cargador

Los cargadores de baterías para vehículos juegan un papel crucial en asegurar la longevidad y el rendimiento óptimo de las baterías de los automóviles. Estos cargadores están diseñados para suministrar la corriente eléctrica necesaria para recargar la batería después de haber sido utilizada y descargada durante la operación del vehículo. La eficiencia y efectividad de un cargador de baterías son elementos cruciales para preservar el rendimiento y prolongar la vida útil de la batería del vehículo. [55].



Figura.18 Cargador Batería 72V30Ah

### 2.1.8 Neumáticos y aros

Los aros son uno de los componentes más fundamentales, ya que conforman la estructura esencial que sostiene el neumático y se monta en el eje del go kart. Los neumáticos de go kart son producidos mediante la utilización de compuestos de caucho cuidadosamente formulados, con el objetivo de proporcionar un agarre óptimo y una tracción excepcional en las diversas superficies presentes en las pistas de karting [56].

Se emplearon neumáticos de la marca MG, específicamente la variante extradura, diseñada para ofrecer un rendimiento óptimo en condiciones de conducción en seco. Estos neumáticos, con dimensiones de 10 X 4.50-5 para el eje delantero del go kart y 11x7.10-5 para el eje trasero, están diseñados para destacar tanto en ambientes interiores como exteriores. Son perfectamente compatibles con karts eléctricos, asegurando un desempeño eficiente en diversas condiciones de conducción.



Figura.19 Neumáticos

## 2.1.9 Sistema de tracción

### 2.1.9.1 Piñón y catalina de transmisión

Reconocido también como rueda dentada, desempeña un papel fundamental en los sistemas de transmisión mecánica. Su función principal consiste en trasladar movimiento y potencia entre dos ejes o componentes, posibilitando así la transmisión de energía rotativa en el go kart[57].

Se ha elegido un piñón de 11 dientes y una catalina de 58 dientes, estableciendo así una relación de  $n=5.27$ . Esto implica que, por cada vuelta completa de la catalina de 58, el piñón de 11 dientes dará aproximadamente 5.27 vueltas completas.



Figura.20 Piñón



Figura.21 Catalina

### 2.1.9.2 Cadena de transmisión

La cadena de transmisión desempeña un papel crítico dentro del sistema de tren motriz, encargándose de transferir la potencia generada por el motor hacia las ruedas traseras, posibilitando el movimiento del go kart en dirección hacia adelante o hacia atrás[58].



Figura.22 Cadena De Transmisión

### **2.1.10 Sistema de frenado**

Indudablemente, el sistema de frenos se establece como el componente de seguridad vial más crucial para un automóvil. De su eficacia depende la capacidad de detener el vehículo de manera total o parcial, impactando directamente en la integridad y seguridad de sus ocupantes.

#### **2.1.10.1 Disco de freno**

El disco de freno constituye una parte fundamental en el sistema de frenos de un vehículo, situándose en la rueda de este. Su función principal radica en transformar la energía cinética en calor durante el proceso de frenado. Este mecanismo se lleva a cabo mediante la generación de fricción entre el disco de freno y las pastillas de freno[59].



Figura.23 Disco de freno

### 2.1.10.2 Caliper de Freno

Es un componente esencial del sistema automotriz que alberga y presiona las pastillas de freno, generando fricción en el disco. Su papel crucial contribuye a la efectividad del sistema de frenos al asegurar una detención controlada y segura del vehículo[60].



Figura.24 *Caliper De Freno*

### 2.1.10.3 Pastilla de freno

Están compuestas de materiales de alta fricción como cerámica o metal, se sitúan en la pinza de freno. Al presionar el pedal, la pinza activa las pastillas contra el disco, generando fricción y desacelerando el vehículo. La fricción es clave para un frenado efectivo[61].



Figura.25 *Pastillas De Freno*

### 2.1.11 Asiento

El asiento de un go kart desempeña un papel fundamental al proporcionar soporte y comodidad, mejorando así la experiencia de conducción. En términos generales, posibilita que el conductor mantenga un control total sobre el vehículo al mismo tiempo que mantiene una postura cómoda y estable [13].



Figura.26 *Asiento*

### 2.1.12 Velocímetro digital

El velocímetro es un instrumento esencial que mide la velocidad de desplazamiento de un vehículo, proporcionando al piloto información constante sobre su velocidad actual. Además, en vehículos eléctricos, este dispositivo juega un rol crucial al permitir monitorear el nivel de carga de las baterías y la distancia que se ha recorrido, facilitando una gestión eficiente del rendimiento del vehículo.



Figura.27 *Velocímetro Digital*

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Diseño CAD karting

#### 2.2.1.1 Modelado 3D

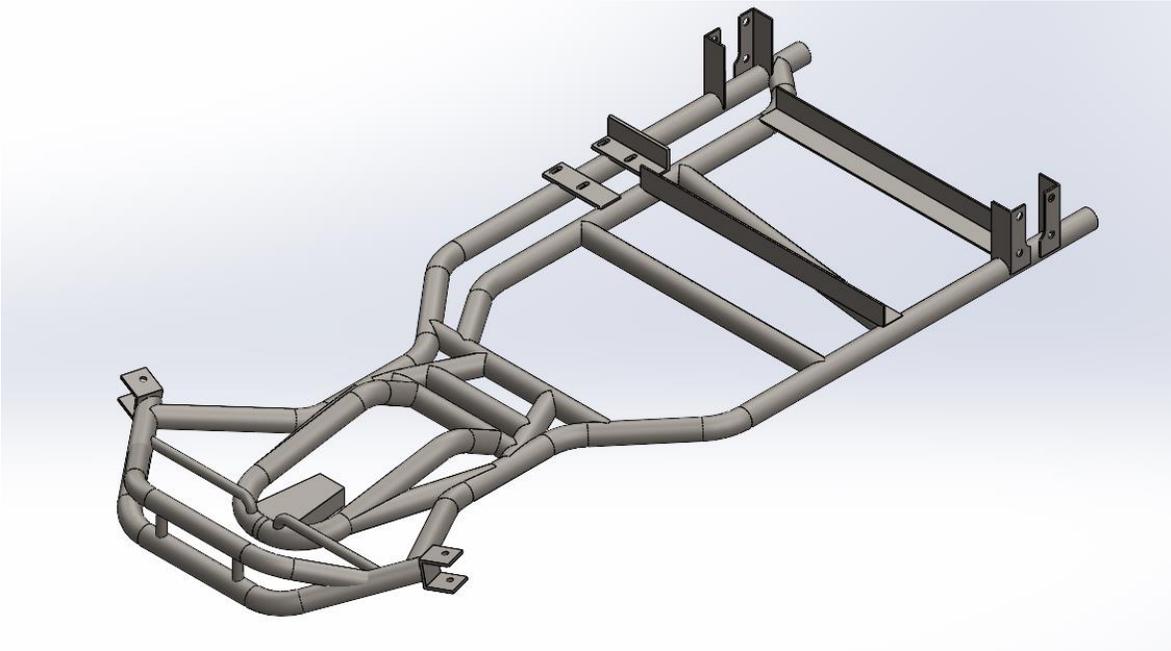


Figura.28 *Modelado 3D de bastidor y soportes*

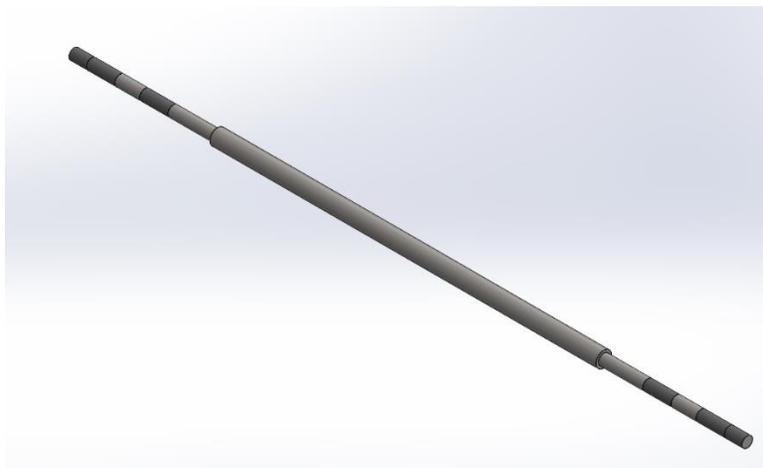


Figura.29 *Modelado 3D de eje de transmisión*

## 2.2.2 Diseño y simulación CAD de chasis

### 2.2.2.1 Parámetros de diseño y requerimientos generales de diseño

La Comisión Internacional de karting, regulada por la Federación Internacional del Automovilismo (CIK/FIA), establece las especificaciones para las dimensiones de la tubería del chasis de un go kart de la siguiente manera:

Tabla.4 *Especificaciones para las dimensiones (CIK/FIA)*

N.º	Descripción
1	La estructura debe estar compuesta por secciones tubulares de acero, con o sin aleación.
2	El chasis debe ser una estructura rígida con piezas soldadas para la instalación de los demás componentes.
3	La distancia entre ejes debe situarse entre 1010 mm y 1300 mm.
4	El ancho del go kart debe ser, como mínimo, 2/3 de la medida de los ejes.
5	La longitud total del go kart no debe exceder los 2000 mm.
6	El ancho del go kart no debe superar los 1400 mm.
7	La distancia entre el suelo y el punto más alto del karting no debe ser superior a los 650 mm.

[62]

Previo al diseño del kart se considera los siguientes requerimientos generales.

Tipo de bastidor: Tubular

Distancia entre ejes: 1210 mm.

Ancho de vía: 945 mm en el eje delantero y 980 mm en el eje posterior.

Ancho total: 1100mm

Distancia entre el suelo y el punto más alto: 630 mm

Peso: El peso del kart con su piloto será aproximadamente 176,5 kg. Resulta de la suma de:

- 70 kg una persona en su interior
- 7,5 kg motor eléctrico
- 16,7 kg chasis tubular
- 8,8 kg transmisión y freno
- 6,8 kg aros y neumáticos
- 2,9 kg asiento
- 2,2 kg dirección
- 60,6 kg seis baterías (10,1 kg cada una)
- 1 kg controlador y otros.
- Distancia al piso: 30 mm

Altura del centro de gravedad: aproximadamente 215 mm (determinado en base al modelo CAD con la ubicación de los elementos más representativos)

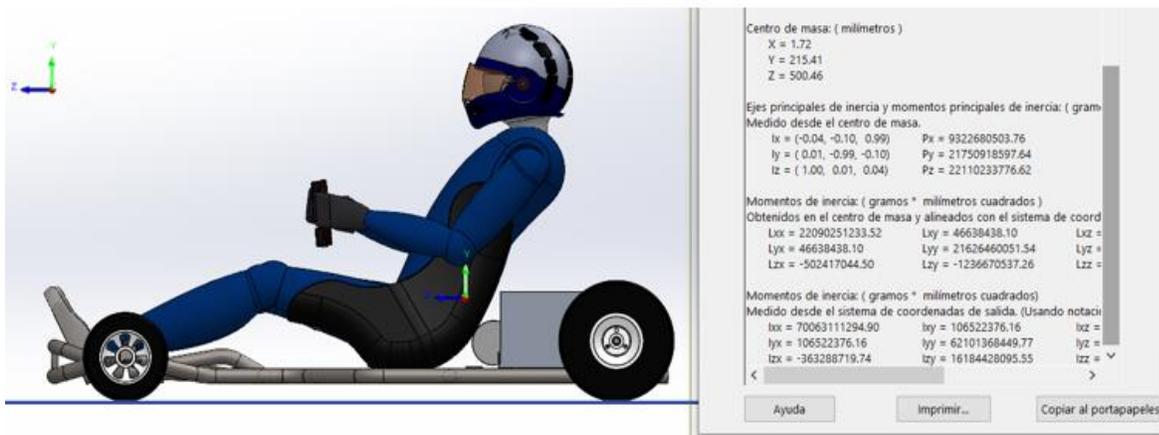


Figura.30 Centro de masa del go kart eléctrico

Distribución de peso: 30%-70% (adelante-atrás). Esta distribución se elige considerando el peso representativo que tienen las baterías, las mismas que están ubicadas detrás del asiento del piloto.

### 2.2.2.2 Cálculo de aceleraciones y cargas

Los ensayos realizados al bastidor del kart fueron:

- Aceleración
- Frenada brusca
- Paso por curva
- Rigidez torsional
- Colisión frontal
- Colisión Lateral

Las solicitaciones más exigentes para un kart se dan en la aceleración, frenada y paso por curva, para lo cual se realiza la simulación en términos de la inercia generada en función de los valores calculados de aceleración para cada condición de conducción. No se aplicaron fuerzas puntuales con el objetivo de reducir la aparición de singularidades y en su lugar se realizó la simplificación usando puntos remotos y masa puntuales.

Por tanto, se utilizó el centro de gravedad (CG) de los elementos más representativos en cuanto a la masa total del kart (piloto y asiento, baterías, motor eléctrico y eje de transmisión), su masa y la simplificación de puntos remotos para conectar estas cargas al bastidor. Esta simplificación permite tener las siguientes ventajas:

- Reducción de gasto computacional debido a la disminución de elementos de malla del modelo.
- Reducción de singularidades de tensiones en zonas de contacto de elementos.

Por otra parte, las principales cargas que actúan sobre el kart son cargas permanentes (G) como el peso del kart y conductor y cargas variables (Q) propias de la dinámica vehicular. A fin de garantizar la seguridad y la durabilidad del kart, se decidió multiplicar las cargas y aceleraciones a usar por un factor de seguridad.

- Las cargas permanentes tendrán un factor de  $\gamma_G = 1,33$
- Las cargas variables tendrán un factor de  $\gamma_Q = 1,50$

### 2.2.2.2.1 Ensayo de aceleración

La aceleración máxima que puede experimentar el go kart, está determinada por la adherencia entre los neumáticos y la calzada. El pico máximo de aceleración sin pérdidas de tracción se rige por la ecuación [63].

$$a \leq \mu \cdot g$$

Donde:

$a$  = aceleración ( $m/s^2$ )

$\mu$  = Coeficiente de fricción

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

Considerando que los circuitos de karting están construidos generalmente con una superficie de asfalto el coeficiente de fricción correspondiente es de 0,6. Por lo que la aceleración máxima que podría desarrollar el kart está definida por:

$$a \leq 0,6 \cdot (9,81)$$

$$a \leq 5,89 \text{ m/s}^2$$

Esta aceleración se multiplica por el factor  $\gamma_Q$  mencionado anteriormente previo a la aplicación en el software CAE.

$$a = 5,89 * 1,50 \text{ m/s}^2$$

$$a = 8,835 \text{ m/s}^2$$

### 2.2.2.2.2 Ensayo de frenado brusco

La distancia de frenado es la que recorre un vehículo desde que se pisan los frenos hasta que se detiene por completo. Se calcula utilizando la siguiente ecuación: [64]:

$$df = \frac{v^2}{254 * u}$$

Donde:

$df$  = Distancia de frenado (m)

$v$  = Velocidad al momento del frenado (km/h)

$u$  = Coeficiente de fricción neumático-suelo

Se considera una velocidad máxima de 40 km/h al momento de aplicar los frenos y un coeficiente de fricción de neumáticos de 0,6.

$$df = \frac{40^2}{254 * 0,6}$$

$$df = 10,50 \text{ m}$$

La máxima desaceleración provocada por el frenado es:

$$a_f = \frac{v^2}{2 * df}$$

$$a_f = \frac{11,11^2}{2 * 10,5}$$

$$a_f = 5,88 \text{ m/s}^2$$

Esta desaceleración se multiplica por el factor  $\gamma_Q$  mencionado anteriormente previo a la aplicación en el software CAE.

$$a_f = 5,88 * 1,50 \text{ m/s}^2$$

$$a_f = 8,82 \text{ m/s}^2$$

### 2.2.2.2.3 Ensayo de paso por curva

Para el cálculo, se consideró que la transferencia de carga se produce al tomar una curva de 7,625 m de radio de curvatura (dato tomado como referencia de la prueba Skidpad del reglamento SAE para Formula Student) a una velocidad máxima de 40 km/h. En este caso, se calcula la aceleración normal que experimenta el kart durante la curva.

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

Donde:

$a_n$  = Aceleración normal (m/s<sup>2</sup>)

$v$  = Velocidad (m/s)

$\rho$  = Radio de la curva (m)

$$a_n = \frac{11,11^2}{7,625}$$

$$a_n = 16,19 \text{ m/s}^2$$

Esta aceleración normal se multiplica por el factor  $\gamma_Q$  mencionado anteriormente previo a la aplicación en el software CAE.

$$a_n = 16,19 * 1,50 \text{ m/s}^2$$

$$a_n = 24,29 \text{ m/s}^2$$

### 2.2.2.2.3.1 Transferencia de masa en curva

Al tomar una curva, las fuerzas que actúan sobre el vehículo provocan un cambio en la distribución del peso, conocido como transferencia de carga. Esta transferencia hace que las ruedas externas del vehículo soporten más carga que las ruedas internas.

Las fuerzas que actúan sobre el centro de gravedad del kart provocan un cambio en la distribución del peso, conocido como transferencia de masas, lo cual es de suma importancia en el análisis de rigidez torsional.

La transferencia de masa durante la curva queda determinada por [65]:

$$w_l = \frac{a_n * m * h}{b}$$

Donde:

$w_l$  = Transferencia de masa lateral (N)

$a_n$  = Aceleración normal (m/s<sup>2</sup>)

$m$  = Masa (kg)

$h$  = Altura del centro de masa (m)

$b$  = Ancho de vía (m)

$$w_l = \frac{16,19 * 176,5 * 0,215}{0,945}$$

$$w_l = 650,17 \text{ N}$$

$$w_l = 66,28 \text{ kg}$$

Considerando de igual manera la distribución de masa de 30-70 se tiene:

Transferencia de carga en el eje delantero:

$$w_{ld} = 0,30 \cdot w_l$$

$$w_{ld} = 19,88 \text{ kg}$$

Y para cada una de las ruedas delanteras se tiene:

$$w_d = (176,5 * 0,15 * 1,33) \pm (19,88 * 1,50)$$

$$w_{d1} = 65,04 \text{ kg}$$

$$w_{d2} = 5,39 \text{ kg}$$

Transferencia de carga en el eje posterior:

$$w_{lp} = 0,70 \cdot w_l$$

$$w_{lp} = 46,39 \text{ kg}$$

Y para cada una de las ruedas traseras se tiene:

$$w_p = (176,5 * 0,35 * 1,33) \pm (46,39 * 1,50)$$

$$w_{p1} = 151,75 \text{ kg}$$

$$w_{p2} = 12,57 \text{ kg}$$

A partir de los cálculos de la transferencia de masa en curva, se ha creado la siguiente tabla que muestra las cargas que soporta cada rueda. Es importante recordar que se ha utilizado un factor de carga permanente de 1,33.

Tabla.5 *Cargas que soporta cada rueda.*

<b>Peso total = 176,5kg * 1,33</b>	<b>234,75 kg</b>	
<b>En reposo</b>  <b>distribución 30-70 (%)</b>  <b>(adelante-atrás)</b>	35,21 kg	35,21 kg
	82,16 kg	82,16 kg
<b>En curva</b>  <b>distribución 30-70 (%)</b>  <b>(adelante-atrás)</b>	5,39 kg	65,04 kg
	12,57 kg	151,75 kg

### 2.2.2.3 Metodología para análisis del chasis por elementos finitos

Se realizó un análisis estructural estático en el software CAE, para lo cual se consideró los parámetros detallados a continuación.

#### 2.2.2.3.1 Propiedades y dimensiones de material

El material utilizado para el análisis del bastidor es el acero ASTM A500 grado C, disponible en el mercado nacional.

Physical Properties		Metric
Density		7.85 g/cc
Mechanical Properties		Metric
Tensile Strength, Ultimate		425 MPa
Tensile Strength, Yield		315 MPa
Elongation at Break		21 %
Bulk Modulus		160 GPa
Shear Modulus		80.0 GPa
Component Elements Properties		Metric
Carbon, C		<= 0.27 %
Copper, Cu		<= 0.18 %
Iron, Fe		98 %
Manganese, Mn		<= 1.4 %
Phosphorous, P		<= 0.050 %
Sulfur, S		<= 0.063 %

Figura.31 *Propiedades mecánicas del material*

Fuente: [66]

Se utilizó tubo redondo de 1,25 pulgadas y 2 mm de espesor. Los anclajes de baterías y chumaceras del eje de transmisión en perfil L de 40x40x3 mm. Los soportes del motor eléctrico en pletina de 40x6 mm.

### 2.2.2.3.2 Distribución de centros de gravedad

A continuación, se detalla los centros de gravedad (CG) de cada uno de los elementos de mayor masa para los ensayos CAE.

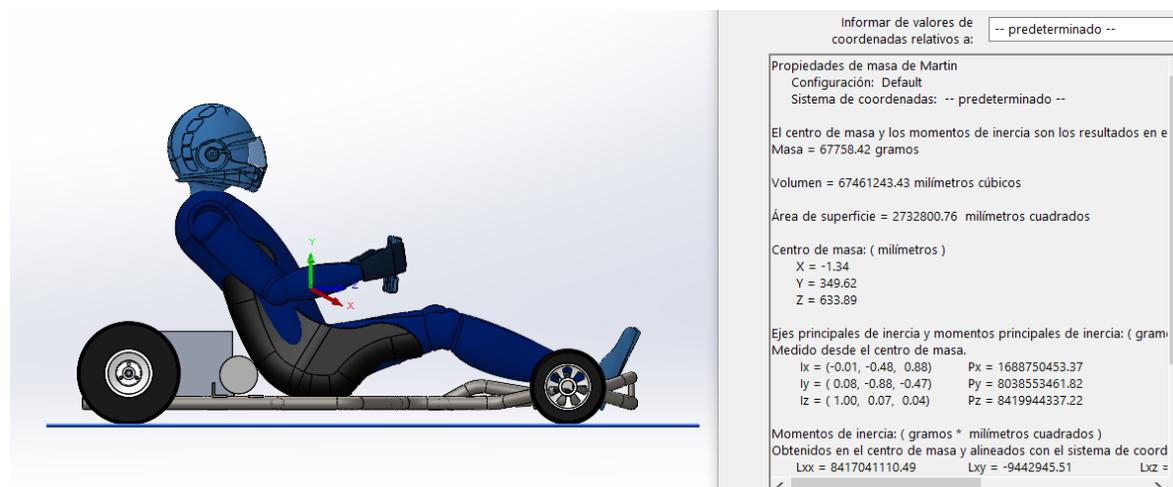


Figura.32 *CG del piloto y asiento*

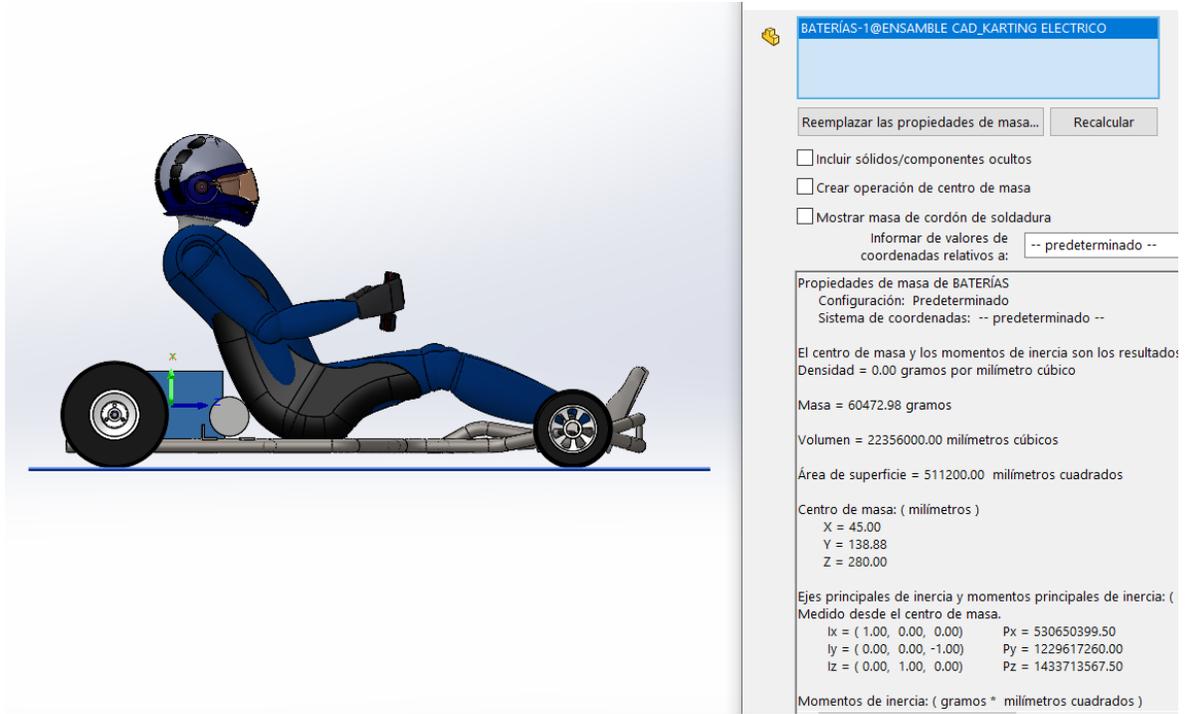


Figura.33 CG del conjunto de baterías

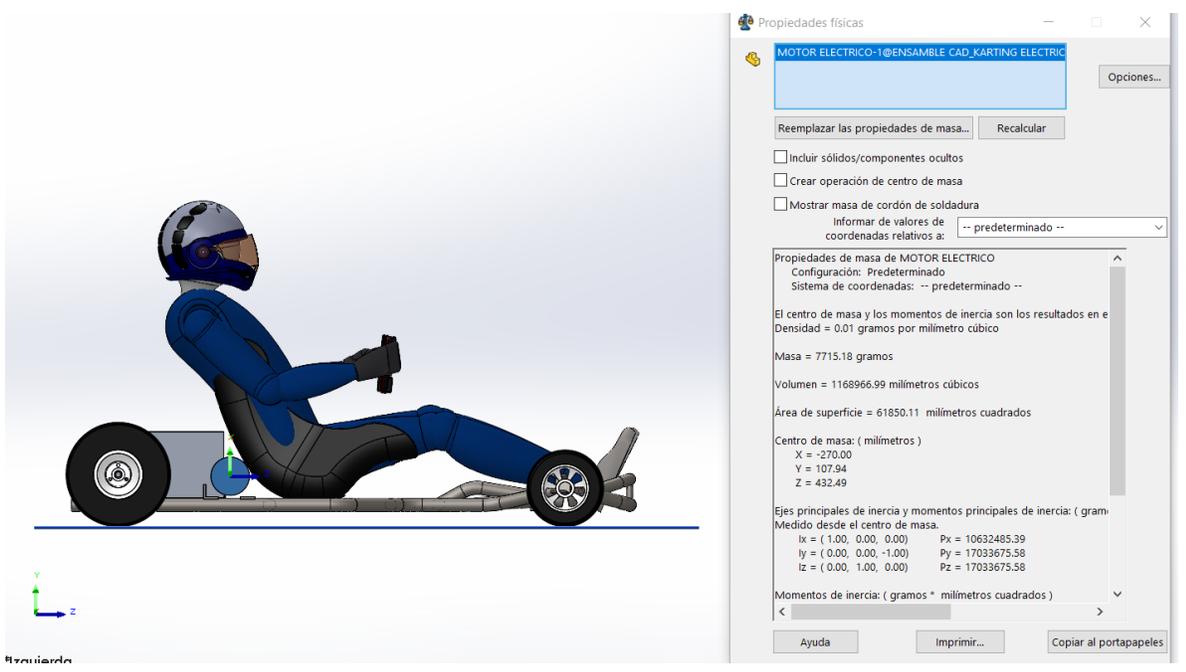


Figura.34 CG del motor eléctrico

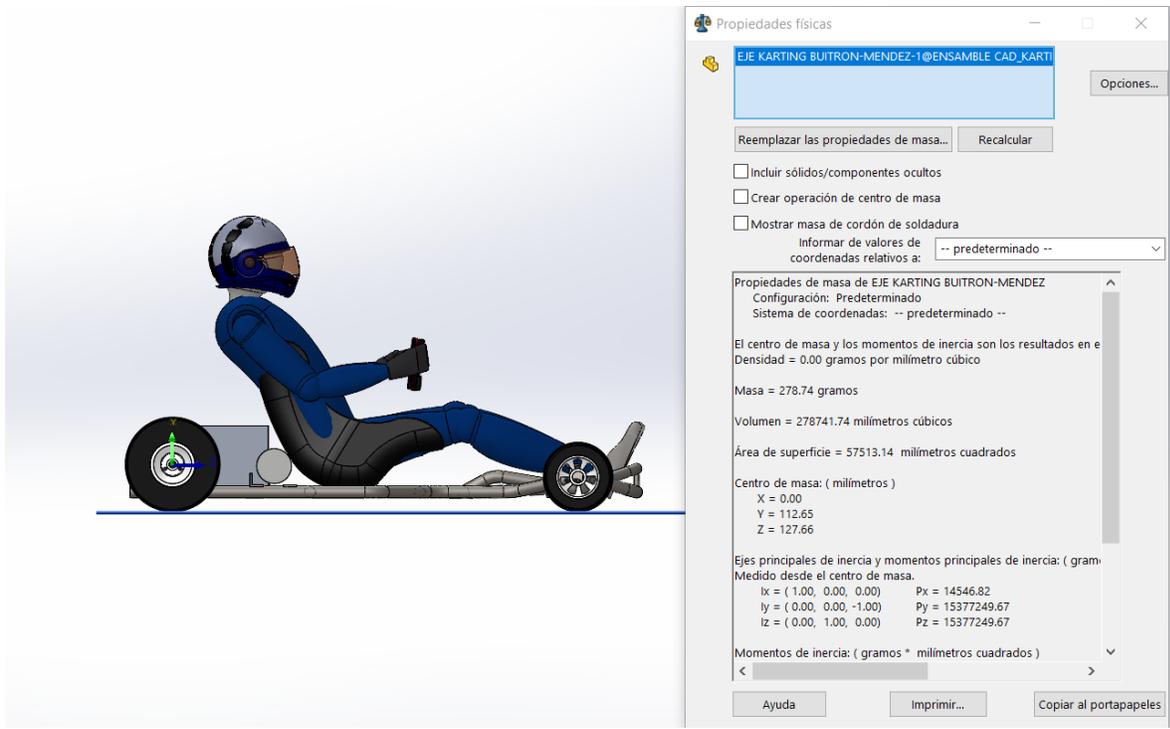


Figura.35 CG del eje de transmisión

### 2.2.2.3.3 Mallado

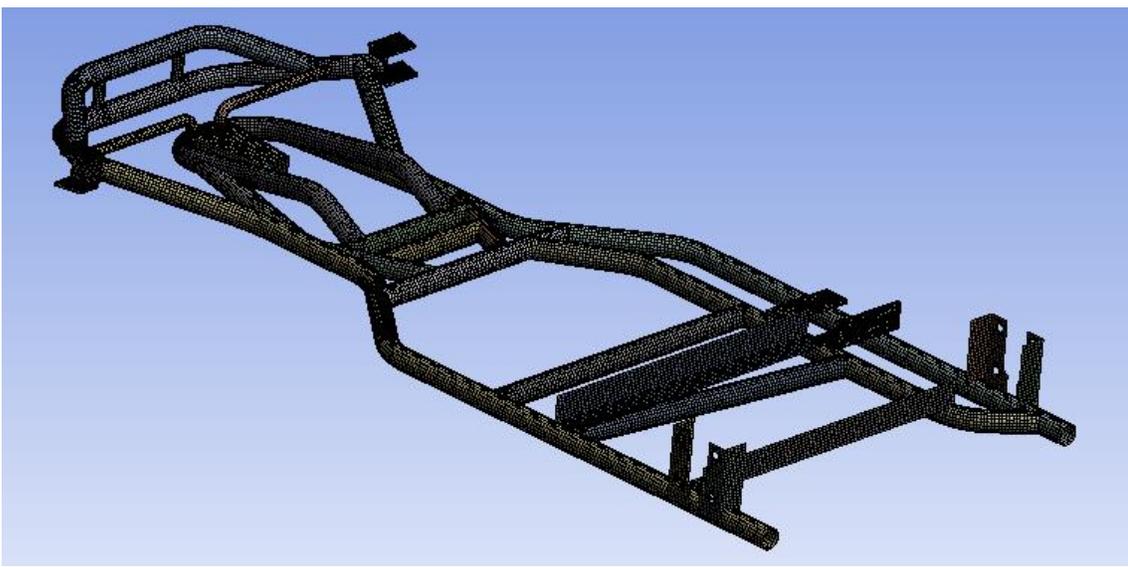


Figura.36 Modelado 3D de bastidor (mallado)

Tipo de malla: Malla mixta (Shell y solid mesh)

Número total de nodos: 71312

Número total de elementos: 56333

#### Calidad de malla

Skewness mesh metrics spectrum:



Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:

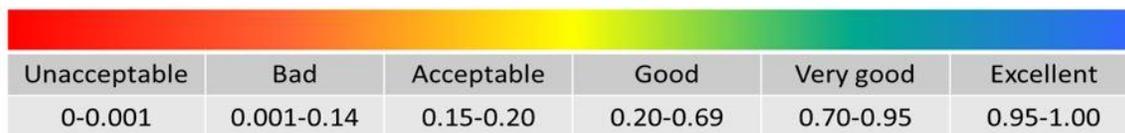


Figura.37 Espectro de métrica de calidad de malla. Fuente: [67]

La calidad de la malla es crucial para obtener resultados precisos en simulaciones. Una malla de buena calidad tendrá métricas dentro de rangos aceptables, representará correctamente la física del problema y capturará los detalles de la geometría. Es importante verificar las métricas y mejorar la malla si es necesario. Para la validación de calidad de malla se utilizó el criterio “Element Quality”, el cual oscila entre 0 y 1, siendo 0 la calidad más baja (inaceptable) y 1 la más alta (excelente). Para el análisis del chasis se obtuvo un valor promedio de 0,9 que indica que el mallado es muy bueno dando confiabilidad a los resultados de las simulaciones.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality <span style="float: right;">▼</span>
<input type="checkbox"/> Min	4,0209e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99967
<input type="checkbox"/> Average	0,90002
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12286

Figura.38 *Calidad de malla*

#### 2.2.2.3.4 Ensayo de aceleración

Las condiciones de borde ubicadas en este ensayo fueron:

Cargas:

- Aceleración de la gravedad:  $9,81 \text{ m/s}^2$  vertical y hacia abajo.
- Aceleración:  $8,835 \text{ m/s}^2$  en dirección longitudinal y hacia atrás debido a las fuerzas de inercia en sentido opuesto a la aceleración de una partícula.

Restricciones:

- Eje trasero: Restringidos los desplazamientos en direcciones longitudinal, transversal y vertical sobre los extremos del montaje del eje. Puesto que en tracción el único eje que transmite fuerza a la estructura es el trasero.
- Eje delantero: Restringidos los desplazamientos verticales y transversales, mientras que en el eje longitudinal queda libre.

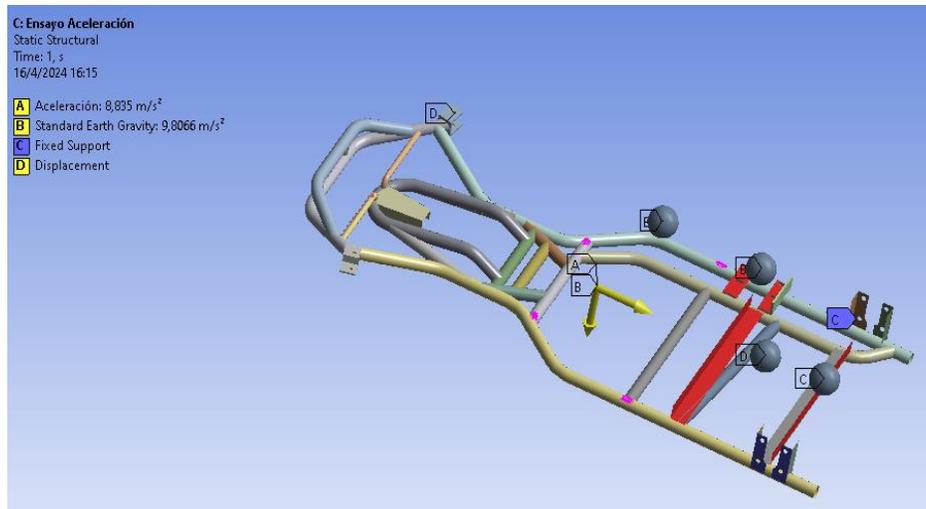


Figura.39 Condiciones de borde para ensayo de aceleración

### 2.2.2.3.5 Ensayo de frenado brusco

Las condiciones de borde ubicadas en este ensayo fueron:

Cargas:

- Aceleración de la gravedad:  $9,81 \text{ m/s}^2$  vertical y hacia abajo.
- Aceleración:  $8,82 \text{ m/s}^2$  en dirección longitudinal y hacia adelante debido a las fuerzas de inercia en sentido opuesto a la aceleración de una partícula.

Restricciones:

- Eje trasero: Restringidos los desplazamientos en direcciones longitudinal, transversal y vertical sobre los extremos del montaje del eje. Puesto que el kart posee únicamente freno posterior.
- Eje delantero: Restringidos los desplazamientos verticales y transversales, mientras que en el eje longitudinal queda libre.

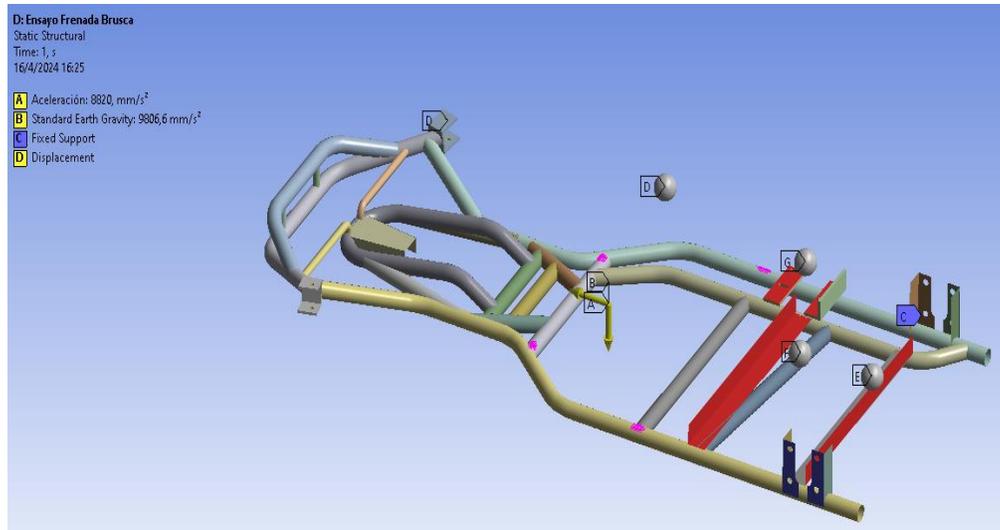


Figura.40 Condiciones de borde para ensayo de frenada brusca

### 2.2.2.3.6 Ensayo paso por curva

Las condiciones de borde ubicadas en este ensayo fueron:

Cargas:

- Aceleración de la gravedad:  $9,81 \text{ m/s}^2$  vertical y hacia abajo.
- Aceleración normal:  $24,29 \text{ m/s}^2$  en dirección transversal. Para este ensayo se realizó dos pruebas considerando curva a derecha e izquierda ya que la estructura no es totalmente simétrica.

Restricciones:

- Eje trasero: Restringidos los desplazamientos en direcciones transversal y vertical sobre los extremos del montaje del eje, mientras que en el eje longitudinal queda libre.
- Eje delantero: Restringidos los desplazamientos verticales y transversales, mientras que en el eje longitudinal queda libre.

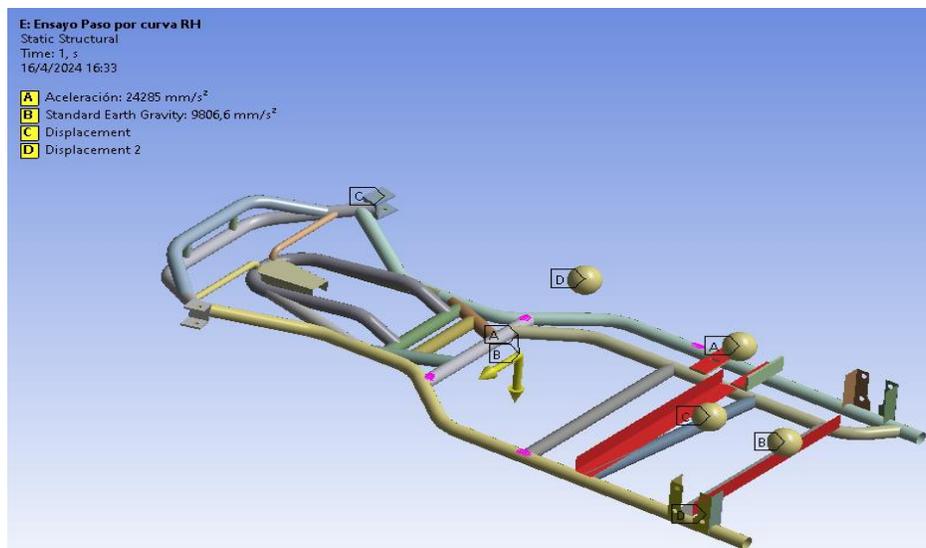


Figura.41 Condiciones de borde para ensayo de paso por curva a la derecha

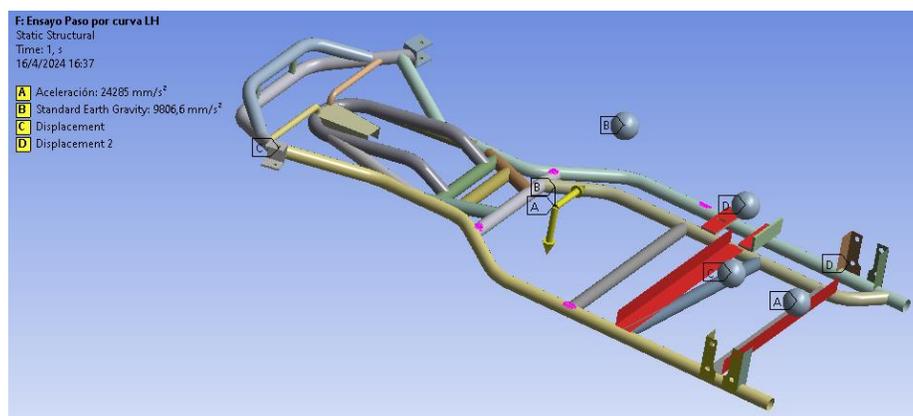


Figura.42 Condiciones de borde para ensayo de paso por curva a la izquierda

### 2.2.2.3.7 Análisis de rigidez torsional del bastidor

Puesto que el go kart no posee sistema de suspensión, el bastidor cumple esta función por lo cual una rigidez torsional excesiva afectaría la conducción reduciendo la capacidad de flexionar traduciéndose en una menor adherencia en curvas con mayor posibilidad de deslizamiento, mientras que una baja rigidez torsional provocaría excesivas deformaciones afectando la conducción e incluso la integridad del piloto.

La rigidez torsional del bastidor se puede obtener de la siguiente manera [68]:

$$R_T = \frac{T}{\alpha} = \frac{F \cdot b}{\tan^{-1}\left(\frac{d}{b}\right)}$$

Donde:

$R_T$  = Rigidez torsional del chasis [N.m/deg]

$T$  = Par generado [N.m]

$\alpha$  = Ángulo de deformación [deg]

$F$  = Fuerza aplicada [N]

$b$  = Ancho de vía del vehículo [m]

$d$  = Desplazamiento máximo [m]

Las condiciones de borde ubicadas en este ensayo fueron:

Cargas:

- Fuerza máxima en los extremos del tren delantero calculada en función de la transferencia de masa lateral en el paso por curva (65,04 kg). Dando como resultado la aplicación de 638 N en cada extremo del eje delantero con sentido opuesto.

Restricciones:

- Eje trasero: Restringidos los desplazamientos en todas las direcciones sobre los extremos representativos de los puntos de apoyo de las ruedas posteriores.

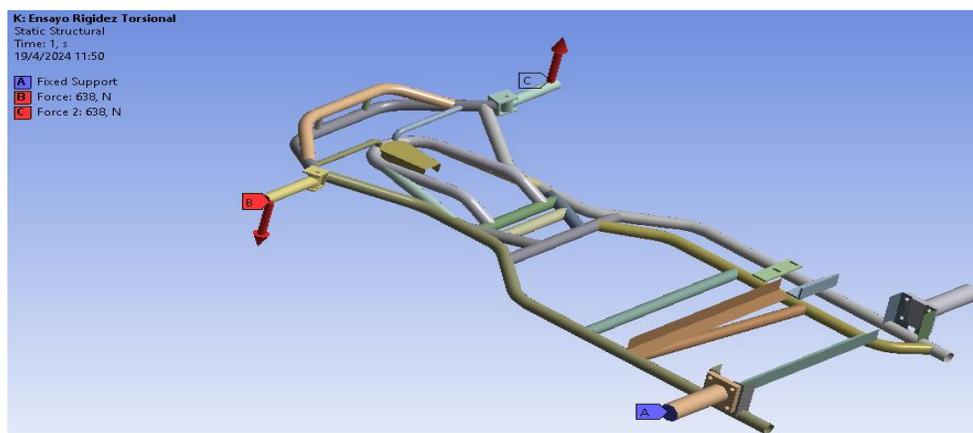


Figura.43 Condiciones de borde para análisis de rigidez torsional

### 2.2.2.3.8 Colisión frontal

De acuerdo con la normativa vigente para un impacto frontal, el chasis debe ser capaz de soportar cuatro veces su peso (karting más conductor), considerando también el coeficiente de cargas permanentes de 1,33 la fuerza a aplicarse estará definida por [63]:

$$F_{\text{impacto}} = 4 * g * W * 1,33$$

$$F_{\text{impacto}} = 4 * 9,8 \frac{m}{s^2} * 176,5 \text{ kg} * 1,33$$

$$F_{\text{impacto}} = 9202 \text{ N}$$

La figura 44 muestra las condiciones de borde que simulan el impacto frontal del chasis. La fuerza calculada es aplicada en el parachoques delantero, mientras que las fijaciones se aplican en los soportes posteriores.

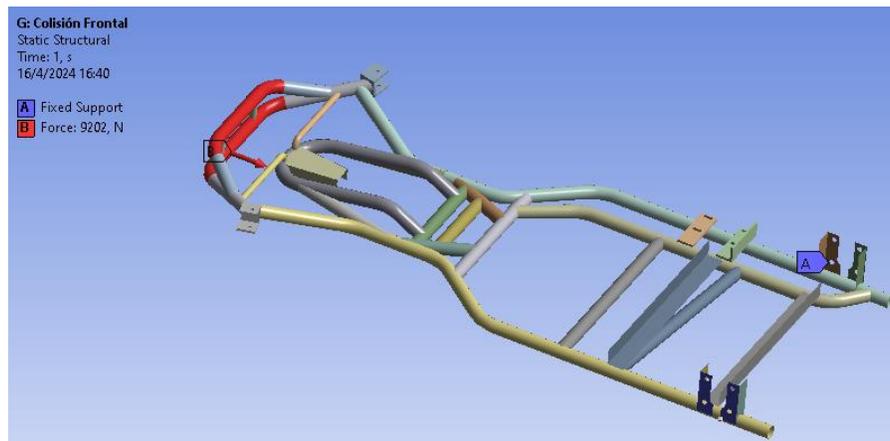


Figura.44 Condiciones de borde para la colisión frontal

### 2.2.2.3.9 Colisión lateral

De acuerdo con la normativa vigente para un impacto lateral, el chasis debe ser capaz de soportar dos veces su peso (karting más conductor), considerando también el coeficiente de cargas permanentes de 1,33 la fuerza a aplicarse estará definida por [63]:

$$F_{\text{impacto}} = 2 * g * W * 1,33$$

$$F_{\text{impacto}} = 2 * 9,8 \frac{m}{s^2} * 176,5 \text{ kg} * 1,33$$

$$F_{\text{impacto}} = 4601 \text{ N}$$

#### 2.2.2.3.9.1 Colisión lateral izquierda

La figura 45 muestra las condiciones de borde que simulan el impacto lateral izquierdo del chasis. La fuerza calculada es aplicada en los miembros de la parte lateral izquierdo simétricos al eje transversal del chasis, mientras que las fijaciones se aplican en los soportes laterales del lado opuesto.

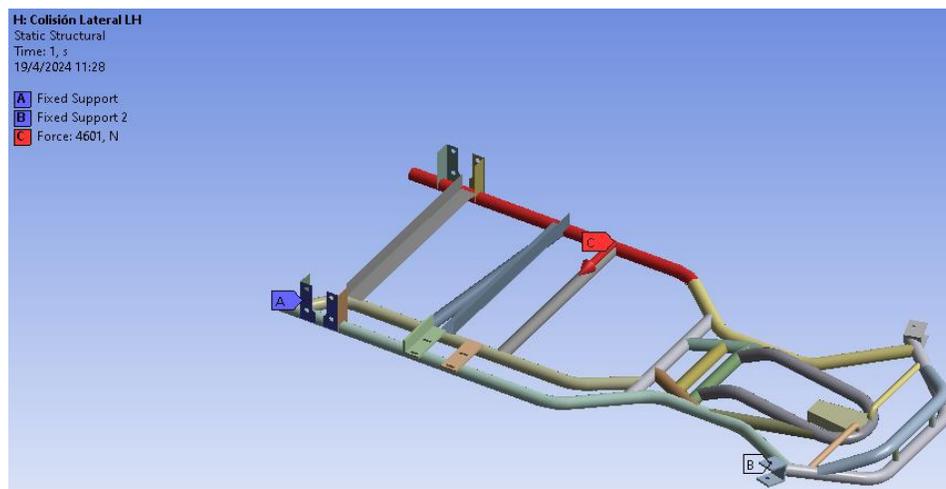


Figura.45 Condiciones de borde para la colisión lateral izquierda

### 2.2.2.3.9.2 Colisión Lateral derecha

La figura 46 muestra las condiciones de borde que simulan el impacto lateral derecho del chasis. La fuerza calculada es aplicada en los miembros de la parte lateral derecho simétricos al eje transversal del chasis, mientras que las fijaciones se aplican en los soportes laterales del lado opuesto.

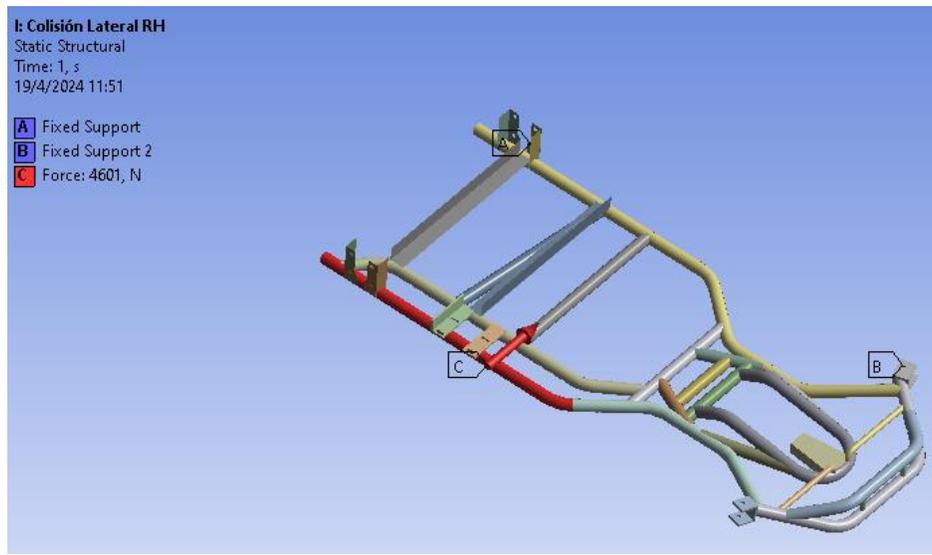


Figura.46 Condiciones de borde para la colisión lateral derecha

## 2.2.3 Diseño y simulación CAD de eje de transmisión

### 2.2.3.1 Definición de parámetros de diseño, requerimientos generales y cálculos.

Para ello es necesario que la potencia del motor sea la suficiente alta para transmitir un torque que supere las fuerzas que se oponen al movimiento como las fuerzas de rozamiento, peso, etc.

La fuerza de empuje tendrá que ser la necesaria en las ruedas motrices para lograr que el go kart se mantenga en movimiento para ello el motor deberá entregar al eje de transmisión posterior el torque necesario. Este viene dado por:

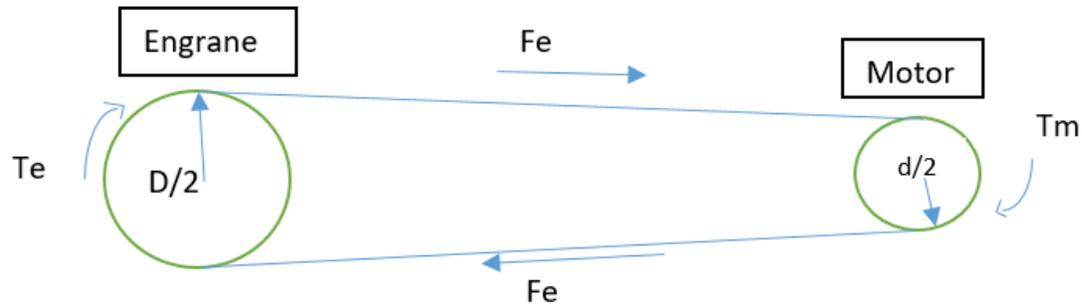
$T_m = \text{Torque del motor} = 5.4 \text{ N.m}$

$F_e = \text{Fuerza de empuje}$

$d = \text{diámetro del piñón del motor} = 30 \text{ mm}$

$D = \text{diámetro del engrane en el eje de transmisión} = 150 \text{ mm}$

$T_e = \text{Torque en el engrane en el eje de transmisión}$



$$T_m = F_e * \frac{d}{2}$$

$$\text{de donde: } F_e = \frac{T_m}{\frac{d}{2}}$$

$$T_e = F_e * \frac{D}{2}$$

Por lo tanto:

$$T_e = \frac{T_m}{\frac{d}{2}} * \frac{D}{2}$$

$$T_e = \frac{5.4 \text{ N.m}}{0.03 \text{ m}} * 0.15 \text{ m}$$

$$T_e = 27.2 \text{ N.m}$$

El eje de transmisión recibe el torque del motor por medio de una cadena hasta la corona dentada que se mueve solidaria al eje y luego lo transmite al piso por medio de los neumáticos, generando de esta forma la fuerza de empuje requerida.

### 2.2.3.2 Metodología para análisis del eje de transmisión por elementos finitos

Para el análisis del eje de transmisión se considera la condición más crítica del mismo que es en aceleración, cuando se somete al torque máximo generado por el motor eléctrico.

#### 2.2.3.2.1 Asignación de material, cargas y sujeciones

El material usado fue AISI 1018 acero de transmisión con un límite de fluencia de 235 MPa y un esfuerzo último de 410 MPa.

Las sujeciones del eje de transmisión se fijaron en los extremos de este donde se montan los cubos de rueda laterales. La carga como se mencionó anteriormente se proyecta en el área estriada donde se aloja el engrane y éste tendrá el valor de 27,2 Nm

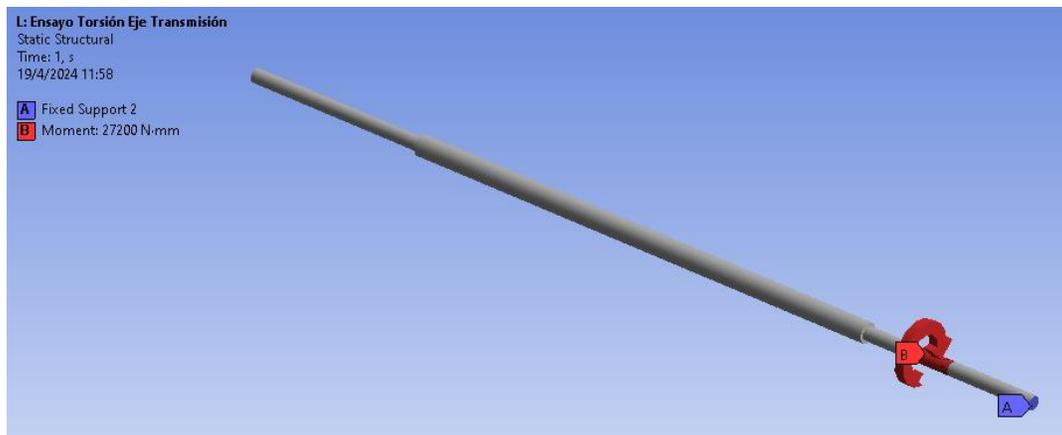


Figura.47 *Asignación de cargas y sujeciones al eje de transmisión.*

#### 2.2.3.2.2 Mallado y ejecución de estudio de diseño

Una vez que se ha asignado las condiciones de borde como son las sujeciones y carga al eje de transmisión se procede a mallarlo como se muestra en la figura 48

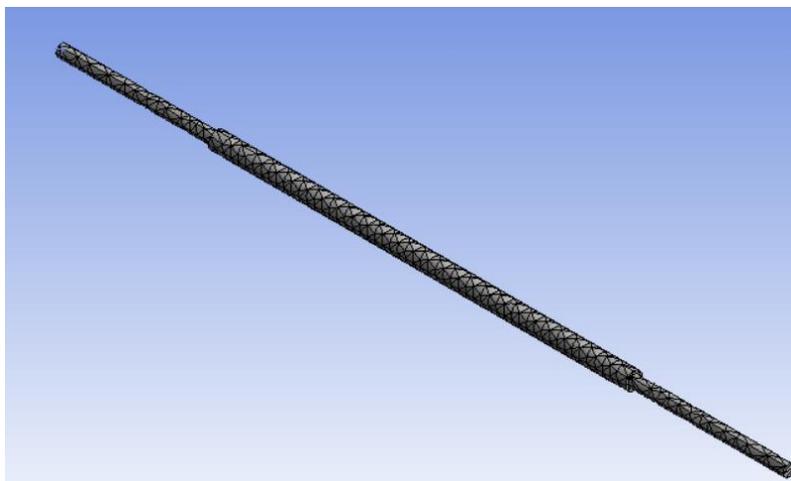


Figura.48 *Mallado del Modelo del Eje de Transmisión*

Tipo de malla: Malla solida (solid mesh)

Número total de nodos: 3633

Número total de elementos: 1657

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,21582
<input type="checkbox"/> Max	0,99985
<input type="checkbox"/> Average	0,8232
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,15703

Figura.49 *Calidad de malla para el eje de transmisión*

En cuanto a calidad de malla se tiene un valor promedio de 0,8 que indica un valor muy bueno que da confiabilidad a los resultados.

## 2.2.4 Dimensionamiento del tren motriz

### 2.2.4.1 Resistencia aerodinámica

También conocida como arrastre, desempeña un papel crucial en el diseño de pequeñas aeronaves. Factores como la forma, el tamaño, la velocidad del aire y la rugosidad de la superficie influyen en ella [69].

$$F_A = \frac{1}{2} \rho \cdot C_X \cdot A \cdot V^2$$

Donde:

$F_A$  = Resistencia aerodinámica (N)

$\rho$  = Densidad del aire ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$C_X$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica

$A$  = Área frontal del vehículo ( $m^2$ )

$V$  = Velocidad ( $\frac{m}{s}$ )

### 2.2.4.2 Resistencia a la pendiente

La resistencia de la pendiente juega un papel crucial en asegurar la estabilidad y seguridad de las pendientes, este término se refiere a la capacidad de una pendiente para resistir cargas externas y mantener su estabilidad[70].

$$F_p = \sin \alpha \cdot m \cdot g$$

Donde:

$F_p$  = Resistencia a la pendiente (N)

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de la pendiente

$m$  = Masa del objeto (Kg)

$g$  = Gravedad  $\frac{m}{s^2}$

### 2.2.4.3 Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura es una fuerza que se opone al desplazamiento de un vehículo en movimiento sobre una superficie. Se origina en la interacción entre los neumáticos del vehículo y la superficie de la carretera, generando fricción y, consecuentemente, resistencia al movimiento [71].

$$F_{RR} = f_{RR} \cdot m \cdot g$$

Donde:

$F_{RR}$  = Resistencia a la Rodadura ( $N$ )

$f_{RR}$  = Coeficiente de resistencia a la rodadura

$m$  = Masa del objeto ( $Kg$ )

$g$  = Gravedad  $\frac{m}{s^2}$

### 2.2.4.4 Potencia necesaria

Se refiere a la cantidad de energía por unidad de tiempo que un motor debe generar para realizar un trabajo específico.

$$P_{Necesaria} = \frac{F_A + F_P + F_{RR}}{\eta \text{ Transmision}}$$

Donde:

$F_A$  = Resistencia aerodinámica ( $N$ )

$F_P$  = Resistencia a la pendiente ( $N$ )

$F_{RR}$  = Resistencia a la Rodadura ( $N$ )

$\eta$  *Transmission* = Eficiencia de la transmisión

## 2.2.5 Dimensionamiento Del Paquete De Baterías

Es crucial comprender el dimensionamiento del paquete de baterías cuando se trata de un go kart eléctrico, ya que esto influye directamente en la selección y diseño de un sistema de energía eficiente y adecuado. En este proceso, es necesario considerar diversos factores para asegurar un rendimiento óptimo, una duración adecuada y una experiencia segura para el usuario.

### 2.2.5.1 Potencia de la batería

$$P_{bat} = P_{mr} + P_{ac}$$

Donde:

$P_{bat}$  = Potencia de la batería (kW)

$P_{mr}$  = Potencia del motor (kW)

$P_{ac}$  = Potencia de los accesorios (kW)

### 2.2.5.2 Resistencia interna

La resistencia interna es un parámetro clave que señala la capacidad de una batería para conducir corriente eléctrica [72].

$$R_{ib} = \frac{R_{ic}}{C} * n$$

Donde:

$R_{ib}$  = Resistencia interna de la batería ( $\Omega$ )

$R_{ic}$  = Resistencia interna de la celda ( $\Omega$ )

$C$  = Capacidad

$n$  = Número de Celdas

### 2.2.5.3 Voltaje del circuito abierto de la batería

El voltaje de circuito abierto de una batería hace referencia al voltaje que esta proporciona cuando no está conectada a ningún dispositivo o carga. Este valor es significativo ya que nos proporciona una medida del potencial eléctrico de la batería en condiciones de reposo [73].

$$E = n * V_c$$

Donde:

$E$  = Voltaje del circuito abierto (V)

$n$  = número de celdas

$V_c$  = Voltaje de la celda (V)

### 2.2.5.4 Intensidad de corriente

La intensidad de corriente es una medida del flujo de carga eléctrica a través de un conductor y se expresa en amperios (A). Representa la velocidad a la cual la carga eléctrica atraviesa un punto específico en un circuito [73].

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4R_{ib}P_{bat}}}{2R_{ib}}$$

Donde:

$I$  = Intensidad de corriente (A)

$E$  = Voltaje del circuito abierto (V)

$R_{ib}$  = Resistencia interna de la batería ( $\Omega$ )

$P_{bat}$  = Potencia de la batería (kW)

### 2.2.5.5 Autonomía

La autonomía de un vehículo eléctrico indica la distancia que puede cubrir con una carga completa de la batería antes de requerir recarga [74].

$$A = \frac{C * V_{max}}{I}$$

Donde:

$A$  = Autonomía (km)

$C$  = Capacidad (Ah)

$V_{max}$  = Velocidad máxima ( $\frac{km}{h}$ )

$I$  = Intensidad de corriente (A)

## 2.2.6 Cálculos Dimensionamiento del Tren Automotriz

Tabla.6 Constantes y simbología utilizada

Constante	Símbolo	Valor	Unidad
Área frontal	$A$	0,438	$m^2$
Coefficiente de resistencia a la rodadura	$f_{RR}$	0,025	$[-]$
Coefficiente de resistencia al arrastre	$C_X$	0,6	$[-]$
Densidad del aire	$\rho$	1,225	$\frac{kg}{m^3}$
Eficiencia transmisión	$\eta_{Transmision}$	0,9	
Gravedad	$g$	9,81	$\frac{m}{s^2}$
Masa	$m$	176,5	$kg$
Angulo de pendiente	$\alpha$	5	$^\circ$
Velocidad	$V$	9,72	$\frac{m}{s}$

### 2.2.6.1 Resistencia aerodinámica

$$F_A = \frac{1}{2} \rho \cdot C_X \cdot A \cdot V^2$$

$$F_A = \frac{1,225 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,6 \cdot 0,438 m^2 \cdot \left(9,72 \frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

$$F_A = 15,21 N$$

### 2.2.6.2 Resistencia a la pendiente

$$F_P = \sin \alpha \cdot m \cdot g$$

$$F_P = \sin 5^\circ \cdot 176,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_P = 150,90 \text{ N}$$

### 2.2.6.3 Resistencia a la rodadura

$$F_{RR} = f_{RR} \cdot m \cdot g$$

$$F_{RR} = 0,025 \cdot 176,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{RR} = 43,28 \text{ N}$$

### 2.2.6.4 Potencia necesaria

$$P_{Necesaria} = \frac{(F_A + F_P + F_{RR})(V)}{\eta_{Transmission}}$$

$$P_{Necesaria} = \frac{(15,21 \text{ N} + 150,90 \text{ N} + 43,28 \text{ N}) \left(9,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{0,9}$$

$$P_{Necesaria} = 2,26 \text{ kW}$$

## 2.2.7 Cálculos Dimensionamiento Del Paquete De Baterías

### 2.2.7.1 Potencia de la batería

$$P_{bat} = P_{mr} + P_{ac}$$

$$P_{bat} = 2,26 Kw + 0$$

$$P_{bat} = 2,26 Kw$$

### 2.2.7.2 Resistencia interna

$$R_{ib} = \frac{R_{ic}}{C} * n$$

$$R_{ib} = \frac{7,77 * 10^{-3} \Omega}{32 Ah} * 6$$

$$R_{ib} = 1,45 * 10^{-3} \Omega$$

### 2.2.7.3 Voltaje del circuito abierto de la batería

$$E = n * V_c$$

$$E = 6 * 1,75 V$$

$$E = 10,5 V$$

#### 2.2.7.4 Intensidad de corriente

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4R_{ib}P_{bat}}}{2R_{ib}}$$

$$I = \frac{10,5 \text{ V} - \sqrt{(10,5 \text{ V})^2 - 4 * (1,45 * 10^{-3} \Omega) * 2262,12 \text{ W}}}{2 * (1,45 * 10^{-3} \Omega)}$$

$$I = 222,26 \text{ A}$$

#### 2.2.7.5 Autonomía

$$A = \frac{C * V_{max}}{I}$$

$$A = \frac{32 \text{ Ah} * 35 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{222,26 \text{ A}}$$

$$A = 5,03 \text{ Km}$$

El valor de 5,03 Km en la Autonomía representa utilizando 1 sola batería por lo cual se va a utilizar 6 baterías; de este modo obtendremos una autonomía aproximada de 30,23 km.

# Capítulo III

## Resultados y Discusión

### 3.1 Resultados correspondientes al bastidor del go kart y eje de transmisión:

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al bastidor del go kart y al eje de transmisión. Se analizan esfuerzos, deformación máxima y factor de seguridad, asegurando que ambos componentes cumplen con los estándares de seguridad y rendimiento establecidos.

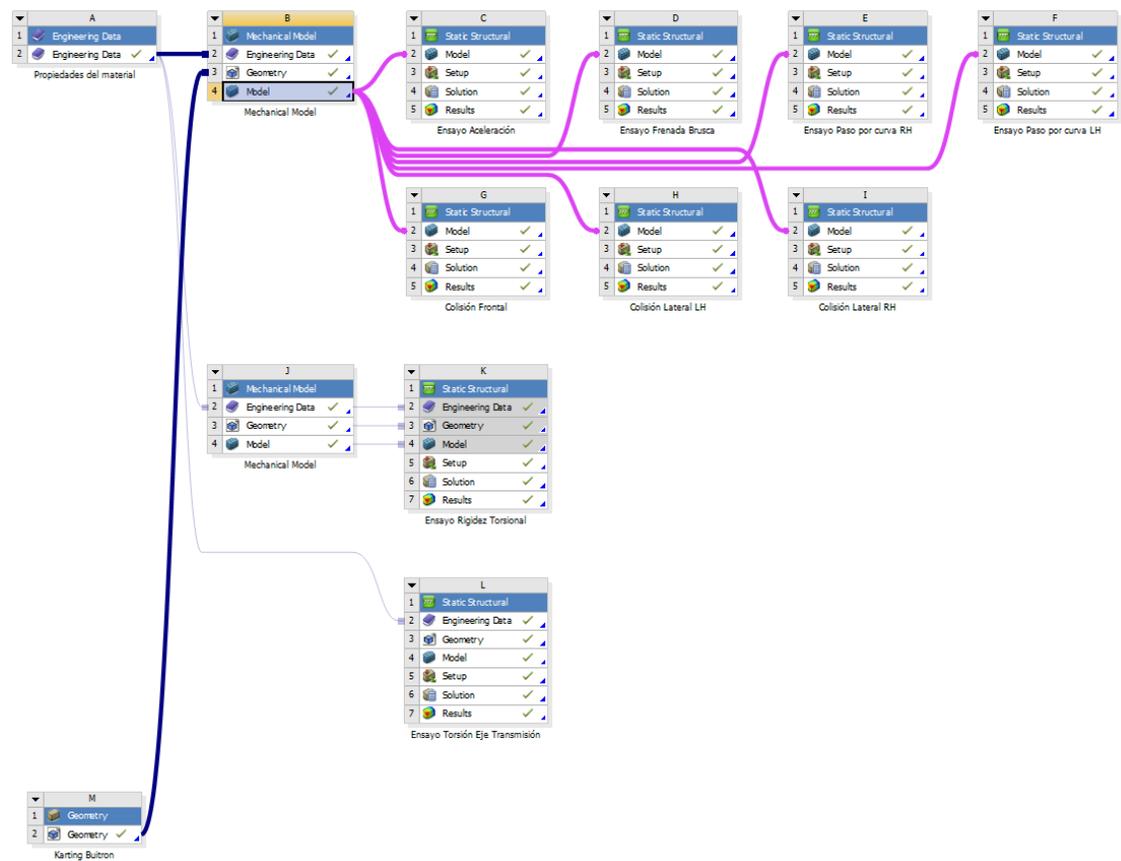


Figura.50 Estructura del proceso de simulación CAE

### 3.1.1 Ensayo de aceleración

Los hallazgos revelan que el esfuerzo máximo experimentado por la estructura del go kart es de 72,9 MPa, lo que se sitúa dentro de los límites aceptables de resistencia para el material utilizado. Esto demuestra la capacidad del diseño para soportar las cargas operativas típicas con un amplio margen de seguridad. Además, se determinó que la deformación máxima es de 0,44 mm, lo que indica una respuesta estructural adecuada ante las fuerzas aplicadas.

Uno de los aspectos más destacados de los resultados es el factor de seguridad, calculado en 4,32. Este valor sustancialmente por encima de la unidad proporciona una sólida garantía de la capacidad del diseño para resistir cargas adicionales sin riesgo de falla.

Es importante destacar que se utilizó Acero A500 como material estructural, con un límite elástico de 315 MPa. Esta elección de material, combinada con los resultados obtenidos, subraya la eficacia del diseño en términos de resistencia y durabilidad.

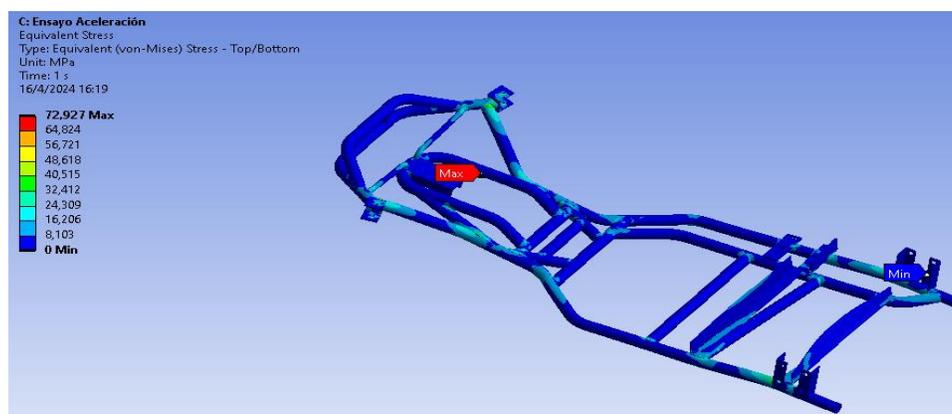


Figura.51 *Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de aceleración*

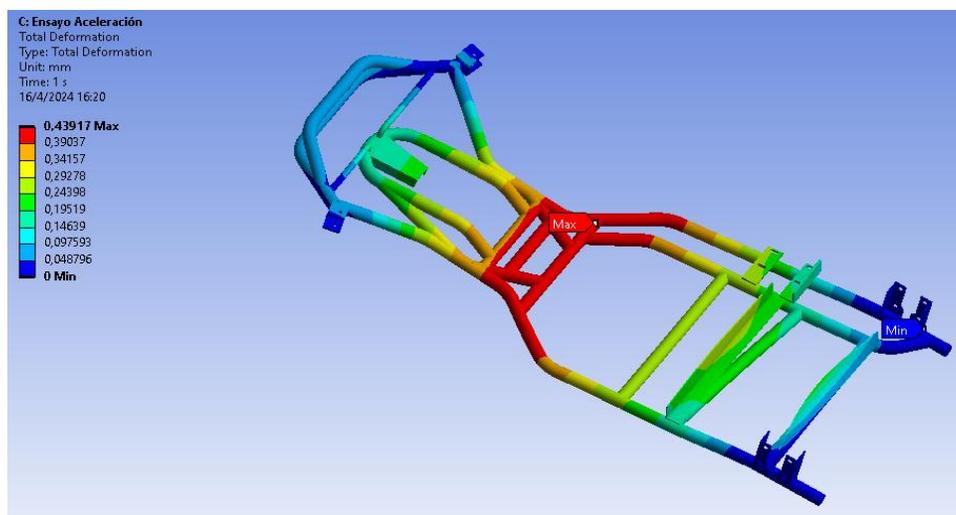


Figura.52 Deformación máxima en el ensayo de aceleración

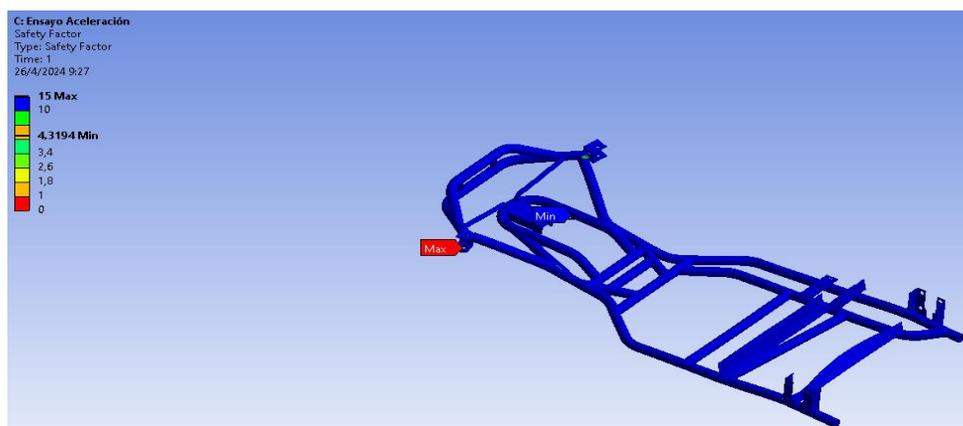


Figura.53 Factor de seguridad en el ensayo de aceleración

### 3.1.2 Ensayo de frenado brusco

De acuerdo con los resultados el esfuerzo máximo experimentado por la estructura del go kart durante la condición de frenado brusco es de 98,71 MPa. Este valor, aunque superior al obtenido en condición de aceleración, sigue estando dentro de los límites de seguridad aceptables para el material utilizado, que en este caso es Acero A500 grado C con un límite elástico de 315 MPa. Además, se determinó que la deformación máxima es de 0,34 mm, lo que indica una respuesta estructural adecuada frente a las fuerzas generadas durante el frenado brusco. Este resultado

sugiere que el diseño del go kart es capaz de mantener su integridad estructural sin comprometer la seguridad del conductor.

El factor de seguridad calculado fue de 3,19, lo que indica que el diseño tiene un margen de seguridad adecuado para esta condición de carga específica. Aunque este valor es menor que el obtenido en condición de aceleración, sigue siendo lo suficientemente alto como para proporcionar una protección adecuada contra posibles fallas estructurales durante el frenado brusco.

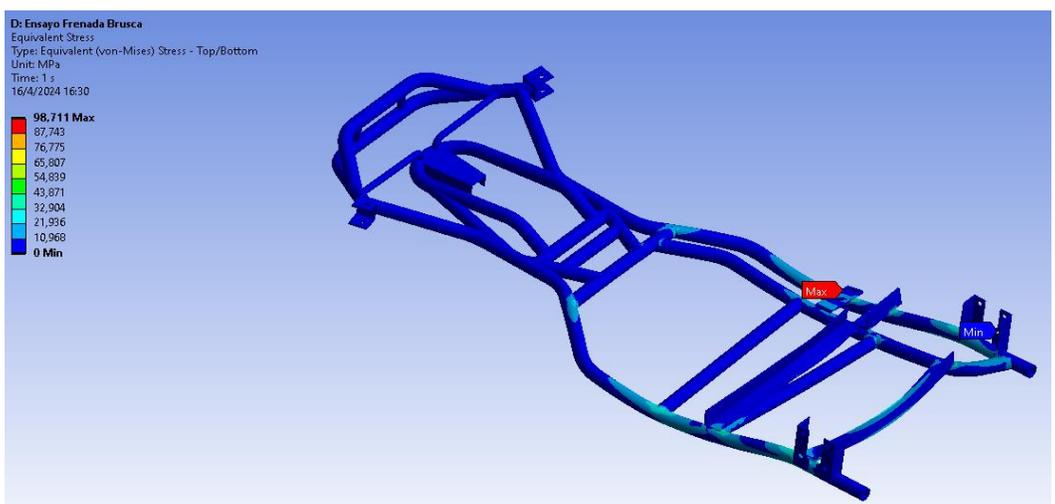


Figura.54 Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de frenada brusca

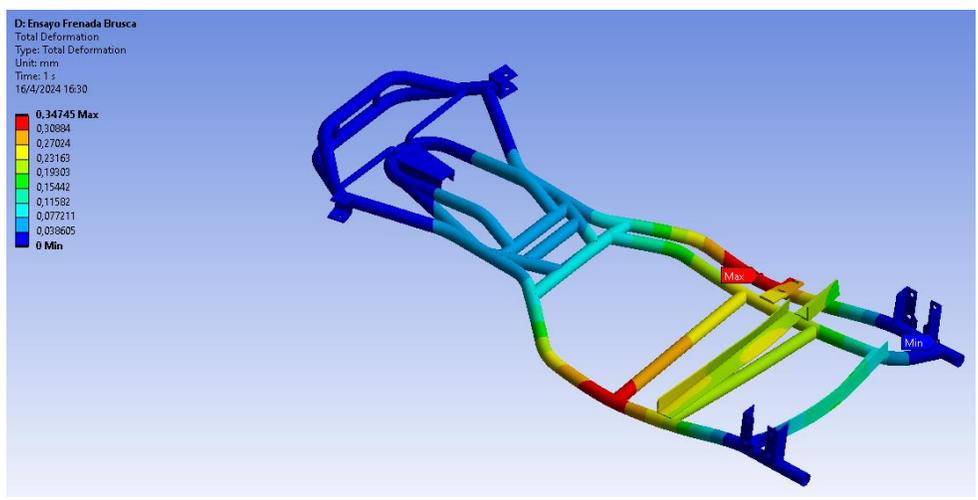


Figura.55 Deformación máxima en el ensayo de frenada brusca

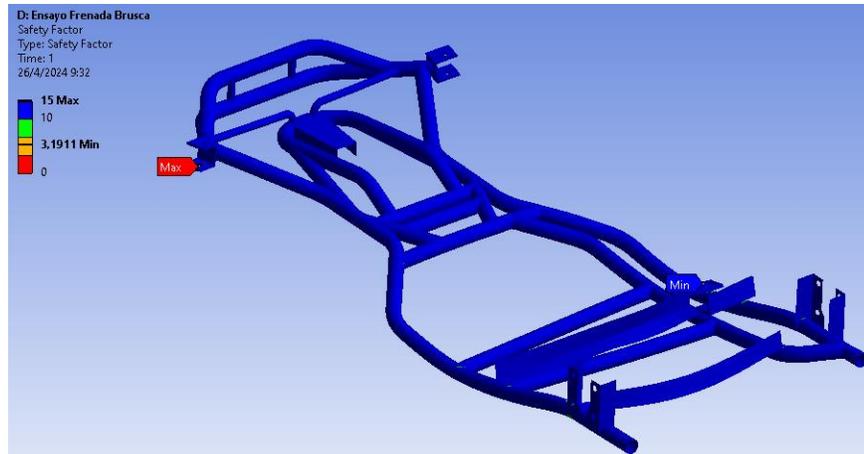


Figura.56 *Factor de seguridad en el ensayo de frenada brusca*

### 3.1.3 Ensayo de paso por curva

#### 3.1.3.1 Curva a la derecha

Según los resultados obtenidos, el esfuerzo máximo que experimentó la estructura del go kart alcanzó los 260 MPa, lo cual se encuentra dentro del límite de resistencia del material utilizado. La deformación máxima durante esta situación fue de 1,31 mm, lo que indica una respuesta estructural significativa del vehículo ante las fuerzas generadas en el proceso de pasar por la curva. Además, se determinó un factor de seguridad de 1,21, lo que sugiere que existe un margen suficiente para garantizar la integridad estructural del go kart bajo estas condiciones específicas.

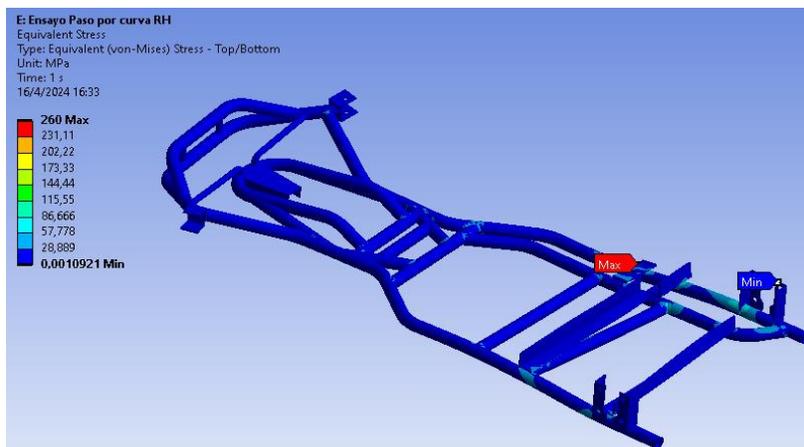


Figura.57 Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de paso por curva a la derecha

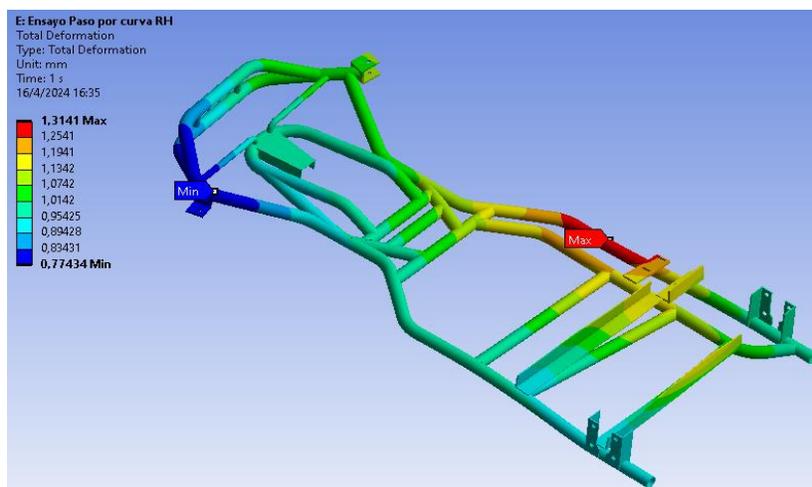


Figura.58 Deformación máxima en el ensayo de paso por curva a la derecha

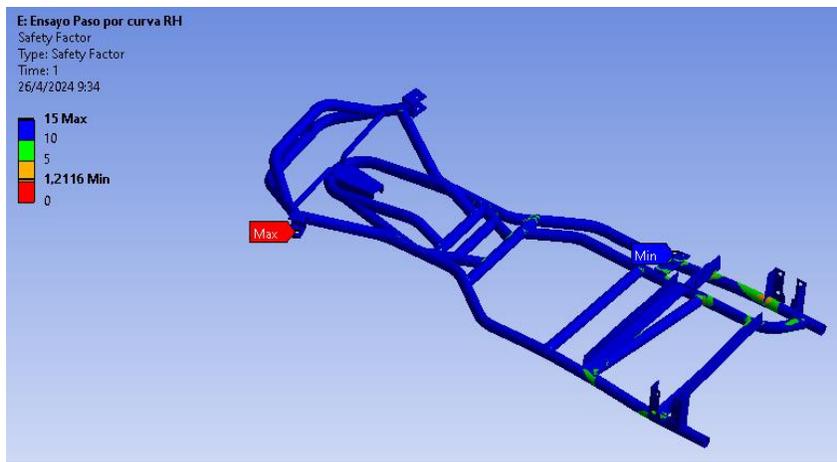


Figura.59 Factor de seguridad en el ensayo de paso por curva a la derecha

### 3.1.3.2 Curva a la izquierda

En la simulación de estructura del go kart durante el paso por curva a la izquierda, se registró un esfuerzo máximo de 142,45 MPa, dentro del límite de resistencia del Acero A500 grado C. La deformación máxima fue de 1,01 mm, evidenciando una respuesta estructural significativa. Con un factor de seguridad de 2,21 que asegura un margen adecuado para la integridad del vehículo.

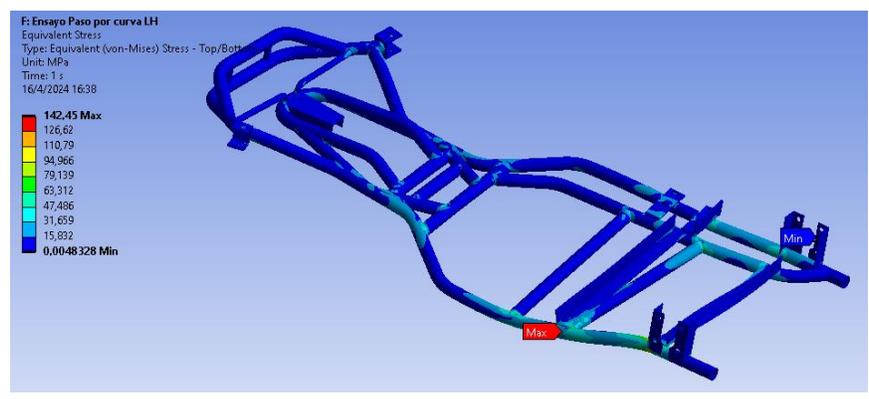


Figura.60 Esfuerzo de Von-Mises en el ensayo de paso por curva a la izquierda

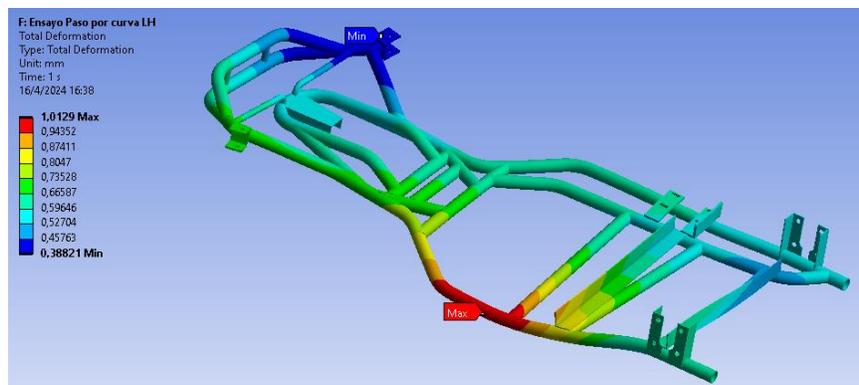


Figura.61 *Deformación máxima en el ensayo de paso por curva a la izquierda*

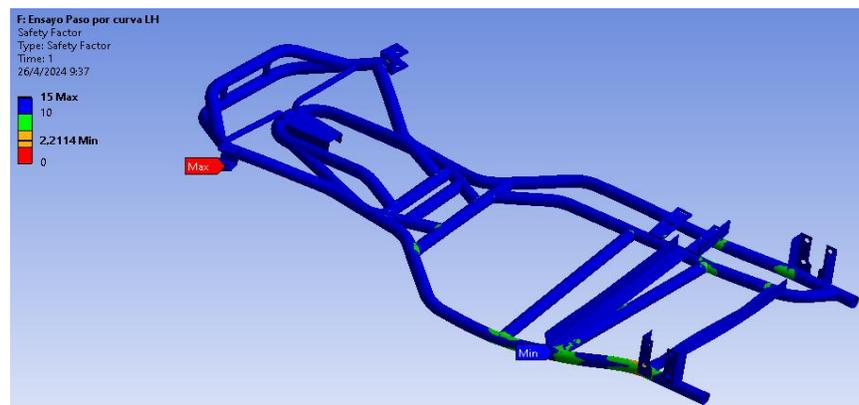


Figura.62 *Factor de seguridad en el ensayo de paso por curva a la izquierda*

### 3.1.4 Análisis de rigidez torsional

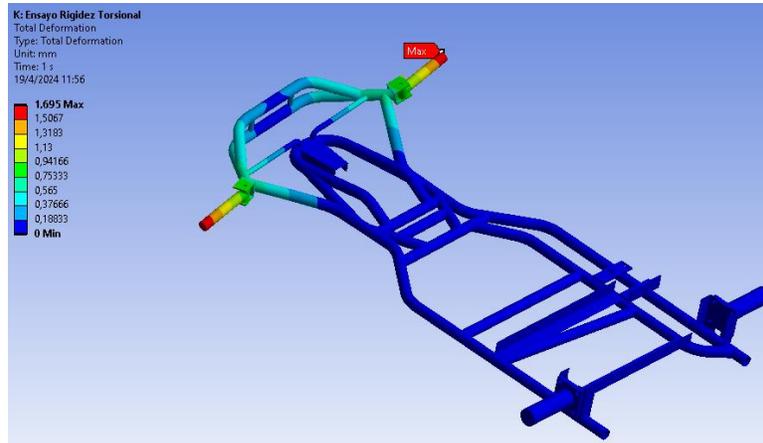


Figura.63 *Deformación máxima en el ensayo de rigidez torsional*

El desplazamiento máximo  $d$  arrojado tras realizar la simulación fue de 1,69 mm, sin embargo, se debe considerar que esa deformación se presenta en cada extremo del kart por lo que para el cálculo se debe considerar el doble de dicho valor, es decir 3,38 mm.

Con estos datos se calcula la rigidez torsional:

$$R_T = \frac{T}{\alpha} = \frac{F \cdot b}{\tan^{-1}\left(\frac{d}{b}\right)}$$

$$R_T = \frac{638 * 0,945}{\tan^{-1}\left(\frac{0,00338}{0,945}\right)}$$

$$R_T = 2942 \frac{N \cdot m}{deg}$$

Este resultado supera la rigidez torsional recomendado por SAE 2700 Nm/deg [75].

### 3.1.5 Colisión frontal

De la simulación se obtiene una deformación máxima de 1,33 mm, la cual se produce en la parte frontal del chasis, de forma precisa en la parte media del parachoques delantero. La concentración de esfuerzos alcanza un valor de 368,29 MPa como se observa en la figura 64.

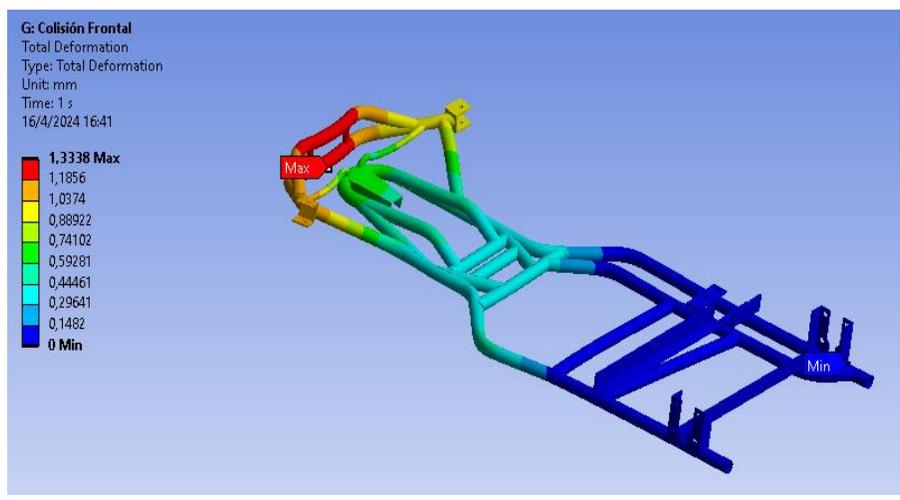


Figura.64 Resultado de la deformación en colisión frontal

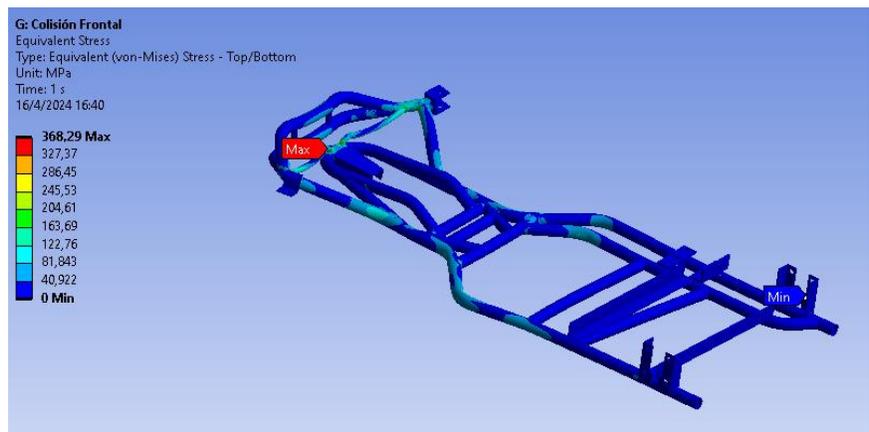


Figura.65 Esfuerzo máximo en colisión frontal

De la simulación obtenemos el valor del Factor de Seguridad de 0,85 en base al límite elástico del material, lo que indica que el material llega a deformar de forma permanente durante la colisión.

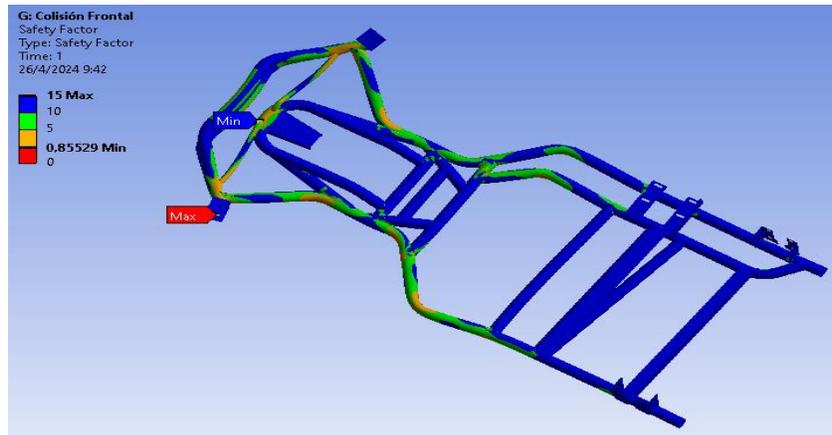


Figura.66 *Factor de seguridad en colisión frontal*

### 3.1.6 Colisión lateral

#### 3.1.6.1 Colisión lateral izquierda

De la simulación se obtiene una deformación máxima de 0,43mm, la cual se produce en la parte lateral izquierda del chasis. La concentración de esfuerzos se da en los nodos laterales del miembro donde se aplicó la carga y alcanza un valor de 188,72 MPa como se observa en la figura 67.

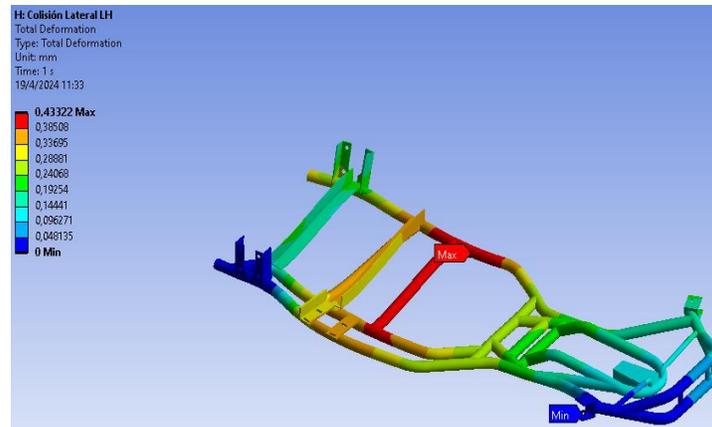


Figura.67 Resultado de la deformación en colisión lateral izquierda

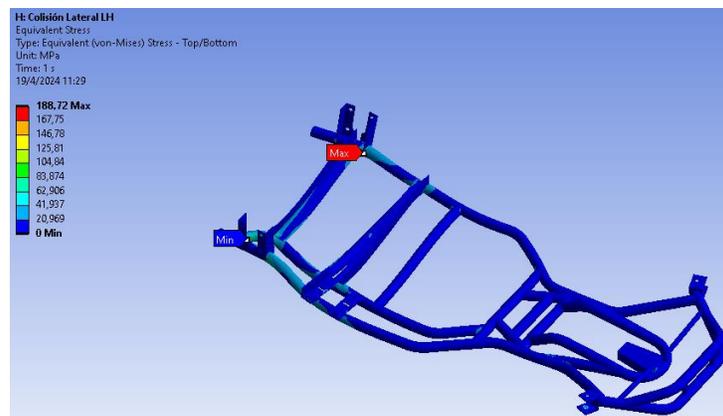


Figura.68 Resultado de esfuerzos en colisión lateral izquierda

De la simulación se obtiene el valor del Factor de Seguridad de 1,67 en base al límite elástico del material.

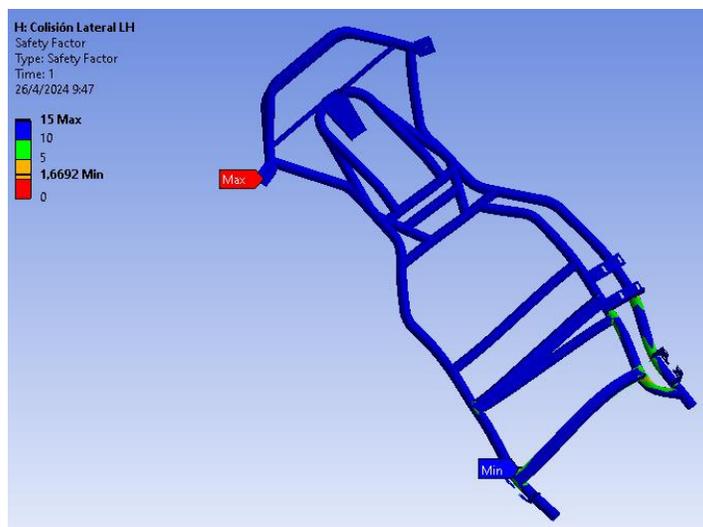


Figura.69 Factor de seguridad en colisión lateral izquierda

### 3.1.6.2 Colisión lateral derecha

De la simulación se obtiene una deformación máxima de 0,46 mm, la cual se produce en la parte lateral derecha del chasis. La concentración de esfuerzos se da en los nodos laterales del miembro estructural donde fue aplicada la cara y alcanza un valor de 129,22 MPa como se observa en la figura 71.

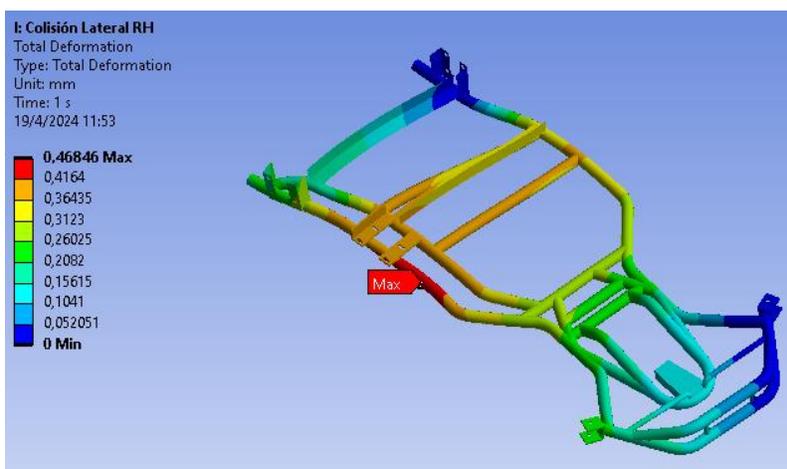


Figura.70 Resultado de la deformación en colisión lateral derecha

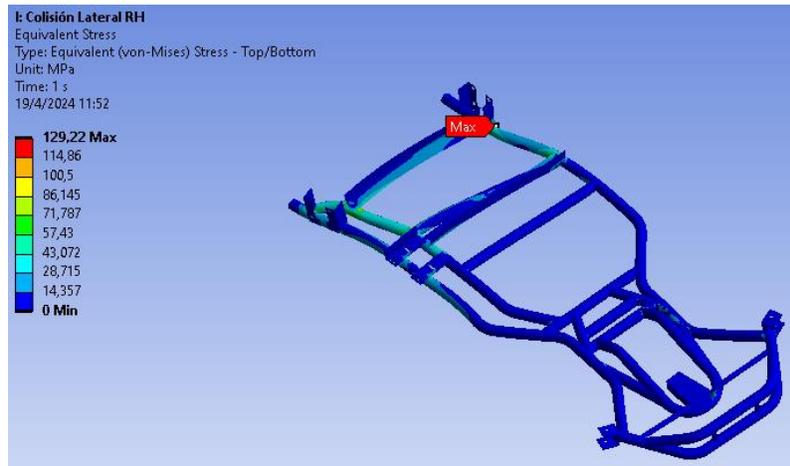


Figura.71 *Resultado de esfuerzos en colisión lateral derecha*

De la simulación se obtiene el valor del Factor de Seguridad de 2,43 lo que garantiza el diseño de este.

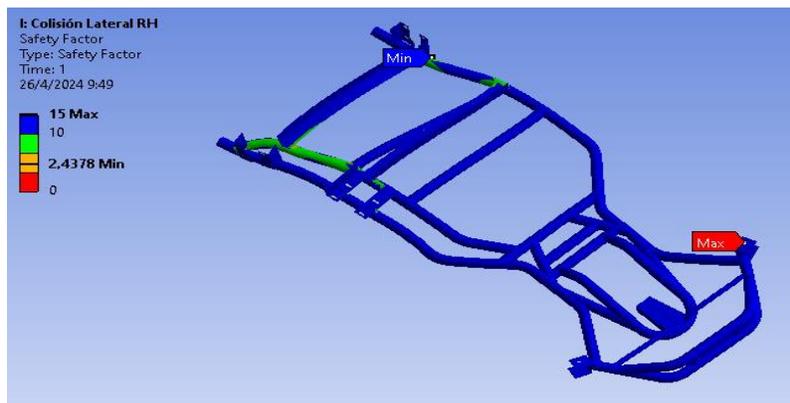


Figura.72 *Factor de seguridad en colisión lateral derecha*

### 3.2 Resultados correspondientes del ensayo de torsión del eje de transmisión:

Con las cargas y sujeciones asignadas y mallado el modelo del eje de transmisión se procede a realizar su análisis de esfuerzos obteniéndose los siguientes resultados:

#### 3.2.1 Esfuerzo de Von Mises

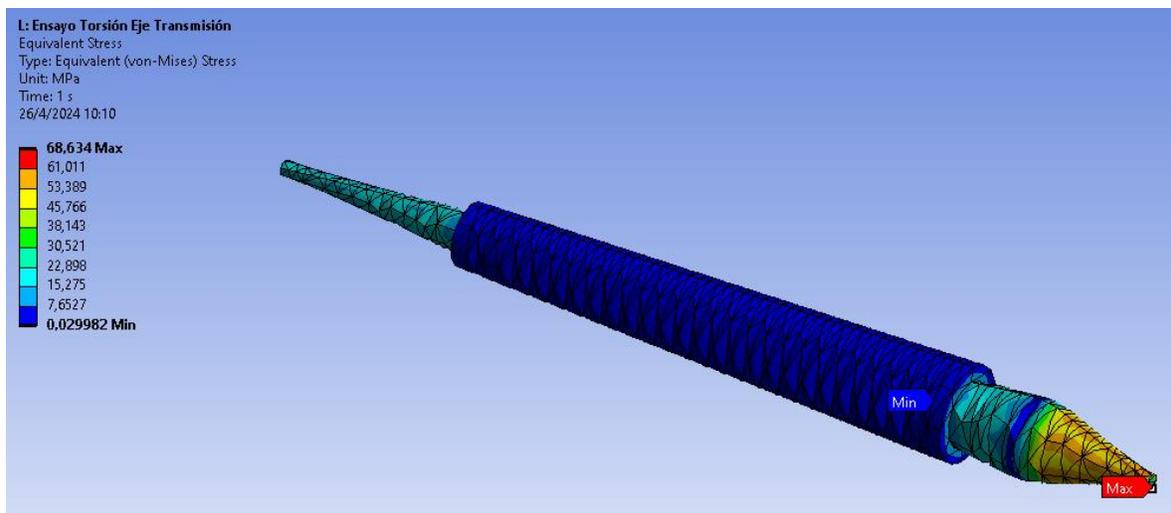


Figura.73 *Tensión de Von Mises en el eje de transmisión*

En la figura 73 se observa que, en el eje de transmisión, el máximo esfuerzo se está generando en la zona que queda entre la corona dentada y el soporte de los neumáticos con un valor de: 68,63 MPa, sin embargo, al ser esta tensión menor que el límite elástico del material aplicado, el eje resistirá la tensión máxima sin fallar.

### 3.2.2 Desplazamientos resultantes

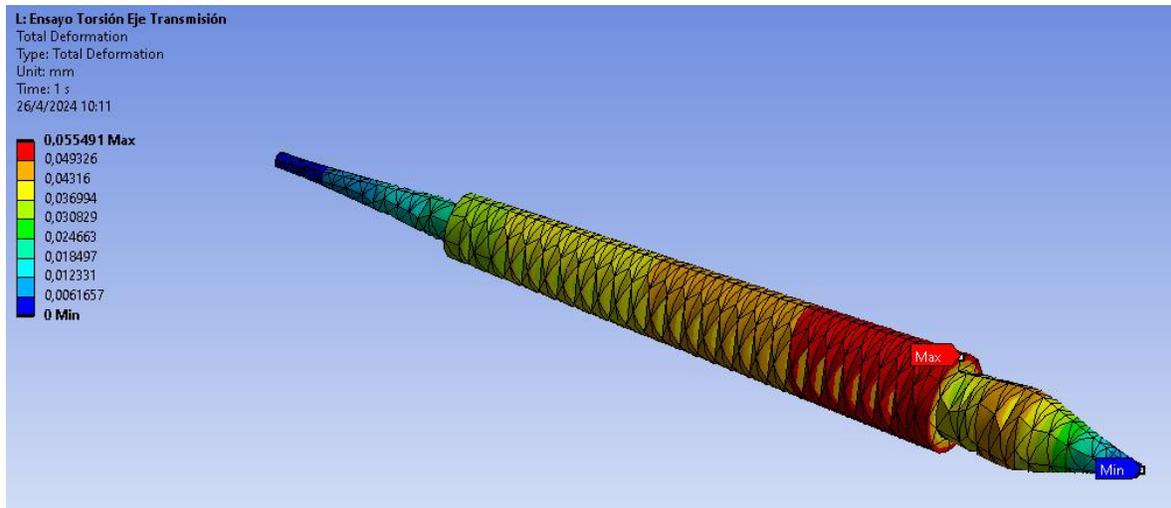


Figura.74 *Desplazamientos resultantes en el eje de transmisión*

Al analizar la figura 74 se determina que los desplazamientos máximos tienen un valor es de 0,055 mm por lo que, se considera que este desplazamiento no perjudica el funcionamiento seguro del go kart.

### 3.2.3 Factor de seguridad

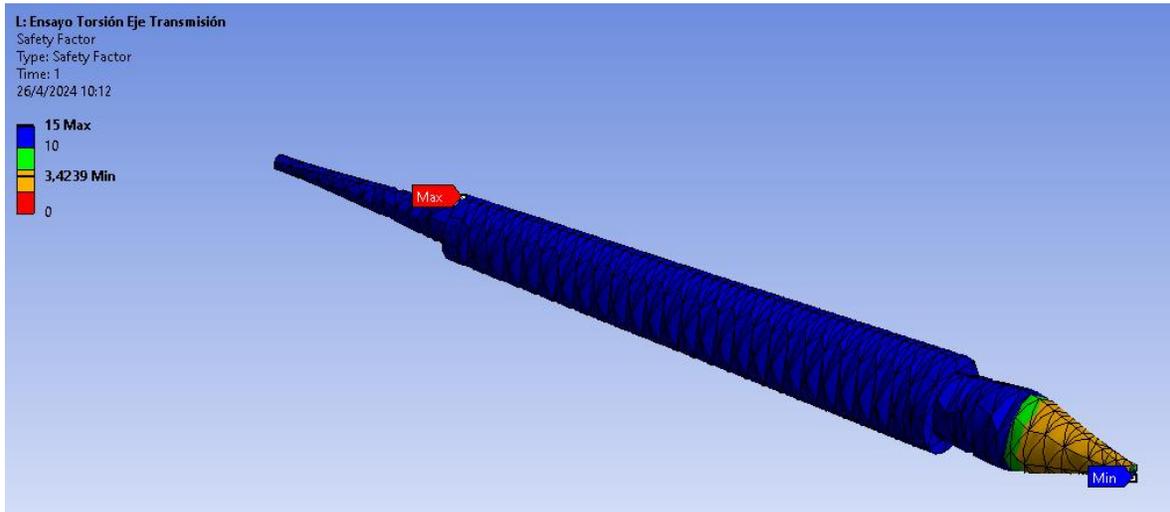


Figura.75 *Distribución del factor de seguridad en el eje de transmisión*

En la figura 75 se muestra la distribución del factor de seguridad en el eje transmisión y se observa que las zonas críticas el valor mínimo del factor de seguridad es de 3,42, por lo que se concluye que su diseño es seguro.

### 3.3 Construcción del go kart

Este proceso se realiza con el propósito de establecer una conexión entre la parte teórica y la parte experimental se refiere al proceso en el cual se ensamblan y montan todas las partes necesarias para la construcción del go kart. Incluye la instalación del chasis, el motor, el sistema de dirección, frenos y otros componentes clave, transformando los elementos individuales en un vehículo funcional listo para su uso en carreras o recreación.



Figura.76 *Construcción del go kart*

### 3.3.1 Fabricación del chasis

Partiendo de los planos detallados generados por SolidWorks, se procede a identificar los tubos que requieren doblado y corte. El doblado se realiza con una dobladora manual, mientras que los cortes se efectúan con una amoladora. Una vez completadas estas etapas, se procede al ensamblaje de los tubos. Para garantizar la unión adecuada de la tubería, se emplea el proceso de soldadura MIG, asegurando una fijación por puntos precisa obteniendo el siguiente resultado.



Figura.77 *Fabricación chasis*

### 3.3.1.1 Implementación de la dirección

Se refiere al proceso de instalar y ajustar el sistema de dirección en el vehículo. La dirección en un go kart es crucial para garantizar un manejo preciso y seguro.



Figura.78 *Implementación de la Dirección*

### 3.3.1.2 Implementación del motor

La etapa de implementación del motor se refiere al proceso de incorporar y poner en funcionamiento el sistema de propulsión de un vehículo. Esta fase implica la instalación física de los componentes, la conexión de sistemas, y la puesta a punto para asegurar un rendimiento óptimo.



Figura.79 *Implementación del Motor*

### 3.3.1.3 Implementación del controlador

Consiste en llevar a cabo la integración y puesta en funcionamiento del sistema de control electrónico que regula el rendimiento del motor. Esta fase es esencial para garantizar un control preciso y eficiente de la potencia suministrada al motor eléctrico, optimizando así el desempeño del go kart en términos de velocidad, aceleración y eficiencia energética.



Figura.80 *Implementación del controlador*

### 3.3.1.4 Implementación de las baterías

Es el proceso de selección, instalación y configuración de las baterías eléctricas en el vehículo, asegurando conexiones seguras, distribución de peso adecuada, y considerando aspectos de seguridad y rendimiento para lograr un funcionamiento eficiente y seguro del sistema eléctrico del go kart.



Figura.81 *Implementación de las baterías*

### 3.3.2 Inspección final

La fase crítica que sigue al ensamblaje e implementación completo de todos los elementos de nuestro go kart eléctrico es la inspección final, la cual desempeña un papel esencial en nuestro proceso de producción al garantizar tanto la seguridad como el rendimiento óptimo del vehículo.

Durante esta etapa de inspección, se realiza un reconocimiento exhaustivo de cada uno de los componentes, así como de las soldaduras y ensamblajes. Este procedimiento se lleva a cabo con meticulosidad, asegurando la integridad estructural de las soldaduras, la precisión en la conexión de los componentes eléctricos y el correcto funcionamiento de los sistemas de frenado y dirección.



Figura.82 *Go kart armado en su totalidad*

### 3.4 Prueba de manejo

#### 3.4.1 Evento de autonomía

El evento de autonomía en un go kart es un procedimiento diseñado para medir la distancia que el vehículo puede recorrer con una carga completa de su fuente de energía, bajo condiciones de conducción específicas y representativas de su uso real.

<b>Diseño de la plataforma</b>
Seleccionar una ruta predefinida y segura para la prueba de autonomía. Debe ser una ruta que represente el tipo de terreno y las condiciones de conducción habituales.
El ancho de la pista será mínimo de 4,9 m, medido entre los bordes interiores de las bases de los conos de borde del curso.

<b>Operación del curso</b>
Arrancar el go kart y comienza la prueba desde un punto de inicio predefinido en la ruta.
Usar el cronómetro para registrar el tiempo total que el go kart está en funcionamiento y la distancia recorrida durante la prueba.
Conducir el go kart de manera constante y a una velocidad promedio representativa de las condiciones normales de uso. Evita aceleraciones bruscas o frenadas repentinas que puedan afectar los resultados.
Continuar conduciendo hasta que la batería alcance un nivel bajo o hasta que el go kart se detenga debido a la descarga completa de la batería.

### 3.4.1.1 Resultados

Tabla.7 *Evento de autonomía*

Autonomía	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Distancia total	30,8 km	29,9 km	30,5 km	28,8 km	30,3 km
Tiempo total	1h, 46m, 16s	1h, 43m, 25s	1h, 45m, 10s	1h, 42m, 40s	1h, 45m, 59s
Velocidad Promedio	18 km/h	18,5 km/h	18 km/h	19 km/h	18 km/h

Entre estas variables, el estilo de conducción del piloto y las condiciones específicas del terreno juegan roles fundamentales. Estos factores pueden inducir fluctuaciones notables en la eficiencia energética del vehículo y, por ende, en su autonomía. Por ejemplo, una conducción más agresiva o el manejo en terrenos irregulares pueden incrementar el consumo energético y disminuir la distancia total que el go kart puede recorrer antes de requerir una recarga.

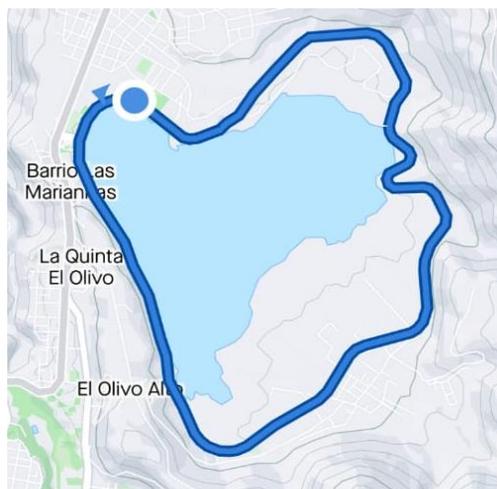


Figura.83 *Mapa de recorrido en evento de autonomía*



Figura.84 *Prueba de autonomía*

### 3.4.2 Evento de aceleración

El evento Aceleración evalúa la aceleración del vehículo en línea recta sobre pavimento plano.

<b>Diseño de aceleración</b>
La longitud del recorrido será de 75 m desde la línea de salida hasta la línea de meta.
El ancho de la pista será mínimo de 4,9 m, medido entre los bordes interiores de las bases de los conos de borde del curso
Los conos se colocan a lo largo de los bordes del campo a intervalos de aproximadamente 6 m.
Las ubicaciones de los conos no están marcadas en el pavimento.

<b>Procedimiento de aceleración</b>	
Cada equipo puede intentar hasta cuatro carreras, utilizando dos conductores, limitado a carreras por cada conductor.	
Las carreras con el primer conductor tienen prioridad.	
Cada ejecución de Aceleración se realiza de la siguiente manera:	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) La parte delantera del vehículo se situará a 0,30 m detrás de la línea de salida.</li> <li>ii) Una Bandera Verde o señal luminosa dará el visto bueno para iniciar la carrera.</li> <li>iii) El cronometraje comienza cuando el vehículo cruza la línea de salida.</li> <li>iv) El cronometraje finaliza cuando el vehículo cruza la línea de meta.</li> </ul>
Cada conductor puede ir al frente de la línea de preparación inmediatamente después de su primera carrera para hacer una segunda carrera.	

### 3.4.2.1 Resultados

Siguiendo los parámetros establecidos por la formula student se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla.8 *Evento de aceleración*

<b>EVENTO DE ACELERACIÓN</b>	<b>Conductor 1 70 kg</b>	<b>Conductor 2 94 kg</b>
Número de Pruebas	Tiempo de Pruebas en segundos	Tiempo de Pruebas en segundos
1	8,68	9,85
2	9,12	9,17
3	8,89	10,03
4	8,88	9,90

5	9,55	9,62
Promedio de tiempo en segundos	9,024	9,714

Se ha identificado que el peso del conductor es un factor crítico que incide directamente en la eficiencia de aceleración del vehículo. En la serie de pruebas realizadas, se observó que el Conductor 1, quien presenta un menor peso corporal, logró tiempos de aceleración inferiores en comparación con el Conductor 2. Este fenómeno puede atribuirse a una reducción en la masa total que el vehículo necesita desplazar, facilitando así un incremento notable en la aceleración. Sin embargo, es importante considerar que otros factores, como la habilidad de conducción, la experiencia y las características del vehículo, también podrían haber influido en los resultados.



Figura.85 *Evento de aceleración conductor 1*

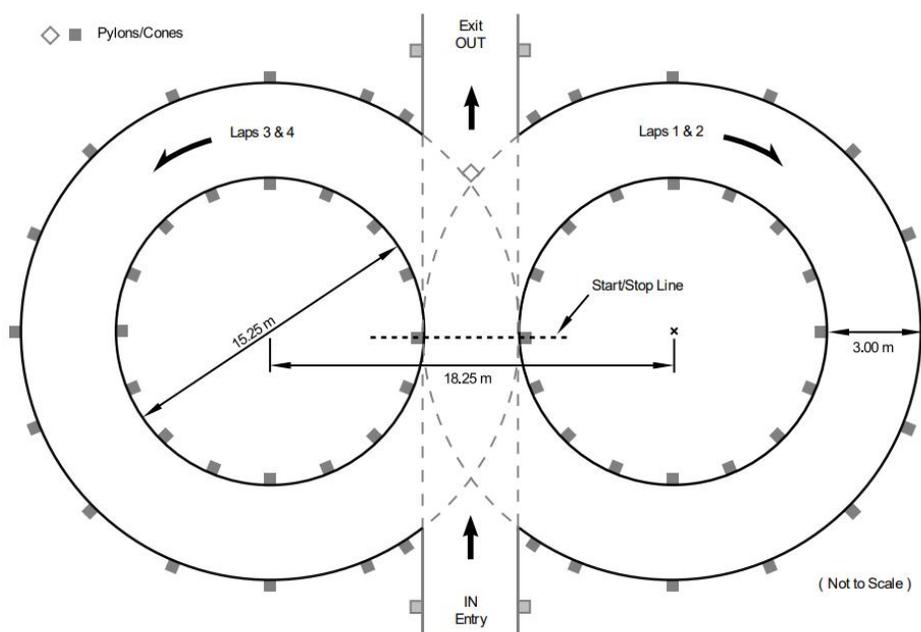


Figura.86 *Evento de aceleración conductor 2*

### 3.4.3 Evento skidpad

El evento de desarrollo mide la capacidad del vehículo para tomar curvas en una superficie plana mientras hace un giro de radio constante.

Figura.87 *Circuito evento skidpad*



<b>Diseño de la plataforma de deslizamiento</b>
Dos pares de círculos concéntricos en forma de ocho
Centros de los círculos separados por 18,25 m.
Círculos interiores de 15,25 m de diámetro
Círculos exteriores de 21,25 m de diámetro
Camino de conducción: el camino de 3,0 m de ancho entre los círculos interior y exterior.

<b>Colocación del cono</b>
Se colocarán dieciséis (16) pilones alrededor del interior de cada círculo interior y trece (13) pilones se colocarán alrededor del exterior de cada círculo exterior en el patrón que se muestra en el diagrama de diseño De desarrollo.
Cada círculo estará marcado con una línea de tiza, dentro del círculo interior y fuera del exterior círculo
El diagrama de diseño del desarrollo muestra los círculos para la colocación de los conos, no para marcar el recorrido.
Las líneas de tiza están marcadas en el lado opuesto de los conos, fuera del camino de conducción.
Pilones adicionales establecerán las puertas de entrada y salida.
Se podrá colocar un cono en el medio de la puerta de salida hasta la vuelta de meta.

<b>Operación del curso</b>
Los vehículos entrarán y saldrán por puertas en un camino de 3,0 m de ancho que es tangencial a los círculos donde se encuentran.
La línea entre los centros de los círculos define la línea de inicio/parada.
Una vuelta se define como recorrer uno de los círculos desde la línea de inicio/parada y regresar a la línea de inicio/parada.

<b>Cada recorrido del desarrollo se realiza de la siguiente manera:</b>
Una Bandera Verde o señal luminosa dará el visto bueno para iniciar la carrera.
El vehículo entrará perpendicular a la figura del ocho y dará una vuelta completa en el círculo derecho.
La siguiente vuelta será en el círculo derecho y será cronometrada.
Inmediatamente después de la segunda vuelta, el vehículo entrará en el círculo izquierdo para la tercera.
La cuarta vuelta será en el círculo de la izquierda y será cronometrada.
Inmediatamente al finalizar la cuarta vuelta, el vehículo saldrá de la pista. La salida está en la intersección que se mueve en la misma dirección en la que se ingresó.

### 3.4.3.1 Resultados

Tabla.9 *Evento skidpad*

<b>Evento skidpad</b>	<b>Conductor 1 70 kg</b>		<b>Conductor 2 94 kg</b>	
Número de vueltas	Tiempo en segundos por vuelta 1&2	Tiempo en segundos por vuelta 3&4	Tiempo en segundos por vuelta 1&2	Tiempo en segundos por vuelta 3&4
1	8,88	8,10	11,63	10,24
2	9,72	9,11	10,88	10,17
3	8,89	7,96	10,68	10,30
4	9,02	8,06	10,55	10,88
5	8,90	8,28	10,78	10,95
Promedio de tiempo en segundos	9,082	8,302	10,904	10,508

Existe una diferencia significativa en los tiempos de vuelta entre los dos conductores. En específico, el Conductor 1 supera al Conductor 2 por promedio de 1.822 segundos en las vueltas 1 y 2, y por 2,206 segundos en las vueltas 3 y 4. Estas discrepancias en los tiempos de vuelta son indicativas de un alcalde habilidad y eficiencia en la conducción por parte del Conductor 1.

La variación en el peso de los conductores, que asciende a 23 kg lo que influye en el desempeño. Diferencias significativas en el peso pueden afectar tanto la dinámica del vehículo como el consumo de energía y, por ende, el rendimiento en carrera.

Además, el Conductor 1 ha demostrado ser capaz de alcanzar fuerzas G laterales más elevadas, lo cual es un indicativo de una mejor capacidad para manejar la velocidad en curvas cerradas manteniendo una trayectoria óptima. Esta habilidad se complementa con una mayor consistencia en mantener tanto la velocidad como la línea de conducción, lo que culmina en tiempos de vuelta generalmente más rápidos.

En conjunto, estos datos sugieren que el Conductor 1 no sólo posee una técnica de conducción más refinada, sino que también es capaz de explotar más efectivamente las capacidades del vehículo en comparación con el Conductor 2. Estos hallazgos son cruciales para futuras decisiones estratégicas y ajustes en el entrenamiento y la preparación de los conductores.



Figura.88 *Evento skidpad conductor 1*



Figura.89 *Evento skidpad conductor 2*

## Capítulo IV

### 4.1 Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1.1 Conclusiones

- Los resultados de la simulación estructural del go kart realizados en software CAD validan experimentalmente el enfoque de diseño adoptado, al evaluar parámetros críticos como el esfuerzo de Von Mises, la deformación máxima y el factor de seguridad. Esta validación técnica refleja la solidez del diseño, al mostrar cómo responde el vehículo ante condiciones extremas. Estos resultados ofrecen una comprensión exhaustiva del comportamiento estructural del go kart, garantizando su rendimiento óptimo y su seguridad en diversas condiciones de operación, lo que respalda su idoneidad tanto en entornos de competición como recreativos.
- La elección del motor fue exitosa, ya que se basó en la necesidad de alcanzar altas velocidades en tiempos reducidos durante las carreras. Además, la autonomía se estimó con un margen de error inferior al 1% respecto a las pruebas realizadas, lo que otorga una alta fiabilidad a los cálculos efectuados para el go kart.
- En conclusión, se logró construir un go kart e implementar con éxito el motor eléctrico, cumpliendo así con el objetivo planteado. Este proyecto no solo demuestra la viabilidad de los motores eléctricos en vehículos de competición, sino que también resalta la precisión y fiabilidad de los cálculos y estimaciones realizadas a lo largo del proceso.

#### 4.1.2 Recomendaciones

- Es fundamental realizar el diseño y la simulación con la ayuda de programas CAD que no requieran demasiados recursos computacionales y que ofrezcan una interfaz amigable para el usuario.
- Se recomienda explorar la posibilidad de incorporar tecnologías de recuperación de energía, como el frenado regenerativo o sistemas de carga solar integrados, con el propósito de maximizar la eficiencia energética del go kart. Estas innovadoras tecnologías permiten aprovechar la energía generada durante la frenada o la exposición al sol para recargar la batería, lo que contribuiría a incrementar la autonomía del vehículo y reducir la dependencia exclusiva de la carga externa.
- Se debe establecer un proceso de prototipado iterativo donde cada componente del go kart sea probado individualmente y en conjunto con otros sistemas. Esto incluye pruebas de resistencia, pruebas de motor, y pruebas de conducción en condiciones controladas. Recopilar y analizar datos para realizar ajustes necesarios en el diseño y en la configuración del motor. Además, considerar la incorporación de retroalimentación de pilotos experimentados para ajustar ergonomía y controles.

## Referencias Bibliográficas

- [1] D. Granda, «CONSTRUCCIÓN DE UN GO KART ELÉCTRICO IMPULSADO CON BATERÍAS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL», Santo Domingo, 2016.
- [2] A. Idrovo, *Evaluación de un go-kart eléctrico con baterías de Ion-Litio y Níquel - Hidruro Metálico*. Cuenca, 2020.
- [3] S. Krishnamoorthi, L. Prabhu, M. D. Shadan, H. Raj, y N. Akram, «Design and analysis of electric Go-Kart», en *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 5997-6005. doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.413.
- [4] M. Haseb y K. Sudhakaran Siddharth, «Design and fabrication of a Hybrid Go-Kart», en *Proceedings of 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management, ICIEM 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., abr. 2021, pp. 155-159. doi: 10.1109/ICIEM51511.2021.9445273.
- [5] N. K. Chandramohan, M. Shanmugam, S. Sathiyamurthy, S. T. Prabakaran, S. Saravanakumar, y V. S. Shaisundaram, «Comparison of chassis frame design of Go-Kart vehicle powered by internal combustion engine and electric motor», en *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 2058-2062. doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.504.
- [6] J. Mora, L. Romero, y M. Rupérez, «Formula zero: Development and kart's competition driven by PEM fuel cell», *Int J Hydrogen Energy*, vol. 36, n.º 13, pp. 8008-8016, jul. 2011, doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.04.028.
- [7] C. Moreno y L. Muñoz, «Diseño, construcción de un Go kart eléctrico desarrollando sistemas que maximicen su autonomía.», UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR, Quito, 2011.
- [8] Secretaria Nacional, «PND-Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-», 2021.
- [9] N. Zhao, N. Schofield, R. Yang, y R. Gu, «Investigation of DC-Link Voltage and Temperature Variations on EV Traction System Design», *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 53, n.º 4, pp. 3707-3718, jul. 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2692198.
- [10] «Analysis of Relationship Between Acceleration and Battery State of Charging in Electric Vehicle», *IEEE Explore*, vol. 1, pp. 1-5, 2014, Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7951550>

- [11] E. Gunderson, «KARTING 101», Colorado , 2016.
- [12] V. Wasnik, «Testing, Design & Analysis of Go-kart Chassis», *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 7, n.º 2, pp. 183-187, feb. 2019, doi: 10.22214/ijraset.2019.2028.
- [13] P. Rudra, P. Heth, S. Sai, V. Aman, P. Vrutti, y G. Gayathri, «Design, Modelling and Development of a Go-Kart Vehicle», *International Journal of Engineering Research & Technology* , vol. 8, n.º 12, pp. 1-8, dic. 2019, Accedido: 16 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: [www.ijert.org](http://www.ijert.org)
- [14] N. Nazaruddin, D. Masnur, y E. Ardiansyah, «DESIGN AND MANUFACTURE CHASSIS AND BODY OF SIMPLE GOKART USING AUTOMATIC CLUTCH AND 7.5 HP ENGINE POWER».
- [15] S. Krishnamoorthi, L. Prabhu, M. D. Shadan, H. Raj, y N. Akram, «Design and analysis of electric Go-Kart», *Mater Today Proc*, vol. 45, pp. 5997-6005, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.413.
- [16] M. Haseb y K. Sudhakaran Siddharth, «Design and fabrication of a Hybrid Go-Kart», *Proceedings of 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management, ICIEM 2021*, pp. 155-159, abr. 2021, doi: 10.1109/ICIEM51511.2021.9445273.
- [17] J. Acosta, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BUGGY», UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Nueva Granada, 2021.
- [18] J. Fonseca, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BUGGY», Nueva Granada, 2021. Accedido: 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/39670/AcostaFonsecaOscarJavier2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [19] F. Israel. Vásquez Lema, «Construcción de un bastidor tubular de un go-kart eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.», 2021.
- [20] K. Suárez, A. Rodríguez, y O. Solorza, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GO-KART HÍBRIDO PILA DE COMBUSTIBLE PEM / BATERÍA RECARGABLE», *Centro de Investigacion y de estudios avanzados del IPN* , vol. 1, pp. 1-7, jun. 2008, Accedido: 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v24n4/v24n4a4.pdf>

- [21] L. Narváez, «Diseño y construcción de un vehículo Go kart de estructura tubular mediante el empleo de un programa de análisis por elementos finitos.», Escuela Politécnica del Ejército , Latacunga , 2012. Accedido: 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/mikyss94/gokartingh>
- [22] A. Porwal, K. Chouhan, N. Chohan, y J. Chatur, «Design and Fabrication of Electric Go-Kart», 2020. [En línea]. Disponible en: [www.ijert.org](http://www.ijert.org)
- [23] L. J. Reyna Tenorio, R. C. Ulloa-de Souza, y B. F. Chere-Quiñónez, «Tendencias en soldadura: conocimientos sobre soldadura en el personal de la empresa “Metal Mecánica Antonio Tirado” ubicada en la ciudad de Ambato Panamericana Norte Km 7», *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 3, n.º 3, pp. 229-237, jun. 2022, doi: 10.51798/sijis.v3i3.523.
- [24] J. Muquinche, «ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN LA FABRICACIÓN DE COLUMNAS ARMADAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA EMPRESA “METAL MECÁNICA ANTONIO TIRADO” Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS», UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato , 2015.
- [25] C. Llano, «REVISTA METALACTUAL EDICION», 28/2103, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.reisrobotics.de>
- [26] A. T. Assefa *et al.*, «Experimental Investigation and Parametric Optimization of the Tungsten Inert Gas Welding Process Parameters of Dissimilar Metals», *Materials*, vol. 15, n.º 13, jul. 2022, doi: 10.3390/ma15134426.
- [27] O. H. Rodríguez Pérez, *Soldadura por arco con electrodo refractario en la atmósfera protectora de gas interior (soldadura TIG)*. Editorial Universitaria, 2014.
- [28] R. Kumar y D. Kumar, «Optimization of Process Parameters on Tig Welding to Enhance Mechanical Properties of AA-6351 T6 Alloy», *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (ijtsrd)*, vol. 3, n.º 4, pp. 1-5, jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.31142/ijtsrd23831>.
- [29] M. Granja, V. Hugo, y H. Diaz, «PROCESO DE SOLDADURA GMAW, PARA ACEROS ORDINARIOS AL CARBÓN, ACEROS INOXIDABLES Y ALUMINIO», 2013, doi: 10.33333/rp.vol32n0.77.

- [30] J. S. Rudas, J. S. Restrepo, y L. C. Olmos, «Revisión sistemática de literatura. Caso de estudio: modelamiento del proceso de soldadura GMAW», 2015.
- [31] Granja M y Hidalgo V, «PROCESO DE SOLDADURA GMAW, PARA ACEROS ORDINARIOS AL CARBÓN, ACEROS INOXIDABLES Y ALUMINIO», 2013.
- [32] K. Bielawski, M. Chmieliński, O. Kreft, y G. Wiśniewski, «Possibilities of Using Innovative Drive Systems for Various Types of Electric Vehicles for Seaports, Container and Logistics Terminals», *TransNav*, vol. 17, n.º 2, pp. 407-413, jun. 2023, doi: 10.12716/1001.17.02.18.
- [33] M. Ravindran y V. Kirubakaran, «Analysis of Energy Saving Methods in different Motors for Consumer Applications», *Indian J Sci Technol*, vol. 8, n.º S8, p. 297, abr. 2015, doi: 10.17485/ijst/2015/v8is8/61919.
- [34] A. Rodríguez-Molina, M. G. Villarreal-Cervantes, O. Serrano-Pérez, J. Solís-Romero, y R. Silva-Ortigoza, «Optimal Tuning of the Speed Control for Brushless DC Motor Based on Chaotic Online Differential Evolution», *Mathematics*, vol. 10, n.º 12, jun. 2022, doi: 10.3390/math10121977.
- [35] K. T. Chau, C. C. Chan, y C. Liu, «Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hybrid electric vehicles», *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, n.º 6, pp. 2246-2257, 2008. doi: 10.1109/TIE.2008.918403.
- [36] Pascual Antonio, «Comparativa Entre Motores Brushed y Brushless», Universidad Obertade Cataluña, Cataluña, 2019. Accedido: 28 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/89945/3/antoniopascualvTFM0119memoria.pdf>
- [37] J. G. Rojas, G. Y. Aguirre, y F. Botterón, «Control de una Bomba Centrífuga Monofásica Comercial para Irrigación de Huertas Rurales Utilizando Energía Solar Fotovoltaica», *+Ingenio. Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. 3, pp. 22-42, jul. 2021, Accedido: 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/170438>
- [38] Z. Ding, W. Bu, X. Cai, L. Huang, y Z. Ke, «Saturated PI Optimization Induction Motor with Integral», en *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2022. doi: 10.1088/1742-6596/2360/1/012014.

- [39] S Sakthivel, «Effect of Voltage Sag on an Induction Motor», *Published in International Journal of Trend in Scientific Research and Development (ijtsrd)*, pp. 1-7, dic. 2023, doi: <https://doi.org/10.31142/ijtsrd18298>.
- [40] Y. Liang *et al.*, «A review of rechargeable batteries for portable electronic devices», *InfoMat*, vol. 1, n.º 1. Blackwell Publishing Ltd, pp. 6-32, 1 de marzo de 2019. doi: 10.1002/inf2.12000.
- [41] J. Martínez, «Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas», Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona , 2017.
- [42] D. López Sánchez, «Tecnologías de Baterías», UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, Valladolid, 2019.
- [43] Fouad Sabry, *Batería De Estado Sólido*, Fouad Sabry., vol. 1. One Billion Knowledgeable, 2022. Accedido: 10 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://play.google.com/store/books/details?id=zJGVEAAAQBAJ>
- [44] J. L. Cabeza, «Diseño e implementación de un sistema electrónico de potencia híbrido para la carga de una batería tipo polímero de litio», Escuela Politécnica Nacional , Quito, 2016. Accedido: 10 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16940/1/CD-7522.pdf>
- [45] E. Cueva, J. Lucero, A. Guzman, J. Rocha, y L. Espinoza, «Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices (Review of the state of the art of batteries in automotive applications)», n.º 1, pp. 166-176, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- [46] G. Liu, X. Wang, y A. Li, «Hardness improvement of welded joint by laser weld technology», en *Solid State Phenomena*, Trans Tech Publications Ltd, 2011, pp. 263-268. doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.175.263.
- [47] A. Nilawar, S. Nannade, P. Amey, y N. Selokar, «Diseño de Go-Kart», 06/02/2021, Maharashtra, pp. 1-8, 6 de febrero de 2021. Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://portal.issn.org/resource/ISSN/2321-8134>
- [48] E. Bravo y J. Malqui, «DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA GO KART ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ», Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba , 2023.

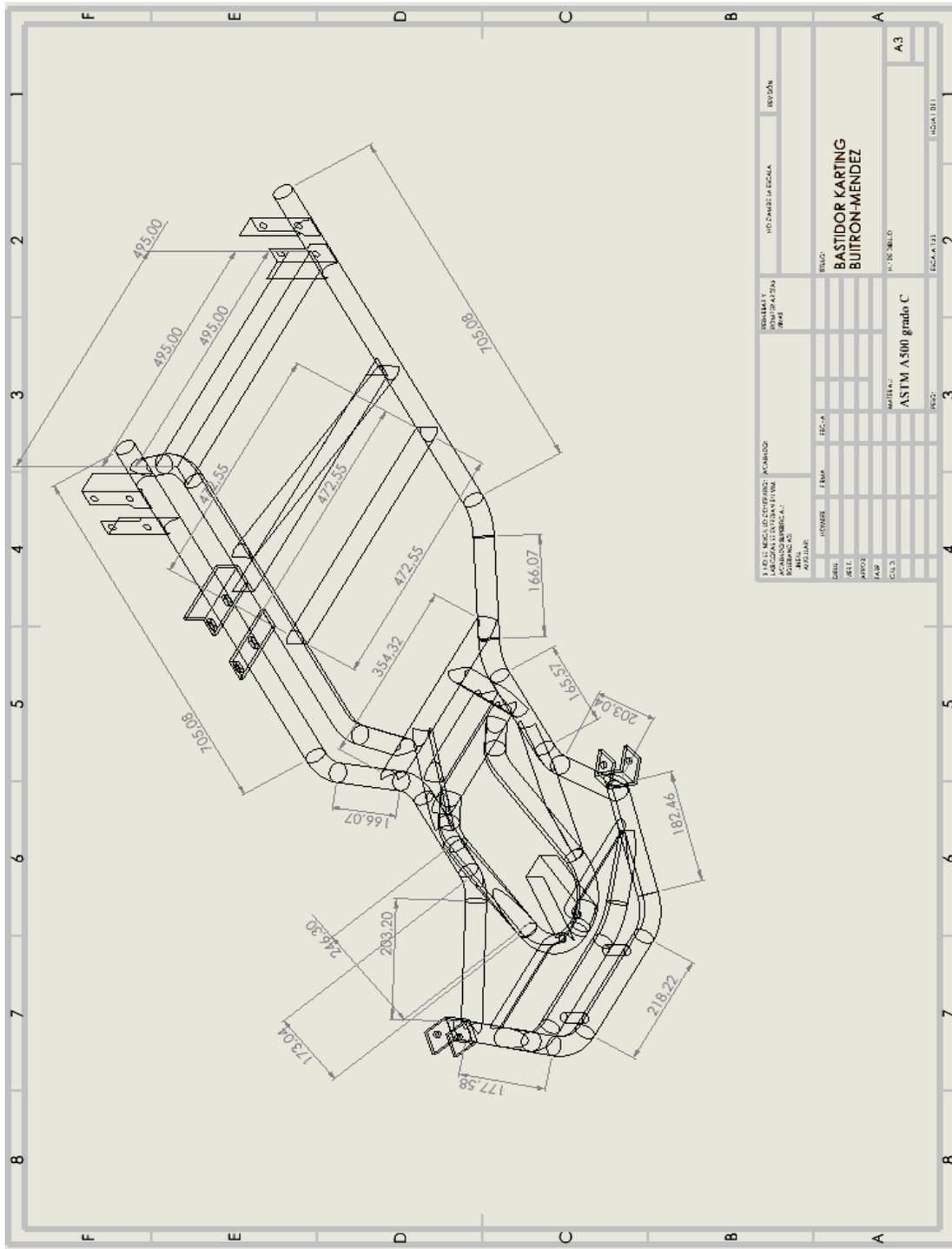
- Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19220>
- [49] A. Hajducik, J. Skrabala, S. Medvecký, y F. Brumerčik, «KINEMATIC ANALYSIS OF TRAPEZOIDAL SUSPENSION», *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, vol. 104, pp. 27-36, 2019, doi: 10.20858/sjsutst.2019.104.3.
- [50] H. Zhao, B. Wang, G. Zhang, y Y. Feng, «Energy Saving Design and Control of Steering Wheel System of Steering by Wire Vehicle», *IEEE Access*, vol. 7, pp. 44307-44316, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906224.
- [51] T. Mihalić, J. Hoster, V. Tudić, y T. Kralj, «Concept Design and Development of an Electric Go-Kart Chassis for Undergraduate Education in Vehicle Dynamics and Stress Applications», *Applied Sciences*, vol. 13, n.º 20, p. 11312, oct. 2023, doi: 10.3390/app132011312.
- [52] S. Ivanov, V. Ivanov, D. Cismaru, F. Ravigan, D. Selişteanu, y D. Şendrescu, «Comparison of several control strategies of the BLDC motors», en *Proceedings - 29th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2015*, European Council for Modelling and Simulation, 2015, pp. 215-220. doi: 10.7148/2015-0215.
- [53] J. C. Gamazo-Real, E. Vázquez-Sánchez, y J. Gómez-Gil, «Position and speed control of brushless dc motors using sensorless techniques and application trends», *Sensors*, vol. 10, n.º 7, pp. 6901-6947, jul. 2010, doi: 10.3390/s100706901.
- [54] R. Dobkin, C. Nelson, D. O'Neill, S. Pietkiewicz, T. Skovmand, y M. Wilcox, «3 - Power conditioning for notebook and palmtop systems», en *Analog Circuit Design*, B. Dobkin y J. Williams, Eds., Oxford: Newnes, 2011, pp. 18-34. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385185-7.00003-2>.
- [55] J.-G. Cao y J. Feng, «The Research of the Detecting System for the Battery Cycle Life of the Train», 2017.
- [56] P. Calderon, «Development of Go Kart: An Assessment Tool for NC II», San Fernando , ene. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=4342593>
- [57] X. Chen, X. Min, P. Zhang, N. Li, Z. Zhong, y Y. Wu, «Study on Impact Characteristics of Multistage Double Crown Face Gear Pairs considering Ratio Switching under Variable Conditions», *Shock and Vibration*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8880093.

- [58] B. J. Pyun, C. W. Moon, C. H. Jeong, y D. H. Jung, «Development of High Precision Vehicle Dynamic Model with an Intelligent Torque Transfer System (All-Wheel Drive System)», en *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, abr. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201816702011.
- [59] O. Maluf, M. Angeloni, y D. Spinelli, «Development of materials for automotive disc brakes», 2004. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237710289>
- [60] M. Bashir, S. Saleem, y O. Bashir, «FRICTION AND WEAR BEHAVIOR OF DISC BRAKE PAD MATERIAL USING BANANA PEEL POWDER», Srinagar, feb. 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.ijret.org>
- [61] M. Aoun, N. Hasnan, y K. Darul Aman, «Lean production and TQM: Complementary or Contradictory Driving Forces of Innovation Performance?», Kedah Darul Aman, 2013.
- [62] CIK FIA, «RÈGLEMENT TECHNIQUE CIK-FIA DU KARTING CIK-FIA KARTING TECHNICAL REGULATIONS». Viale Lombardia , pp. 1-55, 2024.
- [63] P. Quezada, «Diseño Y Fabricación Del Chasis Para Un Kart Kf4 Según La Normativa Cik/Fia», 2018.
- [64] E. Arroyo y R. Ayala, «Diseño y construcción del bastidor y sistema de suspensión de un car-cross monoplaza para servicio turístico», Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2013.
- [65] W. Milliken y D. Milliken, *Race car vehicle dynamics*. 2003.
- [66] MatWeb, «Acero ASTM A500, grado C, tubería estructural redonda», *Manual de especialidad de ASM: aceros al carbono y aleados*. 2024. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c5b4adbcee774d7e8be46783bf8e3b79>
- [67] J. G. Ardila-Marín, D. A. Hincapié-Zuluaga, y J. A. Sierra-del-Río, «Independencia De Malla En Tubos Torsionados Para Intercambio De Calor: Caso De Estudio», *Revista de la Facultad de Ciencias*, vol. 5, n.º 1, pp. 124-140, 2016, doi: 10.15446/rev.fac.cienc.v5n1.54231.
- [68] I. Cortés, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS DEL VEHÍCULO BAJA SAE UNAM 2015», Universidad Nacional Autónoma de Mé, 2015.

- [69] T. A. Shams, S. I. Ali Shah, y M. A. Ahmad, «Study of Low Reynolds Number Aerodynamics for Low Aspect Ratio MAV Wing», en *Proceedings of the 21st International Multi Topic Conference, INMIC 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., dic. 2018. doi: 10.1109/INMIC.2018.8595611.
- [70] J. R. Keaton, «Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4th Edition», *Environmental & Engineering Geoscience*, vol. 13, n.º 4, pp. 369-370, nov. 2007, doi: 10.2113/gseegeosci.13.4.369.
- [71] B. Heißing y M. Ersoy, «Driving Dynamics», en *Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives*, B. Heißing y M. Ersoy, Eds., Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011, pp. 35-147. doi: 10.1007/978-3-8348-9789-3\_2.
- [72] D. M. Bamatov, I. M. Bamatov, y I. L. Daudov, «Internal resistance of batteries for storing electrical power harvested using piezoelectric nanogenerators», en *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, nov. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1679/2/022041.
- [73] H. G. Schweiger *et al.*, «Comparison of several methods for determining the internal resistance of lithium ion cells», *Sensors*, vol. 10, n.º 6, pp. 5604-5625, jun. 2010, doi: 10.3390/s100605604.
- [74] F. Un-Noor, S. Padmanaban, L. Mihet-Popa, M. N. Mollah, y E. Hossain, «A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development», *Energies*, vol. 10, n.º 8. MDPI AG, 2017. doi: 10.3390/en10081217.
- [75] I. Cortés, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS DEL VEHÍCULO BAJA SAE UNAM 2015», Universidad Nacional Autónoma de Mé, 2015.

# Anexos

## Anexo I





### Anexo III

A través del programa SolidWorks, utilizando una fotografía tomada perpendicularmente al suelo y paralela al frente del vehículo, se determinó el área frontal mediante la medición de la superficie proyectada del mismo. El área frontal obtenida fue de 0,438 m<sup>2</sup>.

