



**Diseño de vehículo de tracción eléctrica para competencia nacional de vehículos
de tracción eléctrica (CNVTE)**

**Yurley Nayibe Acosta Corzo
11481818629
Miguel Andrés Munar Gutiérrez
11481627711**

Universidad Antonio Nariño

Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

2023

**Diseño de vehículo de tracción eléctrica para competencia nacional de vehículos
de tracción eléctrica (CNVTE)**

**Yurley Nayibe Acosta Corzo
Miguel Andrés Munar Gutiérrez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecatrónico

Director:

Nicolas Giraldo Peralta I.M., M.Sc., Ph.D.

Codirectora:

Adriana López Vargas I.M., M.Sc.

Línea de Investigación:

Vehículos y energía

Grupo de investigación:

Grupo de investigación en energía y materiales

Universidad Antonio Nariño

Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C., Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
Diseño de vehículo de tracción eléctrica para
competencia nacional de vehículos de tracción
eléctrica (CNVTE),
Cumple con los requisitos para optar
Al título de ingeniero mecatrónico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN	5
1. Planteamiento del problema.....	7
1.1. Antecedentes.....	8
1.2. Justificación.....	10
1.3. Alcance.....	11
2. Objetivos.....	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. Requerimientos de diseño del vehiculo.....	13
3.1. Medidas.....	13
3.2. Requerimientos en el chasis.....	13
3.3. Frenos.....	14
3.4. Peso.....	14
3.5. Visibilidad.....	14
3.6. Diseño Eléctrico.....	14
4. Marco teórico	15
4.1. Diseño mecánico.....	15
4.1.1. Chasis.....	15
4.1.1.1. Tipos de chasis.....	17
4.1.1.2. Elementos principales del diseño del chasis.....	18
4.1.2. Cargas aplicadas en el chasis.....	20
4.1.2.1. Carga muerta y carga de frenado.....	20
4.1.2.2. Carga de aceleración.....	21
4.1.2.3. Carga por resistencia aerodinámica.....	21
4.1.2.4. Carga de impacto.....	22
4.1.3. Sistema de frenado.....	22
4.1.4. Sistema de dirección.....	23

4.1.5.	Sistema de suspensión.....	24
4.1.6.	Tren de potencia.....	25
4.1.7.	Sistema de carga.....	26
4.1.8.	Transmisión	28
4.2.	Diseño Eléctrico.....	30
4.2.1.	Sistemas Eléctrico	30
4.2.2.	Configuraciones eléctricas.....	32
4.2.3.	Condiciones de manejo	33
4.2.4.	Controlador	34
4.2.5.	Control	35
4.2.6.	Valores Relevantes	37
4.3.	Vehículos eléctricos.....	38
5.	Metodología.....	38
6.	Resultados y análisis.....	42
6.1.	Análisis mecánico	42
6.1.1.	Ergonomía del piloto.....	42
6.1.2.	Análisis estático	44
6.2.1.	Análisis aerodinámico.....	52
6.2.	Análisis dinámico	53
6.2.2.	Análisis de la rigidez torsional.....	53
6.2.3.	Análisis de transferencia de masa longitudinal y frenado 57	
6.3.	Simulación (Resultados prototipo)	61
6.3.1.	Rigidez torsional.....	62
6.3.2.	Rigidez longitudinal.....	66
6.3.3.	Análisis de frenado.....	68
6.3.4.	Análisis de vuelco	71
6.3.5.	Impacto lateral	73
6.4.	Sistema de frenado.....	75
6.5.	Sistema de dirección	78
6.6.	Sistema de suspensión.....	80
6.7.	Diseño electrónico	84
6.7.1.	Batería	84
6.7.2.	Control de velocidad	87
6.7.3.	Controlador de velocidad	89
6.7.4.	Distribución eléctrica.....	96
6.8.	Tren de potencia.....	97
6.9.	Identificación de variables y su rendimiento.....	108
7.	Cotización	111
8.	Vehículo completo.....	113

Conclusiones	115
Recomendaciones	117
Bibliografía	118
Anexos	126

FIGURAS

Figura 4-1 Elementos principales del chasis.....	20
Figura 4-2 Sistema de frenado	23
Figura 4-3 Sistema de dirección.....	24
Figura 4-4 Sistema de suspensión	25
Figura 4-5. Visualización tren de potencia eléctrico.....	26
Figura 4-6 Diagrama a bloques funcional del sistema de propulsión de los VE.	31
Figura 4-7 Posibles configuraciones de Vehículos Eléctricos.	32
Figura 4-8 Circuito de la Grand Prix (prueba).....	33
Figura 4-9 Vehículo eléctrico completo.....	38
Figura 5-10 Numeración metodología implementada	39
Figura 6-11 Silueta piloto	44
Figura 6-12 Primer D.C.L	46
Figura 6-13 Segundo D.C.L.....	47
Figura 6-14 Diagrama fuerzas cortantes y momento flector	49
Figura 6-15 Distancia y dirección de las fuerzas.....	51
Figura 6-16 D.C.L. Rigidez torsional	55
Figura 6-17 D.C.L. Viga voladiza	56
Figura 6-18 D.C.L. Análisis de rigidez longitudinal y frenado	58
Figura 6-19 D.C.L Fricción en neumáticos.....	59
Figura 6-20 Unión nodos.	62
Figura 6-21 Información del mallado	63
Figura 6-22 Valores máximos y mínimos del esfuerzo	64
Figura 6-23 Deformación por desplazamiento	65
Figura 6-24 Información de mallado.....	67
Figura 6-25 Esfuerzo por rigidez longitudinal	67
Figura 6-26 Deformación por desplazamiento - rigidez longitudinal	68

Figura 6-27 Deformación por el esfuerzo análisis de frenado	69
Figura 6-28 Deformación por desplazamiento análisis de frenado	70
Figura 6-29 Deformación esfuerzo análisis de vuelco.....	72
Figura 6-30 Deformación por desplazamiento análisis de vuelco	73
Figura 6-31 Esfuerzo impacto lateral.....	74
Figura 6-32 Desplazamiento impacto lateral.....	75
Figura 6-33 Disco Freno Shimano Rt56.....	76
Figura 6-34 Suspensión McPherson	81
Figura 6-35 Diagrama tiempos de descarga batería.....	86
Figura 6-36 Motor BM1418ZXF	88
Figura 6-37. Resultado de pruebas sobre ganancias K_i y K_p.....	91
Figura 6-38 Diagrama de bloques para controlar la respuesta del motor.....	92
Figura 6-39 Gráfica Comportamiento de la señal en 120 s.....	92
Figura 6-40 Gráfica respuesta del motor	93
Figura 6-41 Gráfica del porcentaje de error	94
Figura 6-42 Grafica diferencia de velocidad entre la señal deseada y la actual.	94
Figura 6-43 Voltaje aplicado en el motor	95
Figura 6-44 Distribución eléctrica.....	96
Figura 6-45 Esquema tren de potencia	97
Figura 6-46 Gráfica comportamiento respuesta motor y señal PWM.....	99
Figura 6-47 Diagrama de Bode.....	101
Figura 6-48 Modelamiento del tren de potencia	105
Figura 6-49 Gráfica de velocidad final en modelo PowerTrain	105
Figura 6-50 Vista isométrica con fibra de vidrio	113
Figura 6-51 Vista lateral del vehículo	114
Figura 6-52 Vista frontal.....	114

TABLA

Tabla 6-1 Estimación de valores	45
Tabla 6-2 Valores fuerzas cortantes en Y	48
Tabla 6-4 Valores máximos-mínimos esfuerzos	66
Tabla 6-5 Valores máximos-mínimos desplazamientos.....	66
Tabla 6-6 Características disco seleccionado	76
Tabla 6-7 Piñón comercial direccional.....	80
Tabla 6-8 Características muelle seleccionado.....	83
Tabla 6-9 Características muelle trasero seleccionado.....	84
Tabla 6-10 Características de batería LiitoKala LiFePO4	85
Tabla 6-11 Tiempos de descarga y ciclos	86
Tabla 6- 12 Condiciones iniciales del motor	87
Tabla 6-13 Características motor BM1418ZXF.....	88
Tabla 6-14 Características piñón MRELC 420.....	97
Tabla 6-15 Características piñón motor	98
Tabla 6-16 Características cadena	98
Tabla 6-17. Pruebas competencia	108
Tabla 6-18 Variable crítica y su rendimiento en relación al límite elástico	109
Tabla 6-19 Variable crítica y su rendimiento en relación a la velocidad.....	109
Tabla 6-20. Cotización	112

La concepción de este trabajo queremos dedicarlo principalmente a Dios, nuestros padres y nuestros otros seres amados, que han estado en cada uno de los pasos de nuestra vida, brindándonos soporte, amor, comprensión y dándonos la bendición de tener esta oportunidad de incrementar nuestro desarrollo educativo. Muchas gracias por ser parte de nuestras vidas.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin el acompañamiento, consejos y apoyo de nuestros familiares Astrid Gutiérrez González, Miguel Munar Parra y Leonor González Castañeda. De igual manera queremos resaltar el sustento de nuestros colegas y amigo Miguel Williason. Además, y de forma primordial, queremos extender agradecimientos a nuestros tutores e ingenieros Nicolás Giraldo y Adriana López, que a lo largo de este proceso brindó todo su conocimiento y experiencia en la orientación y asesoramiento de este proyecto. También queremos resaltar a la institución educativa Universidad Antonio Nariño y a los diferentes maestros que hicieron parte de nuestra formación, que se ratifica en el resultado de este trabajo de grado.

Este trabajo se realizó gracias al apoyo de nuestros familiares Magaly Corzo Quiroga, Alirio Acosta Hernández, María Olinda Quiroga Ruiz y Adrián Camilo Acosta Corzo, de igual manera, le quiero agradecer a los ingenieros Nicolás Giraldo y Adriana López por su paciencia y acompañamiento en cada uno de los pasos dados en este proyecto.

RESUMEN

La alarmante situación ambiental ha precipitado graves consecuencias, este escenario exige medidas drásticas, como la creación de vehículos eléctricos para aplacar la letal generación de gases de efecto invernadero producidos por los motores de combustión. En este contexto, nuestro proyecto se centra en el diseño del chasis y la selección de componentes clave para el tren de potencia, sistema de frenado, dirección y suspensión, con el objetivo de competir en la prestigiosa Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica (CNVTE).

Para cumplir con los rigurosos requisitos técnicos, hemos diseñado y seleccionado los sistemas mecánicos y eléctricos, incluyendo una sección dedicada a la electrónica que engloba el controlador del motor, todo ello siguiendo los estándares líderes en el mercado.

En este proceso, hemos empleado herramientas como la ingeniería asistida por computadora y simuladores que han permitido comprobar la sección del material y su comportamiento según las fuerzas indicadas y el tipo de pruebas, esto realizando una comparación entre los esfuerzo obtenidos y el esfuerzo máximo del material, el comportamiento del motor con base al control realizado, considerando la velocidad máxima en este tipo de competencias, el torque que se está generado para mover el vehículo y el que se al momento de ir a máxima velocidad, la verificación de la potencia en relación al peso que debe moverse y por último se da el aproximado del presupuesto para la construcción de

este proyecto. Todo esto se ha hecho con especial atención a las pruebas fundamentales de la competencia: el diseño del vehículo y su eficiencia energética.

PALABRAS CLAVE: Vehículo eléctrico, sistema mecánico y eléctrico/electrónico, chasis, ingeniería asistida por ordenador, simuladores, valores de esfuerzo, control, resistencia de material, potencia, torque, fuerza, peso, presupuesto.

ABSTRACT

The alarming environmental situation has brought about severe consequences, this scenario demands drastic measures, such as the development of electric vehicles to mitigate the deadly generation of greenhouse gases produced by combustion engines. In this context, our project focuses on the design of the chassis and the selection of key components for the powertrain, braking system, steering, and suspension, with the goal of competing in the prestigious National Electric Vehicle Traction Competition (CNVTE).

To meet the stringent technical requirements, we have meticulously designed and selected mechanical and electrical systems, including a dedicated electronics section that encompasses the motor controller, all following market-leading standards.

In this process, we have utilized tools such as computer-aided engineering and simulators that have allowed us to verify the material section and its behavior according to the indicated forces and the type of tests. This involves making a comparison between the obtained stress and the material's maximum stress, understanding the engine's behavior based on the performed control, considering the maximum speed in this type of competition, the torque generated to move the vehicle both at regular and maximum speeds, verifying the power in relation to the weight that needs to be moved, and finally, providing an approximate budget for the construction of this project. All of this has been done with special attention to the fundamental tests of the competition: vehicle design and its energy efficiency

KEYWORDS: Electric vehicle, mechanical and electrical/electronic system, chassis, computer-aided engineering, simulators, stress values, control, material resistance, power, torque, force, weight, budget.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha empezado una carrera global con el fin de buscar una nueva alternativa a los vehículos impulsados por combustibles fósiles, esto dado los niveles de contaminación que se están alcanzando en el aire de las principales ciudades del mundo, solo en Bogotá para el año 2021 la organización Greenpeace advirtió sobre una concentración de PM_{2,5} anual estimada de 13,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo este valor el doble del permitido según la Organización mundial de la salud (OMS) [1], es por esto, que el cambio a las energías renovables cada vez se vuelve más necesario. Hasta el momento los vehículos de tracción eléctrica son la alternativa más prometedora, contando con el apoyo de autoridades públicas las cuales buscan generar un cambio en la industria de transporte y movilidad, organizaciones no lucrativas y empresas privadas que promueven el desarrollo sostenible. La entrada de este tipo de vehículos al mercado, se ha realizado por partes, primero con los vehículos híbridos, pero debido a que cada vez se vuelve más insostenible a largo plazo el uso de combustibles fósiles, se apuesta a la entrada de los vehículos de tracción eléctrica de forma completa, debido a lo anterior, las universidades se han visto impulsadas a fomentar en sus estudiantes la innovación en el diseño de los mismos, organizando competencias enfocadas en el diseño de vehículos eléctricos, en las cuales deben cumplir con una serie de requerimientos establecidos en su reglamentos, para garantizar así un diseño viable según sea las necesidades a cumplir. A nivel nacional la primera de estas competencias se realizó a finales del 2019 bajo el nombre Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica [2] y a nivel internacional la primera competencia se realizó en 1981 bajo el nombre de Formula SAE [3]. Actualmente en Europa

se cuenta con 6 competencias enfocadas en la participación estudiantil y la creación de conciencia ambiental, las cuales son, Formula Student Electric (FSE), Shell Eco-Marathon Europe, e-miglia, Nuerburgring Electric Racing, e-moto Racing y la Greenpower. A nivel latinoamericano se pueden encontrar Desafío ECO YPF (Argentina), Desafío Solar (Chile), Rally latinoamericano de Autos Solares (México) y la Eco-Challenge (Uruguay). Es importante aclarar que, a lo largo del documento, solo se van a referenciar competencias universitarias, ya que el proyecto está enfocado en una competencia a nivel universitario.

El presente documento se compone en su totalidad de 8 capítulos, en los cuales se encuentra distribuida la composición del mismo, en el capítulo 1 se habla sobre el planteamiento del problema, los antecedentes, la justificación y el alcance del mismo, en el capítulo 2 se habla sobre el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales se van a desarrollar a lo largo de los demás capítulos, en el capítulo 3 se mencionan los requerimientos del diseño del vehículo dados por el reglamento de la competencia, en el capítulo 4 se muestra el marco teórico el cual se puede resumir como la investigación de los sistemas mecánicos y eléctricos/electrónicos previa al desarrollo de los objetivos, en el capítulo 5 se muestra la metodología utilizada para desarrollar y finalizar este proyecto, el capítulo 6 corresponde a los resultados y análisis obtenidos del diseño del chasis y la selección de los elementos que conforman el resto de sistemas, el capítulo 7 corresponde a la cotización total del vehículo, por último se encuentra el capítulo 8, donde se visualiza el vehículo completo en 3D.

1. Planteamiento del problema

Las necesidades del entorno actual implican generar soluciones a los cambios climáticos, pues los vehículos que utilizan motores de combustión interna producen diferentes partículas que contaminan, entre ellas el óxido nítrico (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), entre otros compuestos volátiles y micropartículas que no son amigables con el funcionamiento natural de la Tierra. Como argumento a esto, se ha logrado calcular que aproximadamente 4,5 millones de personas han muerto por causas relacionadas con la contaminación ambiental y específicamente los vehículos de combustión representan un gran porcentaje de este estudio [4]. Para ser más precisos este tipo de vehículos aportan el 13% de la contaminación total del planeta y a pesar de diferentes leyes políticas o campañas ambientales, desligar y erradicar este tipo de sistemas es bastante complejo, por razones económicas, tecnológicas y de desarrollo.

Por esta razón se realizó un diseño utilizable e innovador para la competencia y la obtención de información que fue empleada de forma académica para el beneficio de la comunidad y las áreas de desarrollo automotriz a nivel universitario, esto es debido a que la información obtenida en el documento es entregada a la universidad Antonio Nariño, con el fin de poder responder a la invitación generada por parte CNTVE y respondiendo al requerimiento de la universidad de tener un vehículo eléctrico para poder competir en la misma, fomentando también un factor primordial el cual es motivar a los estudiantes de ingeniería a involucrarse en procesos de investigación, innovación y construcción de

opciones alternativas. Que den como respuesta una solución viable a las necesidades actuales. [5]

1.1. Antecedentes

La realización y estudio de los vehículos de tracción eléctrica, ha estado en el foco de las universidades públicas y privadas desde la realización de la primera competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica, conocida por sus siglas CNVTE, la cual se realizó a finales del año 2019 en la universidad de Antioquia. Actualmente, cuenta con dos versiones, la segunda se realizó en la mitad del año 2022 en la Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá [2]. Para el caso de un nivel nacional, no existe ninguna competencia de vehículos de tracción eléctrica consolidada como en otros países, razón por la cual, la CNVTE, es de tanta relevancia, ya que esta es el inicio de Colombia en las competiciones ecológicas.

Como se mencionó anteriormente esta competencia es la que se realiza en el país, sin embargo, a nivel latino americano, se pueden encontrar referencias de competencias similares como los son la baja nacional organizada en Brasil por parte de la baja SAE. Esta se realiza con el fin de incentivar la participación anual de los estudiantes, ya que una vez inscrita la universidad esta participará de las competencias posteriores, esta también cuenta con la participación de equipos internacionales, como por ejemplo, equipo estadounidenses [6], en México desde el 2022 también se viene realizando una edición de la competencia baja SAE para vehículos todo terreno, donde los estudiantes igual que en la CNVTE deben demostrar que el vehículo de diseño monoplaça, es capaz de brindar seguridad al piloto y

completar cada una de las pruebas al que es sometido, los estudiantes también deben generar un apoyo financiero para su proyecto [7], a nivel internacional también se puede encontrar la Shell Eco-Marathon la cual es una competencia que se divide en continentes, América, Europa y Asia, adicional a esto, tiene un campeonato mundial, esta se puede definir como un programa académico a nivel global, que se enfoca en la optimización de energía, gracias a sus diferentes competencias, está en general se posiciona como una de las competencias universitarias de ingeniería más importantes del mundo [8]. Otra competencia de similar estilo es la GreenPower, esta se lleva realizando desde hace aproximadamente 10 años, con sedes principales en Gloucestershire y Gales del Sur, esta al igual que las anteriores nombradas nace con la intención de fomentar la participación de estudiantes de ingeniería, destacando también la importancia de los materiales de ingeniería y la resolución de problemas en relación a la sostenibilidad [9].

En su última versión a nivel nacional se contó con 9 participantes integrados por diferentes universidades públicas y privadas del país, donde el ganador fue el equipo de la universidad Pascual Bravo de Medellín, el cual para ganar tuvo que pasar por diferentes tipos de pruebas, las cuales son:

- Prueba de diseño (Informe, presentación y la inspección técnica).
- Pruebas habilitantes (Prueba de abandono del vehículo, prueba de frenos, radio de giro, prueba de carga, prueba del cinturón de seguridad, prueba de volcamiento, prueba de visibilidad, inspección eléctrica, verificación de medidas).

- Pruebas dinámicas, en el caso de estas ya se empieza a realizar la puntuación (Prueba de agilidad, prueba de aceleración, grand prix).

Las pruebas anteriores se realizan con el fin de realizar una verificación de las reglas dadas para la competencia.

1.2. Justificación

En atención al problema expresado, se hace necesario un diseño que permita competir de forma relevante en la CNVTE. De acuerdo a los parámetros, limitantes y el entorno final donde se realizarán las pruebas, se diseñó un vehículo el cual se encuentra enfocado en la parte mecánica en el dimensionamiento según la normativa, visibilidad y seguridad del piloto, a la par se diseñó y dimensiono los sistemas de frenado, dirección, suspensión y tren de potencia, lo anterior teniendo en cuenta los elementos que se pueden encontrar comercialmente, basados en lo anterior, el diseño mecánico se enfocó en la seguridad y dimensionamiento, esto con el fin de superar satisfactoriamente las pruebas de volcamiento, abandono de vehículo y la prueba de carga.

En relación con el diseño del sistema eléctrico, se tuvo en cuenta los factores principales de la competencia, entre los cuales se encuentran: Los sistemas de emergencia, el sistema de propulsión eléctrico y la eficiencia (Prueba de mayor valor en la competencia).

Con la suma de estos desarrollos también se pretende obtener un sistema de transporte sostenible y eficiente, que logre aportar a las instituciones académicas datos de valor para el desarrollo de sistemas ambientalmente amigables, fomentando

simultáneamente a las instituciones y a los estudiantes el interés por hacer parte de estas actividades, que permiten la comunión, la investigación y aprendizaje en áreas de ingeniería.

Como actualmente diversas universidades de gran reconocimiento se han visto interesadas en promover e incentivar esta clase de proyectos, la Universidad Antonio Nariño también catapultará a la facultad de ingeniería y en general a la institución como ejemplo de desarrollo e investigación a nivel nacional.

1.3. Alcance

En este proyecto se realizó un diseño completo de un carro para la competencia universitaria CNVTE, el cual incluye el diseño del chasis con la comprobación de funcionamiento por medio de ingeniería asistida por computadores y simuladores, se realizó una selección de los elementos que conforman los sistemas de dirección, suspensión y frenado, basándose en los principales elementos de cada sistema, a su vez para el diseño eléctrico, se seleccionaron cada uno de los elementos como lo son la batería, el motor y la distribución de los mismos, de acuerdo al reglamento de la CNVTE y sus limitaciones para la carrera, entre las cuales se encuentra su falta de información acerca de la fuerza que debe soportar el vehículo en caso de volcamiento y el límite de deformación elástica del material, el cambio de condiciones en el Grand Prix debido a los cambios de sede en cada edición, las restricciones acerca de la cantidad de baterías y la capacidad de las mismas, la limitación en la selección del motor debido a la potencia máxima nominal y voltaje máximo del mismo que exige la competencia, la exigencia de un sistema de frenado de disco, las dimensiones y peso propios del vehículo.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Diseñar un vehículo de tracción eléctrica que logre cumplir con todos los requerimientos establecidos por la CNVTE en los aspectos eléctrico y mecánico.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar el diseño detallado de los sistemas de chasis, tren de potencia, suspensión, dirección, almacenamiento de energía y carga, motores eléctricos y finalmente control del vehículo cumpliendo con los requerimientos de diseño.
- Elaborar un prototipo virtual del vehículo diseñado, donde se puedan identificar las diferentes variables que pueden afectar el rendimiento en todas las pruebas que se realizarán con el vehículo, previamente a la competencia.
- Proyectar los parámetros técnicos, económicos y logísticos que permitan la construcción del vehículo para la competencia.
- Elaborar un diseño final el cual cumpla con los parámetros establecidos por la competencia.

3. Requerimientos de diseño del vehículo

El documento principal que establece los requerimientos del diseño es el reglamento de la CNTVE (Anexo R), dicho reglamento para el diseño mecánico no es muy explícito, no obstante, sí hace la aclaración para tener en cuenta unos parámetros los cuales son presentados a continuación en las diferentes secciones del capítulo.

3.1. Medidas

Para el caso del chasis este debe ser diseñado con base a las siguientes medidas. [10]

- Altura máxima = 1500 mm
- Largo máximo = 3500 mm
- Ancho máximo = 1300 mm
- Ancho medido desde la rueda con mayor trocha = 500 mm
- Distancia mínima entre el casco (superficie más alta) y la barra antivuelco = 100 mm

3.2. Requerimientos en el chasis

El chasis debe asegurar una visibilidad de 180° para el piloto, además de esto debe contar con un sistema de protección para volcamiento, dicho sistema debe tener la capacidad para soportar una carga de 1500 N aplicados en las direcciones de los tres ejes del vehículo.

[10]

3.3. Frenos

Los vehículos deben estar equipados con dos sistemas de frenado, operados de manera independiente. Cada sistema debe ser operado por un control diferente. Un sistema debe operar sobre las ruedas delanteras y el otro sobre las ruedas traseras. Es obligatorio utilizar frenos de disco. El sistema de frenado debe estar calibrado de tal manera que tenga un frenado equilibrado. [10]

3.4. Peso

El peso máximo del vehículo, sin incluir al piloto, no podrá superar los 140 kg. [10]

3.5. Visibilidad

El piloto debe poseer completa visibilidad hacia adelante y de 90° en cada lado del eje longitudinal del vehículo. [10]

3.6. Diseño Eléctrico

Por razones de seguridad, el máximo voltaje para la batería principal no debe superar 48 V nominales. En caso de poseer arreglos electrónicos con dispositivos de almacenamiento secundarios, el voltaje total en el vehículo no debe superar los 60 V. [10]

La potencia máxima promedió permitida combinada de salida es 500 W. Sin embargo, entendiendo que los elementos electrónicos consumen potencia y se cuenta con sobre picos, se tiene un margen permitido de la misma de 550 W. [10]

4. Marco teórico

4.1. Diseño mecánico

4.1.1. Chasis

El chasis se puede explicar como el esqueleto del auto, ya que este es el encargado de darle la forma deseada o diseñada al mismo, sostener y dar rigidez, también es el responsable de integrar todos los sistemas del auto, tales como lo son las ruedas, el sistema de dirección, el sistema de frenado, etc. Este esqueleto es el responsable de recibir todas las fuerzas y los esfuerzos que el vehículo pueda sufrir, aparte de esto es el lugar donde se posicionan todos los componentes de una forma óptima [11].

Para poder lograr un diseño óptimo, se deben determinar unos parámetros principales, en este caso se van a tomar tres principales:

- Económico: El alcance que se tiene actualmente es el de una competencia universitaria, razón por la cual, el diseño debe ser económicamente viable.
- Rigidez: Al ser un punto clave en la evaluación de los jurados de la competencia, se debe garantizar una estructura rígida, la cual le brinde protección al piloto, para ello, se debe contar con un valor de resistencia al impacto apropiado.

- Ligereza: La importancia radica en el rendimiento eléctrico del vehículo, donde la relación potencia-peso adecuada asegura una distribución eficiente de la energía eléctrica. Dado que el chasis tiende a ser la parte más pesada, su diseño debe ser ligero para optimizar este aspecto.

Para realizar un diseño del chasis de forma acertada, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos [12]:

- Peso
- Rigidez torsional (Capacidad de soportar distintos momentos de fuerza).
- Resistencia
- Resiliencia (Capacidad de resistencia a un impacto)
- Sencillez
- Estabilidad

Es importante destacar que el término “bastidor” se utiliza para describir la estructura del chasis, que es esencialmente el esqueleto del vehículo una vez que todos sus componentes están ensamblados [13]. Aunque en la literatura se puede encontrar tanto “chasis” como “bastidor”, en este contexto para el documento se hace uso del término “chasis” para evitar confusiones.

4.1.1.1. Tipos de chasis

El chasis debe contar con la capacidad de carga y el espacio necesario para acomodar y movilizar los sistemas y subsistemas del vehículo de manera eficiente. [14]

Hoy en día, se encuentran diversos tipos de estructuras, y su elección depende de las necesidades específicas que deben abordarse. Algunos ejemplos de estos son:

- Chasis de escalera: Este tipo de chasis, a pesar de ser uno de los más antiguos, todavía se utiliza en modelos recientes. Se caracteriza por tener la carrocería montada directamente sobre él. Está compuesto por largueros longitudinales unidos por placas de acero que sostienen los demás componentes del vehículo. Su principal desventaja es que tiene un centro de gravedad muy bajo debido a su poca profundidad estructural. [15]
- Chasis monocasco: El tipo de chasis conocido como autoportante es el más prevalente en la actualidad. Su principal ventaja radica en su rigidez, lo que simplifica la producción a gran escala y brinda mayor estabilidad en accidentes. Sin embargo, su desventaja es que no es económico fabricarlo en cantidades pequeñas. [15]
- Chasis monocasco ULSAB: Es una versión mejorada del chasis monocasco, más liviana y con una estructura que se asemeja a un sándwich de acero, lo que reduce el peso total. Combina polipropileno con dos piezas de acero ligero, lo que disminuye la rigidez y el peso. [16]

- Chasis especial tubular: Debido a su alto costo de producción, este tipo de chasis no es viable para la fabricación en masa, por lo que se utiliza principalmente en vehículos de carreras. Sus ventajas incluyen su estabilidad estructural, diseñada principalmente, para proteger la integridad del piloto y prevenir deformaciones en la carrocería en caso de accidente o colisión. [15]
- Chasis columna vertebral o túnel central: Este tipo de chasis se asemeja a una celosía, conectando el eje trasero y el delantero con una sola estructura similar a una columna vertebral. Sin embargo, su desventaja radica en su alto peso, lo que lo hace poco adecuado para la producción en masa o su uso en vehículos deportivos. Su aplicación es casi exclusiva en roadsters, que son automóviles descapotables y biplaza. [15]
- Chasis tipo X: Este tipo de chasis es una fusión entre el chasis de columna vertebral y el chasis en escalera. Su forma central reducida le brinda al vehículo una estructura más rígida, diseñada para resistir puntos de torsión elevados. [15]

La información brindada permite comparar los tipos de chasis y determinar cuál es el más apropiado según las necesidades específicas. En este caso, la necesidad se centra en cumplir con las regulaciones del manual de la CNVE.

4.1.1.2. Elementos principales del diseño del chasis

Cuando se habla de una competencia como la Competencia Nacional de Vehículos de tracción eléctrica, se debe tener en cuenta que está basa sus lineamientos basados en la fórmula SAE (Competencia de diseño estudiantil), por lo anterior, el criterio de diseño que

se sigue, es el diseño de un chasis tubular de una monoplaza y este se compone de 4 elementos principales [17], los cuales son:

1. Arcos

- Arcos de vuelco: Se puede definir como arco de vuelco, al arco frontal y al arco principal, los cuales son los responsables de otorgar protección al piloto.
- Arco principal: Se puede definir como una barra antivuelco situada en la parte de detrás del conductor.
- Arco frontal: Se puede definir como una barra antivuelco situada en la parte de encima de las piernas del conductor, en la proximidad del volante. [17]

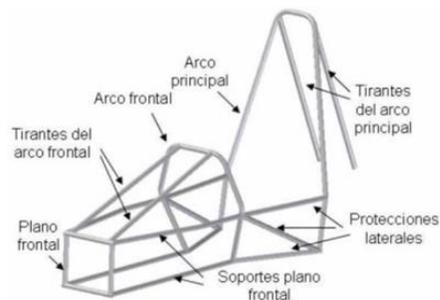
2. Zona de impacto lateral: Esta es el área del vehículo que va desde la parte superior del suelo hasta 1500 mm (59 pulgadas) por encima del suelo desde el arco delantero hasta el arco principal. [17]

3. Atenuador de impacto frontal (plano frontal): Esta estructura frontal es la encargada de definir el plano delantero de la estructura principal, entre sus funciones principales está el brindar protección a los pies del conductor. [17]

4. Triangulación de nodo a nodo: Se puede reducir la rigidez torsional en las estructuras rectangulares del chasis al agregar una barra transversal. Esto permite que los nodos de

la barra absorben las cargas, previene deformaciones y aumenta la rigidez de la estructura. Esto se conoce como "correctamente triangulada". [[17]

Figura 4-1 Elementos principales del chasis



Fuente: [17]

4.1.2. Cargas aplicadas en el chasis

Para un diseño óptimo del chasis, es esencial evaluar las cargas que la estructura deberá soportar durante el funcionamiento del vehículo. También se debe considerar el peso tanto del chasis como de sus componentes. Esto requiere una comprensión de los tipos de cargas que el vehículo puede experimentar. [17]

4.1.2.1. Carga muerta y carga de frenado

El peso muerto del chasis es el peso total de la estructura en funcionamiento, incluyendo la carrocería y accesorios. Estas cargas son constantes y fijas, y se determinan mediante estimaciones basadas en estándares de competencia o chasis similares [17]. La fuerza de frenado se puede definir como la fuerza que se emplea al momento de realizar el frenado del vehículo, se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s^2 . [17]

4.1.2.2. Carga de aceleración

Corresponde a la fuerza efectuada por una aceleración brusca del vehículo, el cálculo de esta se realiza bajo el mismo criterio utilizado en el cálculo de la carga de frenado. [17]

4.1.2.3. Carga por resistencia aerodinámica

Es la fuerza producida por el golpe del aire actuando sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal [17], para realizar el cálculo de esta carga se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{Af} = \frac{1}{2} * p * C_x * A_f * V^2 \quad [4-1]$$

Donde:

R_{Af} = Carga por resistencia aerodinámica [N]

p = Densidad del aire $[\frac{kg}{m^3}]$

A_f = Área frontal [m^2]

V = Velocidad del aire [m/s]

C_x = Coeficiente de resistencia del aire.

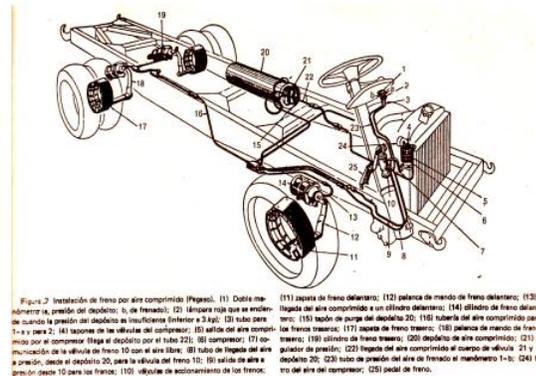
4.1.2.4. Carga de impacto

Corresponde a la fuerza producida por una colisión que puede afectar al piloto, siendo la fuerza de impacto la más significativa y de cuidado que se debe tener en cuenta a la hora de realizar el diseño. Esta fuerza es establecida de tres formas: Impacto longitudinal (frontal y posterior), impacto lateral e impacto vertical y superior. [17]

4.1.3. Sistema de frenado

El sistema de frenado de un vehículo es esencial para detenerlo o reducir su velocidad convirtiendo la energía mecánica en calor a través de la fricción generada por los frenos al presionar el pedal correspondiente. Los frenos delanteros asumen la mayor carga durante el frenado debido a la transferencia de peso. Generalmente, se utilizan frenos de disco en las ruedas delanteras y frenos de tambor en las traseras, pero en competiciones se requieren frenos de disco en todas las ruedas. Estos sistemas de frenado de disco constan de un rotor giratorio sincronizado con las ruedas, pinzas de freno que aplican presión sobre el rotor y pastillas de freno que realizan la acción de frenado. Las pastillas se activan mediante un sistema hidráulico que dirige el fluido de frenos hacia las pinzas, donde los pistones comprimen las pastillas contra el rotor. [18].

Figura 4-2 Sistema de frenado

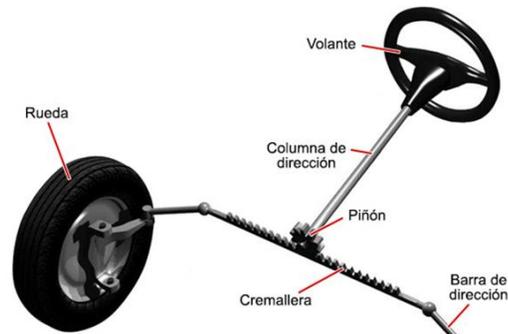


Fuente: [19]

4.1.4. Sistema de dirección

El sistema de dirección se encarga de traducir las intenciones del conductor en movimientos de las ruedas delanteras. Esto se logra mediante el volante, una columna o barra, una caja de dirección y una biela que conecta con el eje central de las ruedas. Entre las ruedas y el eje central, se incorpora una zapata de caucho o tirantes de acoplamiento para suavizar el movimiento en terrenos irregulares. En caso de colisión, se utiliza una barra flexible que puede plegarse. Existen diferentes configuraciones de caja de dirección, como la piñón-cremallera, tornillo sin fin y rodillo, bolas recirculantes, hidráulica, electrohidráulica o electro-motorizada. Para vehículos de peso reducido, se opta por la dirección piñón-cremallera debido a su prevalencia en vehículos pequeños, su costo razonable y su sencilla instalación. [20]

Figura 4-3 Sistema de dirección

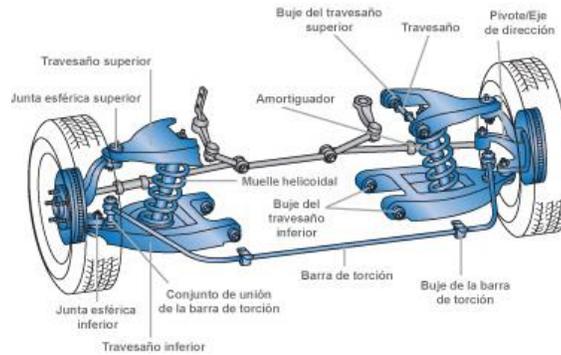


Fuente: [21]

4.1.5. Sistema de suspensión

La suspensión es esencial para mantener el contacto entre el chasis y los neumáticos, absorbiendo las irregularidades del terreno y evitando el balanceo excesivo del vehículo. Se logra mediante sistemas elásticos como muelles o ballestas, donde una relación adecuada entre la masa suspendida y la masa no suspendida mejora la dinámica. La suspensión independiente es la configuración McPherson, la cual aísla cada neumático y se utiliza tanto en las ruedas delanteras como traseras. Es conocida por su sencillez y se compone de componentes clave como la torreta McPherson, amortiguadores de gas, muelles helicoidales y palieres de suspensión. [22]

Figura 4-4 Sistema de suspensión



Fuente:[23]

4.1.6. Tren de potencia

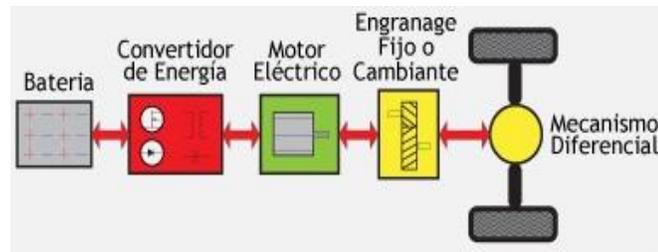
El tren de potencia o sistema de propulsión en un vehículo es el conjunto de componentes responsables de transmitir la potencia generada por el motor a las ruedas para propulsar el vehículo. Este sistema permite variar la velocidad y el torque del vehículo. Hay cuatro tipos principales de tren de potencia, que varían según el tipo de vehículo que se esté considerando. [24]

- Tren de potencia mecánico
- Tren de potencia híbrido
- Tren de potencia hidrostático
- Tren de potencia eléctrico

Al estar realizando un diseño de un vehículo de tracción eléctrica se busca un tren de potencia en un vehículo 100% eléctrico el cual tiene la distribución mostrada en la figura 4-

5:

Figura 4-5. Visualización tren de potencia eléctrico



Fuente: [25]

Con la información anterior, se establece un punto de partida para la selección de los elementos involucrados en el tren de potencia y la distribución de los mismos.

4.1.7. Sistema de carga

El sistema de carga puede considerarse parte del tren de potencia o no, dependiendo de su función y el tipo de sistema de carga en cuestión. El primer tipo de sistema de carga proporciona corriente alterna al vehículo y realiza la conversión a corriente continua para cargar la batería; esto se conoce como carga a bordo (on-board charging). El segundo tipo de sistema de carga suministra corriente alterna al vehículo, y otro sistema se encarga de la conversión de corriente; esto se conoce como carga externa (off-board charging). Solo el primer sistema se considera parte del tren de potencia. [26]

Con lo anterior, las baterías usadas para los vehículos eléctricos, actualmente son el punto débil en el desarrollo de los mismos, ya que deben estas son las responsables de alimentar y cumplir con las necesidades de trabajo del motor, así como también deben soportar los ciclos de carga y descarga continuos. Estas deben ir incorporadas al vehículo por lo cual también deben ser seleccionadas según el ambiente específico en el que se va a

desempeñar. Estas almacenan la energía eléctrica en forma química mediante el ánodo y cátodo, los cuales realizan la reacción química que libera la corriente continua. El ánodo es el lugar donde se da la oxidación (Pérdida de los electrones) y el cátodo es el lugar donde se da la reducción (Ganancia de electrones). [27]

Entre las características principales encontramos:

- Capacidad: Es la cantidad de energía que dispone el motor y el resto del vehículo, se expresa en unidades amperios por hora (Ah). En la actualidad se tiene una capacidad desde los 6 kW hasta 100 kWh aproximadamente. Su autonomía varía según la capacidad que se escoja, pero esta puede variar desde los 50 km hasta 550 km. [27]
- Energía específica: Esta variable nos relaciona el peso y la capacidad energética, se mide kWh/kg. Es importante ya que por ella es que se puede evidenciar la diferencia entre un vehículo eléctrico y un vehículo de combustión interna. [27]
- Densidad energética: Esta variable nos indica la relación entre el volumen que ocupa la batería y la capacidad de almacenamiento de la misma, se mide en kWh/L.[27]
- Ciclo de vida: Esta se relaciona con la cantidad de cargas y descargas que puede soportar la batería, se determina principalmente por el tipo de batería que se esté utilizando. [27]

Actualmente, estas son algunas de las baterías que se pueden encontrar en el mercado:

- Ion-Litio: Estas baterías pueden estar compuestas por una o varias celdas, generalmente en forma de cilindro. Incluyen componentes como sensores de temperatura, circuitos reguladores de corriente y monitores de estado de carga para mejorar la autonomía del vehículo. [28]
- ZEBRA (Sodio-Cloruro de Nitrato): Estas baterías están hechas de sal, cerámica y níquel y funcionan a altas temperaturas, entre 270 °C y 350 °C [29]. Tienen una alta capacidad energética, aproximadamente 125 Wh/kg.[30]
- Níquel-Hidruro Metálico: Emplean un ánodo oxihidróxido de níquel (NiOOH) y un cátodo de aleación de hidruro metálico. [31]
- Níquel-Cadmio: A pesar de su alto costo y problemas como la contaminación y el efecto de memoria, son ampliamente utilizados en vehículos eléctricos. Tienen una densidad de carga de 40 a 60 Wh/kg y son completamente reciclables.[30]
- Plomo-Ácido: Usadas principalmente en vehículos de combustión interna, estas baterías son económicas y tienen un buen rango de potencia específica y temperatura de trabajo.[30]

4.1.8. Transmisión

En los vehículos eléctricos, la transmisión es la conexión entre el motor y las ruedas. A diferencia de los motores de combustión, los eléctricos tienen una única relación de velocidad que se mantiene constante, ya sea que el vehículo esté detenido o en movimiento.

Esta relación varía según el fabricante, pero suele estar entre 6:1 y 10:1. Aunque la tendencia actual es una única relación de velocidad, se están desarrollando cajas de transmisión con 2 o 3 velocidades para mejorar la eficiencia. [27]

Los motores se clasifican según el tipo de corriente con el que funcionen, es decir, si son de funcionamiento con corriente continua o con corriente alterna, con base en esto se pueden encontrar en el mercado los siguientes motores:

- Motor de corriente continua con escobillas: Este funciona mediante el uso de un imán permanente, el cual es el encargado de crear un campo magnético, luego un conjunto de espiras las cuales están unidas a un núcleo de hierro empieza a generar un movimiento debido a la intensidad que pasa entre ellas, una vez se da el movimiento estas se alinean con un imán también permanente pero externo.[29]
- Motor de corriente continua sin escobillas: Este funciona usando un imán permanente externo el cual es el encargado de cambiar el sentido de giro, se convierte en un rotor y se integran las espiras en estator. [27]
- Motor de corriente alterna asíncrono: Este se encuentra conformado por un conjunto de bobinas las cuales son trifásicas, las cuales se encuentran ubicadas en la carcasa y cada una cuenta con un desfase de 120° , coincidiendo así con el desfase que existe en la red trifásica, para estos motores el rotor es una jaula de ardilla o un bobinado. Se denomina asíncronico, ya que el rotor no consigue alinearse con el campo magnético quedando desfasado del mismo. [27]

4.2. Diseño Eléctrico

Ahora se habla de uno de los ítems más importantes de la competencia, para esto se debe hacer una breve recapitulación sobre la relevancia que tiene esta clase de componentes y sistemas en vehículos eléctricos. Inicialmente, se crearon vehículos con elementos esenciales, pero con limitaciones en cuanto al rendimiento y desarrollo tecnológico, pues el entorno de la época no requería de este tipo de sistemas, un ejemplo de esto es que no se usaban baterías recargables, fue hasta 1852 que se inventó la batería recargable de plomo y ácido [32]. Sin embargo, las consecuencias ambientales, sociales y los diferentes estudios han permitido abarcar diversos aspectos que son fundamentales para el modelamiento de un sistema eléctrico que cumpla con las necesidades a las que se enfrentará. [33]

4.2.1. *Sistemas Eléctrico*

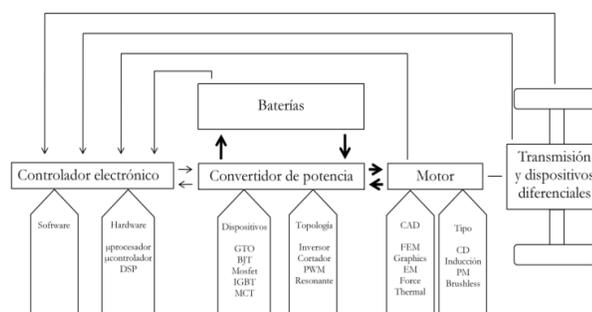
Si bien, en el reglamento tenemos limitantes en cuanto a magnitud, pesos y otros factores que debemos considerar, hay 3 subsistemas principales sobre los cuales deberíamos enfocarnos al ser parte fundamental, los cuales se deben analizar, diseñar y ejecutar de manera precisa. Los principales subsistemas son:

- Fuente de energía: En este subsistema nos referimos directamente a cualquier tipo de componente que suministre la capacidad de movimiento o acción del resto del sistema.
- Propulsión eléctrica: Corresponde al elemento (motor) que recibe la señal eléctrica proveniente de la fuente eléctrica, pero para maximizar su desempeño se debe generar un análisis pertinente para la implantación de un controlador de señales.

Básicamente en este subsistema se define la interacción entre la ejecución de movimiento de la parte mecánica. La parte eléctrica está conformada por el motor, la fuente y los controladores electrónicos. La parte mecánica se forma directamente al sistema de transmisión y las ruedas. [34]

- Unidad de alimentación o reabastecimiento: Se conoce así al componente que se encarga de recibir una energía eléctrica, generar suministros energéticos de forma correcta y controlada a la fuente de energía. En el caso de nuestro diseño se hará el correspondiente adecuamiento para poder proveer de forma correcta los otros sistemas del vehículo que se alimentan de energía eléctrica en baterías adicionales.[35]

Figura 4-6 Diagrama a bloques funcional del sistema de propulsión de los VE.



Fuente: [34]

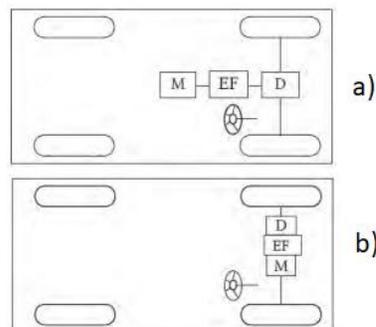
Como se evidencia estos subsistemas son la base fundamental de elaboración de un sistema eléctrico correctamente diseñado, pero sin un adecuado controlador o regulador de señales, toda esa energía transformada en trabajo mecánico será desperdiciada. En esta clase de sistemas toda la energía eléctrica también puede producir flujos inversos, cargando la

batería mediante un fenómeno de frenado regenerativo, el cual también será administrado por el sistema de control y la fuente de energía.

4.2.2. Configuraciones eléctricas

Por esta razón dependiendo de cada una de las necesidades o finalidades existen diferentes configuraciones eléctricas, con lo anterior, se realizó un breve análisis de los dos tipos de configuración que podrían ser útiles en cuanto a costos y cumplimiento del reglamento:

Figura 4-7 Posibles configuraciones de Vehículos Eléctricos.



M: Motor
EF: Engranaje Fijo
D: Diferencial
 Fuente: Propia

- Configuración (a): Se requieren elementos de alta eficiencia en un rango de velocidad relevante, donde este desempeño permite la inclusión de un sistema de una sola reacción, representada como engranaje fijo. Esta es una configuración favorable, ya que reduce el tamaño, peso y simplifica el montaje y construcción del diseño final. [36]

- Configuración (b): A nivel general maneja el mismo concepto de la configuración previamente explicada (configuración “a”). Sin embargo, este es un sistema compacto entre el motor, el engranaje fijo y el diferencial, donde se tiene una implicación aún más directa en el movimiento de las ruedas.[36]

4.2.3. Condiciones de manejo

Luego de investigar estos subsistemas principales y otros controles que van a influir en la programación de los diversos resultados energéticos, se deben tener en cuenta una serie de factores adicionales que alteran el comportamiento del vehículo durante la competencia.

Por este motivo se debe evaluar el terreno donde se va a desempeñar el vehículo, pues es el recorrido donde se va a evaluar todo lo correspondiente a su desempeño eléctrico.

Figura 4-8 Circuito de la Grand Prix (prueba).



Fuente: [10]

Es aquí donde por medio de una serie de cálculos se podrá determinar el ciclo de conducción para obtener las diferentes variables que se tendrán que afrontar directamente en el momento de la competencia. Un ciclo de conducción se define como un diagrama que muestra la conducta de un vehículo en una relación velocidad - tiempo. Sumado a esta variable también debemos considerarlas diferentes fuerzas que intervienen en el

desplazamiento del vehículo como la fricción del aire, el área superficial, la tracción con el suelo y las características de los elementos pertenecientes al equipo eléctrico seleccionado.

4.2.4. Controlador

También llamado driver este se puede definir como un componente enteramente de software el cual se encarga de realizar la comunicación entre un sistema operativo con un dispositivo [37]. Con base en lo anterior, se puede definir que un motor empieza a presentar un controlador en aplicaciones complejas, esto para poder llevar un control de la velocidad, dirección o el par del mismo, un ejemplo de lo anterior, son los controles para motor utilizados en impresoras 3D, maquinas CNC y soldadores robots [38]. Existe una clasificación de los tipos de sistemas de controles para motores y estos son [38]:

- Controlador manual
- Controlador semiautomático
- Controlador automático

En el caso concreto del uso de estos en los motores existen los siguientes tipos de controladores[38]:

- Arrancadores de motor
- Arrancadores de voltaje reducido
- Accionamiento de velocidad ajustable
- Controladores inteligentes
- Servomotores

4.2.5. Control

El control se puede definir como la selección de un conjunto específico o arbitrario de elementos, estos pueden ser parámetros, funciones, configuraciones, ETC. Estos parámetros hacen parte de un sistema fijo, el cual determina el comportamiento de los mismos de una forma predeterminada [39]. El control se puede realizar por un sistema de control de lazo abierto o cerrado, estos se diferencian entre sí, que el control de lazo cerrado posee una retroalimentación y una comparación con la entrada de referencia, lo cual ocasiona que la señal de salida tenga un efecto directo en la acción de control, mientras que, el control de lazo abierto no realiza una comparación entre su salida y su valor de referencia [39].

Existen varias formas para realizar el ajuste de un controlador PID, entre ellos, se puede encontrar el método de Ziegler-Nichols, también conocido como el método de Sintonización de Ziegler-Nichols, es una técnica clásica utilizada para ajustar los parámetros de un controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo) en sistemas de control. Fue desarrollado por John G. Ziegler y Nathaniel B. Nichols en la década de 1940 y se utiliza para determinar los valores óptimos de los parámetros KP (Constante Proporcional), KI (Constante Integral) y KD (Constante Derivativo) en un controlador PID. [40]

En la actualidad hay herramientas que nos proporcionan ayuda para hacer la sintonización del nuestro controlador elegido de una manera rápida. Una de esas herramientas hace parte de los aplicativos con el que cuenta el entorno de Matlab, su nombre es “PID Tuner”, el cual automatiza el ajuste de las ganancias de un controlador PID para una planta de sistema de entrada-salida. Su objetivo principal es lograr un equilibrio óptimo entre el rendimiento y la robustez del sistema de control [41]. Con esta herramienta, puedes

especificar el tipo de controlador que deseas, como controladores proporcionales-integrales (PI), PID con filtro derivativo, o PID con dos grados de libertad (2-DOF) [41]. En adición a esta aplicación, Matlab también nos permite detectar la estabilidad de nuestro sistema mediante diagrama de bode. El diagrama de Bode es una representación gráfica que muestra la respuesta en frecuencia de un sistema dinámico [42]. Se utiliza comúnmente en el análisis y diseño de sistemas de control para entender cómo un sistema responde a diferentes frecuencias de entrada [42]. El diagrama de Bode proporciona información valiosa sobre la magnitud y la fase de la respuesta del sistema en función de la frecuencia.

Aquí hay algunas características clave del diagrama de Bode:

- Eje de Frecuencia (Horizontal): En el eje horizontal, se representa la frecuencia en escala logarítmica. La frecuencia generalmente se expresa en radianes por segundo.
- Eje de Magnitud (Vertical, parte superior): En el eje vertical superior, se representa la magnitud de la respuesta del sistema en una escala logarítmica, generalmente en decibelios (dB). La magnitud indica cómo el sistema amplifica o atenúa las diferentes frecuencias [42].
- Eje de Fase (Vertical, parte inferior): En el eje vertical inferior, se representa la fase de la respuesta del sistema en función de la frecuencia. La fase se expresa en grados y muestra el desfase temporal entre la entrada y la salida del sistema [42].
- Respuesta en Magnitud: La curva de magnitud muestra cómo la magnitud de la respuesta del sistema cambia a medida que la frecuencia de la entrada varía. Puedes identificar picos y valles en la curva que indican las frecuencias de resonancia o atenuación máxima [42].

- Respuesta en Fase: La curva de fase muestra cómo la fase de la respuesta del sistema cambia con la frecuencia. La fase es crucial para entender la temporalidad de la respuesta del sistema [42].

4.2.6. Valores Relevantes

Con la información obtenida en los puntos anteriores, se determinó de forma crítica los valores relevantes, estos se pueden definir como los valores dados por catálogo, los cuales pueden limitar de alguna forma el rendimiento eléctrico del vehículo, usando como punto de partida los parámetros de la competencia y la investigación realizada, se encuentra que los valores relevantes son:

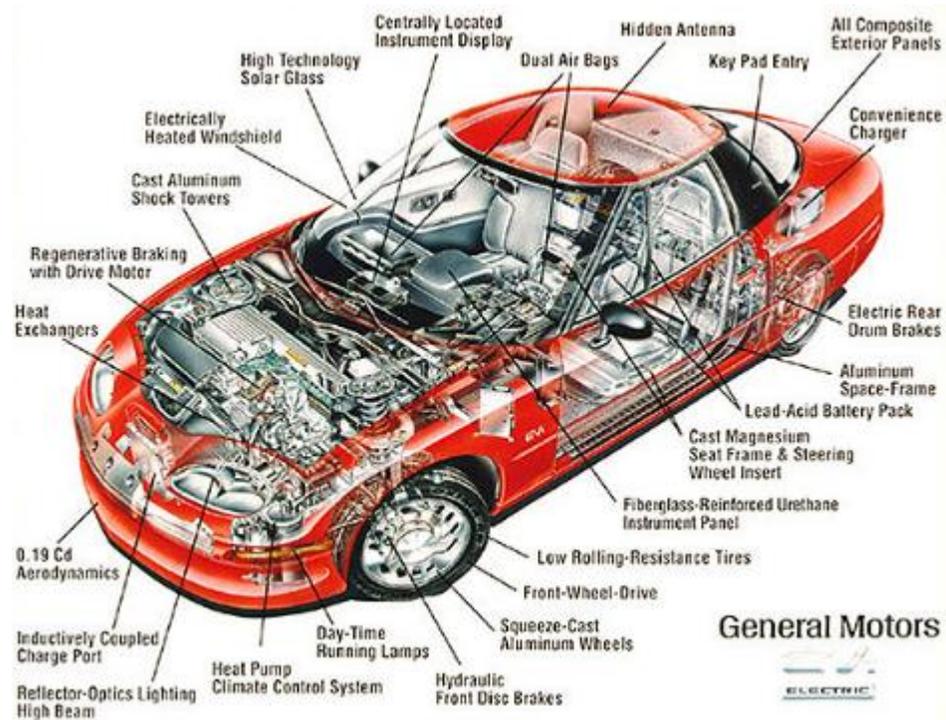
- Inductancia Terminal (L_a): Es una propiedad de las bobinas eléctricas que se encarga de oponerse al paso de la corriente.
- Resistencia Terminal (R_a): Se emplean para evitar condensaciones en los devanados y controlar los flujos de corriente en el sistema.
- Damp Factor (ζ): Básicamente corresponde a un valor de medición que es producto de la potencia y la eficiencia nominal del motor.
- Velocidad angular o señal saliente (ω): Corresponde a la señal de salida del sistema, en este caso al ser analizado como modelo eléctrico, corresponde a una corriente que en el eje de transmisión resulta siendo la velocidad angular con la que gira el motor.

- Inercia de motor: Está relacionada con la capacidad de un objeto a permanecer en reposo o continuar moviéndose en línea recta a la misma velocidad.

4.3. Vehículos eléctricos

De acuerdo a la información anterior se muestra la siguiente figura 4-9 en la que se ven reflejados cada uno de los sistemas hechos en SolidWorks.

Figura 4-9 Vehículo eléctrico completo

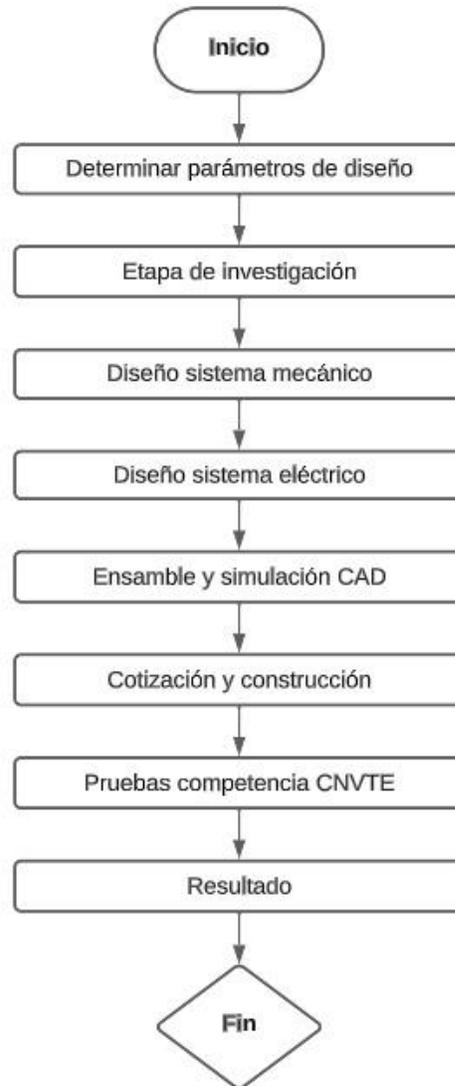


Fuente: [43]

5. Metodología

La metodología implementada en este documento se puede observar en la figura 5-10, presentada a continuación.

Figura 5-10 Numeración metodología implementada



Fuente: Propia

Con base al diagrama presentado en la figura 5-10 y contemplando que la metodología utilizada en este proyecto es cuantitativa, se realizó una verificación de la hipótesis principal, que es, el cumplimiento de los requerimientos dados en el manual de la competencia. Para la ejecución de lo anterior, se siguieron los pasos mostrados a continuación:

- Se determinaron los parámetros de diseño establecidos en el reglamento de la competencia esto por medio de la comprensión y determinación de las necesidades mecánicas y eléctricas del vehículo.
- La metodología de diseño empleada para el chasis, se basó en el análisis estático teniendo en cuenta las cargas propias del vehículo y las de prueba correspondientes a la competencia. Para esto, se realizó una armadura, el estudio de cargas en los elementos y las reacciones de éstas en la viga que es la base del chasis, para realizar el diseño de ésta a flexión y por este método, se obtiene la sección del perfil estructural. El análisis por elementos finitos entonces, se utiliza para corroborar el diseño realizado.
- Desarrollo de un diseño detallado de los sistemas de chasis, tren de potencia, suspensión, dirección, frenos, almacenamiento de energía y carga, y finalmente control del vehículo cumpliendo con los requerimientos de diseño, esto se realizó mediante cálculos: físicos, matemáticos, investigación (textos académicos, docentes y competencias previas).
- Se visualizó un prototipo virtual del vehículo diseñado, el cual fue elaborado utilizando una herramienta de diseño asistido por computadora como lo son Matlab, SolidWorks y/o inventor, donde permita realizar las correcciones y análisis pertinentes.
- Se identificaron las diferentes variables que pueden afectar el rendimiento durante todas las pruebas que se realizarán con el vehículo, para esto se hicieron las pruebas en un entorno controlado.

- Se determinaron los parámetros técnicos, económicos y logísticos que permitan la construcción del vehículo para la competencia, haciendo uso de la información comercial captada, las ofertas del mercado y el costo de inversión.
- Presentación final del diseño, que sirva como informe de presentación en la competencia de vehículos de tracción eléctrica del año 2023.
- Se determinaron los indicadores que puedan ser usados como aporte en el desarrollo académico y competitivo de la universidad, permitiendo la construcción de este vehículo más adelante y su posterior participación en la competencia.

6. Resultados y análisis

6.1. Análisis mecánico

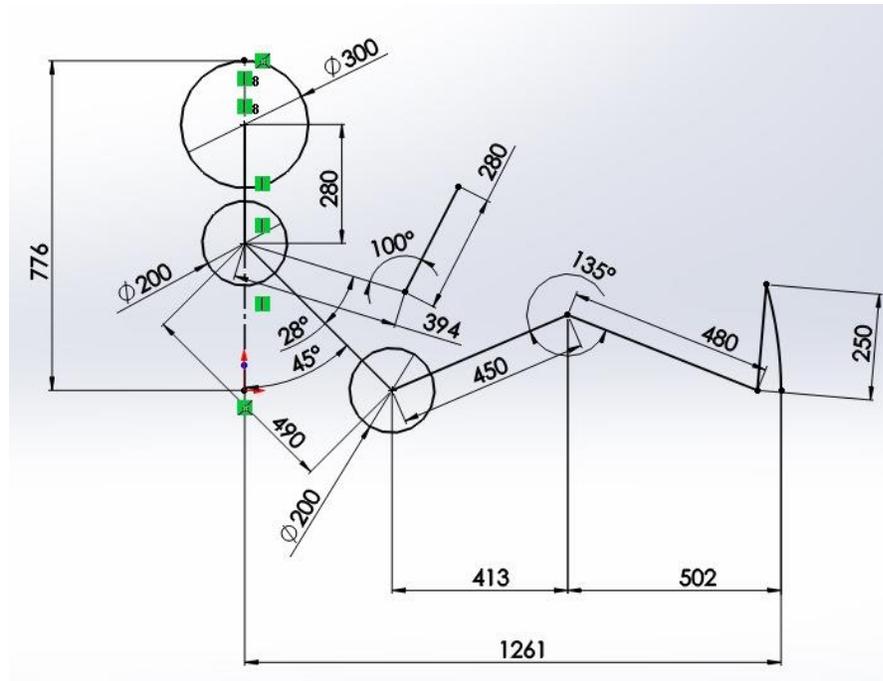
6.1.1. Ergonomía del piloto

Lo primero que se debe tener en cuenta es la ergonomía del piloto, se debe encontrar en una posición cómoda y confortable. Basados en el reglamento de la competencia, este dice que el piloto debe estar sentado o tumbado hacia atrás, dicha posición afecta el diseño del chasis, ya que el centro de gravedad del conjunto se puede definir como el vector de peso total, el cual representa la fuerza de gravedad que actúa sobre las partículas que conforman el vehículo con su piloto [44]. Este se debe encontrar lo más bajo posible en relación al eje X, esto siguiendo lo establecido en el reglamento de la formula SAE en relación a las dimensiones de torso y extremidades [45]. Con lo anterior, se determina que al aumentar la inclinación del piloto, el centro de masa se vuelve más bajo, lo que implica un mayor contacto de los neumáticos con el suelo estando estos alineados con la masa a mover permitiendo así tener una mayor control de los pares de giro al momento de vencer la inercia del mismo [46]. Una inclinación es cómoda para el piloto en un rango entre los 20 y 45 grados con respecto al eje X, en este caso se toma el de 45° debido a que en tesis anteriores se comprueba que este ángulo es el que ofrece un menor centro de gravedad, lo cual favorece

a la estabilidad del vehículo. Para lograr esto, también se debe aumentar la longitud de la cabina, con base a esto, se toman las decisiones de la longitud y el marco posterior del vehículo.

Al ser un vehículo de monoplaza, la competencia se basa en el reglamento de la formula SAE, si se usa de guía el reglamento SAE del 2022 [45], este habla de un percentil el cual corresponde a un promedio del tamaño del piloto, donde dice que el 95% de las personas que realizan el trabajo de piloto es menor al tamaño del modelo y el 5% restante es mayor al tamaño del modelo [45]. Por lo tanto, la decisión de diseño se basó bajo las medidas del modelo percentil masculino, con el fin de tener valores fijos y realizar un solo diseño. Con la información obtenida gracias a la SAE, se realizó una silueta del piloto desde una vista lateral la cual se muestra en la figura 6-11.

Figura 6-11 Silueta piloto



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Análisis estático

Como se mencionó anteriormente se ha elegido el chasis tipo tubular, esta elección se realizó debido a que este tipo de chasis suele ser el más utilizado en competencias vehiculares con respecto a los monoplazas, ya que posee un alto nivel de resistencia y rigidez, adicionalmente el peso de este tipo de chasis es menor que a los demás mencionados en el numeral 4.1.2. y considerando que el reglamento posee una limitación en relación al peso total del vehículo, este chasis es el que más encaja en referencia a la necesidad presentada. Con base en esto, se deben suponer los siguientes pesos: baterías, motor, piloto y la carga de prueba solicitada por el reglamento de la competencia para iniciar el análisis

estático de la estructura. En el caso del motor se toma la siguiente suposición: Al tener conocimiento de la potencia y voltaje máximo permitido en la competencia, siendo estos de un valor de 500 W y 48 V respectivamente, se realizó una revisión de algunas fichas técnicas de motores de diferentes proveedores [47], para así establecer un valor promedio de 5 kg. El primer diseño se incluirá en los anexos. (Anexo Y)

Con lo anterior, se completa la información de todos los datos que se requieren para un diseño estático, los datos se agrupan en la tabla 6-1:

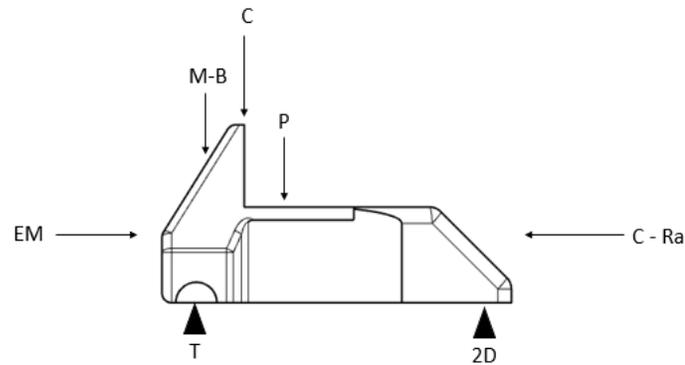
Tabla 6-1 Estimación de valores

Variable	Kg	N
Persona	70	687
Carga	183,5	1800
Baterías	29	284,5
Motor	5	49,5

Fuente: Elaboración propia.

Con lo anterior se realizó el análisis de las fuerzas y momentos de manera general en la estructura, para ello se empieza desarrollando el primer diagrama de cuerpo libre el cual se muestra en la figura 6-12:

Figura 6-12 Primer D.C.L



Fuente: Elaboración propia

Donde:

- C = Carga dada por la competencia
- T = Llanta trasera
- D = Llantas delanteras
- EM = Empuje del motor
- M = Motor
- B = Batería
- P = Persona
- Ra = Carga aerodinámica

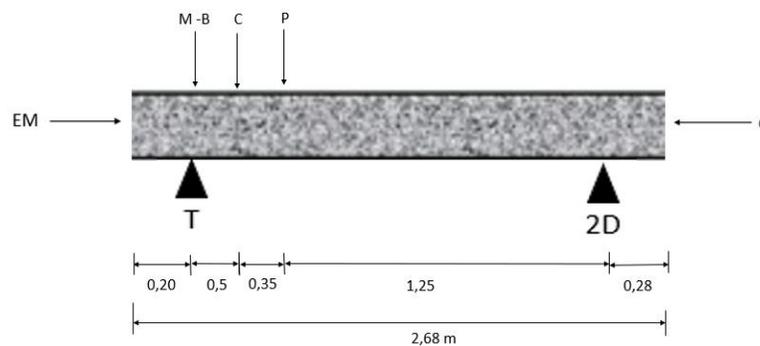
Se inicia el análisis con las fuerzas aplicadas en el eje Y, por tanto, al realizar la sumatoria de las fuerzas en Y se tiene:

$$-M - C - P - B + T + 2D = 0 \quad [6-2]$$

$$T + 2D = 2821 \text{ N}$$

Para encontrar el momento, se analizó la viga que sería el larguero del chasis, donde la posición de cada nodo indicará la distancia entre las fuerzas. Esta viga tiene una dimensión de 2,68 m de largo, esta decisión se basó en las distancias del eje X dadas en la figura 6-11, considerando que la posición de la batería y motor deber accesible para que los jueces puedan corroborar la potencia y voltaje de los mismos. De acuerdo a lo anterior, las fuerzas se encuentran distribuidas de la forma presenta en la figura 6-13 y teniendo en cuenta la forma de diseño explicada en la metodología, se realizó el siguiente análisis:

Figura 6-13 Segundo D.C.L



Fuente: Elaboración propia

$$\sum M_T = 0$$

$$-C(0,5) - P(0,85) + 2D(2,1) = 0 \quad [6-3]$$

$$D = 353 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación 6-3, da como resultado

$$T = 2114 \text{ N}$$

Con los resultados obtenidos, se realiza el cálculo para encontrar el esfuerzo de flexión al que se verá sometida la viga que se está analizando de acuerdo a las fuerzas a las que encuentra sometida.

Se encuentra el momento de flexión máximo en Y, utilizando las fuerzas cortantes donde se obtienen la tabla 6-2:

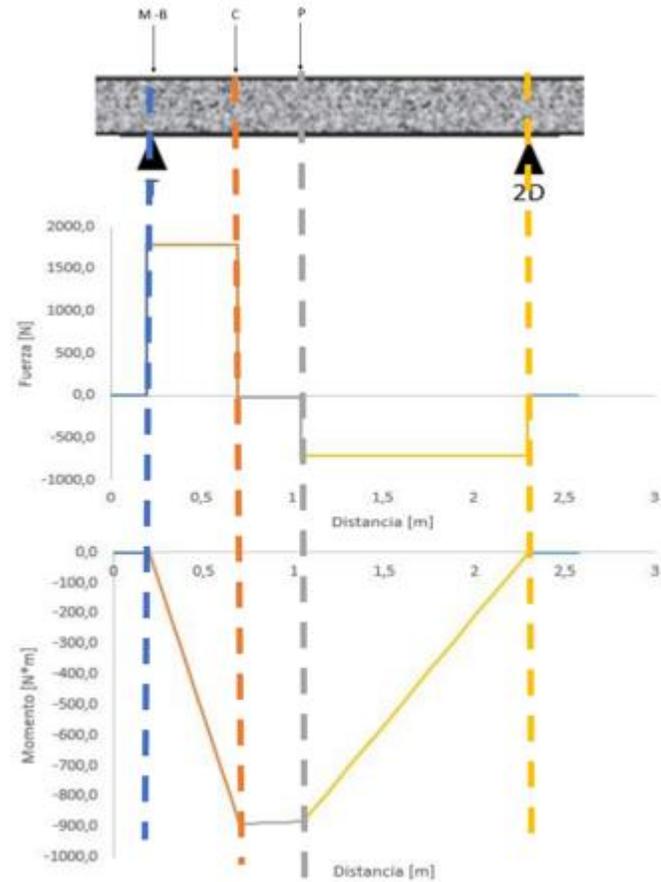
Tabla 6-2 Valores fuerzas cortantes en Y

Distancia [m]	Fuerza [N]
0	1780
0,5	-19,6
0,85	-706,6
2,1	0

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los valores obtenidos e ingresándolos a SolidWorks, se logra representar la siguiente figura 6-14:

Figura 6-14 Diagrama fuerzas cortantes y momento flector



Fuente: Elaboración propia

Donde se puede evidenciar el mayor Valor de momento es $|890,3| \text{ N}\cdot\text{m}$ y dicho valor es el que se va a tomar para determinar la sección de la viga de acuerdo a los cálculos siguientes.

La mayoría de los chasis tubulares, están compuestos por perfiles rectangulares y circulares, la disposición de estos depende del lugar donde se encuentren y las fuerzas que deben soportar, para este caso se hará uso únicamente de perfiles circulares, ya que, por su geometría no presenta concentradores de esfuerzos, se puede realizar el diseño solo con este

tipo de perfil. Para la selección del material se realizó una investigación entre las fichas técnicas de tubería estructural de ACESCO [48] e IPAC [49], lo anterior, se realizó teniendo como referencia el valor máximo obtenido en el momento flector, después de realizar la comparación se determinó que el material ASTM 500 grado C o tubería estructural del país, es la más adecuada para este diseño, este material tiene una resistencia a la fluencia de 315 MPa [50].

Si se conoce la ecuación del esfuerzo de flexión máxima la cual es igual a:

$$\sigma_y = \frac{M_{MÁXIMO}}{S} \quad [6-4]$$

Donde:

- S: Módulo de sección permisible
- $M_{MÁXIMO}$: Momento máximo en la viga
- σ_y : Resistencia de fluencia

Despejando S y reemplazando los valores se obtiene:

$$S = 2.82 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

Con este valor de sección y revisando los materiales disponibles en el mercado, como nombro anteriormente el material seleccionado es un ASTM A500 grado C, de este material se selecciona un perfil tubular con las siguientes características representadas en la tabla 6-3:

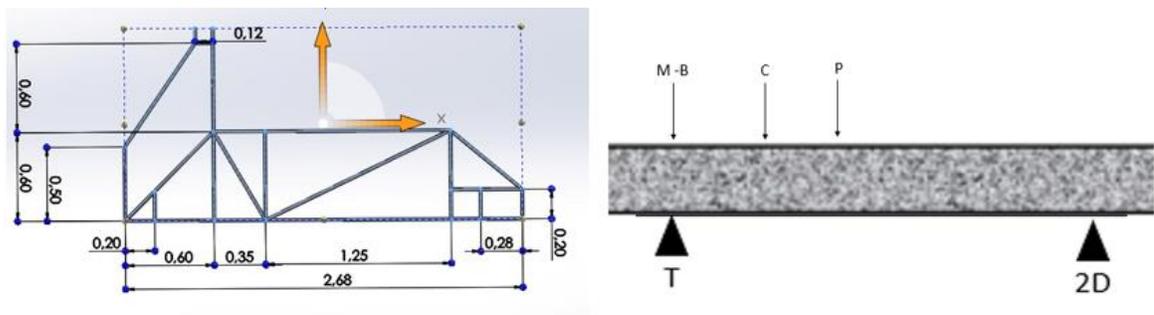
Tabla 6-3 Valores referencia del material

Variable	Valor	Unidad
Diámetro externo	19,1	Mm
Espesor	1,4	Mm
Área	0,78	cm^3
Peso	0,61	kg/m
Momento de inercia (I)	0,3	cm^3
Módulo de resistencia (W)	0,32	cm^3
Radio de giro (i)	0,64	Cm

Fuente: [51]

A continuación, se muestra la figura 6-15 donde se evidencian las medidas del diseño:

Figura 6-15 Distancia y dirección de las fuerzas



Fuente: Elaboración propia

Las medidas se determinaron con base a la posición del piloto y una decisión propia de diseño, el elemento ubicado entre los nodos Ñ-N corresponde a la posición del neumático trasero, mientras que, el O-R corresponde a los neumáticos delanteros, la distancia entre neumáticos se establece teniendo como criterio la medida percentil presentada anteriormente, evaluando diseños presentados anteriormente en la competencia se observa que en su mayoría los neumáticos presentan un espacio entre su eje y el inicio/fin del chasis y considerando a su vez que es un primer diseño presentado para la competencia, la posición del piloto corresponde al elemento ubicado entre los nodos F-L, esta medida se da tomando

como referencia lo presentado en figura 6-11, respetando así el ángulo de inclinación. Al ser un diseño preliminar ya presento dos correcciones en base a la optimización de las medidas, estas se hicieron con el fin de disminuir la medida total del carro y partiendo desde la base que la optimización del vehículo es hecha a nivel de las pruebas de la competencia, se determina que la distancia seleccionada es funcional, en caso, de que se desee elaborar una optimización con base a las dimensiones del vehículo, se realiza la simulación en SolidWorks con las variaciones pertinentes y los valores de esfuerzos conseguidos en la misma, se registran en una tabla con el fin de hacer la comparación y seleccionar las distancias más adecuadas para la cubrir la necesidad presentada.

6.2.1. Análisis aerodinámico

Para el análisis aerodinámico del vehículo se tomará en cuenta la ecuación 4-1 nombrada en el marco teórico al reemplazar se obtiene:

$$R_{Af} = \frac{1}{2} * 0,895 * 1,1 * A_f * (6.96)^2$$

El valor de la densidad del aire se asume como un 1,1 siendo este el valor de referencia, el cual corresponde en la escala de Beaufort, la cual se traduce como la fuerza del aire en una velocidad, considerando diferentes factores como lo son la temperatura promedio o la presión atmosférica. [52]

El valor del área frontal se encuentra haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$A_f = 0,85 * b * h \quad [6-5]$$

$$A_f = 0,884 \text{ m}^2$$

Con lo anterior y solucionando la ecuación propuesta número 4-1, se obtiene como resultado:

$$R_{Af} = 21,1 \text{ N}$$

Para este análisis no se toma en cuenta el valor de la resistencia aerodinámica, ya que se toman de referencia las fuerzas que debe soportar para la competencia en un caso enteramente estático, esta decisión se toma con base a que la fuerza que se está utilizando como máxima es de 1800 N y la resistencia aerodinámica calcula corresponde al 1.12% de la misma.

Realizando la sumatoria de las fuerzas en x se tiene:

$$-C + EM = 0 \quad [6-6]$$

Y reemplazando con los valores dados en la tabla 6-1. Se obtiene.

$$EM = 1800 \text{ N}$$

6.2. Análisis dinámico

6.2.2. Análisis de la rigidez torsional

El primer factor que se debe tener en cuenta para empezar a realizar el análisis dinámico del vehículo, es la rigidez torsional, la cual se puede definir como, el valor que debe tener el torque en un eje central para poder soportar la rotación del vehículo durante su rotación, sin

que su estructura se deforme. Para poder determinar las condiciones iniciales, se encontró el valor de la masa del carro, se hace uso de la simulación de SolidWorks.

A la masa del carro se le suma lo que corresponde al peso del motor, las baterías y la persona, adicional a estos valores, también se tiene en cuenta, un estimado al peso de la silla, el sistema de dirección, frenado y suspensión, el cual se estima en 30 kg. En la ecuación 6-7 se halla la masa total y en la 6-8 se halla el peso total.

$$\text{Masa total} = 70 + 29 + 5 + 56,88 + 30 \quad [6-7]$$

$$\text{Masa total} = 191 \text{ kg}$$

$$\text{Peso total} = 190 * 9.8 \quad [6-8]$$

$$\text{Peso total} = 1872 \text{ N}$$

Se encuentra el valor de la aceleración centrífuga, tomando como referencia una velocidad final de 25 km/h, y esto es igual a:

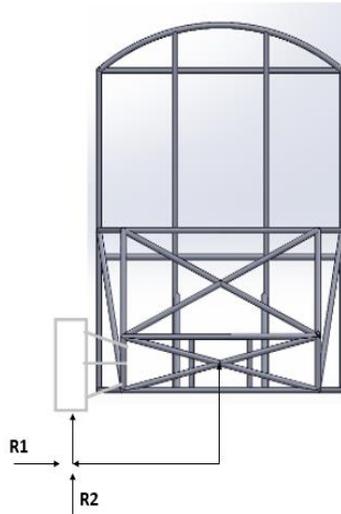
$$A_c = r * \omega^2 \quad [6-9]$$

Por el reglamento de la competencia se conoce que el radio de giro que tenemos es igual 7 m, reemplazando se obtiene:

$$A_c = 6,9 \frac{m}{s^2}$$

Con ayuda del esquema del chasis desde una vista frontal presentado en la figura 6-16, se establecen cuáles son las condiciones iniciales del sistema:

Figura 6-16 D.C.L. Rigidez torsional



Fuente: Elaboración propia

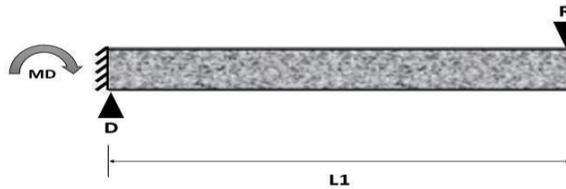
Condiciones iniciales:

- h (Altura del suelo al centro de gravedad): 0,40 m
- W (Peso total del vehículo): 1862 N
- A_c (Aceleración centrífuga): $6,9 \frac{m}{s^2}$
- L (Ancho del vehículo hasta la rueda): 0,65 m

En este momento se conoce el ancho del diseño del chasis el cual corresponde a 0,8 m, contemplado la distancia que debe tener la rueda a la cara lateral del chasis siendo está de 0,2 m. Se evalúa en una carga cantiléver para determinar la reacción de la rueda en relación

con la distancia proporcionada para su torque o momento, dando como resultado lo mostrado en la figura 6-17:

Figura 6-17 D.C.L. Viga voladiza



Fuente: Elaboración propia

Solucionando:

$$\sum F_y = 0$$

$$2D + R = 0 \quad [6-10]$$

$$R = -705,998 \text{ N}$$

$$\sum M_D = 0$$

$$M_D + R \cdot L1 = 0 \quad [6-11]$$

$$M_D = 141,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ya conociendo las fuerzas que actúan sobre el sistema para la rigidez torsional, se realizan los cálculos de fuerzas y momentos.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 - W = 0 \quad [6-12]$$

$$R_2 = -R_1 + W$$

Donde R_2 corresponde a la fuerza que interviene en la rigidez torsional ejercida desde el eje Y y R_1 corresponde a la fuerza que interviene en la rigidez torsional ejercida desde el eje X.

$$\sum M_1 = 0$$

$$1,2 R_1 + 0,40 Ac - 0,65 W = 0 \quad [6-13]$$

$$R_1 = 1012 N$$

Reemplazando en la ecuación 6-10 se obtiene:

$$R_2 = 860 N$$

La reacción de la fuerza R_2 es la encargada de intervenir en el análisis de la rigidez torsional ejercida en los dos extremos del eje de los neumáticos delanteros.

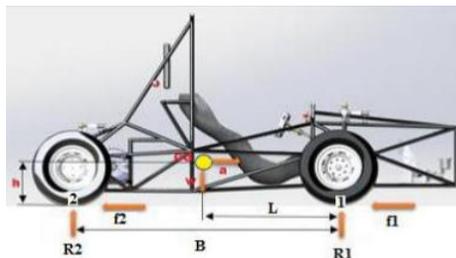
6.2.3. Análisis de transferencia de masa longitudinal y frenado

Otro factor que se debe tener en cuenta es el relacionado al análisis del frenado, ya que este va a generar diferentes fuerzas de inercia en el eje delantero y el neumático trasero, esto se ocasiona gracias al coeficiente de fricción entre el terreno y los neumáticos, la masa total del carro y tiempo de frenado establecido. Para este caso, se estima una velocidad máxima

de 25 km/h, este dato se obtiene en referencia a la competencia universitaria europea Shell Eco-Marathon Competition, donde diferentes diseños de chasis, se hacen con relación a un valor promedio al mencionado [53]. Se espera un tiempo de frenado de 3 s este valor se puede hallar en relación a la rigidez longitudinal, esta se puede definir como, la deformación y el esfuerzo axial del vehículo.

Se utiliza el diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 6-18 como guía para entablar las variables iniciales y facilitar el análisis de las fuerzas y momentos.

Figura 6-18 D.C.L. Análisis de rigidez longitudinal y frenado



Fuente: [54]

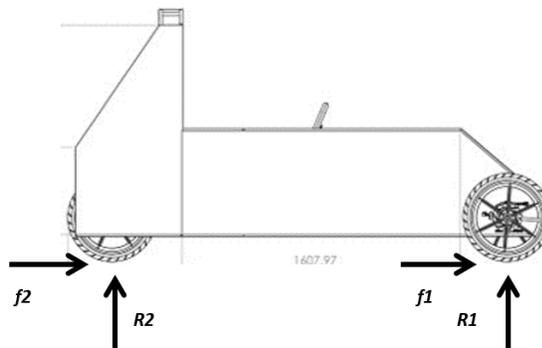
Con lo anterior, las variables iniciales son:

- I (Inercia del neumático): $75,54 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
- H (Altura centro de gravedad): $0,40 \text{ m}$
- B (Distancia entre ruedas): $2,24 \text{ m}$
- W (Peso total del vehículo): 1862 N
- V_0 (Velocidad inicial): $6,96 \text{ m/s}$
- V (Velocidad final): 0 m/s

- $t: 0 \text{ s}$
- C_f (Coeficiente de fricción): 0,8

Usando el diagrama de cuerpo libre presentado en la figura 6-19, se determina la sumatoria de fuerzas para hallar la fricción.

Figura 6-19 D.C.L Fricción en neumáticos



Fuente: Elaboración propia

Donde:

- f_1 : Fricción neumáticos delanteros.
- f_2 : Fricción neumático trasero.

Realizando la sumatoria de fuerzas en X y en Y, se obtiene:

$$\sum F_x = m * a$$

$$-f_2 - f_1 = m * a \quad [6-14]$$

$$-f * R_2 - f * R_1 = m * a$$

La aceleración también se puede definir como la derivada de velocidad con respecto al tiempo, en este orden de ideas y haciendo uso de la integral definida de 0 a t, se obtiene como resultado la ecuación 6-15:

$$a = -\frac{v_o}{t} \quad [6-15]$$

$$a = -2,32 \frac{m}{s^2}$$

Reemplazando en la ecuación 6-14 y solucionando se obtiene como resultado la ecuación 6-16:

$$-0,8 * R_2 - 0,8 * R_1 = -4343 N \quad [6-16]$$

Se procede a realizar la sumatoria de momento del centro de gravedad donde dan los siguientes resultados:

$$\sum MG = 0$$

$$0,72 * R_1 - 0,672 * R_2 - 0,38 * 0,8 * R_1 = 0 \quad [6-17]$$

$$R_1 = \frac{0,672 * R_2}{0,42}$$

Si se reemplaza y se realizan las operaciones matemáticas se obtienen los siguientes resultados:

- $R_1 = 3341 \text{ N}$
- $R_2 = 2088 \text{ N}$
- $f_1 = 2673 \text{ N}$
- $f_2 = 1670 \text{ N}$

Para este caso cada una de las reacciones encontradas interfieren en los análisis de la rigidez longitudinal y de frenado, esto a partir del análisis de elementos finitos, los valores obtenidos en f_1 y f_2 , son los que se ven involucrados en el análisis de frenado, los valores correspondientes a R_1 y R_2 , son los correspondientes a las fuerzas resultantes de la rigidez longitudinal, dentro de la simulación estos valores serán ingresados en la posición donde se encuentran ubicados los neumáticos.

6.3. Simulación (Resultados prototipo)

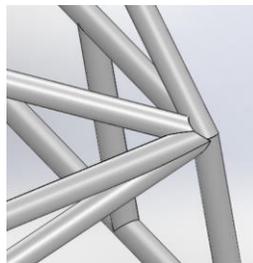
Para la simulación se hace uso de SolidWorks, donde se realiza un control de mallado 3 veces y así poder garantizar el resultado, resolviendo en cada intento una malla más fina con una variación del número de nodos en cada intento. Una vez se resuelve el mallado, el método de análisis para hallar el esfuerzo máximo soporta la estructura es la tensión de Von Mises, este también es conocido como teoría de la energía de cortadura o energía de distorsión máxima, esta se aplica para determinar el fallo en materiales dúctiles, el fundamento de la teoría es que el material sufre una deformación cuando este alcanza un valor igual o superior al límite de tensión del material [55].

También se debe tener en cuenta el tipo de análisis que está haciendo el software para determinar el desplazamiento del vehículo, SolidWorks hace uso de URES, el cual se define como el diagrama de desplazamiento estático, este sirve para determinar la deformación del material según las fuerzas que actúan sobre el mismo. [56]

6.3.1. Rigidez torsional

Primero se realizó la simulación en SolidWorks, donde se hace una unión en los elementos usando la herramienta de piezas soldadas y miembros estructurales, de esta operación se obtuvo el modelo completo del chasis del vehículo, a continuación, se usa la herramienta de recorte o extensión donde se evidencio como resultado final, el mostrado en la figura 6-20.

Figura 6-20 Unión nodos.



Fuente: Elaboración propia

Lo anterior se realizó para evidenciar de forma visual cuál sería la deformación torsional del modelo, se toma un punto de geometría fija, que en este caso corresponde al lugar donde se encontrarían ubicados los ejes de los neumáticos, el resultado del análisis se realizó tres veces con la siguiente cantidad de nodos mostrados en la figura 6-21.

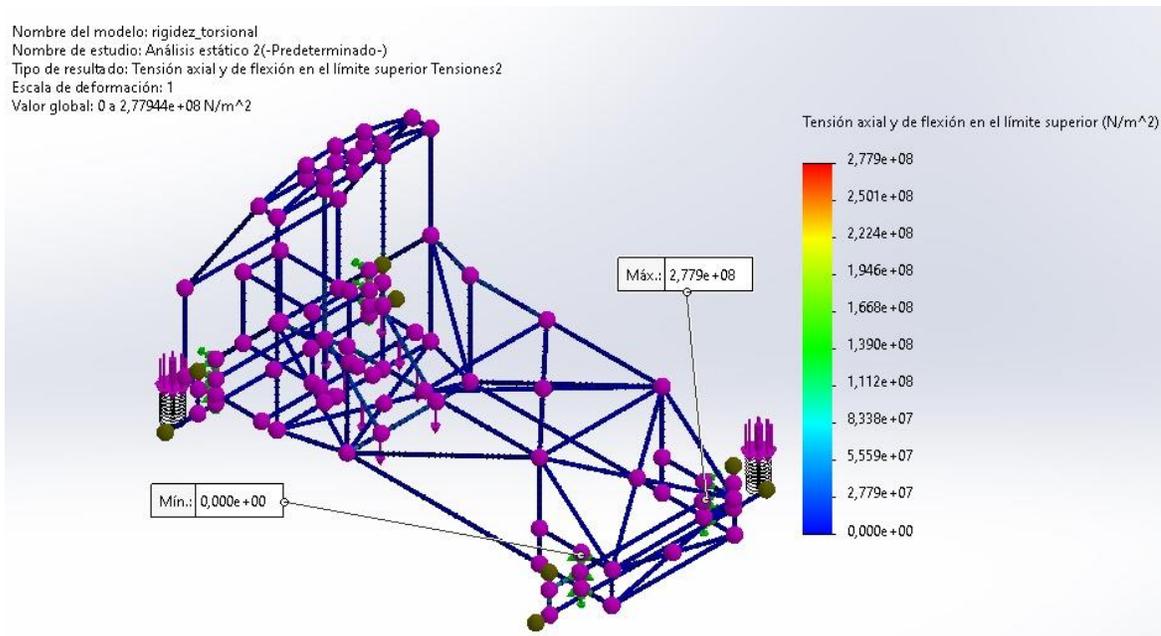
Figura 6-21 Información del mallado

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 2 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Desactivar
Tamaño de elemento	15,4302 mm
Tolerancia	0,771511 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	20132
Número total de elementos	11243
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:02:45
Nombre de computadora	

Fuente: Elaboración propia

Con esas condiciones de mallado, se obtuvo el siguiente resultado en el máximo y mínimo valor del esfuerzo, la figura con las direcciones de las fuerzas se encuentra en la sección de anexos (Anexo T):

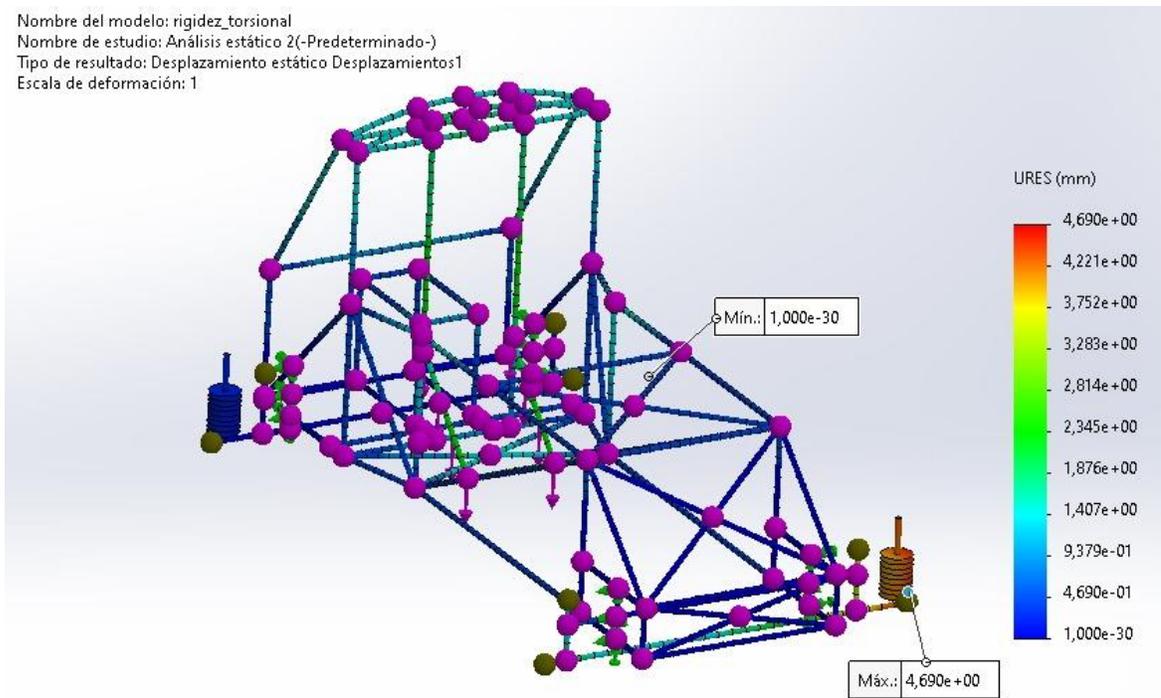
Figura 6-22 Valores máximos y mínimos del esfuerzo



Fuente: Elaboración propia

De forma visual se puede evidenciar que el chasis no sufre ningún tipo de deformación debido a las fuerzas que se están efectuando sobre él, se conoce que no está sobredimensionado ya que en los resultados se puede apreciar que su factor de seguridad no supera un 3, como resultado analítico, el software muestra que el valor máximo obtenido de esfuerzo de $2,779 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, se encuentra por debajo del límite elástico del material, con esto no solo se está garantizando que el material seleccionado soporta los pesos propios del resto de sistemas y de la persona, sino que también soporta la fuerza de 1500 N ejercidos en los 3 ejes del vehículo, con un factor de seguridad de 1,2, cumpliendo así con una de las condiciones dadas por la competencia. Cuando se analizó el desplazamiento, se obtuvo el resultado de la figura 6-23.

Figura 6-23 Deformación por desplazamiento



Fuente: Elaboración propia

En el caso de la deformación se logra evidenciar que, al ser un análisis estático, este no sufre un desplazamiento relevante debido a las fuerzas, siendo el valor de deformación en el chasis de 1 mm, esto se logra observar debido a que el valor máximo de desplazamiento se está generando en la estructura que sostiene las pesas con l carga. Este valor es importante ya que nos indica cual podría ser el movimiento de vehículo si se aplicaran todas las fuerzas al mismo tiempo sobre él. Al conocer que esto bajo las condiciones de la competencia eso no es posible, este valor pasa a ser un indicativo, más no un valor relevante en el resto de análisis. Aun así, se hace la aclaración sobre el hecho de se encuentra cumpliendo la normativa de la formula SAE, la cual da un valor de 25 mm como desplazamiento máximo.[45]

Lo anterior se puede confirmar haciendo uso del informa dado por SolidWorks del cual se extraen las siguientes tablas con el fin de mostrar los valores máximos y mínimos, obtenidos desde los esfuerzos y los desplazamientos.

Tabla 6-4 Valores máximos-mínimos esfuerzos

Nombre	Tipo	Min.	Máx.
Tensiones2	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0,000e+00N/m ² Elemento: 9713	2,779e+08N/m ² Elemento: 11093

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-5 Valores máximos-mínimos desplazamientos

Nombre	Tipo	Min.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 18520	4,690e+00mm Nodo: 4255

Fuente: Elaboración propia

6.3.2. Rigidez longitudinal

Para la simulación de la rigidez longitudinal se tiene en cuenta la fuerza obtenida en la masa de transferencia y frenado, que en este caso correspondió a 3323 N que es la reacción equivalente a los dos neumáticos delanteros. También se hizo uso de la reacción del neumático trasero correspondiente a 2088 N, una reacción de 1500 N es aplicada en el eje Z, el peso del motor, baterías y de la persona.

La malla utilizada para el estudio tiene la misma cantidad de nodos que la presentada en la figura 6-24.

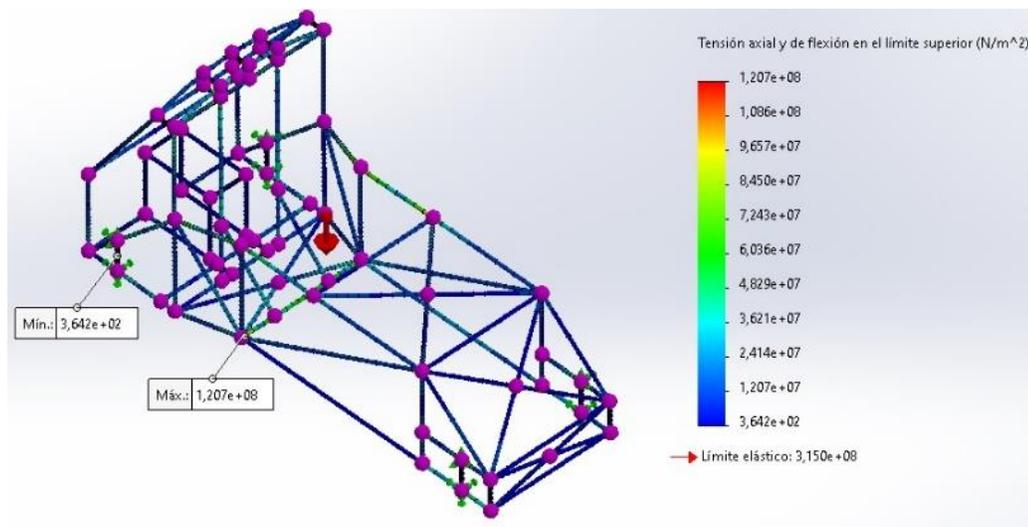
Figura 6-24 Información de mallado

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 6 [-Predeterminado<Como mecanizada>-]
Tipo de malla	Malla de viga
Control de malla	Definida
Número total de nodos	1950
Número total de elementos	1872
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:25
Nombre de computadora	

Fuente: Elaboración propia

Se obtienen los resultados del esfuerzo resultante de las fuerzas que intervienen en el chasis, lo anterior se observa en la figura 6-25, la figura con las direcciones de las fuerzas se encuentra en la sección de anexos (Anexo U).

Figura 6-25 Esfuerzo por rigidez longitudinal

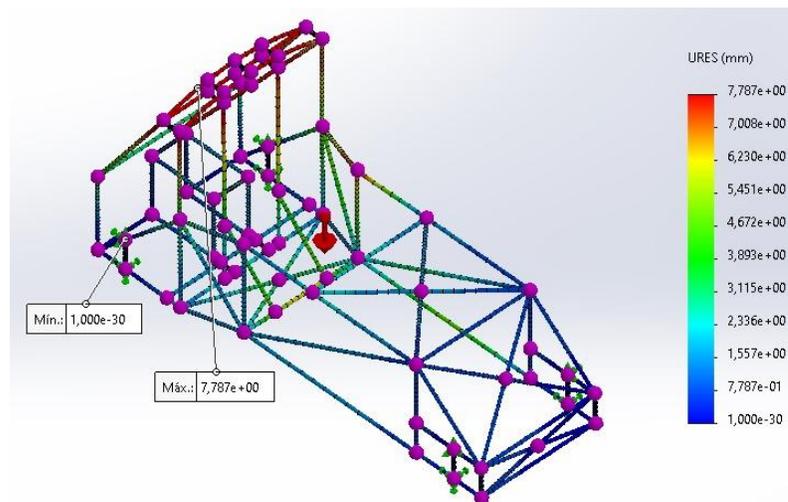


Fuente: Elaboración propia

De la figura 6-25 se puede evidenciar que el valor máximo del esfuerzo corresponde a $1,207e+08 \text{ N/m}^2$, esto considerando que el material tiene un límite elástico de $3,150e+08$

N/m^2 , se puede concluir que el material no sufriría ningún tipo de rotura. También se obtuvo el resultado de la deformación por desplazamiento de estas fuerzas, dando como resultado, la figura 6-26.

Figura 6-26 Deformación por desplazamiento - rigidez longitudinal



Fuente: Elaboración propia

Con el resultado obtenido, se evidencia que el chasis está cumpliendo con lo establecido para las condiciones de la competencia, con base al reglamento de la fórmula SAE, el desplazamiento por las fuerzas debe ser menor o igual a 25 mm, en este caso se obtiene como máximo un valor de 8 mm aproximadamente, comprobando así, que este cumple con los dos reglamentos.

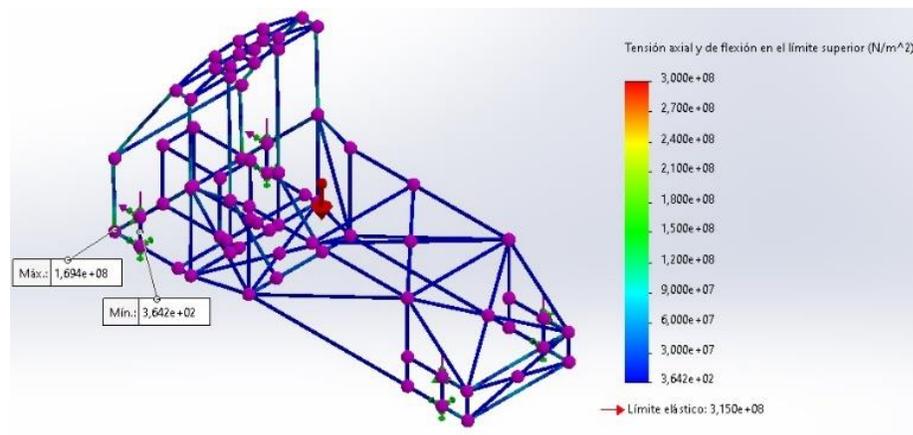
6.3.3. Análisis de frenado

En este se toma como referencia los valores obtenidos en el análisis de frenado hecho anteriormente en el numeral 6.2.2. En este caso y para facilitar la simulación se tomaron

como referencia los valores numéricos de mayor valor los cuales corresponden a 2673 N en el eje Y y de 1670 N en el eje X, para este caso también se tomaron en cuenta, las fuerzas correspondientes al motor, baterías, persona y la carga de 1500 N ubicada en la parte frontal y posterior del chasis.

De la anterior información se obtiene la deformación dada por el esfuerzo como es mostrado en la figura 6-27, al igual que en el numeral anterior, la figura correspondiente a la dirección de las fuerzas se encontrará en los anexos (Anexo V).

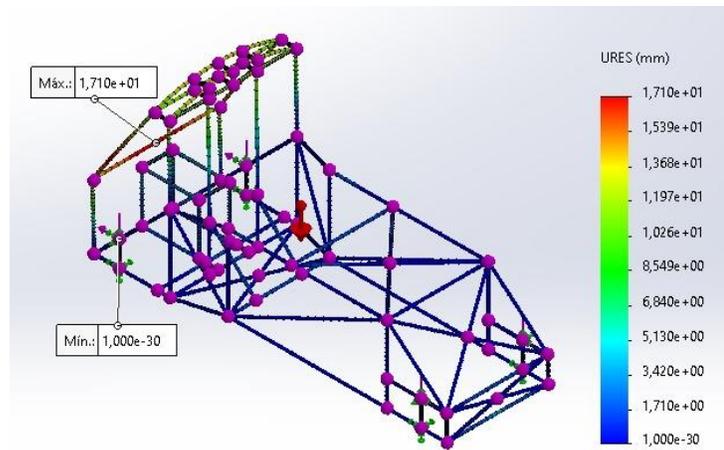
Figura 6-27 Deformación por el esfuerzo análisis de frenado



Fuente: Elaboración propia

De la figura 6-27, se evidencia un esfuerzo máximo de aproximadamente $1,7e+08$ N/m², estando este por debajo del valor del límite elástico, con un factor de seguridad de 1.9. Para el desplazamiento se obtiene, lo presentado en la figura 6.28:

Figura 6-28 Deformación por desplazamiento análisis de frenado



Fuente: Elaboración propia

Con la deformación por desplazamiento se sigue comprobando que el diseño del chasis cumple con las dos normativas que se están tomando de referencia, ya que el resultado máximo en el desplazamiento corresponde a $1,71e+08$ mm.

Para este análisis se tiene en cuenta que la competencia tiene una prueba para el frenado en una pendiente de 15° , con esta información y el peso completo del vehículo contemplando los elementos externos, se calcula la fuerza necesaria para esta prueba y se evalúa si esta es inferior a la fuerza axial máximo mostrado en la figura 6-28.

En este caso la ecuación que se utilizó fue la presentada en la ecuación 6-16, utilizando el valor de la masa hallado en la ecuación 6-9 y el valor de la aceleración encontrado en la ecuación 6-13, reemplazando se obtuvo:

$$F * \sin(15) = 2350,5 * -2,32$$

Para facilitar el cálculo la masa se redondea a un valor de 2351 N y un valor absoluto de la aceleración, esto debido a que se entiende que da negativa ya que el vehículo se encuentra frenando durante su marcha, se despeja F , la cual dio el siguiente valor:

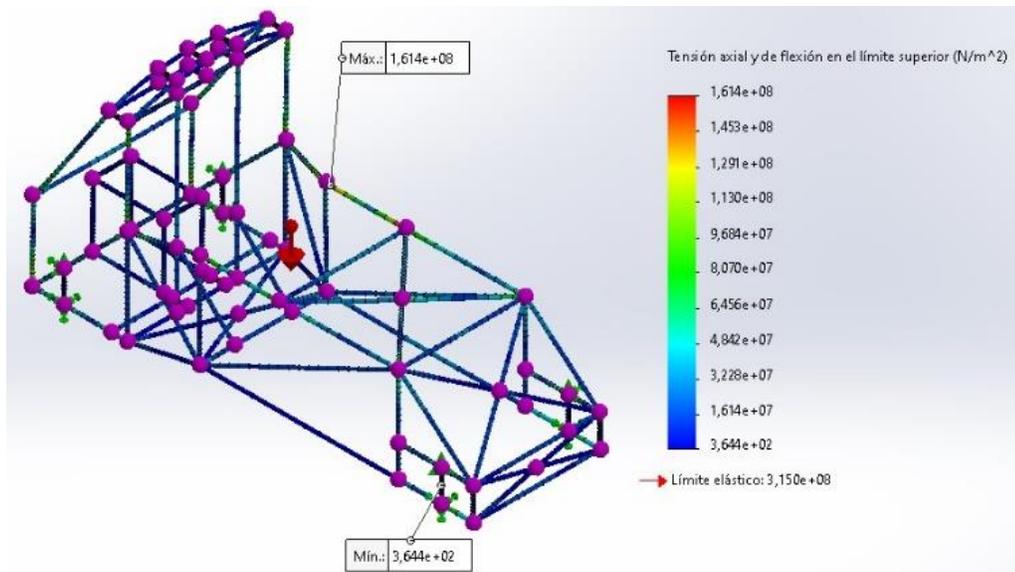
$$F = 21,1 \text{ kN}$$

6.3.4. *Análisis de vuelco*

Para poder garantizar la seguridad del piloto, en el análisis de vuelco, se toman en cuenta las fuerzas correspondientes al motor, baterías, el propio peso del piloto y una fuerza aplicada en los arcos del vehículo de un valor de 2000 N, este valor se asume así, tomando como referencia los 1500 N que debe soportar el vehículo en sus tres ejes, se toma un valor de 2kN, lo anterior para contar con un factor de seguridad de 1.2, esto en caso de que en la competencia se presente algún accidente. En este caso al igual que en los numerales anteriores, la figura con las direcciones de las fuerzas se encontrará en la sección de anexos (Anexo W).

Con la información presentada, se obtuvo la siguiente deformación por fuerza axial.

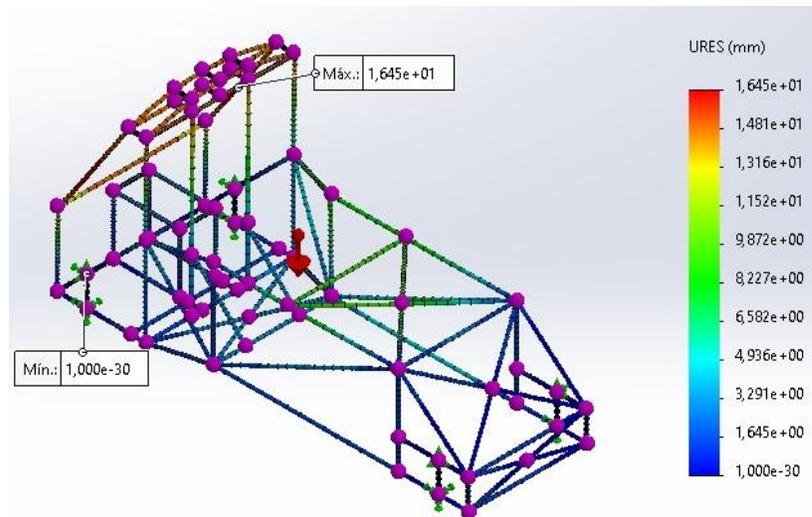
Figura 6-29 Deformación esfuerzo análisis de vuelco



Fuente: Elaboración propia

Para el caso del análisis de vuelco el software da un valor máximo de $1,62e+08 \text{ N/m}^2$, si se compara este valor con el límite elástico de valor $3,150e+08 \text{ N/m}^2$, se logra evidenciar que la tubería seleccionada es capaz de soportar dicha carga sin sufrir una rotura. Y por la acción de desplazamiento se obtiene:

Figura 6-30 Deformación por desplazamiento análisis de vuelco



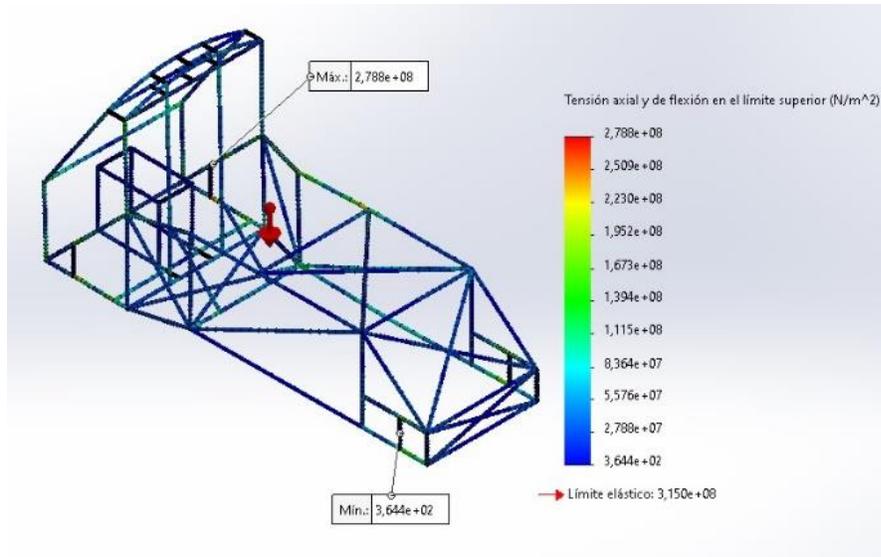
Fuente: Elaboración propia

Para este caso se observa un desplazamiento de $1,65e+01$ mm, el cual es un sigue siendo un valor permisible, al realizar la comparación con los 25 mm de desplazamiento, el valor obtenido se encuentra por debajo asegurando así la viabilidad del diseño en esta prueba.

6.3.5. Impacto lateral

Este análisis se realiza tomando como referencia los valores del reglamento de la formula SAE, esto se hace debido a que el reglamento de la competencia no especifica ningún valor, es por esta razón, que de acuerdo con la formula SAE para un impacto se toma el valor de 7 kN para el impacto lateral [45], de lo anterior, se obtiene el siguiente resultado. En este caso al igual que en los numerales anteriores, la figura con las direcciones de las fuerzas se encontrará en la sección de anexos (Anexo X).

Figura 6-31 Esfuerzo impacto lateral

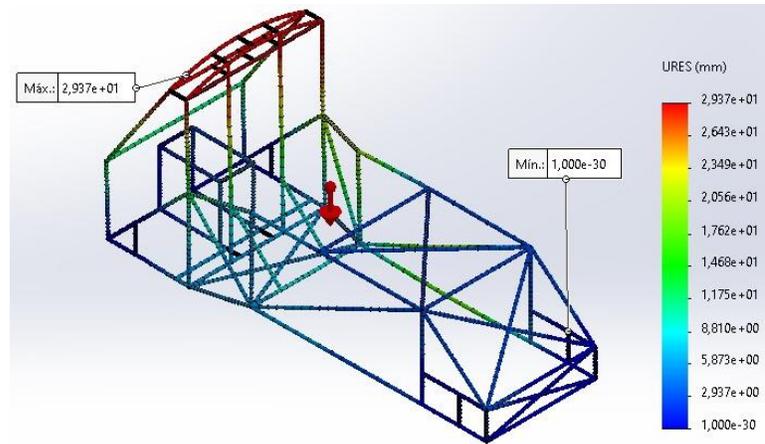


Fuente: Elaboración propia

El esfuerzo axial resultante del análisis de impacto lateral es uno de los más grande obtenidos hasta el momento, esto principalmente a que la fuerza de impacto utilizada para la simulación es la fuerza de mayor valor, aun así, se evidencia que el material no sufre una deformación relevante, razón por la cual, la integridad del conductor no sufre ningún daño, con esto se confirma que el diseño del chasis es apto para la competencia.

Para la deformación por desplazamiento:

Figura 6-32 Desplazamiento impacto lateral



Fuente: Elaboración propia

En este caso la deformación por desplazamiento se obtuvo un valor de aproximadamente 29 mm, al ser una fuerza de impacto, este análisis no sigue la normativa de los anteriores en relación a los 25 mm de deformación permisible, ya que este análisis se evalúa como un accidente y no un requisito propio de la competencia, con base a esto, se logra determinar que no existe algún daño sufrido por el chasis esto debido a que el esfuerzo aún se encuentra por debajo del límite elástico.

6.4. Sistema de frenado

Para el sistema de frenado existen diferentes tipos de discos, los cuales varían según sea la necesidad que se busca cubrir, en este caso se selecciona un disco perforado, los cuales son diseñados específicamente con la necesidad de mejorar el rendimiento de frenado del vehículo, ya que, al contar con estos agujeros, el disco aumenta su área de superficie, mejora

la ventilación del rotor y ayuda a evitar el sobrecalentamiento de las mismas por fricción.

[57]

Con base en lo anteriormente mencionado se hace la selección de un disco de freno Shimano SM-RT56, el cual cuenta con 6 agujeros, 3 guías ajustables y es fabricado con acero inoxidable.

Figura 6-33 Disco Freno Shimano Rt56



Fuente: [58]

De esta selección cuenta con las siguientes características:

Tabla 6-6 Características disco seleccionado

Variable	Medida	Unidades
Diámetro	160	mm
Coefficiente de fricción	0,75	-
Par de frenado	10	N*m
Peso	150	kg

Fuente: [58]

Una vez seleccionado el disco, se garantiza que cumpla con los requerimientos del vehículo y de la competencia por lo cual realizamos los siguientes cálculos:

$$\text{Distancia De Frenado (SD)} = \frac{v^2}{(2)(\mu)(g)} \quad [6-18]$$

Reemplazando se obtiene:

$$\text{Distancia De Frenado (SD)} = 3.29m$$

Al ser un vehículo de 3 ruedas, el valor obtenido de distancia de frenado es dividido en 3 disco:

$$\text{Distancia De Frenado Final (SD)} = 1.09m$$

Con lo anterior, solo queda garantizar una velocidad de desaceleración adecuada según el entorno del vehículo:

$$\text{Desaceleración (Dx)} = \frac{v^2}{(2)(SD)} \quad [6-19]$$

$$\text{Desaceleración (Dx)} = 22.2 \frac{m}{s^2}$$

El valor calculado anteriormente también se puede interpretar como un 2.26g, la cual es la fuerza de desaceleración que esta presentado el vehículo, dicha fuerza, indicaría que el sistema de frenos, está diseñado correctamente ya que se encuentra por debajo de los valores máximos permitidos en la desaceleración, siendo estos 3g y 4g. Considerando la velocidad que se planea alcance el vehículo y el espacio en que se va encontrar el mismo se puede decir que si es adecuada, esto debido a la distancia de frenado calculada anteriormente.

6.5. Sistema de dirección

Para el sistema de dirección se tiene en cuenta que esta se conforma de los siguientes elementos:

- Rótula de la manguera: El funcionamiento de esta en el diseño, es la de ayudar a corregir la desalineación del sistema y para aislar el movimiento originario de la suspensión, para este caso se suele usar las rótulas en las uniones de la mangueta y el tirante, se realiza la selección de una articulación SKF SA 6E. [59]
- Cremallera y piñones: Para este caso, se debe tener en cuenta el radio de curvatura de 7 m, para esto se necesita un desplazamiento de la cremallera de 56 mm, con un factor de seguridad de 1,2, se aplicaría un desplazamiento de 67 mm. Es importante tener en cuenta la relación de dirección, esta se determina, como la relación que existe entre los ángulos que rota el volante y los ángulos que rotan los neumáticos, en la fórmula SAE, se conoce como steering ratio, para este caso se usa una relación de 1:3, con esta relación se garantiza que el piloto debe girar el volante 90° al realizar el radio de giro. Para la selección del piñón se tiene en cuenta el módulo, que en este caso es igual a 2, se escoge este valor, para evitar un cambio brusco al cambiar la dirección del vehículo, otro dato que se debe tener en cuenta, es el tipo de piñón que se va a utilizar, para el vehículo se busca una configuración de cilindro helicoidal para cremallera también conocido como helical rack, este piñón cuenta 20 dientes, con estos datos podemos calcular lo siguiente:

-

$$\text{Altura del diente } (h) = 2,25 * M \quad [6-20]$$

$$\text{Altura del diente } (h) = 4,5 \text{ mm}$$

Al ser un piñón helicoidal, se debe tener en cuenta el ángulo de los dientes, en el caso de los ejes paralelos, se presenta la siguiente relación, $\beta = 10^\circ$ para ruedas de velocidades pequeñas.

Con esta relación, puede calcular el módulo de paso circunferencial aparente, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Diametro primitivo } (dp) = \frac{M * Z}{\cos(10)} \quad [6-21]$$

$$\text{Diametro primitivo } (dp) = 40,6 \text{ mm}$$

$$\text{Paso de la helice } (h) = dp * \pi * \cot \beta \quad [6-22]$$

$$\text{Paso de la helice } (h) = 723,4 \text{ mm}$$

Con los cálculos anteriores, se puede encontrar en el mercado, el siguiente piñón:

Tabla 6-7 Piñón comercial direccional

Variable	Medida	Unidades
Módulo	2	-
Número de dientes [Z]	20	-
Diámetro primitivo	0,04	m
Diámetro externo	0,0426	m
A	0,032	m
F	0,012	m
Dn	0,01	m
D1	0,036	m
L	0,0217	m
Lm	0,012	m
Masa	0,14	kg

Fuente: [60]

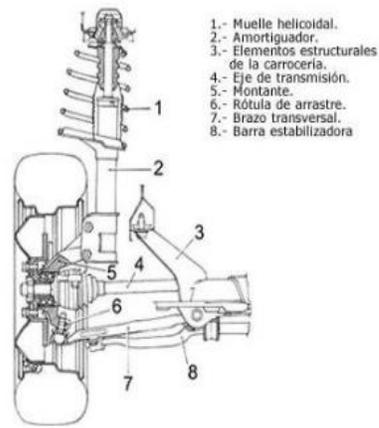
Con lo anterior se elige el piñón de referencia C43 UNI 7547 y para la cremallera se va a usar una barra de 800 mm y el material correspondiente a esta es un acero ANSI AISI 1045.

- Eje vertical: Para esta se va a tener en cuenta que se va a contar con una sola barra rígida, la cual cuenta con una longitud de 1,39 m en un grado de inclinación de 64.4° esto con respecto al eje horizontal.

6.6. Sistema de suspensión

La selección del sistema de suspensión para este caso, es basado, en la sencillez del montaje y funcionamiento, en este orden de ideas, se escoge un sistema McPherson, este consta de un brazo oscilante que une el chasis con la mangueta y este es unido a la vez con un amortiguador vertical. Un esquema de esta suspensión es la mostrada en la figura 6-34.

Figura 6-34 Suspensión McPherson



Fuente: [61]

En este caso uno de los principales parámetros que se deben tener en cuenta es el elemento elástico de la suspensión, el cual corresponde al muelle lineal, para eso se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$F_{muelle} = -K(\vec{X}_2 - \vec{X}_1) \quad [6-23]$$

Donde:

- F_{muelle} : Fuerza ejercida por el muelle (N)
- K : Constante de rigidez del muelle (N/m)
- \vec{X} : Desplazamiento del muelle (m)

Haciendo uso de la ecuación 6-4 y 6-5 se conoce el valor de la reacción de cada uno de los neumáticos y aplicando un factor de seguridad de 1,2. Se evalúa ahora el otro factor a tener en cuenta, el cual corresponde a la carrera total del resorte, para este parámetro se conoce, que la carrera del resorte es menor a 1/3 de diámetro de la rueda, considerando la

altura máxima del carro, se selecciona una rueda para BMX de 20" (508 mm) de diámetro.

Con la información anterior se soluciona la ecuación 6-24.

$$\vec{X} = \frac{1}{3} * 508 \text{ mm} \quad [6-24]$$

$$\vec{X} = 169 \text{ mm}$$

En el caso de los neumáticos delanteros, reemplazando en la ecuación 6-23, se obtiene:

$$Kd = \frac{F_{muelle}}{\vec{X}}$$

$$Kd = \frac{391,12 \text{ N}}{0,169 \text{ m}}$$

$$Kd = 2314 \text{ N/m}$$

Según los cálculos anteriores la selección del resorte se realizó usando la fuerza que el muelle debe soportar, y haciendo uso del catálogo de Associated spring RAYMOND, en la sección de resortes de compresión, la referencia selecciona es C1586-162-2375-M, la cual cuenta con las características presentadas en la tabla 6-8:

Tabla 6-8 Características muelle seleccionado

Variable	Medida	Unidades
Diámetro de la barra	40.28	mm
Diámetro interno	4.12	mm
Número de espirales	19	-
Longitud libre	60.33	mm
Tipo de cilindro	Abierto-abierto	-
Longitud de carga	30.67	mm
Altura solida	26.7	mm
Factor de compresión total (R)	14.35	N/mm
Carga	425.98	N

Fuente: [62]

Se aclara que el resorte seleccionado, se realizó usando de referencia la carga de 391 N, es por esta razón que el resorte seleccionado tiene una capacidad máxima de carga de 423 N.

Para el caso de la rueda trasera se realizó el mismo procedimiento, dando como resultado:

$$Kt = \frac{2101,8 \text{ N}}{0,169 \text{ m}}$$

$$Kt = 12,44 \text{ kN/m}$$

Con base al resultado anterior y usando la fuerza que el muelle debe soportar, se hizo la selección de un muelle de compresión de la marca ITAN para cargas extra pesadas, el cual cuenta con las siguientes características, presentadas en la tabla 6-9:

Tabla 6-9 Características muelle trasero seleccionado

Variable	Medida	Unidades
Diámetro de la barra	25	mm
Diámetro interno	12,5	mm
Longitud libre	32	mm
Tipo de cilindro	Abierto-abierto	-
Factor de compresión total (R)	374,4	N/mm
Carga	3351	N

Fuente: [63]

Al igual que con el resorte anterior, esta selección se hizo enfocada a la carga que este debe soportar, es por esto, que La carga de referencia para este caso fue el valor de 2102 N y se selecciona un resorte de 3351 N como carga máxima.

6.7. Diseño electrónico

6.7.1. Batería

Dando claridad y seguimiento a las indicaciones y recomendaciones de diseños eléctricos en el ámbito vehicular se optó por la batería LiitoKala, priorizando los siguientes factores: Tamaño, capacidad, tipos de terminales, compatibilidad electrónica y precio. Por otra parte, esta elección también está sustentada teniendo en cuenta consumo máximo del motor (48 V), lo cual nos permite el torque requerido del motor. Este motor se explica más adelante en capítulo 6 sección 7.1. Es por esta razón que se diseñó un sistema eléctrico utilizando el voltaje máximo permitido.

Además, teniendo en cuenta la duración general y aproximada de la competencia (3 horas). Se pretende tener una batería que soporte las 3 horas (180 minutos) de la competencia

de forma diaria. Con lo anterior la batería que cumple de forma más completa las características mencionadas es la LiitoKala, la cual posee las siguientes características:

Tabla 6-10 Características de batería LiitoKala LiFePO4

Variable	Medida	Unidad
Voltaje	48	V
Capacidad Nominal	50	Ah
Vida	4000	ciclos
Peso	19	kg
Dimensiones	363 x 212 x 230	mm

Fuente: [64]

Teniendo en cuenta la capacidad de consumo del motor durante la competencia y las variables ya conocidas como el peso y velocidad, se calcula el tiempo de duración de la batería:

$$V_b * I_b = W_b \quad [6-25]$$

$$48 \text{ V} * 13.4 \text{ A} = 643.2 \text{ W}$$

$$H = W_b * W_c \quad [6-26]$$

$$H = 2400 \text{ Wh} = 643.2 \text{ W} = 3.73 \text{ h} = 223.8 \text{ minutos}$$

Una vez se conoce la duración de la batería en minutos, se determina que cumple con la condición inicial, ya que esta tiene una duración de 224 minutos, mientras la competencia tiene una duración de 180 minutos.

De la ficha de datos se pudo extraer la siguiente gráfica presentada en la figura 6-36, en la cual se relaciona el voltaje de las celdas con su tiempo de descarga, teniendo en cuenta la temperatura de la misma.

Figura 6-35 Diagrama tiempos de descarga batería.



Fuente: [65]

Relacionando el consumo por cada ciclo, se calcula la vida útil de la batería, obteniendo la siguiente tabla 6-11:

Tabla 6-11 Tiempos de descarga y ciclos

% Consumo	Ciclos	Tiempo de vida útil
100	500	1 año y 2 meses
50	1000	2 años y 8 meses
30	2000	7 años y 2 meses
< 30%	4000	10 años

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el tiempo de descarga calculado de 223.8 minutos y que la prueba más extensa puede tardar 110 minutos (carrera Gran Prix). Adicionalmente se contemplan las diferentes pruebas previas que se ejecutara y las pruebas finales durante los días de competencia. Para tener claridad, según el reglamento también está totalmente autorizado

generar recargas de la batería entre cada una de las pruebas. De acuerdo con lo anteriormente mencionado, logramos determinar que el consumo entre cada carga es del 50%, por lo tanto, el tiempo de vida útil de la batería será de aproximadamente 2 años y 8 meses.

6.7.2. Control de velocidad

Para poder determinar el motor que se va a utilizar se deben tener en cuenta una serie de factores, los cuales determinaron las condiciones de trabajo del mismo, para facilitar la tarea de establecer dichas variables, se realizó la siguiente tabla 6-12:

Tabla 6- 12 Condiciones iniciales del motor

Variable	Definición
T	Torque [N*m]
rpm	Revoluciones por minuto
η	Eficiencia motora (Valor máximo 1)
P	Potencia [W]

Fuente: [66]

Teniendo en cuenta que la potencia máxima es de 500 Watts se seleccionó un motor con una relación costo/beneficio baja, BM1418ZXF. Al conocer la potencia del motor, se debe calcular el torque que va tener el motor al obtener una velocidad de 25 km/h, la cual corresponde a 1575 RPM.

$$T = \frac{HP*5252}{rpm} \quad [6-24]$$

Donde:

- HP: Potencia en caballos de fuerza

- 5252 es la constante
- RPM: Velocidad rpm

Reemplazando:

$$T = 2,24 \text{ Lb} \cdot \text{ft} = 3,04 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El motor tiene la siguiente apariencia:

Figura 6-36 Motor BM1418ZXF



Fuente: [67]

Con las siguientes características:

Tabla 6-13 Características motor BM1418ZXF

Variable	Magnitud	Unidades
Especificación	BM1418ZXF	-
Salida de Potencia	500	W
Velocidad	2800 x	W
Velocidad sin Carga	3100	rpm
Corriente con carga	13.4 / 17.8	A
Corriente sin carga	4.0 / 4.5	A
Torque	17	N·m
Eficiencia	75%	-

Fuente: [67]

Teniendo en cuenta las características propias del motor y el resto de factores podemos determinar la corriente necesaria de arranque de la siguiente manera:

$$I = \frac{P}{V} \quad [6 - 25]$$

Al conocer el valor de la potencia desde la sección 3. Requerimientos de diseño, se reemplaza en la ecuación 6-25 donde se obtiene como resultado:

$$I = 10.42 A$$

6.7.3. *Controlador de velocidad*

Luego de obtener el torque requerido sobre la velocidad considerada máxima para la competencia, se procede a diseñar un controlador para el motor elegido. Hay que tener en cuenta que el motor a nivel comercial ya cuenta con su propio controlador (su precio está incluido dentro del valor del motor), desafortunadamente la información sobre este controlador no es compartida por el fabricante. Sin embargo, se procede a diseñar un controlador adicional para poder evidenciar el comportamiento del motor bajo condiciones específicas de funcionamiento.

Se debe tener en cuenta que la variable que se desea controlar es la velocidad, por lo que identificamos las siguientes entradas y salidas:

- Entrada (velocidad deseada): Esta es la entrada de referencia al sistema y representa la velocidad deseada del motor en revoluciones por minuto (rpm). Se fija en un valor específico y se utiliza como referencia para el controlador.
- Salida (velocidad actual del motor): Esta es la salida del sistema y representa la velocidad actual del motor en revoluciones por minuto (rpm). La salida del sistema

se ajusta continuamente mediante el controlador PI para intentar igualar la velocidad deseada.

Se utiliza un enfoque típico de un controlador PI utilizado para sistemas de control de velocidad. La ganancia proporcional ajusta la respuesta del sistema a errores instantáneos, mientras que la ganancia integral corrige errores acumulativos a lo largo del tiempo.

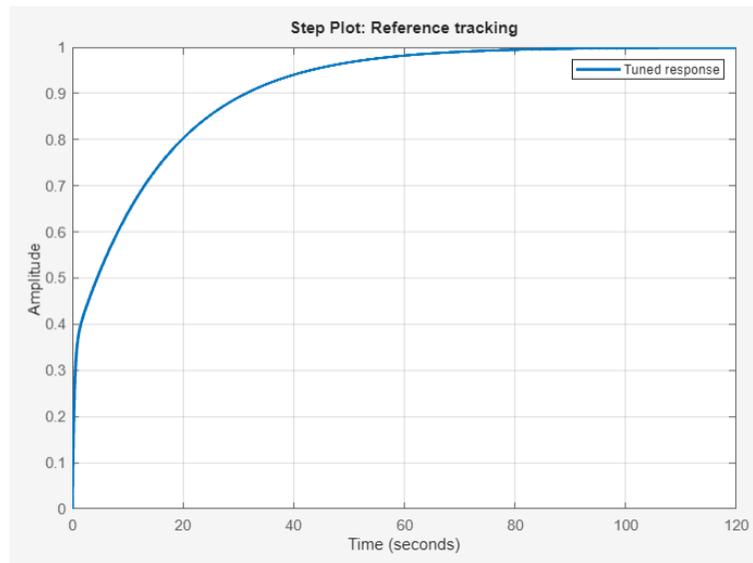
En este caso la planta es el motor elegido sobre el cual se genera el modelamiento, teniendo en cuenta las siguientes variables:

- Velocidad deseada (bloque constant) `desired_speed`: Almacena la velocidad deseada que se quiere alcanzar en el motor.
- Diferencia entre velocidad deseada y actual (sin bloque) `error`: Calcula la diferencia entre la velocidad deseada y la velocidad actual del motor.

Para lograr obtener la velocidad deseada se deben generar y parametrizar diferentes configuraciones en el sistema de control elegido. Para lograr obtener ello, se ha utilizado la herramienta de Matlab llamada “PI Tunner”, la cual permite realizar ajustes en tiempo real y observar cómo estos cambios afectan el rendimiento del sistema.

Se detecta que parametrizando un K_i (ganancia integral) = 0.7 y una K_p (ganancia proporcional) = 3, el sistema entrega una respuesta deseada. Todo esto, luego de diversas pruebas y resultados, donde se evidenciaron tiempos muy altos de respuesta u oscilaciones que afectarían el desempeño final del sistema. Sin embargo, los datos anteriormente mencionados son los elegidos para el diseño y serán sustentados en los análisis siguientes.

Figura 6-37. Resultado de pruebas sobre ganancias K_i y K_p



Fuente: Elaboración propia

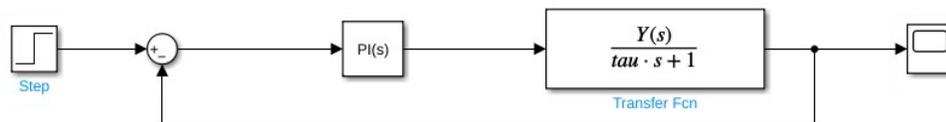
Al haber ajustado las variables de ganancia se procede a simular el sistema, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

- Control PI (bloque PI Controller) control_signal: Calcula la señal de control utilizando el controlador proporcional-integral (PI). Utiliza la ganancia proporcional (K_p) y la ganancia integral (K_i) para calcular la señal de control que se aplicará al motor. La señal de control es una combinación de la corrección proporcional y la corrección integral del error.
- Frenado y fricción (bloque Sum) braking, friction: Modela los términos de perturbación en el sistema, como el frenado y la fricción, que se restan de la señal de control para compensar las perturbaciones externas. Representa los efectos de

frenado y fricción en el sistema. Estos términos se restan de la señal de control para compensar las perturbaciones externas.

- Motor (bloque Transfer function) actual_speed: Simula el comportamiento del motor en respuesta a la señal de control. Utiliza una aproximación simple para actualizar la velocidad actual del motor en cada paso de tiempo.

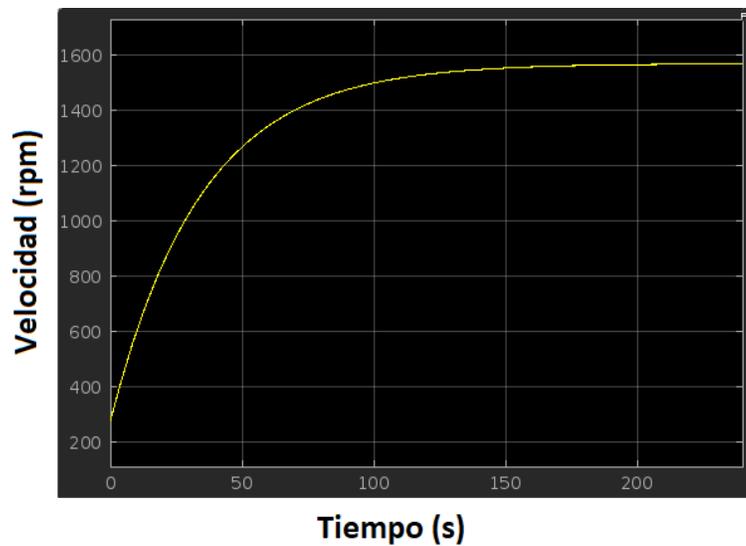
Figura 6-38 Diagrama de bloques para controlar la respuesta del motor



Fuente: Elaboración propia

Todo este diseño fue realizado en MATLAB, en la figura 6-39 se muestra el comportamiento de respuesta de motor, con el diseño de diagrama de bloques, donde se comprueba la congruencia con lo entregado por el código del controlador.

Figura 6-39 Gráfica Comportamiento de la señal en 120 s

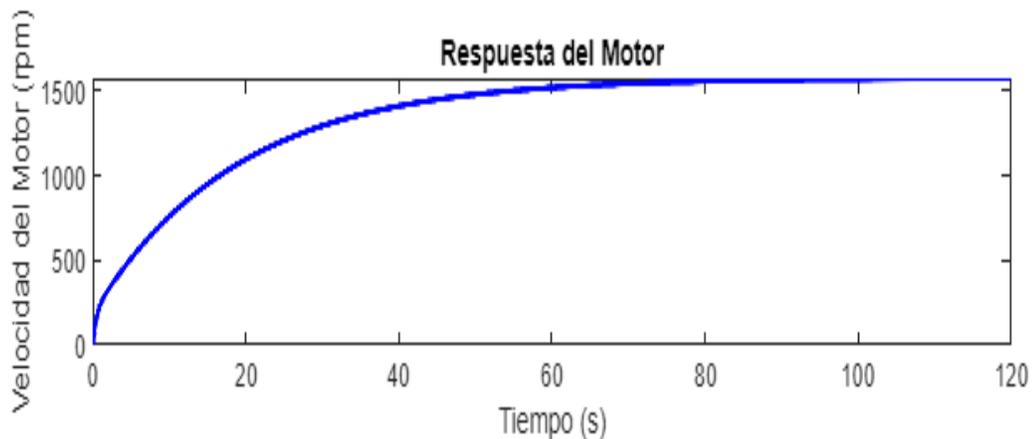


Fuente: Elaboración propia

El resultado de la señal final con esta configuración, logra un establecimiento en pocos segundos de la velocidad deseada. Se obtiene un sistema computarizado del sistema eléctrico de manera general que permite evaluar el resultado de la señal saliente que se convertirá en comportamiento mecánico y velocidad angular. También se evidencia una señal controlada, debido a que la salida de voltaje está siendo directamente controlada por la entrada; sin embargo, genera un retraso en señal, durante el tiempo de ejecución.

En adición, la figura 6-39 nos permite observar cómo cambia la velocidad del motor a lo largo del tiempo en respuesta al controlador PI. La velocidad inicial es cero y luego aumenta hasta acercarse a la velocidad deseada (1575 rpm para este diseño).

Figura 6-40 Gráfica respuesta del motor

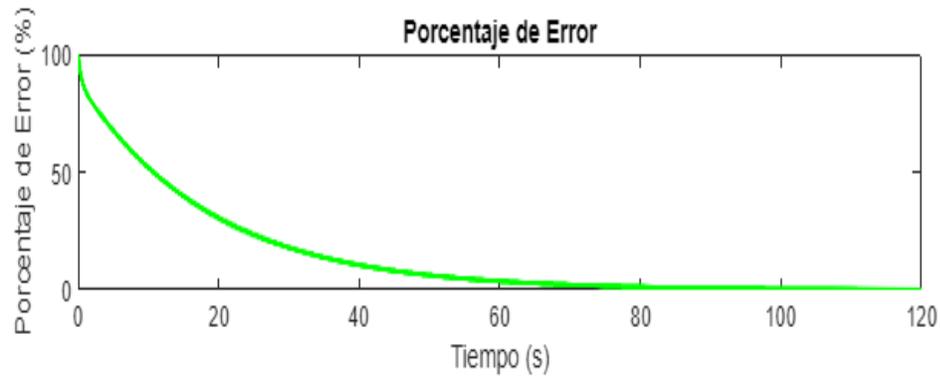


Fuente: Elaboración propia

En la figura 6-40 se puede comparar el % de error entre el valor de referencia y el valor de salida. La gráfica muestra cómo cambia el porcentaje de error a lo largo del tiempo. Un porcentaje de error cercano al 0% indica que la velocidad del motor se está acercando a la

velocidad deseada, mientras que un porcentaje de error alto indica una discrepancia significativa entre la velocidad deseada y la velocidad actual.

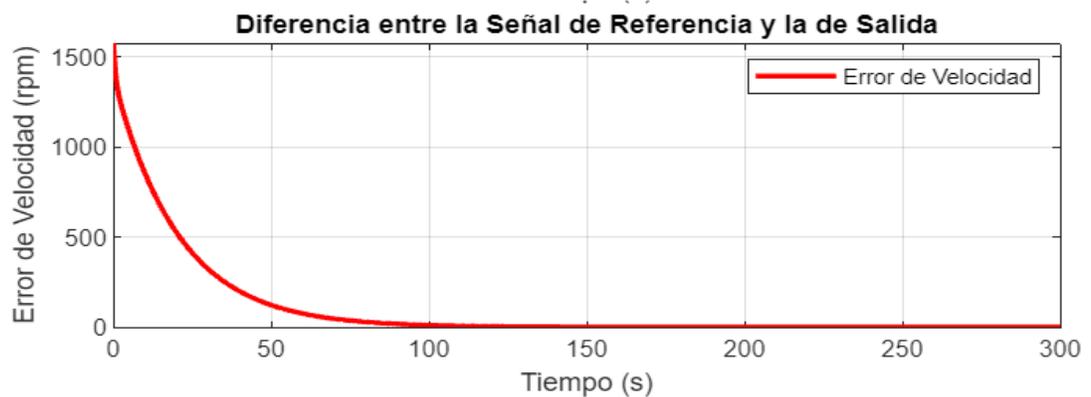
Figura 6-41 Gráfica del porcentaje de error



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra la diferencia de magnitudes entre la señal de entrada y la señal de salida. Donde se puede evidenciar que al paso del tiempo la diferencia se va a convirtiendo en 0, pues se alcanza la velocidad deseada.

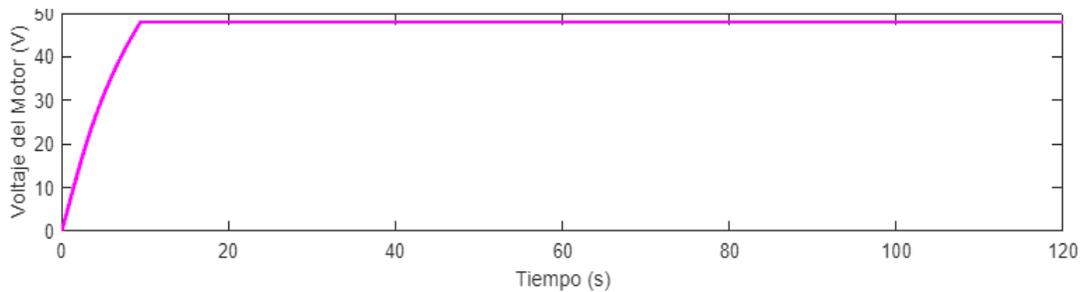
Figura 6-42 Grafica diferencia de velocidad entre la señal deseada y la actual.



Fuente: Elaboración propia

Otro de los comportamientos importantes a analizar es el voltaje que se aplicará y afectará directamente sobre el motor, pues comprendiendo las características actuales del motor, este no debe superar un ingreso de voltaje mayor a 48 V. Por esta razón se genera un desarrollo a nivel de comportamiento del motor, para asegurar esto y estabilizar su comportamiento de la siguiente manera.

Figura 6-43 Voltaje aplicado en el motor



Fuente: Elaboración propia

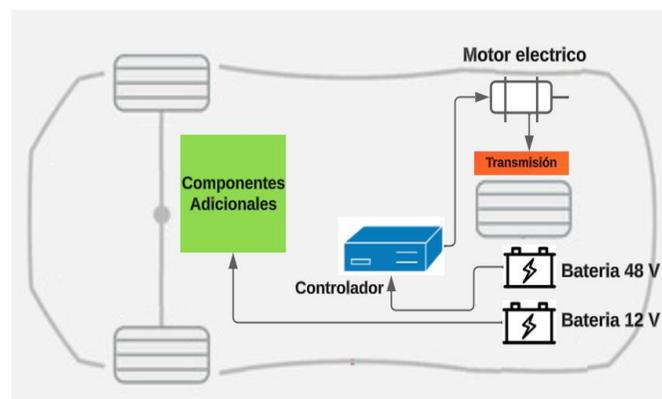
Teniendo en cuenta el diseño proporcionado, se puede comprobar que el controlador comercial de modelo PWM 70A-220S podría ser sustituido en caso de requerirse. Sin embargo, el fabricante proporciona las siguientes características:

- Voltaje de entrada: entre 12 V a 60 V DC
- Corriente de salida V: 0-70 A
- Potencia: Hasta 4000 W
- Corriente nominal: 70 A

6.7.4. Distribución eléctrica

Luego de la selección de componentes correspondientes al circuito eléctrico, se procede con la creación del esquema de distribución dentro del vehículo. El proceso de diseño de un vehículo eléctrico, es fundamental cumplir con las normativas y regulaciones automotrices aplicables en la región correspondiente para garantizar la seguridad y el cumplimiento de las pruebas requeridas. En este caso, es esencial determinar si el vehículo utiliza un sistema eléctrico de 48 V, ya que esto influirá en la selección de componentes y cables. Para asegurar un funcionamiento eficiente, se planifica la distribución de energía eléctrica en todo el vehículo, garantizando que cada componente reciba la energía necesaria sin sobrecargar el sistema. También se presta atención a la ubicación de los conductores y componentes eléctricos para minimizar interferencias electromagnéticas y ruidos que puedan afectar el rendimiento de los sistemas electrónicos. En la figura 6-45 se muestra la distribución eléctrica, dicha distribución es la guía al momento de realizar el montaje eléctrico del vehículo.

Figura 6-44 Distribución eléctrica

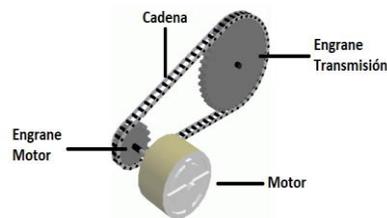


Fuente: Propia

6.8. Tren de potencia

De acuerdo al diseño generado, se construirá un tren de potencia compuesto por la salida de torque proporcionada por, un piñón, una cadena y un engrane que estará vinculado a la transmisión.

Figura 6-45 Esquema tren de potencia



Fuente: Propia

Como se nombró anteriormente para el diseño del tren de potencia se van a tener en cuenta las siguientes variables:

- Piñón de transmisión: Como su nombre lo indica este será utilizado para transmitir la fuerza del eje mediante una cadena, para se seleccionó un piñón MRELC 420, el cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 6-14 Características piñón MRELC 420

Variable	Medida	Unidades
Número de dientes (Z)	37	-
Diámetro interno	0,06	m
Diámetro externo	0,153	m
Masa	0,7	kg

Fuente: [68]

- Piñón motor: Esta va conectada directamente al motor y es el encargado de transmitir movimiento de forma indirecta a través de una cadena, para este caso se selecciona un piñón de referencia MRELC, el cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 6-15 Características piñón motor

Variable	Medida	Unidades
Número de dientes (Z)	13	-
Diámetro interno	0,014	m
Diámetro externo	0,056	m
Masa	0,12	kg

Fuente: [69]

- Cadena: Esta transmite el movimiento del motor entre los neumáticos delanteros y traseros, para este caso se selecciona una cadena de referencia MRELC, el cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 6-16 Características cadena

Variable	Medida	Unidades
Resistencia a la tensión	400	Lb*F
Número de eslabones	100 a 120	-
Masa	0,75	kg

Fuente: [70]

Para garantizar el funcionamiento seguro de los elementos seleccionados, se realizan los cálculos del momento soportado por la cadena, la cual corresponde a:

$$\text{Momento soportado por la cadena } (N * m) = (LbF * 4,45) * (Dm) \quad [6 - 26]$$

Donde:

- Dm = Distancia en metros

- Lb-F = Resistencia de tensión cadena

Al reemplazar se obtiene:

$$\text{Momento soportado por la cadena (N * m)} = 534 \text{ N * m}$$

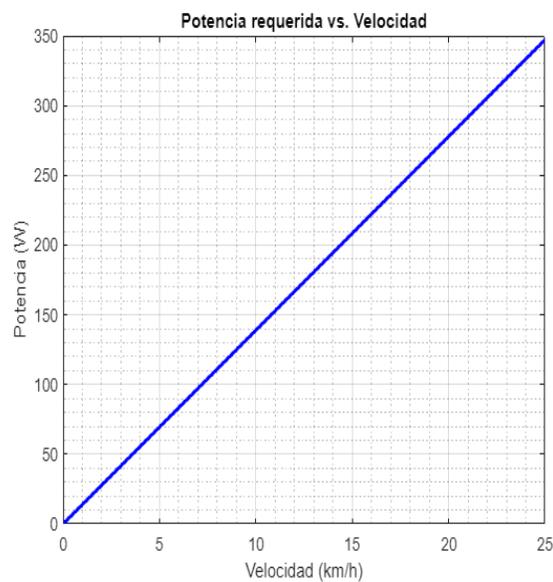
Una vez calculada la resistencia de la cadena, comparamos este valor, con el encontrado en el torque del motor, del cual nos queda la siguiente relación:

$$\text{Resistencia cadena} > \text{Torque ejercido por el motor}$$

$$534 \text{ N * m} > 3,04 \text{ N * m}$$

De esta relación se puede concluir que la cadena es la adecuada para soportar el torque ejercido por el motor, con los datos anteriores, se obtiene la siguiente figura 6-47:

Figura 6-46 Gráfica comportamiento respuesta motor y señal PWM

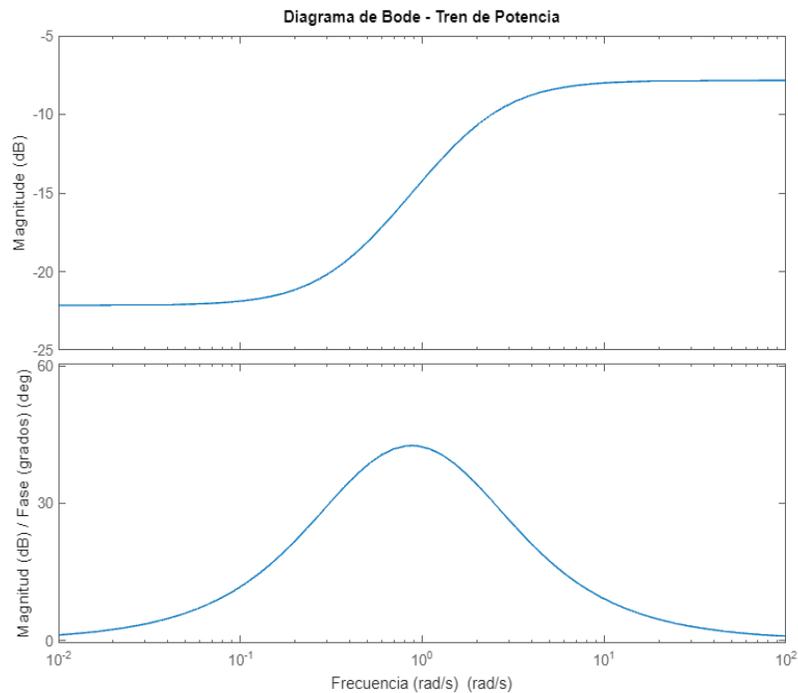


Fuente: Propia

A continuación, se evidencia el comportamiento del tren de potencia en relación con las características proporcionadas por la señal de control y el motor. Las gráficas del diagrama de Bode muestran información importante sobre la respuesta en frecuencia de un sistema, incluida su magnitud y fase en función de la frecuencia de la señal de entrada.

- Eje X (Frecuencia en radianes por segundo - rad/s): En el eje horizontal, se representa la frecuencia angular en radianes por segundo (rad/s). La escala generalmente es logarítmica para abarcar una amplia gama de frecuencias. La frecuencia angular es una forma de expresar la frecuencia en el dominio de la transformada de Laplace.
- Eje Y izquierdo (Magnitud en decibeles - dB, gráfica superior): En el lado izquierdo de la gráfica, se muestra la magnitud de la respuesta del sistema en decibeles (dB). La magnitud en dB indica cuánto amplifica o atenúa el sistema una frecuencia particular en comparación con la frecuencia de referencia (generalmente 0 dB). La magnitud es una medida de la ganancia del sistema en función de la frecuencia. Un valor positivo en este eje indica amplificación, y un valor negativo indica atenuación. La escala en dB es logarítmica, lo que significa que cada década (un aumento de 10 veces en la frecuencia) se corresponde con un cambio de 20 dB en la magnitud.
- Eje Y derecho (Fase en grados - grados, gráfica inferior): En el lado derecho de la gráfica, se muestra la fase de la respuesta del sistema en grados. La fase indica el desfase temporal entre la entrada y la salida a una frecuencia específica. Es decir, cuánto se retrasa o adelanta la respuesta en relación con la señal de entrada. La fase es crucial para comprender cómo el sistema responde a las diferentes frecuencias. Los cambios en la fase pueden indicar retraso o adelanto en la respuesta del sistema.

Figura 6-47 Diagrama de Bode



Fuente: Elaboración propia

En la figura 6-48, gráfica superior de magnitud en dB muestra cómo el sistema amplifica o atenúa las diferentes frecuencias. Puede identificar picos y valles en esta gráfica que indican las frecuencias de resonancia o de amplificación máxima. La magnitud en dB también permite determinar el ancho de banda del sistema, que es la gama de frecuencias en las que el sistema amplifica la señal de entrada.

Por otro lado, en la gráfica inferior de fases, muestra cómo cambia el desfase temporal entre la entrada y la salida del sistema en función de la frecuencia. La fase es esencial para comprender la estabilidad y el comportamiento de fase del sistema.

Se pueden identificar los cambios en la fase que pueden indicar retrasos o adelantos en la respuesta del sistema.

La construcción del diagrama de Bode implica una serie de pasos y conceptos clave que se pueden argumentar de la siguiente manera:

- El primer paso es modelar el sistema en términos de una función de transferencia. Esto implica identificar los componentes clave del sistema y expresar su relación entrada-salida.
- Los parámetros de la función de transferencia, como ganancia, constante de tiempo que provienen de las características de los componentes físicos y su fabricación.
- En el anexo B se detalla la construcción del código Matlab
- De este diagrama podemos determinar que el lugar donde la magnitud disminuye en -3 dB se conoce como el punto de corte; en este escenario, a una frecuencia de 101rad/s, lo que indica que el sistema puede responder eficientemente a frecuencias dentro de este rango. En este mismo intervalo, demuestra la capacidad de atenuar perturbaciones.

Además, este diagrama es instrumental para identificar posibles problemas de estabilidad o comportamientos inesperados en nuestro sistema. Si en el punto de la frecuencia de corte se observa una fase de -180 grados o menos, esto sugiere un comportamiento estable del sistema en este contexto y aplicación en específico. También es importante conocer la relación de transmisión con la que contara el vehículo la cual se define la siguiente manera:

- RPM del Motor = 3100 rpm
- RPM de las ruedas = 1575
- Relación de Transmisión = RPM del Motor / RPM de las Ruedas
- Relación de Transmisión = $3100/1575=1.97$

Este tipo de relación de transmisión se considera una relación de "aumento" o "sobre impulsó", ya que la salida gira más rápido que la entrada. La principal ventaja de una relación de transmisión mayor es que aumenta la velocidad de salida en comparación con la velocidad de entrada. Esto puede ser beneficioso en situaciones donde se requiere una alta velocidad de salida para cumplir con los requisitos de rendimiento. También, aumentar la relación de transmisión en ciertos sistemas puede mejorar la eficiencia al reducir las pérdidas de energía y mejorar el rendimiento general.

Con todo lo anterior, ahora se va a verificar si la potencia máxima permitida por el reglamento y la que se relaciona en todo el diseño electrónico es suficiente para dar movimiento el peso total de vehículo, para esto se calcula la potencia para vencer la gravedad la cual tiene la siguiente ecuación:

$$Potencia = \frac{W * D}{t} \quad [6-27]$$

Donde:

- W es el peso
- D la distancia para arrancar

- t de arranque

Para el valor de D se toma un valor de 53 cm y un tiempo de arranque 2 s, reemplazando se obtiene:

$$Potencia = 496,08 W$$

Al tener un motor de potencia de 500 W, se garantiza que este va ser capaz de poner en movimiento todo el vehículo. Otro cálculo de la potencia que se puede tomar como referencia, es la potencia para vencer la resistencia al rodaje para esta se tiene en cuenta el peso total de vehículo nombrado anteriormente y el coeficiente de fricción de un neumático, el cual corresponde a 0,8, reemplazando estos valores en la ecuación 6-14 y considerando que solo se toma un valor de fuerza y de fricción se obtiene el siguiente resultado:

$$F = 1497.6 N$$

Si para hallar la potencia se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Potencia = \frac{F*D}{t} \quad [6-28]$$

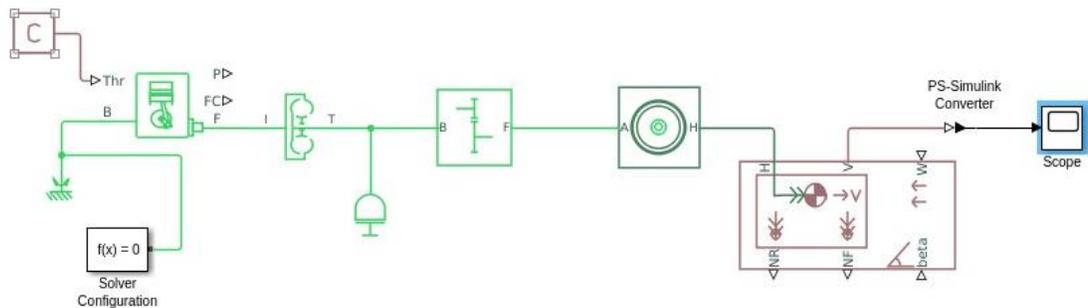
Se siguen teniendo los mismos valores para D y t, dados anteriormente al momento de reemplazar da el siguiente resultado:

$$Potencia = 396 W$$

Este valor de potencia indica que el motor seleccionado cuenta con la potencia suficiente para lograr arrancar y mantener el vehículo en movimiento.

Haciendo uso de características adicionales de MATLAB, se procede con el modelamiento del sistema de tren de potencia, que son los componentes críticos en vehículos y maquinaria.

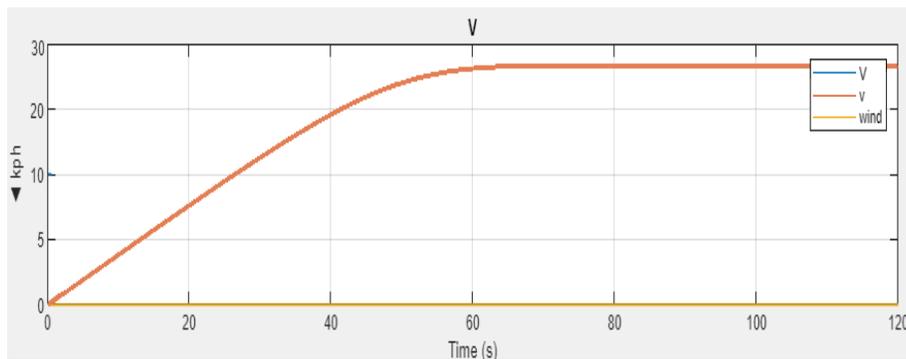
Figura 6-48 Modelamiento del tren de potencia



Fuente: Elaboración propia

Este modelamiento nos permite evaluar el comportamiento final de la velocidad del vehículo, como lo evidencia la figura 6-43. A continuación en la siguiente figura 6-49, se muestra el eje Y con la información respecto a la velocidad en km/h y el eje X muestra el desempeño a lo largo del tiempo.

Figura 6-49 Gráfica de velocidad final en modelo PowerTrain



Fuente: Elaboración propia

Una vez se conoce como es el comportamiento del tren de potencia, se realizó la verificación de lo anterior con las siguientes ecuaciones y variables:

- La potencia requerida por el motor:

$$W_r = T_r * i_o * i_\theta * \frac{V}{r} \quad [6 - 30]$$

Donde:

- i_o : Relación de transmisión final
- i_θ : Relación de transmisión
- T_r : Torque necesario para romper la inercia de la rueda
- V : Velocidad del vehículo
- R : Radio de los neumáticos
- W_r : Potencia requerida por el motor
- T_r : Torque requerido por el motor

Para calcular la relación de transmisión final y la relación se usan las ecuaciones, se usaron las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$i_o = \frac{\text{Velocidad del eje de salida caja de cambios}}{\text{Velocidad de la rueda}} \quad [6 - 31]$$

$$i_\theta = \frac{\text{Velocidad del motor}}{\text{Velocidad del eje de salida caja de cambios}} \quad [6 - 32]$$

Debido a las condiciones de la competencia, el vehículo no cuenta con una caja de cambios, es debido a esto, que las dos variables anteriores, tienden a 1, el radio de los neumáticos corresponde a 254 mm y la velocidad deseada es igual a 25 km/h, que es equivalente a tener 6.94 m/s, al conocer la potencia máxima permitida por la

competencia nombrada en la sección 3. Requerimientos de la competencia y teniendo el valor máximo de torque a la velocidad máxima que se desea alcanzar, ahora se quiere conocer cuál es el torque que requiere el motor para estar en funcionamiento, reemplazando se obtiene:

$$T_r = 18,3 N * m$$

Este valor de torque corresponde al torque máximo que entrega el motor, siendo este mayor al torque solicitado por el motor cuando el vehículo esté funcionando a velocidad máxima.

- Potencia necesaria para conducir el vehículo

Considerando que la competencia se realiza en un sector plano, la ecuación que se debe tener en cuenta es la siguiente:

$$W_r = \frac{1}{\eta} \left(\frac{1}{2} \rho C_d A V^2 + m g C_r \right) V \quad [6 - 33]$$

Donde:

- ρ : Es la densidad del aire
- C_d : Coeficiente de arrastre
- η : Eficiencia de transmisión
- C_r : Coeficiente de rodadura
- A : Área frontal del vehículo

La densidad del aire y el área frontal del vehículo se calcula en la sección 6.2.1.

Análisis aerodinámico, el coeficiente de la rodadura en asfalto es igual a 0.0015

[71], la eficiencia de transmisión es igual a 0,9 y el coeficiente de arrastre es igual a 0.1922 [72], reemplazando lo anterior obtenemos:

$$W_r = 56,5 W$$

Este valor se puede interpretar como la potencia que es necesaria para mantener el vehículo en movimiento.

6.9. Identificación de variables y su rendimiento

De acuerdo a lo establecido en el reglamento de la competencia, las pruebas a las que se va encontrar sometido el vehículo son:

Tabla 6-17. Pruebas competencia

Estáticas	Dinámicas
Volcamiento lateral	Aceleración y Grand Prix
Resistencia mecánica	
Prueba de frenado	

Fuente: [10]

En los numerales anteriores, se ha mostrado el resultado de la simulación en cada prueba, a continuación, se evaluó las variables que afectarían el rendimiento del vehículo en cada prueba y como es el comportamiento del mismo en relación a su límite elástico, esto para las pruebas estáticas mientras que para la prueba dinámica hizo uso de Matlab, específicamente su herramienta de Script y Simulink. Primero se determinó cual es la principal variable que puede afectar el rendimiento del vehículo, al ser pruebas de resistencia

mecánica un material, se determina que el rendimiento va ligado al material escogido, partiendo de esta base, se obtiene el siguiente análisis presentado en la tabla 6-18 y 6-19.

Tabla 6-18 Variable crítica y su rendimiento en relación al límite elástico

	Variable	Fuerza aplicada [N]	Valor esfuerzo [N/m ²]	Límite elástico [N/m ²]	Relación esfuerzo-límite elástico
Volcamiento lateral	Material	1500	2,79E+08	3,150E+08	1,13
Resistencia mecánica	Material	1500 en los 3 ejes	1,78E+08	3,150E+08	1,77
Prueba de frenado	Angulo 15°	2,11E+04	1,694E+08	3,150E+08	1,86

Fuente: Elaboración propia

La relación entre el esfuerzo y el límite elástico se determinó mediante una división entre ambos valores, para poder identificar cual es el valor intermedio entre los dos, logrando determinar que el límite elástico del material no es sobre pasado en ningún momento, confirmando así de forma matemática que el vehículo concluiría sin ningún daño las tres pruebas estáticas a las cuales será sometido, con un rendimiento del $\pm 100\%$.

Tabla 6-19 Variable crítica y su rendimiento en relación a la velocidad

	Variable	m/s	RPM	Torque N/m	Tiempo de respuesta
Aceleración	Velocidad	6,94	1575	303,7	120 s

Fuente: Elaboración propia

Para la aceleración se toma como variable crítica la velocidad que se determinó anteriormente, con base a esta velocidad máxima se realiza un control de velocidad en

Matlab, donde se relaciona la ganancia del motor de 0,12, la constante de tiempo del mismo 0,7s y los parámetros del controlador PI con una ganancia proporcional de 1,5 y una ganancia integral de 0,5 donde se encuentra un valor de tiempo de respuesta de 120. Debido a las condiciones de la competencia, se puede asegurar que el vehículo alcanzara la velocidad deseada después de los 2 minutos, al ser una competencia universitaria y debido a los valores que se manejan, se considera que el vehículo va a tener un rendimiento adecuado tanto en la prueba de aceleración como de Grand Prix, esto considerando que en estas dos pruebas existe la posibilidad de fallo humano, este valor dado por el conductor.

7. Cotización

La cotización de un proyecto es un proceso fundamental para determinar el costo estimado de llevar a cabo una tarea, trabajo o proyecto en particular. Aquí hay una lista de factores claves que se consideraron para elegir los materiales:

- Alcance del proyecto: Se definió claramente el alcance del proyecto, incluidas las tareas y entregables específicos que se requieren. Cuanto más claro sea el alcance, más precisa será la cotización.
- Tiempo y recursos: Estima la cantidad de tiempo que se requerirá para completar el proyecto. Esto incluye la duración de cada tarea y el número de personas o recursos necesarios.
- Materiales y equipos: Calcula los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo el proyecto esto incluye detalles como la cantidad, calidad y costo de estos elementos.
- Mano de obra: Evalúa los costos laborales, incluyendo salarios, beneficios y otros gastos asociados con el personal que trabajará en el proyecto.
- Gastos generales: Incluye los gastos generales de la universidad, como alquiler de espacio, servicios públicos y otros costos fijos.
- Contingencias: Es recomendable incluir un porcentaje para contingencias imprevistas que puedan surgir durante el proyecto, como cambios en el alcance o problemas no anticipados.

- Calidad y estándares: Si el proyecto implica cumplir con ciertos estándares de calidad o normativas específicas, considera cómo estos requisitos pueden afectar el costo.
- Capacidad de cumplimiento: Evalúa si tienes los recursos y la capacidad para cumplir con los requisitos del proyecto dentro del plazo propuesto y con el presupuesto establecido.

No solamente la viabilidad de un diseño depende de sus diseños eléctricos y mecánicos. Pues para ser esto posible, variables como el precio, su facilidad de adquisición a nivel comercial, mano de obra y algunos otros factores de nuestro contexto, serán desencadenantes para el correcto diseño final.

En la tabla 6-20 se muestran detalladamente todos los elementos o labores que fueron seleccionados, brindando características, cantidades, costos e información relevante:

Tabla 6-20. Cotización

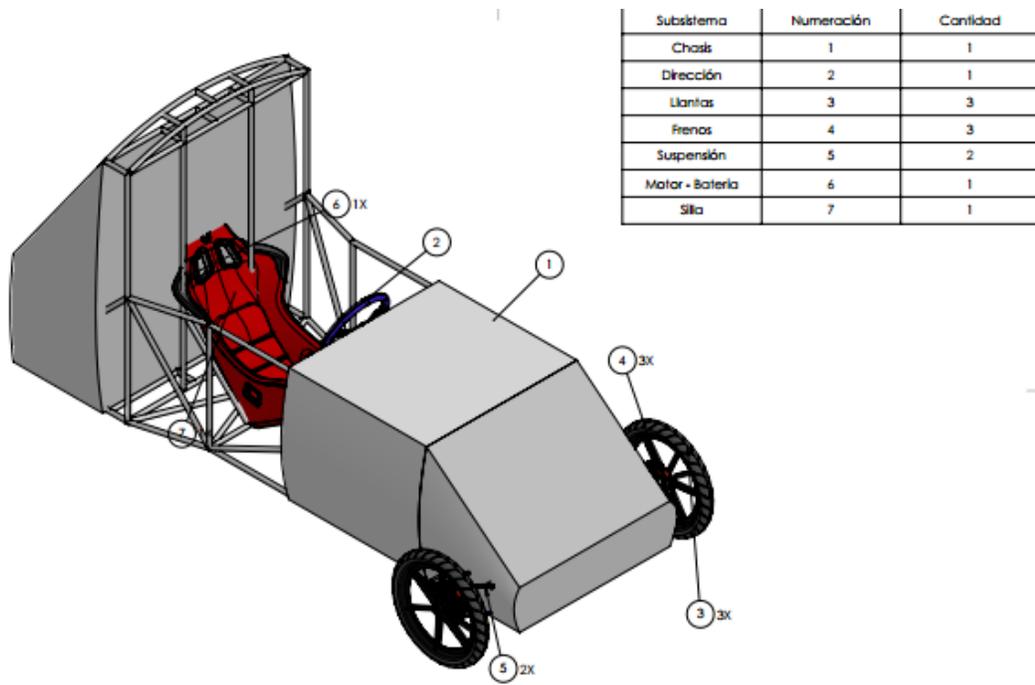
Elementos	Característica	Proveedor	Cantidad	Peso unidad kg	Peso total kg	Valor unidad (COP)	Valor Total (COP)
Estructura chasis	Metalub - Tubería	Homecenter	40 m	0,6 kg/m	24	\$ 26,650	\$ 1,066,000
Carrocería	Fibra de vidrio	Mercado libre	5 m ²	0.8	4.5	\$ 98,000	\$ 490,000.00
Abrazaderas	Amarre plastico	Mercado libre	2	0.5	1	\$ 5,930	\$ 11,860.00
Piñon direccional	Piñon C43 UNI 7547	Amazon	1	0.14	0.14	\$ 120,000	\$ 120,000.00
Barra transmisión	Barra transmisión 0.8m	Mercado libre	1	3.1	3.1	\$ 78,910	\$ 78,910.00
Amortiguador	Amortiguador Accord	Amazon	1	2.7	2.7	\$ 185,000	\$ 185,000.00
Frenos	Frenos Shimano Rt 56 160 mm	Mercado libre	3	1.2	3.6	\$ 47,900	\$ 143,700.00
Piñon motor	Piñon motor MWMNUN	Amazon	1	0.7	0.7	\$ 120,000	\$ 120,000.00
Piñon transmisión	Piñon delantero MRELC	Amazon	1	0.12	0.12	\$ 40,000	\$ 40,000.00
Cadena	MRELC Cadena	Amazon	1	0.75	0.75	\$ 87,930	\$ 87,930.00
Ruedas	Llanta Neko Race	Mercado libre	3	2.4	7.2	\$ 50,000	\$ 150,000.00
Motor	Jinie - motor ZDY112	Alibaba	1	3.7	3.7	\$ 423,000	\$ 423,000.00
Controlador	Controlador de velocidad a 48 V	Mercado libre	1	1.8	1.8	\$ 84,840	\$ 84,840.00
Batería	Batería 48 V	Aliexpress	1	19	19	\$ 1,643,276	\$ 1,643,276.00
Espejos	Espejos	Mercado libre	1	1	1	\$ 15,000	\$ 15,000.00
Cable eléctrico	Cable Duplex 2x16 (50 m)	Mercado libre	1	5	5	\$540.55	\$ 27,000.00
Costos de importacion	Importacion elementos	No aplica	8	No aplica	No aplica	\$41,046	\$328,370
Total			64	43.51	78.31	\$ 3,067,482.00	\$ 5,014,886.00

Fuente: Elaboración propia

8. Vehículo completo

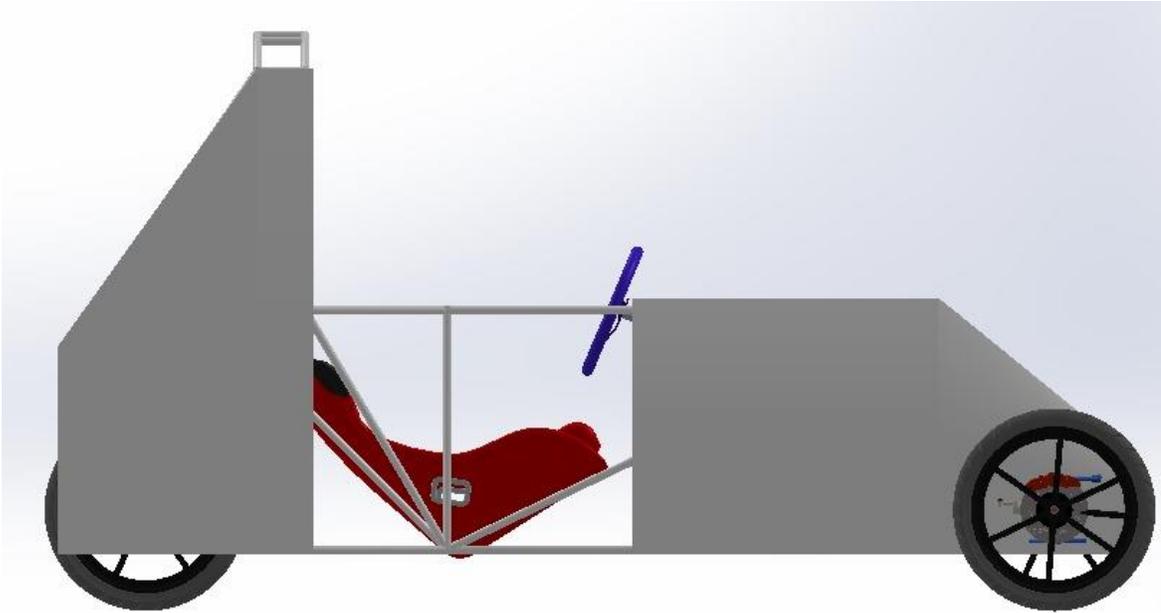
Terminando de completar los objetivos, se adjunta una vista isométrica de cómo se vería el vehículo eléctrico con todos sus sistemas y subsistemas montados.

Figura 6-50 Vista isométrica con fibra de vidrio



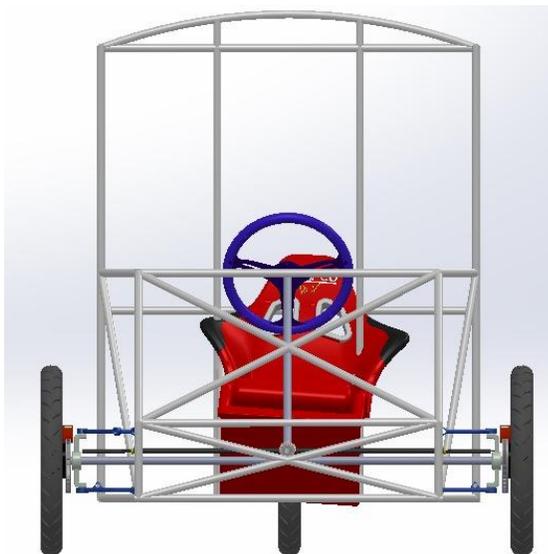
Fuente: Propia

Figura 6-51 Vista lateral del vehículo



Fuente: Propia

Figura 6-52 Vista frontal



Fuente: Propia

Conclusiones

- El compromiso con la excelencia se manifiesta en el diseño meticuloso de cada aspecto del vehículo, incluyendo la ingeniería mecánica, eléctrica, el chasis y el sistema de almacenamiento de energía. Este diseño ha sido desarrollado con una dedicación absoluta al cumplimiento de los rigurosos reglamentos de la competencia. Adicionalmente, hemos sometido nuestro enfoque a un análisis riguroso y respaldado que garantiza un rendimiento óptimo en la próxima edición de la competencia. Cada detalle ha sido cuidadosamente evaluado mediante aplicaciones, cálculos teóricos, investigación y pruebas. Adicionalmente, la selección de materiales de la más alta calidad, considerando en todo momento el contexto de evaluación en el que el vehículo operará.
- La necesidad por la perfección se extiende al empleo de tecnología de vanguardia. Se ha generado un diseño virtual que se sustenta en simulaciones avanzadas mediante sistemas de ingeniería digital. Estas herramientas no solo respaldan los análisis físico-matemáticos presentados en este documento, sino también permiten una exploración meticulosa de comportamientos específicos del sistema final, que concluye con valores y magnitudes esperadas para el diseño requerido.

- La elección de materiales y procesos de construcción ha sido rigurosa y orientada hacia la comercialización. Cada elemento seleccionado es práctico y viable desde una perspectiva comercial. Durante este proceso, hemos sopesado factores críticos, incluyendo precios, magnitudes, desempeño de los componentes que garantizan la adquisición y construcción final.
- Gracias a la búsqueda de la precisión y el profesionalismo culmina en un diseño final meticulosamente detallado y generado por medios computarizados. Este diseño proporciona una visión profunda y completa del vehículo que se presentará en la próxima edición de la Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica (CNVTE).
- La culminación de este arduo proceso finaliza con el diseño del vehículo eléctrico. Por lo que se garantiza que este proceso esté alineado con los más altos estándares de rendimiento y aceptación, asegurando que nuestro vehículo esté preparado para destacar en la Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica (CNVTE).

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar un análisis aerodinámico más detallado para lograr una optimización en el diseño del chasis.
2. Con base a los elementos seleccionados en los sistemas de frenado, suspensión, dirección y tren de potencia, se recomienda realizar un diseño detallado en los que se seleccionen los elementos faltantes.
3. Se recomienda realizar con la función de transferencia el cálculo de las ganancias para mejorar el tiempo de respuesta.
4. Se recomienda complementar la información correspondiente al controlador diseñado, haciendo énfasis en las variables de voltaje y corriente.
5. Se recomienda realizar una descripción detallada acerca de la información obtenida del nuevo diseño del controlador.

Bibliografía

- [1] A. Farrow, A. Anhäuser, Y. J. Chen, and T. Cespedes, “La carga de la contaminación del aire en Bogotá.”
- [2] Daniel Jaramillo, “ELEKTRON MOTORSPORTS en la Segunda Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica,” Medellín, Jun. 2022.
- [3] SAE INTERNATIONAL, “History of Formula SAE .”
- [4] Santiago Sáez, “Los combustibles fósiles causan 4,5 millones de muertes al año,” CLÍMATICA.
- [5] J. I. Téllez and A. I. Rodríguez Álvaro Fajardo III I Médico M Sc Toxicología Especialista Salud Ocupacional Especialista Farmacodependencia, “Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental Ensayo/Essay,” 2006.
- [6] SAE BRASIL, “Baja Nacional,” Qué es.
- [7] SAE INGENIEROS SECCION MEXICO A.C., “BAJA SAE México Competition 2023,” *SAE MEXICO An SAE International Section*, 2022.
- [8] Shell ECO-MARATHON, “Mentes brillantes que se unen para ayudar a construir un mundo con bajas emisiones de carbono. Shell Eco-marathon es un progr.”
- [9] 50 RENISHAW apply innovation, “Greenpower,” Driving engineering through sustainabilityDriving engineering through sustainability.

- [10] “REGLAMENTO CON EL APOYO DE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-SEDE BOGOTÁ.”
- [11] David Jimenez, “Qué es el chasis de un coche, en qué se diferencia de la carrocería, y qué tipos hay,” DIARIO MOTOR.
- [12] Volkswagen, “Chasis y carrocería no es lo mismo por esta razón,” Chasis y carrocería no es lo mismo por esta razón.
- [13] David Jimenez, “Aprende qué es el bastidor, su función, y cómo encontrar el número en el coche,” Aprende qué es el bastidor, su función, y cómo encontrar el número en el coch.
- [14] Higo Inc, “Chasis: ¿Qué es y cuáles son sus tipos?”
- [15] M.Platas, “Estos son los tipos de chasis.”
- [16] David Plaza, “Chasis autoportante o monocasco: qué es y qué ventajas aporta,” motor.es.
- [17] R. Alberto *et al.*, “Diseño de chasis para un monoplaza formula SAE.”
- [18] Menna, “Cómo funciona un sistema de frenos,” Como funciona.
- [19] A. Hidalgo Batista, “Sistema de frenos neumático.” [Online]. Available: www.monografias.com Paravertrabajossimilaresorecibirinformaciónsemanalsobrenuevaspublicaciones,visitewww.monografias.com

- [20] motorkote, “¿QUÉ ES y CÓMO FUNCIONA el SISTEMA de DIRECCIÓN de un VEHÍCULO?”
- [21] Autolab / Blog Autolab, “Dirección mecánica, hidráulica, ¿cuál es mejor?”
- [22] José Luis Gómez, “Sistema de suspensión: definición, tipos de suspensiones y principales elementos,” DIARIOMOTOR.
- [23] MECANICA AUTOMOTRIZ, “MECANICA AUTOMOTRIZ.”
- [24] Curso de maquinaria pesada online, “Tren de fuerza,” Curso de maquinaria pesada online.
- [25] Coches electricos y baterias, “¿QUE SON?,” Coches electricos y baterias.
- [26] E. Irene, J. Farnham, J. María, and L. Martínez, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE ELEMENTOS DEL TREN DE POTENCIA DE VEHÍCULOS ELECTRICOS DE CLASE M Y N,” 2019.
- [27] G. C. Capellan, “Trabajo final de máster Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart MEMORIA Autor: Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona.”
- [28] Prevor prever y salvar, “Baterías de iones de litio: ¿por qué y cuándo suponen un riesgo de contacto químico para las personas?,” Baterías de iones de litio: ¿por qué y cuándo suponen un riesgo de contacto químico para las personas?

- [29] C. De Ingeniería and M. Automotriz, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA ‘DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA BATERÍA DE ALTO VOLTAJE PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FORMULA SAE ELÉCTRICO.’”
- [30] Bilbao.eus, “CONCEPTOS BÁSICOS.”
- [31] Emilio Moron, “Baterías de NiMH ¿qué son y por qué son mejores?”
- [32] motorpasión, “Historia de los coches eléctricos.”
- [33] Communications BBVA, “¿Qué es el automóvil eléctrico?”
- [34] Gerardor Israel Palafox Alvarado, “Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD-DC,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA MIXTECA , Oaxaca, 2009.
- [35] Aguamarket, “Fuente de abastecimiento.”
- [36] motoresmantenimiento, “E tren de impulsión.”
- [37] Microsoft, “¿Qué es un controlador?”
- [38] WATTCO manufacturer of Electric Heating Elements and Controlss, “CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS Y SUS TIPOS.”
- [39] M. Alberto Perez Ing Analía Perez Hidalgo Bioing Elisa Perez Berenguer, ““INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO

MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO.”

- [40] J. A. Henriquez, N. Wuemdel, and J. M. Rodriguez, “SINTONIZACIÓN PARA SISTEMAS INTEGRANTES. 1 Identificación y sintonización de controladores PID para procesos de integración.”
- [41] MathWorks, “PID Tuner.”
- [42] Rohde & Schwarz, “Entendiendo los diagramas de Bode,” https://www.rohde-schwarz.com/lat/productos/prueba-y-medicion/essentials-test-equipment/digital-oscilloscopes/entendiendo-los-diagramas-de-bode_254514.html.
- [43] Terra FUNDACIÓN, “EV1, historia de un vehículo eléctrico fantástico.”
- [44] L. Lorenzo Iparraguirre, “Colección: LAS CIENCIAS NATURALES Y LA MATEMÁTICA Distribución de carácter gratuito. ADVERTENCIA MECÁNICA BÁSICA Fuerza y Movimiento,” 2010.
- [45] F. Rules, “Formula SAE® Rules 2022 Rules 2022,” 2021.
- [46] David G.Artes, “La posición del centro de gravedad: una aproximación intuitiva.”
- [47] central de, “TABLA DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE MOTOR ELÉCTRICO.”

- [48] T. Estructural Cerramiento, “Ficha Técnica METALTUB Tubería Estructural y Cerramiento Ficha Técnica METALTUB.”
- [49] Largo, “Tubería Estructural Redonda IPAC.”
- [50] MatWeb, “ Acero ASTM A500, grado C, tubería estructural redonda.”
- [51] Largo, “Tubería Estructural Redonda IPAC.”
- [52] M. Patricia Burgos Gutiérrez, S. Aldana Ávila, and D. Julián Rodríguez Patarroyo, “Análisis del recurso energético eólico para la ciudad de Bogotá DC para los meses de diciembre y enero, Colombia Analysis of the wind energy resource for the Bogota city, Colombia,” 2015.
- [53] JOSUE LEÓN, “Estudiantes de la UVG crean vehículo que participa en la Shell Eco-Marathon,” PRENSA LIBRE.
- [54] C. De Ingeniería *et al.*, “UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRÍZ AUTORES.”
- [55] Marta C. Mora, “Criterio de von Mises,” Mecapedia .
- [56] Iam Jaebi, “Cómo leer una escala de desviación en SolidWorks,” techlandia.
- [57] DEN, “Discos de freno rayado, ventilados, perforados: diferencias y funciones .”
- [58] mercado libre, “Disco De Freno Bicicleta Shimano Rt56 6 Tornillos 160mm.”

- [59] “SA 6 E.”
- [60] “engranajes-conicos-b”.
- [61] PFC RUBÉN OLIVA DOMÍNGUEZ 18 DE NOVIEMBRE 2011, “ Suspensiones vehiculares.”
- [62] “ENGINEERED SOLUTIONS DELIVERED ON TIME Muelles de Compresión.”
- [63] Gutekunst Federn, “Lista de los aceros para muelles más importantes con descripción del material, temperatura de funcionamiento, módulo de elasticidad (módulo E) y módulo de deslizamiento (módulo G), así como índice de precios.”
- [64] AliExpress, “LiitoKala-Paquete de batería LiFePO4 de 48V, 50Ah, 30A, BMS, inversor de silla de rueda para bicicleta eléctrica, RV, GV, 1200w.”
- [65] tritec interventor, “¿QUÉ ES EL RITMO DE DESCARGA DE UNA BATERÍA?”
- [66] L-faster, “L-faster.”
- [67] KELLYCONTROLLER.US, “BM1418ZXF 500W 48V.”
- [68] Amazon, “MRELC 420 Cadena de 37 dientes de 2.283 in, piñón de transmisión trasera compatible con Taotao SSR Taotao Coolster CRF50F Apollo Thumpstar Pit PRO Dirt Bike negro 50CC 70CC 90CC 110CC 125CC 140CC 160CC.”
- [69] mercado libre, “Cadena 428 13 Diente Motor Delantero Piñón Suciedad Pit.”

- [70] Amazon, “MRELC Cadena de motocicleta 420H + disyuntor de cadena, cadena de transmisión resistente de 112 eslabones.”
- [71] “78_AC”.
- [72] “Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Villa María 5° JCyTAL-V Jornadas de Ciencia y Tecnología para Alumnos ‘ANÁLISIS CUANTITATIVO DE COEFICIENTES DE ARRASTRE Y SUSTENTACIÓN USANDO EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.’”

Anexos

- Anexo A: Código comportamiento motor – controlador

```

% Parámetros del motor
K = 0.12;      % Ganancia del motor
tau = 0.7;    % Constante de tiempo del motor

% Parámetros del controlador PI
Kp = 3.0;     % Ganancia proporcional
Ki = 0.5;     % Ganancia integral

% Tiempo de simulación
T = 300;      % Tiempo de simulación en segundos
dt = 0.01;    % Paso de tiempo

% Inicialización de variables
t = 0:dt:T;
N = length(t);
desired_speed = 1575; % Velocidad deseada (rpm)
error_integral = 0;

% Vectores para almacenar resultados
actual_speed = zeros(1, N);
control_signal = zeros(1, N);

% Coeficientes de perturbación
frenado_coefficient = 0.75; % Coeficiente de frenado
friccion_coefficient = 0.05; % Coeficiente de fricción

for i = 1:N
    % Calcula el error de velocidad
    error = desired_speed - actual_speed(i);

    % Modela términos de perturbación (frenado y fricción)
    braking = frenado_coefficient * actual_speed(i);
    friction = friccion_coefficient * sign(actual_speed(i));

    % Calcula la señal de control (PWM) usando el controlador PI
    control_signal(i) = Kp * error + Ki * error_integral - braking - friction;

```

```

% Parámetros del motor
K = 0.12;      % Ganancia del motor
tau = 0.7;     % Constante de tiempo del motor

% Parámetros del controlador PI
Kp = 3.0;     % Ganancia proporcional
Ki = 0.5;     % Ganancia integral

% Tiempo de simulación
T = 300;      % Tiempo de simulación en segundos
dt = 0.01;    % Paso de tiempo

% Inicialización de variables
t = 0:dt:T;
N = length(t);
desired_speed = 1575; % Velocidad deseada (rpm)
error_integral = 0;

% Vectores para almacenar resultados
actual_speed = zeros(1, N);
control_signal = zeros(1, N);

% Coeficientes de perturbación
frenado_coefficient = 0.75; % Coeficiente de frenado
friccion_coefficient = 0.05; % Coeficiente de fricción

for i = 1:N
    % Calcula el error de velocidad
    error = desired_speed - actual_speed(i);

    % Modela términos de perturbación (frenado y fricción)
    braking = frenado_coefficient * actual_speed(i);
    friction = friccion_coefficient * sign(actual_speed(i));

    % Calcula la señal de control (PWM) usando el controlador PI
    control_signal(i) = Kp * error + Ki * error_integral - braking - friction;

```

- **Anexo B: Código desempeño tren de potencia**

```

% Parámetros del motor
K = 0.12;    % Ganancia del motor
tau = 0.5;   % Constante de tiempo del motor

% Parámetros del controlador PI
Kp = 3.0;    % Ganancia proporcional
Ki = 0.5;    % Ganancia integral

% Tiempo
T = 120;
dt = 0.01;   % Paso de tiempo

% Sistema de transferencia del tren de potencia
numerador = Kp * [K * Kp, K * Ki];
denominador = [tau, 1];
system_tf = tf(numerador, denominador);

% Construir el diagrama de Bode
figure;
bode(system_tf);
title('Diagrama de Bode del Sistema');

```

- Anexo C: Amarres



Nuevo | +100 vendidos

Amarres Plásticos Abrazaderas 10 Cm 18lb

4.8 ★★★★★ (4)

~~\$6.990~~
\$ 5.810 16% OFF

Hasta 48 cuotas
VISA
[Más información](#)

Envío a nivel nacional
 Conoce los tiempos y las formas de envío.
[Calcular cuándo llega](#)

[Ver más detalles](#)

- Anexo D: Tubería



Multimarca

Tubo Elíptico C20 6m Mueble

Código 477190

★★★★★ 0.0 (0)

\$37.900und

\$6.316,67 METRO

- 1 +

Agregar al carro

- Anexo E: Cadena



MRELC 420 Cadena de 37 dientes de 2.283 in, piñón de transmisión trasera compatible con Taotao SSR Taotao Coolster CRF50F Apollo Thumpstar Pit PRO Dirt Bike negro 50CC 70CC 90CC 110CC 125CC 140CC 160CC

Marca: MWMNUN

3.9 ★★★★★ 13 calificaciones

-12 % US\$22⁹⁹Precio recomendado: ~~US\$25.99~~Sin depósito de derechos de importación y US\$12.33 de envío a Colombia [Detalles](#)

Sobre este artículo

- Piñón trasero compatible con 50CC 70CC 90CC 110CC 125CC 140CC 160CC SSR Taotao Coolster APOLLO CRF Thumpstar Pit PRO Dirt Bike
- Diámetro interior: 2.283 in. Diámetro mínimo del agujero: 0.354 in. Diámetro del piñón: 6.024 in. Centro a

- Anexo F: Piñón



MRELC Motocicleta 420-13T Piñón delantero de 0.669 in compatible con 50 cc, 70 cc, 90 cc, 110 cc, 125 cc, 140 cc, 160 cc, Lifan Loncin Dirt Bike

Marca: MRELC

4.4 ★★★★★ 232 calificaciones

#1 más vendido en Piñones para Moto

100+ comprados el mes pasado

US\$9⁹⁹

Únete a Prime para comprar este producto a US\$8.99

Sin depósito de derechos de importación y US\$10.27 de envío a Colombia [Detalles](#)Cupón: Aplicar cupón de 10 % [Compra artículos](#) > | [Términos](#)

Tamaño: 420 13t 17mm

420-10T
US\$7.99420 12t 17mm
US\$9.99**420 13t 17mm**
US\$9.99420 14t 17mm
US\$9.99420 16t 17mm
US\$11.99

- Anexo G: Disco de frenado



Ver más productos marca Shimano

Nuevo | +5 vendidos

Disco Freno Shimano Rt56 160mm6 Tornillos

5.0 ★★★★★ (3)

\$54.100

\$ 45.985 15% OFF

Hasta 48 cuotas

VISA **MARCA**

Más información

Envío a nivel nacional
Conoce los tiempos y las formas de envío.
[Calcular cuándo llega](#)

Devolución gratis
Tienes 30 días desde que lo recibes.
[Conocer más](#)

- Anexo H: Amortiguador



2 años

ECCPP Amortiguadores de resorte para Honda Accord 2013-2017

Visita la tienda de ECCPP

4.0 ★★★★★ 9 calificaciones

US\$ 147⁵³

Sin depósito de derechos de importación y US\$54.53 de envío a Colombia [Detalles](#)

Disponible a un precio menor de otros vendedores que podrían no ofrecer envío Prime gratis.

Marca	ECCPP
Posición de pieza automática	Parte trasera
Estilo	Moderno
Tipo de servicio	Puntal para Honda Accord 2013 2014 2015 2016 2017 compatible con amortiguador 172984

- Anexo I: Piñón trasero



RUTU Piñón trasero 428 de 2.992 in y 43 dientes para chino 50 cc 70 cc 90 cc 110 cc 125 cc 140 cc 150 cc 160 cc 170 cc 190 cc Pit Dirt Trail Quad Motor Bike ATV

Visita la tienda de RUTU

4.4 ★★★★★ 26 calificaciones

-21% US\$ 14⁹⁹

Precio recomendado: US\$16.99

Sin depósito de derechos de importación y US\$12.48 de envío a Colombia [Detalles](#)

Tamaño: **43 Tooth**

35 Tooth 37 Tooth 39 Tooth 41 Tooth **43 Tooth** 45 Tooth 48 Tooth

Estilo: **428**

420 **428**

- Anexo J: Fibra de vidrio



Rollo De Fibra De Vidrio MAT 450 Gramos/M2

Tamaño en metros cuadrados (m2)

25 m2 50 m2 78 m2

Cantidad

1 - +

50,95 € iva incl.

AÑADIR AL CARRITO

Con este producto, ganas **212 punto(s) de fidelidad**. 212 punto(s) = 2,12 €.

[Escriba una reseña](#)

Rollo de Fibra de Vidrio MAT 450 Gramos/m2.

Fibra de vidrio en rollo utilizada para todo tipo de fabricaciones y reparaciones de depósitos, impermeabilizaciones, embarcaciones, piscinas,

- Anexo K: Cadena de transmisión

Automotriz › Motos, Accesorios y Piezas › Repuestos › Transmisión y Engranajes › Cadenas y Piezas › Cadenas de Distribución



MRELC Cadena de motocicleta 420H + disyuntor de cadena, cadena de transmisión resistente de 112 eslabones

Marca: MRELC

4.4 203 calificaciones

US\$22.99

Únete a Prime para comprar este producto a US\$20.69

Sin depósito de derechos de importación y US\$14.18 de envío a Colombia Detalles

Cupón: Aplicar cupón de 5 % [Compra artículos](#) | [Términos](#)

Tamaño: 112

92	98	106	112
US\$20.99	US\$21.99	US\$21.99	US\$22.99

- Anexo L: Motor eléctrico



Motor eléctrico de CC sin escobillas, 1,7 N.m, 48V, 500W, con mango de acelerador

COP448,296.59 ~~COP498,107.32~~ 10% Descuento

3% de descuento extra

Color: Handle throttle kit



Modelo de pantalla: 48V 500W

48V 500W

- Anexo M: Controlador de velocidad



Nuevo

Controlador De Velocidad
Del Motor Dc 12v-60v 70a
Pwm, Accio

\$264.225

\$ 220.300 **16% OFF**

en 12x \$ 18.358 sin interés

[Ver los medios de pago](#)

COMPRA INTERNACIONAL ▾

Envío internacional gratis

Sin costos de importación

Stock disponible

- Anexo N: Batería



LiitoKala-Paquete de batería LiFePO4 de 48V, 50Ah, 30A, BMS, inversor de silla de rueda para bicicleta eléctrica, RV, GV, 1200w

1 Vendidos

COP 1,781,466.19 ~~COP3,711,387.89~~ 52% Descuento

5% de descuento extra

COP22,197.30 Descue...
Cupón de Vendedor

Color: 48V50Ah



- Anexo O: Espejos



Nuevo | +50 vendidos

Espejos Para Bicicleta (par -
Dos Unidades) 2023

4.7 ★★★★★ (14)

\$ 15.000

en 12x \$ 1.250 sin interés

[Ver los medios de pago](#)

Envío a nivel nacional

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

Devolución gratis

Tienes 30 días desde que lo recibes.

[Conocer más](#)

- Anexo P: Cable eléctrico



Nuevo | +100 vendidos

Cable Eléctrico Duplex 2x16 
Rollo X 100 Metros Color
Blanco

4.3  (27)

~~61.900~~

\$ 56.329 **9% OFF**

en **12x \$ 4.694 sin interés**

[Ver los medios de pago](#)

Envío a nivel nacional

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

Stock disponible

Almacenado y enviado por 

- Anexo Q: Llantas BMX 20"



Nuevo | +5 vendidos

Llanta Coraza 2 Unidades 
Bicicleta Rin 20 X 1.75 27tpi
Bmx

\$ 42.900

Hasta 48 cuotas


[Más información](#)

Envío a nivel nacional

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

Devolución gratis

Tienes 30 días desde que lo recibes.

[Conocer más](#)

- Anexo R: Reglamento



REGLAMENTO

II Competencia Nacional de vehículos de Tracción Eléctrica

CON EL APOYO DE:
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE BOGOTÁ



Preámbulo

La sociedad actual se encuentra en un punto que exige grandes transformaciones culturales, sociales, políticas y tecnológicas para preservar la vida en la Tierra, ya que esta se ve amenazada por el cambio climático causado por las elevadas emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello y como un medio para promover la investigación y el desarrollo académico en torno a tecnologías de transporte amigables con la naturaleza, surge la Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica (CNVTE), un evento enfocado en buscar grupos interdisciplinarios provenientes de entidades de educación superior que construyan un prototipo de vehículo eléctrico que alcance la mayor eficiencia energética posible.

La Universidad Nacional de Colombia, como organizadora de la segunda versión de la competencia que se llevará a cabo en el segundo semestre de 2021, da la bienvenida a las instituciones de educación superior (IES) interesadas en participar, e invita a estudiantes y grupos académicos provenientes de diferentes áreas del saber a conocer el reglamento e iniciar el diseño y fabricación de sus prototipos de vehículo eléctrico.



Índice

1. Espíritu de la Norma	5
1.1. Reglamento de convivencia	5
2. Información general	6
2.1. Objetivo	6
2.2. Canales de comunicación	6
2.3. Lugar y fecha	6
2.4. Referencias del reglamento	6
2.5. Resumen de la Competencia	6
2.5.1. Revisión de Diseño del Vehículo	6
2.5.2. Pruebas Estáticas	7
2.5.3. Pruebas Dinámicas	7
2.6. Organización	7
2.6.1. Organizadores	7
2.6.2. Equipo Competidor	7
2.6.3. Participante	7
2.6.4. Jefe del equipo	7
2.6.5. Docente guía	7
2.6.6. Director de competencia	8
2.6.7. Director de pruebas	8
2.6.8. Director técnico	8
2.7. Derechos de autor	8
2.8. Calendario	8
2.9. Preinscripción	8
2.10. Inscripción	9
2.11. Envío de Informe Final	9
3. Registro	10
3.1. Ingreso al torneo	10
3.2. Miembros del equipo	10
3.3. Jefe del equipo	10
3.4. Docente guía	10
3.5. Nombre del equipo	10
3.6. Uniformes	10
3.7. Verificación de los miembros	10
3.8. Cantidad y tamaño de equipos	11
3.9. Proceso de preinscripción	11
3.10. Proceso de Inscripción	11
3.11. Notificación de inscripción	11
4. Reglamento de la competencia	12
4.1. Logos y numeración	12
4.2. Ética y juego limpio	12
4.3. Inconformidades	12
4.4. Disputas	12
4.5. Puntuación	12
4.6. Penalizaciones	12



4.7. Seguridad	13
4.8. Piloto	13
4.9. El Vehículo	13
5. Diseño, análisis y construcción	15
5.1. Diseño mecánico del vehículo	15
5.1.1. Dimensiones	15
5.1.2. Peso del vehículo	15
5.1.3. Chasis / monocasco	16
5.1.4. Ruedas	16
5.1.5. Radio de giro	17
5.1.6. Frenos	17
5.1.7. Posición del piloto	18
5.1.8. Cinturón de seguridad	18
5.1.9. Visibilidad	18
5.1.10. Espejos retrovisores	18
5.1.11. Cubierta	18
5.1.12. Abandono del vehículo	18
5.1.13. Extintor	18
5.1.14. Dispositivos aerodinámicos	18
5.2. Diseño eléctrico del vehículo	19
5.2.1. Medición de la eficiencia	19
5.2.2. Sistema de gestión de baterías o BMS	20
5.2.3. Dispositivos de almacenamiento de energía	21
5.2.4. Compartimento de energía	21
5.2.5. Gestión de carga por energía renovable	22
5.2.6. Sistema de emergencia	22
5.2.7. Diagrama de bloques de suministro de energía	22
5.2.8. Diagrama del sistema de propulsión	22
5.3. Inspecciones adicionales	22
5.4. Documentación técnica	22
5.4.1. Informe final	23
6. Pruebas	24
6.1. Prueba de diseño (máximo 100 puntos)	24
6.1.1. Informe de diseño	24
6.1.2. Presentación	24
6.1.3. Inspección técnica	24
6.1.4. Puntuación	24
6.2. Pruebas habilitantes	24
6.2.1. Prueba de abandono del vehículo	25
6.2.2. Prueba de frenos	25
6.2.3. Radio de giro	25
6.2.4. Prueba de carga	25
6.2.5. Prueba del cinturón de seguridad	25
6.2.6. Prueba de volcamiento	26
6.2.7. Prueba de visibilidad	26
6.2.8. Inspección eléctrica	26
6.2.9. Verificación de dimensiones	26
6.3. Pruebas dinámicas o con puntuación	26
6.3.1. Prueba de agilidad (máximo 100 puntos)	26
6.3.2. Prueba de aceleración (máximo 100 puntos)	26



6.3.3. Grand prix (máximo 500 puntos)	28
6.4. Bonificaciones (máximo 200 puntos)	33
6.4.1. Puntuación	33
6.4.2. El vehículo más ergonómico	33
6.4.3. El vehículo con diseño más estético	34
6.4.4. Vehículo más liviano	34
6.4.5. Controlador y batería propios	34
6.5. Resumen de la puntuación	35
7. Penalizaciones	36
7.1. Falta tipo 1 (0 puntos)	36
7.2. Falta tipo 2 (-20 puntos)	36
7.3. Falta tipo 3 (Puntuación mínima en la mejor prueba)	36
7.4. Falta tipo 4 (Descalificación)	36
7.5. Consumo excesivo de potencia (Ecuación P_p)	36
7.6. Tiempo Grand Prix (Ecuación P_T)	37
7.7. Resumen de penalizaciones	37
8. Premiación	38
8.1. Anuncio de resultados	38
8.2. Premios de la competencia	38
9. Aclaración y modificación a las reglas	39
10. Definiciones	40



1. Espíritu de la Norma

Lo contemplado en este documento, tiene como objetivo principal preservar la seguridad del piloto y la de los participantes de este evento, mientras se incentiva la sana competencia. Dicho esto, los elementos no explícitos en este documento y que representen un riesgo para el piloto o los participantes, podrán ser objeto de discusión por parte del ente regulador, y podrá solicitarse que sea modificado/removido del vehículo. A su vez, los elementos de seguridad no contemplados en el presente reglamento podrán ser aceptados por el ente regulador, siempre y cuando se compruebe su efectividad vía demostración física, documentos técnicos y/o pruebas de laboratorio. De igual forma, las medidas de bioseguridad, dada la contingencia actual, serán comunicadas mediante el sitio web de la competencia, semanas previas al evento.

1.1. Reglamento de convivencia

Con el objetivo de garantizar el desarrollo exitoso de la competencia, todos los integrantes de cada equipo se deben comprometer con el cumplimiento de las siguientes normas básicas de convivencia:

- Se espera que los participantes respeten el espíritu de una competencia académica y amistosa, orientada al desarrollo sostenible, de tal forma que garanticen la veracidad de los datos proporcionados y el cumplimiento de las normas aquí contenidas.
- En caso de que un equipo desee manifestar una observación o inconformidad, esta se deberá realizar por el representante del equipo o el docente guía de forma ordenada y respetuosa. Basándose siempre en este compendio.
- Los participantes deben garantizar el buen trato y la camaradería entre miembros de diferentes equipos y los organizadores del evento.
- Ningún participante podrá estar en las actividades de la competencia estando bajo los efectos del alcohol y/o sustancias alucinógenas. Esto, será causal de expulsión del evento de todo el equipo al que pertenece.
- Las inconformidades relacionadas con los puntajes publicados para cada prueba se podrán realizar hasta 30 minutos después de finalizada la publicación. En este caso, los organizadores serán quienes evalúen y definan las acciones a tomar.
- El incumplimiento de las normas básicas de convivencia tendrá penalidades proporcionales y serán determinadas por los jueces, estas pueden ir desde llamados de atención, amonestaciones con puntajes, o la expulsión del equipo infractor.



2. Información general

2.1. Objetivo

Incentivar a la comunidad académica a diseñar y manufacturar un vehículo eléctrico, que se caracterice por su eficiencia en el consumo de energía y el desarrollo de velocidad, además de tener la capacidad de maniobrar por los diferentes circuitos definidos para la competencia.

2.2. Canales de comunicación

El equipo organizador de la segunda competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica dispondrá de los siguientes canales de comunicación:

- **Página web:** <https://dev.vte.net.co/wp/>
- **Instagram:** <https://instagram.com/iicnvte>
- **Correo electrónico:** iicnvte@gmail.com

2.3. Lugar y fecha

La segunda versión de la competencia tendrá lugar en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Se espera desarrollar la competencia los días **18 y 19 de marzo del año 2022**.

2.4. Referencias del reglamento

Este compendio de reglas se basa en lo establecido por la **Shell Eco-Marathon** en su apartado de vehículos tipo prototipo accionados por energía eléctrica; así como el reglamento de la primera competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica.

2.5. Resumen de la Competencia

La competencia incluye las siguientes etapas:

2.5.1. Revisión de Diseño del Vehículo

- Informe de diseño
- Presentación
- Inspección técnica



2.5.2. Pruebas Estáticas

- Prueba de volcamiento lateral
- Prueba de resistencia mecánica
- Prueba de abandono de vehículo
- Prueba de frenado
- Prueba de carga sobre el cinturón de seguridad
- Prueba de verificación de peso

2.5.3. Pruebas Dinámicas

- Prueba de aceleración
- Prueba de agilidad
- Prueba de clasificación
- Grand prix

2.6. Organización

2.6.1. Organizadores

Corresponde a la(s) institución(es) educativa(s) que organiza(n) el evento en una región.

2.6.2. Equipo Competidor

Grupo de individuos que, bajo un nombre y un vehículo, son aceptados para entrar a la competencia.

2.6.3. Participante

Miembro de un equipo.

2.6.4. Jefe del equipo

Un participante que ha sido designado por su equipo para que lo represente ante los organizadores

2.6.5. Docente guía

Un docente de la institución educativa quien asesora al equipo en el proyecto.



2.6.6. Director de competencia

Persona escogida por la organización, como responsable de manejar y administrar la competencia.

2.6.7. Director de pruebas

Personas escogidas por la organización, como responsables del seguimiento de las reglas de cada prueba.

2.6.8. Director técnico

Persona escogida por la organización, como responsable del manejo y el seguimiento del reglamento de la competencia.

2.7. Derechos de autor

Los participantes son conscientes de que, fotos, audios y videos serán realizados a lo largo del evento. El participante acepta transferir el derecho sobre estos elementos a la organización del evento, quien podrá utilizarlo para comunicaciones internas o externas.

2.8. Calendario



Figura 1: Calendario del evento.

2.9. Preinscripción

Se abrirá un formulario virtual donde los equipos realizarán una preinscripción, demostrando su interés en hacer parte de la competencia. Dicho formulario será enviado por correo a todas las instituciones de educación superior del país y será publicado en la página oficial de la competencia: <https://dev.vte.net.co/wp/>. **Fecha límite: hasta el 12 de marzo del 2021.**



2.10. Inscripción

La inscripción al evento tiene como propósito definir los participantes, verificar su afiliación a una institución de educación superior y revisar que la documentación se encuentra en regla (ver numeral 3.10). Para formalizar la inscripción se abrirá un formulario que será enviado por correo a todas las instituciones preinscritas, y publicado en la página oficial de la competencia: <https://dev.vte.net.co/wp/>. **Fecha límite: hasta el 28 de enero del 2022.**

2.11. Envío de Informe Final

El objetivo del informe final es garantizar que se han cumplido los requisitos técnicos y, por lo tanto, el equipo puede participar en el evento. El enlace para subir el informe en PDF será publicado en la página oficial de la competencia: <https://dev.vte.net.co/wp/>. **La fecha máxima para la entrega de este informe es el 27 de febrero del 2022.**



3. Registro

3.1. Ingreso al torneo

La competencia es un evento académico abierto a todos los equipos de las instituciones de educación que cuenten con programas de nivel técnico, tecnológico y universitario. No se permitirá la participación de vehículos independientes.

3.2. Miembros del equipo

Todos miembros de un equipo deben ser estudiantes activos de una institución educativa y deberán tener, como mínimo, una mujer inscrita.

Aclaración: Los estudiantes miembros de un equipo pueden ser estudiantes de programas de pregrado o posgrado de la IES que representan, siempre y cuando cuenten con seguro estudiantil activo en el día de la competencia.

3.3. Jefe del equipo

Los participantes deben escoger un jefe de equipo, quien será el representante ante la organización. La organización mantendrá comunicación con esta persona.

3.4. Docente guía

Cada equipo debe contar con el apoyo de un docente del programa, quien los asesorará en el proyecto y asistirá durante la competencia.

3.5. Nombre del equipo

Cada equipo deberá contar con un nombre que los represente. Los nombres que se consideren ofensivos o irrespetuosos no serán permitidos por la organización. Los organizadores se reservan el derecho de indicarle a un equipo que, de ser necesario, cambien su nombre.

3.6. Uniformes

Los miembros de los equipos deben estar debidamente uniformados (mínimo camiseta). Sus uniformes deben incluir el nombre de la institución y del equipo. En todo momento, los integrantes del equipo deben portar un distintivo del equipo en un lugar visible.

Nota: Durante las pruebas, el piloto debe portar un traje conforme a lo estipulado en el capítulo 4.8, que lo distinguirá de los demás miembros del equipo. De igual forma, este traje deberá llevar algún distintivo del equipo.

3.7. Verificación de los miembros

Será competencia del organizador del evento verificar la veracidad de la información, reportada por los equipos, para dar validez a su participación.



3.8. Cantidad y tamaño de equipos

Cada institución educativa podrá conformar el número de equipos que desee; sin embargo, cada equipo estará compuesto por un máximo de 15 estudiantes, quienes deberán ser inscritos dentro de los plazos programados.

3.9. Proceso de preinscripción

Cada equipo interesado en participar, deberá llenar un formulario digital dispuesto por el comité organizador. En este, el equipo, en representación de alguna IES del país, expresará su intención de participar en el evento registrando a cada integrante del equipo, facilitando sus datos personales y compartiendo un video de presentación. Dicho formulario será enviado por correo a todas las instituciones de educación superior del país, y publicado en la página oficial de la competencia <https://dev.vte.net.co/wp/> y redes sociales. **Fecha límite: hasta el 12 de marzo del 2021. Aclaración:** Todos los equipos participantes en el evento "Taller preparatorio de la Segunda Competencia Nacional de Vehículos de Tracción eléctrica" quedarán automáticamente preinscritos a la Competencia.

3.10. Proceso de Inscripción

Se abrirá un formulario digital que será enviado por correo a los preinscritos y publicado en la página oficial de la competencia: <https://dev.vte.net.co/wp/>. **Fecha límite: hasta el 28 de enero del 2022.** En este se deben cargar los siguientes documentos:

- Aval de la IES que representa el equipo, que incluya:
 - Los nombres completos de los participantes, su número de identificación y el programa académico que cursan.
 - Información del docente guía que acompaña al equipo: nombre completo, cédula y cargo en la institución .
 - Párrafo en el que se asegure la pertenencia de seguro estudiantil de todos los integrantes del equipo para las fechas de la competencia.
 - Aceptación del reglamento del concurso.
- Documento donde se evidencie el diseño del prototipo VTE adelantado por el equipo. Se deben incluir, por lo menos, tres (03) fotos del vehículo: frontal, lateral y del habitáculo del piloto. Si su construcción no se ha terminado a la fecha de envío de la inscripción, se deberá mostrar el modelo CAD con las simulaciones correspondientes que demuestren el cumplimiento de los requisitos técnicos estipulados en el presente reglamento.
- La inscripción no tendrá ningún costo.

3.11. Notificación de inscripción

Después de 8 días de finalizado el proceso de inscripción, y una vez sean verificados todos los requisitos, la organización del evento notificará al equipo inscrito sobre la aceptación de la inscripción.



4. Reglamento de la competencia

4.1. Logos y numeración

Cada equipo deberá plasmar el nombre de su institución educativa o las iniciales en caracteres de, al menos, 10 cm de alto, en un color que contraste con el fondo del vehículo.

Los vehículos podrán tener logos de empresas patrocinadoras.

La organización proveerá un autoadhesivo de 20 cm de diámetro con el número asignado, cada equipo debe asegurar un espacio adecuado para pegar dicho adhesivo en la parte frontal del vehículo.

4.2. Ética y juego limpio

Se espera de los participantes honrar el espíritu de una competición amistosa, donde compartirán sus experiencias con los demás, mientras demuestran cortesía y colaboración en todas las actividades que se realicen.

4.3. Inconformidades

Si llegase a presentarse cualquier tipo de inconformidad el jefe del equipo tiene la posibilidad de realizar peticiones y entregarlas al director de la competencia al final de cada prueba. Los tiempos para los reclamos serán:

- **Vehículo:** Antes de comenzar las competencias.
- **Comportamiento del equipo y los participantes:** Hasta 30 minutos después de finalizadas las pruebas.
- **Resultados:** Hasta 30 minutos después de que los resultados se hayan publicados.

Los organizadores serán quienes evalúen y definan las acciones a tomar.

4.4. Disputas

En caso de disputas, el director de la competencia tendrá la palabra final.

4.5. Puntuación

Las puntuaciones alcanzadas en cada prueba serán publicadas en un tablero a la vista de todos los participantes del evento. Al final, se hará la suma de los puntajes y se descontarán las penalizaciones para obtener un ganador. El puntaje máximo es de 1000 puntos.

4.6. Penalizaciones

Las penalizaciones serán impuestas por el jurado organizador o el director de la prueba a los equipos merecedores, según las consideraciones del presente reglamento. Alguna falta que merezca penalización, será anunciada con una bandera negra en el instante en que esta se cometa.

El valor numérico de la penalización será publicado a la vista de todos los participantes al finalizar cada prueba. Pasados 30 minutos, no se aceptarán reclamos al respecto.



4.7. Seguridad

Como cualquier actividad deportiva, se debe comprender que existen ciertos riesgos y es menester de la organización y los participantes minimizarlos. Por ello, el cumplimiento de las normas de seguridad, así como cualquier instrucción dada en la competencia por los organizadores, son obligatorias para todos los participantes. El no cumplimiento podrá ser motivo de la descalificación del equipo.

El director de la carrera es el responsable y la autoridad final para determinar la continuidad de las pruebas en pista, en caso de condiciones climáticas y/o circunstancias adversas.

Todos los participantes deben tomar medidas de seguridad y notificar a los organizadores cualquier anomalía o incidente.

Todos los integrantes deben tener actualizado el seguro de la universidad correspondiente. Es responsabilidad del representante de cada equipo, confirmarlo y contar con una lista completa de sus integrantes especificando tipo de sangre. El no cumplimiento de algunas de las reglas podrá motivar la descalificación del equipo.

4.8. Piloto

- Todo el cuerpo del piloto debe estar cubierto, debe usar zapatos, medias y guantes. Los guantes deben cubrir completamente las manos.
- El piloto debe contar con un casco para deportes a motor que cubra al menos 3/4 de la cabeza, garantizando la protección de la parte superior del cráneo y una correcta visibilidad.
- El peso mínimo de los pilotos será de 50 kg. El peso será medido con el casco y la indumentaria puesta, en caso de que este sea inferior a 50kg, al vehículo se le adicionará pesos muertos hasta llegar al valor mínimo de 50kg.
- Los pilotos serán llamados a una reunión previa al inicio de la competencia. En esta se verificarán los requerimientos de seguridad para conducir. Los organizadores se reservan el derecho de negar el ingreso al circuito a pilotos con conocimiento insuficiente de las normas.
- Los pilotos deberán hacer reconocimiento de los circuitos (como mínimo durante 30 minutos en total) previos al inicio de cada prueba.
- Está completamente prohibido conducir bajo la influencia del alcohol y/o sustancias psicoactivas.
- Durante la competencia, los pilotos deben conducir de forma segura, es decir, sin realizar maniobras peligrosas como cambios de dirección repentinos, o sobrepasos arriesgados, los cuales pongan en riesgo su seguridad o la de los demás participantes. En caso de presentarse uno de estos incidentes, el ente organizador tiene la potestad para penalizar al equipo infractor.

4.9. El Vehículo

El diseño del vehículo debe cumplir con todos los aspectos técnicos de diseño especificados en el capítulo 5. Además, como lo indica el contenido del informe final (ver numeral 5.4.1), todos los equipos deben realizar pruebas previas al evento, las cuales demuestren la fiabilidad y seguridad del vehículo. Para ello, los equipos pueden guiarse con las pruebas habilitantes que deberán superar (ver numeral 6.2). Sin embargo, en caso de presentarse daños durante el evento, el equipo podrá hacer reparaciones o modificaciones que no atenten contra la seguridad del vehículo y con previo aviso al comité organizador del evento. Luego de realizadas estas reparaciones y/o modificaciones, el vehículo será evaluado para reingresar a la competencia.



Si el daño ocurre durante una de las pruebas, el vehículo podrá ingresar a la zona de taller y regresar a la línea de meta para volver a comenzar la prueba.

Será responsabilidad de cada equipo contar con las respectivas herramientas para hacer sus reparaciones.



5. Diseño, análisis y construcción

5.1. Diseño mecánico del vehículo

Los vehículos deben ser diseñados, construidos y conducidos por los estudiantes vinculados al proyecto. La construcción del vehículo puede incluir la asistencia de personal externo, cuando las capacidades necesarias para el desarrollo excedan las disponibles en la institución educativa. Durante el diseño del vehículo, la construcción y la planeación de la competencia los equipos deberán prestar atención a todos los aspectos de seguridad, incluyendo la seguridad del conductor, participantes, voluntarios y espectadores. El interior del vehículo no puede contener algún objeto que lastime al piloto en caso de una colisión.

5.1.1. Dimensiones

El **ALTO** del vehículo deberá ser **inferior a 1500 mm**. El **ANCHO** del vehículo deberá ser, **al menos, de 500 mm**, medidos entre los puntos medios de las ruedas de mayor trocha. El **ANCHO máximo** del vehículo **no podrá superar los 1300 mm**. El **LARGO** del vehículo **no podrá superar los 3500 mm**. Los vehículos deben tener una zona mínima de seguridad de 100 mm desde el frente del vehículo hasta los pies del piloto.

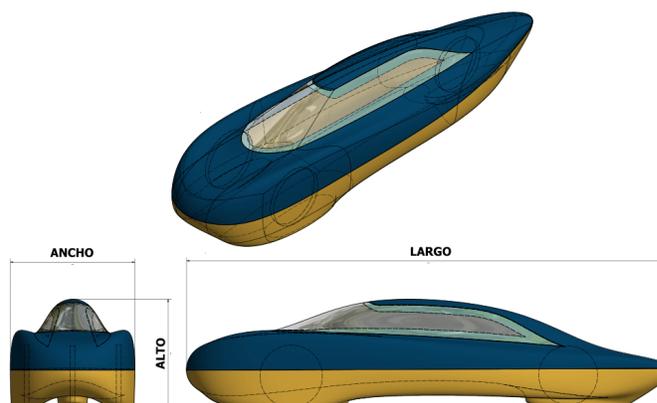


Figura 2: Dimensiones generales del vehículo

Aclaración: Se sugiere a los equipos conservar una distancia de, por lo menos, 15 cm entre el piso del vehículo y la carretera. Esto debido a los posibles obstáculos y resaltos de la pista.

5.1.2. Peso del vehículo

El peso máximo del vehículo, sin incluir al piloto, no podrá superar los 140 kg.



5.1.3. Chasis / monocasco

Todos los vehículos deben tener un sistema de protección de volcamiento que prevenga que alguna parte del cuerpo del piloto entre en contacto con el asfalto, garantizando el triángulo de la vida. De igual manera, deberán tener un piso o estructura que evite que los pies del piloto toquen el asfalto una vez el piloto se encuentre en el vehículo. Los vehículos deben estar completamente cubiertos, por un material que no se deforme con el viento, pero se debe asegurar que el piloto tenga completa visibilidad de 180° teniendo una distancia mínima entre el casco (superficie más alta) y la barra antivuelco de 10 cm. Los equipos deben diseñar su vehículo de tal forma que el cuerpo del piloto esté protegido contra impactos y volcamientos; además, debe permitir una rápida salida en caso de alguna eventualidad. El sistema de protección de volcamiento del vehículo deberá soportar una carga de **1500 N** aplicados en las direcciones de los tres ejes vehículo. En la imagen 3 se muestra un diagrama explicativo.

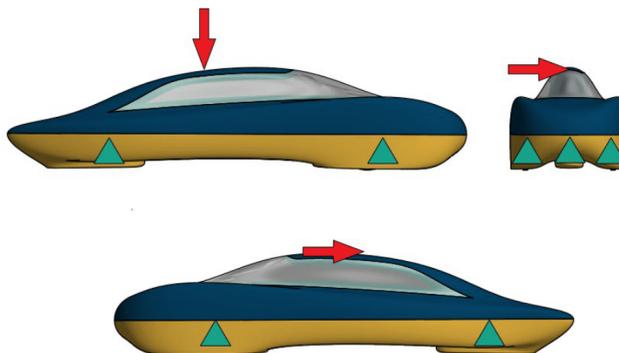


Figura 3: Direcciones de aplicación de las cargas

5.1.4. Ruedas

Cualquier tipo de llantas o ruedas es permitido. Los vehículos deben tener al menos 3 ruedas en constante contacto con la pista. Algún tipo de rin debe ser usado. Los rines deben ser compatibles con las dimensiones de las ruedas seleccionadas, de tal manera que se conserven los estándares de seguridad.

NOTA: Las ruedas de bicicleta no están diseñadas para soportar cargas laterales.

Los ejes de giro deben diseñarse para cargas en cantiléver, es decir, con un apoyo exclusivo en un extremo, en vez de un apoyo en ambos extremos, como sucede con las bicicletas.

Las ruedas localizadas al interior de la cabina deben estar debidamente cubiertas por una carcasa, para separarlas del piloto.

El transporte o la manipulación de las ruedas por los pilotos es prohibido desde el momento en el que el vehículo está en la línea de partida hasta el final de la competencia.



Todas las instalaciones deben ser realizadas de tal manera que ninguna parte de las ruedas entre en contacto con otras partes del vehículo (cables, alambres, mangueras). Todo debe estar debidamente asegurado, para que no interfiera con el normal funcionamiento de las ruedas y cause algún accidente.

5.1.5. Radio de giro

El sistema de giro se debe diseñar de tal manera que no exista, en ningún momento, contacto entre las ruedas y el chasis del vehículo. El radio de giro es la distancia entre el centro del círculo y la rueda externa del vehículo. La rueda más externa debe ser capaz de realizar un arco de 90° , con un radio de **7 metros** imagen 4. Un sistema eléctrico indirecto de giro es permitido, siempre que sea operado por una volante o algo similar.

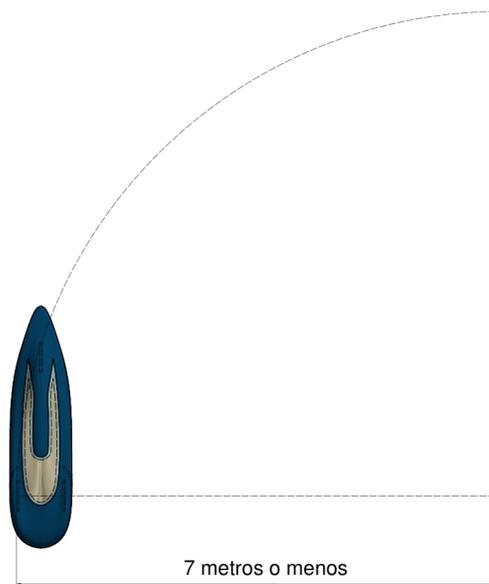


Figura 4: Sistema de dirección con radio de giro menor o igual a 7m en un arco de 90°

5.1.6. Frenos

Los vehículos deben estar equipados con dos sistemas de frenado, operados de manera independiente. Cada sistema debe ser operado por un control diferente. Un sistema debe operar sobre las ruedas delanteras y el otro sobre las ruedas traseras. **Es obligatorio utilizar frenos de disco.** El sistema de frenado debe estar calibrado de tal manera que tenga un frenado balanceado.



5.1.7. Posición del piloto

Por razones de seguridad, la posición de manejo cabeza primero no es permitida. Se permiten las posiciones en donde el piloto está sentado o tumbado hacia atrás.

5.1.8. Cinturón de seguridad

El cinturón de seguridad debe estar sujeto al chasis en al menos 4 puntos, los cuales deben soportar el peso del vehículo junto con el del piloto suspendido en el aire.

5.1.9. Visibilidad

El piloto debe poseer completa visibilidad hacia adelante y de 90° en cada lado del eje longitudinal del vehículo.

5.1.10. Espejos retrovisores

Los vehículos deben contar con espejos retrovisores para favorecer la visibilidad del piloto.

Aclaración: los espejos retrovisores pueden ser reemplazados por una cámara de visión trasera. Sin embargo, dicha cámara, y su correspondiente pantalla y sistema de control o toma de datos, debe estar alimentada por la misma batería que suministra energía a todo el vehículo. No se aceptan sistemas de alimentación independientes.

5.1.11. Cubierta

El vehículo debe estar completamente cubierto. La cubierta del vehículo debe ser de un material no astillable.

5.1.12. Abandono del vehículo

El piloto debe poder abandonar el vehículo en un lapso no superior a 20 segundos, sin ningún tipo de asistencia, con el cinturón puesto y la cubierta cerrada.

5.1.13. Extintor

Cada equipo debe contar con un extintor (Tipo ABC o BC). Este debe tener una capacidad mínima de extinción de 1 kg. El extinguidor no tiene que estar dentro del vehículo.

5.1.14. Dispositivos aerodinámicos

Los vehículos podrán contar con componentes o dispositivos que alteren la carga aerodinámica; estos deberán estar acoplados/integrados al chasis/carrocería de tal forma que un fallo del elemento no se traduzca en un riesgo para el piloto y/o participantes del evento.



5.2. Diseño eléctrico del vehículo

Por razones de seguridad, el máximo voltaje para la batería principal **no debe superar 48 V** nominales. En caso de poseer arreglos electrónicos con **dispositivos de almacenamiento** secundarios, el voltaje total en el vehículo **no debe superar los 60 V**.

La potencia máxima promedio permitida combinada de salida es **500W**. Sin embargo, entendiendo que los elementos electrónicos consumen potencia y se cuenta con sobrepicos, se tiene un margen permitido de la misma de 550W. Si se sobrepasa dicha potencia promedio, el equipo será penalizado según la ecuación 3.

Para todos los vehículos, solo se permite una batería principal, la cual podrá ser recargada entre pruebas.

En caso de tener pantallas, no es posible tener baterías extras para la alimentación de la misma. **Todo se debe alimentar de una sola batería principal.**

5.2.1. Medición de la eficiencia

5.2.1.1. Vatímetro Para garantizar el cumplimiento de la normativa eléctrica de la competencia, todos los vehículos deben contar con un espacio entre la batería principal y el motor para ubicar un vatímetro.

Este espacio deberá contar con un par de borneras, ubicadas en sus extremos, para permitir la conexión del dispositivo.

El espacio mínimo será de $150mm \times 100mm \times 70mm$. El espacio debe ser visible y de fácil acceso. A cada equipo se le **suministrará** un vatímetro durante las pruebas dinámicas, semejante al que se muestra a continuación:

El circuito eléctrico puede tener dispositivos diferentes al motor ($R_{Opcional}$). El dispositivo será instalado y manipulado únicamente por los organizadores de la competencia.

Con el vatímetro se registrará la energía consumida E_c en **kWh** en un periodo de tiempo t .

5.2.1.2. Odometro Se requiere adicionalmente que los vehículos cuenten con un **sistema propio de medición de la distancia recorrida x y el tiempo de dicho trayecto t** . Dichos datos serán registrados desde una de las ruedas que transmite la tracción, con una resolución mínima de decímetros para la distancia y con una resolución mínima de segundos para el tiempo. Se recomienda utilizar un odómetro para bicicletas de ruta (por ejemplo la referencia *Cateye Velo 7*, ver figura 6). Este dispositivo será verificado en una longitud patrón en la pista antes de cada prueba que lo requiera.

Aclaración: El odómetro que todos los vehículos **deben** tener, es una herramienta para calcular, con mayor exactitud, la eficiencia de los vehículos, parámetro primordial para la competencia. Sin embargo, este no será el único método que el equipo organizador de la competencia tomará para medir distancia y tiempo.

5.2.1.3. Ecuación de la Eficiencia De tal forma que la eficiencia η , en **km/kWh** será calculada con la siguiente ecuación (Ecuación 1):

$$\eta = \frac{x}{E_c} \quad (1)$$

Dónde x es la distancia recorrida en **km** (tomada del odómetro) y E_c es el consumo energético en **kWh** (suministrado por el vatímetro).

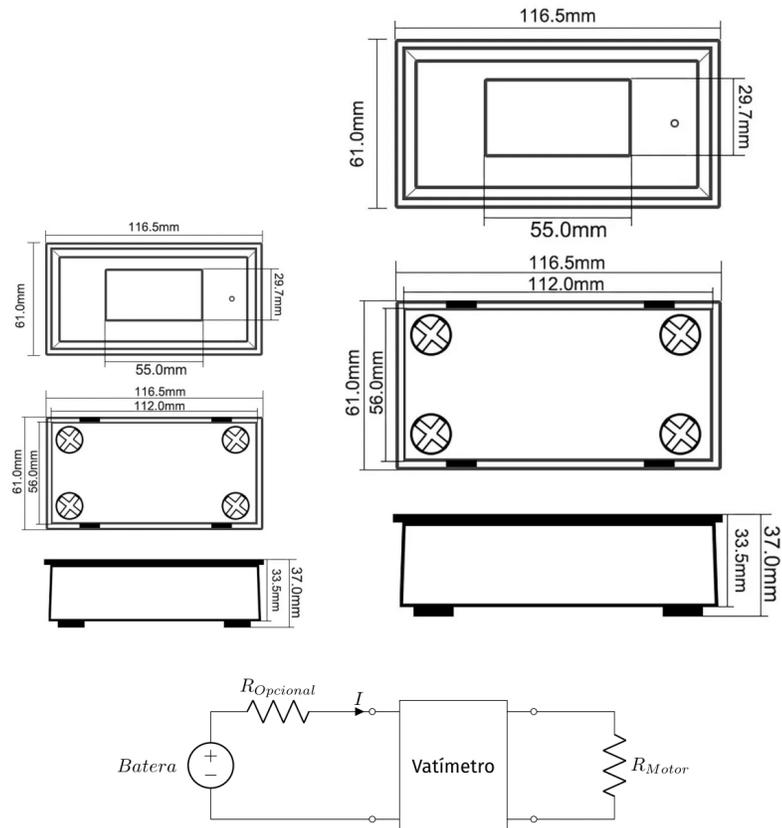


Figura 5: Conexión del vatímetro

5.2.2. Sistema de gestión de baterías o BMS

Preferiblemente, se debe usar un sistema de gestión de baterías **comercial** para el 100 % de las celdas del sistema de baterías, el cual evalúa el estado de la batería y, por lo tanto, controla y protege de algún riesgo de incendio.

Este sistema debe ofrecer balanceo por celda y protección de sobre-voltaje durante la carga. El sistema debe desconectar automáticamente la batería, sin intervención humana, en caso de que se sobrepase un valor límite o se presente una condición de fuera de rango.

La carga de las baterías debe ser realizada por un cargador diseñado específicamente para la batería.



Funciones

- Velocidad actual
- Velocidad máxima
- Velocidad media
- Distancia de viaje
- Distancia total
- Tiempo transcurrido
- Reloj

Figura 6: Odómetro Cateye Velo 7, resolución en x=00.00km y t=00h 00min 00s

Las baterías deben estar encerradas en un recipiente que permita un aislamiento térmico en caso de incendio.

La documentación técnica de la batería y del sistema de gestión de baterías debe estar disponible para la inspección técnica.

Por razones de seguridad, los circuitos positivos y negativos de la batería o los supercapacitores deben estar debidamente separados del chasis del vehículo o cualquier parte metálica.

Todos los circuitos eléctricos deben estar protegidos contra las sobrecargas eléctricas. La protección por sobrecarga debe ser en forma de límites de corrientes manejados por controladores eléctricos o por la inserción de fusibles.

El cableado eléctrico debe estar en buena condición, debidamente marcado, asegurado y no debe estar cerca de ninguna parte en movimiento.

Aclaración: Los equipos pueden utilizar un BMS fabricado por ellos mismos bajo su propia responsabilidad, siempre y cuando adjunten a la sección 5. *Diseño eléctrico/Sistema de gestión de Baterías* del informe final, un reporte de pruebas que evidencien su seguridad.

5.2.3. Dispositivos de almacenamiento de energía

Los vehículos podrán emplear dispositivos de almacenamiento de energía secundarios con el propósito de mejorar el rendimiento de sus vehículos. De llegar a usarse algún dispositivo secundario, se debe asegurar que, al inicio de las competencias, la carga de este elemento esté en estado de descarga. Motores a combustión no son permitidos en la competencia.

5.2.4. Compartimento de energía

Los Compartimientos de energía (batería) deben ser de fácil acceso para una rápida inspección. Todos los objetos en el vehículo deben quedar completamente sujetos; no se permitirá que el desplazamiento sea superior al 10 % de las dimensiones nominales.

Debe existir un sistema de aislamiento que evite que los dispositivos de almacenamiento de energía puedan causar problemas al piloto en caso de incendio o volcamiento.



5.2.5. Gestión de carga por energía renovable

Durante las competencias se permite la gestión de carga por medio de energías renovables.

5.2.6. Sistema de emergencia

El propósito del sistema de emergencia es deshabilitar todo el sistema de propulsión del vehículo.

El mecanismo de emergencia debe proveer una desconexión física del sistema de batería del sistema eléctrico del vehículo. **Debe contar con un fusible principal**, ubicado justo a la salida de la batería en el terminal positivo. La capacidad de este fusible debe ser calculada dependiendo de la corriente utilizada por el sistema. **Debe existir un sistema de desconexión interno y externo de emergencia**. El sistema interno de emergencia será usado por el piloto.

El sistema externo de emergencia deberá ubicarse en la parte trasera del vehículo y para reactivarse deberá utilizar botones de rotación.

Los vehículos deberán contar con un sistema denominado **“dispositivo de seguridad de hombre muerto”**, el cual deberá desactivar toda la propulsión del vehículo en caso de que el piloto se incapacite durante la operación del vehículo.

Aclaración: El sistema de seguridad de hombre muerto debe desconectar el circuito entre la batería y el motor; no obstante, se debe garantizar que, en caso de ser accionado, el registro de potencia no se suspenda.

5.2.7. Diagrama de bloques de suministro de energía

Debe contener información que describa el flujo de energía y la función de cada componente dentro del sistema energético del vehículo. Se deben especificar, como mínimo, los siguientes elementos: Motor, batería, sistema de gestión de baterías, fusibles, cableado, interruptores de parada de emergencia, controladores de motores y sistema de corte de energía del vehículo.

5.2.8. Diagrama del sistema de propulsión

Debe contener un diagrama de bloques, con sus respectivos textos, en donde se describa cómo va la propulsión del motor al vehículo.

5.3. Inspecciones adicionales

Después de pasar una revisión técnica, cualquier modificación debe ser aprobada por los organizadores. Después de cualquier incidente con el vehículo, este debe ser reinspeccionado.

En cualquier momento, los organizadores podrán realizar inspecciones sorpresa a los vehículos.

5.4. Documentación técnica

Los participantes deben proveer información técnica en dos momentos:

- Antes del evento. Se realiza durante el proceso de inscripción del vehículo con el envío del informe final. Este proceso es para reconocer que se han entendido las reglas.



- En el evento. Se debe realizar una descripción técnica del vehículo. Durante la inspección técnica, la documentación se comparará contra el vehículo. Las desviaciones entre la documentación técnica y el vehículo deberán ser reconciliadas antes de pasar la inspección técnica.

5.4.1. Informe final

Se debe realizar un informe técnico del vehículo. El enlace para subir el documento en PDF será publicado en la página oficial de la competencia: <https://dev.vte.net.co/wp/> y **se deberá entregar máximo hasta el 1 de octubre del 2021**. El informe debe contener, como mínimo, la siguiente información:

1. Título
2. Resumen - abstract
3. Tabla de contenido
4. Diseño mecánico
 - Especificaciones de diseño
 - Resultados de simulaciones / cálculos
 - Indicación de puntos de apoyo y acceso a la barra antivuelco
5. Diseño eléctrico
 - Suministro de energía
 - Esquemas eléctricos
 - Baterías / Sistema de gestión de baterías
 - Motor / Controlador de motor
 - Celdas de carga
6. Planos y diagramas
 - Plano con medidas generales del vehículo
 - Diagrama de bloques de suministro de energía
 - Diagrama del sistema de propulsión
7. Evidencias de pruebas realizadas
8. Conclusiones
9. Referencias



6. Pruebas

6.1. Prueba de diseño (máximo 100 puntos)

La competencia tiene como objetivo verificar la aplicabilidad de los principios y prácticas del diseño de ingeniería en el desarrollo de un vehículo eléctrico.

6.1.1. Informe de diseño

- El reporte de diseño debe cumplir, como mínimo, con lo enunciado en el numeral 5.4.1 de Documentación técnica. Este se debe enviar con anterioridad a la competencia, según el calendario definido.
- Un vídeo del vehículo que evidencie el buen funcionamiento de vehículo en condiciones similares a la de la competencia (condiciones de cargas estáticas y dinámicas). Ver numeral 5.4.1.

El informe de diseño será calificado por el comité organizador del evento, de acuerdo con la rúbrica publicada por el mismo.

6.1.2. Presentación

Cada equipo deberá realizar una presentación de 10 minutos al público donde se muestren las características de diseño del vehículo.

Cada juez dará una puntuación entre 0 y 30, de acuerdo con una rúbrica publicada por el comité organizador del evento. La calificación final será el promedio de las calificaciones individuales de los jurados.

6.1.3. Inspección técnica

Los jueces corroborarán la información plasmada en el informe con respecto al vehículo construido.

Cada juez dará una puntuación entre 0 y 30 de acuerdo con una rúbrica publicada por el comité organizador del evento. La calificación final será el promedio de las calificaciones individuales de los jurados.

6.1.4. Puntuación

Cuadro 1: Puntuación.

Pruebas	Máxima puntuación
Informe	40
Presentación	30
Inspección técnica	30

6.2. Pruebas habilitantes

Las pruebas mencionadas a continuación serán un requisito indiscutible para la permanencia en la competencia.



En caso de no superar alguna de las pruebas que a continuación se describen, el equipo tendrá la posibilidad de realizar los cambios pertinentes para presentar la prueba nuevamente el mismo día que esté programada.

A continuación, se describen las pruebas y sus condiciones.

6.2.1. Prueba de abandono del vehículo

El piloto deberá estar posicionado en condición de manejo de carrera; esto incluye: el casco puesto, el cinturón abrochado y la postura correcta dentro del vehículo. Al darse la señal, deberá abandonar el vehículo y correr una distancia de 5 metros (zona designada).

Para esta actividad el equipo contará con un máximo de 20 segundos y tres intentos.

6.2.2. Prueba de frenos

Para esta prueba, cada vehículo tripulado se posicionará en una pendiente de 15°. El vehículo debe permanecer inmóvil, accionando los frenos delanteros y traseros de forma independiente.

6.2.3. Radio de giro

Se verificará que cada uno de los vehículos tenga la capacidad de girar, garantizando un radio de giro de 7m o menos (ver imagen 4).

6.2.4. Prueba de carga

Se verificará la resistencia de la barra antivuelco de cada vehículo de la siguiente forma: se le aplicará una carga de 1500 N de forma vertical, lateral y frontal (ver imagen 3). El vehículo, luego de la prueba, no debe evidenciar deformación aparente.

Aclaración: Dicha prueba **debe realizarse previamente a la competencia por todos los equipos, según la configuración de su sistema de protección antivuelco, y reportar la evidencia y resultados en el informe final**. El informe debe entregarse en las fechas estipuladas en el reglamento de la competencia en el numeral **2.8 Calendario** como prerrequisito para participar en el evento. Es decir, se espera que se sustente, mediante cálculos y/o simulaciones, junto con evidencias experimentales que el sistema antivuelco soporta 1500N aplicados en los tres ejes perpendiculares del vehículo.

En caso de que durante la inspección técnica el jurado considere necesario realizar una prueba de seguridad al vehículo en su sistema antivuelco, el equipo participante deberá **garantizar** el acceso al sistema e **indicar** los puntos de apoyo y de aplicación de la carga. Dichas indicaciones deben quedar consignadas de igual forma en el informe.

6.2.5. Prueba del cinturón de seguridad

El cinturón debe soportar el peso completo del vehículo junto con el peso del piloto más pesado. Para ello, se suspenderá todo el vehículo sujetado únicamente del cinturón.

El cinturón debe estar certificado por alguna institución que garantice la seguridad del mismo.



6.2.6. Prueba de volcamiento

La prueba se realizará con un piloto sentado en el vehículo con el cinturón puesto, las manos sobre el manubrio y los pies en los pedales. Los otros integrantes del equipo girarán el vehículo de forma lenta (simulando un volcamiento lateral). El piloto no puede tener contacto con el suelo y el vehículo debe mantenerse íntegro. Adicionalmente, el vehículo debe garantizar el triángulo de vida en todo momento de la prueba.

6.2.7. Prueba de visibilidad

En esta prueba, los jurados verificarán que el piloto tenga la visibilidad definida previamente en la sección 5.1.9 del presente reglamento.

6.2.8. Inspección eléctrica

Para esta prueba, se verificará el correcto funcionamiento de la parada de emergencia, hombre muerto, y el suministro de energía eléctrica al motor con el accionamiento de los frenos (en caso de tener freno regenerativo esto no aplicaría). La batería debe estar cubierta (protegida contra lluvia) y debe contar con un BMS (protección a cortocircuito-sobrecorriente, balanceo de celdas y control de carga).

6.2.9. Verificación de dimensiones

Se verificará que el vehículo cumpla con las dimensiones especificadas en las reglas técnicas.

6.3. Pruebas dinámicas o con puntuación

6.3.1. Prueba de agilidad (máximo 100 puntos)

6.3.1.1. Descripción: Cada uno de los equipos se posicionará al inicio del recorrido; desde allí, se dará la partida y deberá completar el recorrido en el menor tiempo posible sin tocar los conos. En ningún momento el piloto se podrá bajar del vehículo. Cada equipo podrá realizar 2 intentos con pilotos diferentes y se tendrá en cuenta el menor tiempo.

6.3.1.2. Puntuación El equipo más rápido será el ganador, obteniendo 100 puntos. El puntaje se irá restando de a 10 puntos según la tabla de posiciones. Esta prueba será penalizada en caso de superar la potencia límite promedio de 550W (ecuación 3 numeral 7.5).

6.3.1.3. Circuito: El circuito se ilustra en la imagen 7.

6.3.2. Prueba de aceleración (máximo 100 puntos)

6.3.2.1. Descripción Inicialmente, se realiza una prueba individual clasificatoria. En esta, se mide el tiempo para clasificar a los equipos en una lista desde la mejor relación hasta la peor.

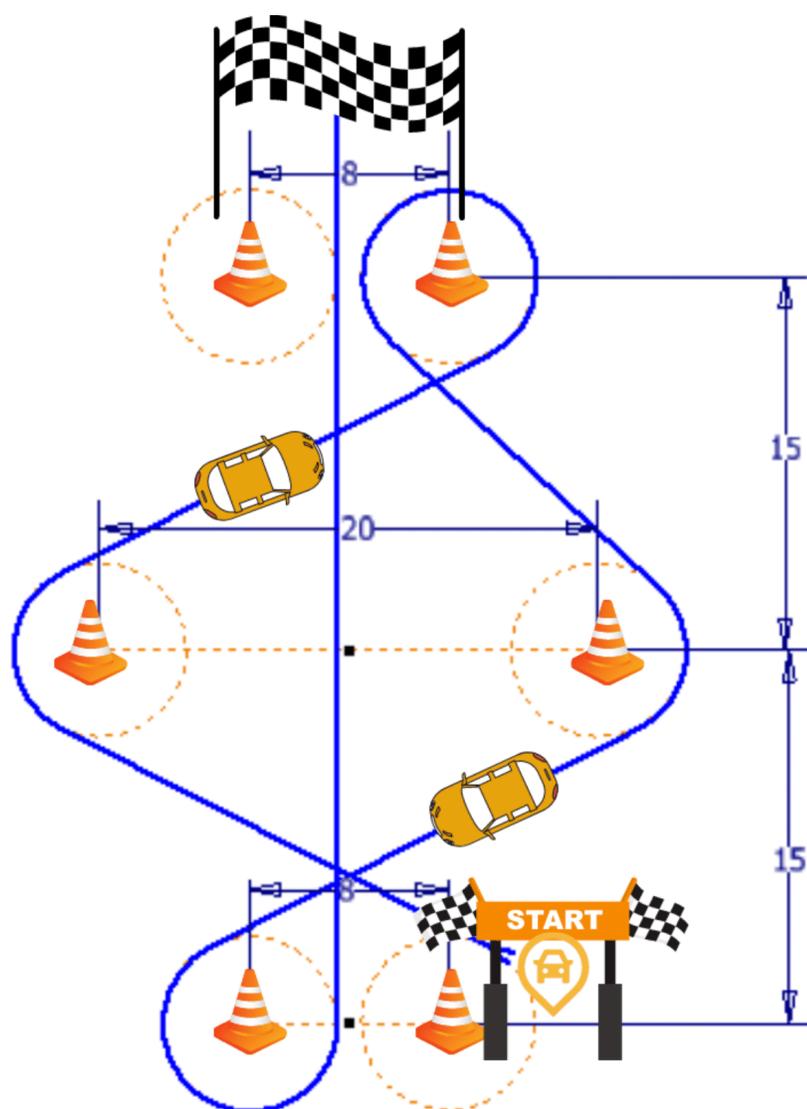


Figura 7: Circuito de la prueba de agilidad. Medidas en metros



Posteriormente, se procederá a una competencia por llaves de eliminación directa (uno contra uno; solo teniendo en cuenta quién pasa primero por la línea de meta) según la clasificación anterior (el primero con el último, el segundo con el penúltimo y así sucesivamente).

En caso de que, en alguna ronda, el número total de equipos en competencia sea impar, el primer vehículo no compete y se clasifica directamente a la siguiente ronda.

La prueba se realizará en una pista de asfalto recta, con una longitud de 100 m y una distancia de frenado de 60 m. Dicha pista es lisa y nivelada (menos de 1 % de pendiente a través del circuito completo), pavimentada, con una anchura adecuada y libre de obstáculos.

6.3.2.2. Reunión de pilotos Todos los pilotos que participen en el evento de aceleración deberán asistir a la reunión obligatoria de pilotos, aproximadamente 20 minutos antes de la salida programada de la carrera. La reunión deberá aclarar procedimientos operativos y señalizaciones, así como identificar las características del circuito, los peligros y los puntos de referencia.

6.3.2.3. Pérdida de la prueba de aceleración Los vehículos deben estar alineados y listos para iniciar en su turno. Si un vehículo no está listo para iniciar en su turno, perderá la carrera. Si un vehículo es incapaz de iniciar dentro de los 20 segundos siguientes a la señal de salida, este perderá la prueba. No es posible hacer cambios en el vehículo entre la prueba individual clasificatoria y las llaves de eliminación directa, o entre las de llaves de eliminación directa.

6.3.2.4. Interrupción y término El evento de la prueba de aceleración se correrá normalmente de forma continua. No obstante, circunstancias tales como fallas del equipamiento, una emergencia o condiciones climáticas y de viento peligrosas podrán requerir un retraso. Los retrasos serán determinados por el juez principal, con ayuda del equipo de jueces y el director de la competencia.

6.3.2.5. Puntuación El primer puesto de la prueba obtiene 100 puntos y se restará 10 puntos por cada posición. Esta prueba será penalizada en caso de superar la potencia límite promedio de 550W (ecuación 3 numeral 7.5)

6.3.3. Grand prix (máximo 500 puntos)

6.3.3.1. Descripción Es la prueba más importante de la competencia y por ende, la de mayor puntuación. El objetivo de la prueba es demostrar la funcionalidad y autonomía eléctrica de los vehículos. Por ello, esta consiste en recorrer, durante 1 hora, un circuito de lazo cerrado de 2.3 km, dentro del campus de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. El circuito tiene resaltos, reductores de velocidad y hendiduras. Durante dicho tiempo, la batería no podrá ser recargada o cambiada.

Para la clasificación, cada vehículo recorrerá una vuelta en el circuito, antes de comenzar la prueba. Se registrarán los tiempos de dicho recorrido y se clasificarán de menor a mayor.

Para la salida, todos los vehículos se posicionarán a 2 metros de distancia entre ellos por orden de clasificación, así como la *pole position* de la Fórmula 1.

6.3.3.2. Circuito El circuito de la Grand Prix se desarrollará en parte del anillo vial de la Universidad Nacional Sede Bogotá, cerca a la facultad de ingeniería. En el, existen tramos de asfalto y tramos de adoquín, además de algunos reductores de velocidad. La figura 8 muestra el recorrido resaltado en azul.



Figura 8: Circuito de la Grand Prix. Puede seguir el recorrido en StreetView de Google Maps.

6.3.3.3. Reunión de pilotos Todos los pilotos que participarán en el evento deberán asistir a la reunión obligatoria de pilotos para dicho evento.

Las reuniones de pilotos tendrán lugar aproximadamente 45 minutos antes de la salida programada de la carrera. La reunión aclarará procedimientos operativos y señales, e identificará las características, los obstáculos o peligros y los puntos de referencia.

6.3.3.4. Práctica del circuito El camino del circuito será abierto por el juez principal para practicar y permanecerá abierto según su criterio.

Todos los vehículos participantes en el circuito deberán operar de manera segura y con extrema precaución, particularmente, al momento de entrar a la zona de talleres o a cualquier otra área congestionada por participantes, oficiales o espectadores.

Cualquier vehículo que requiera asistencia mecánica al momento de la salida deberá renunciar a su posición de salida y salir, de manera segura, a un lado del circuito. Este podrá reincorporarse al evento en la parte trasera del campo de los competidores cuando esté listo. Las labores de reparación que interfieren con la seguridad y el inicio ordenado de un evento pueden resultar en una penalización contra el equipo responsable.

6.3.3.5. Precaución Los pilotos deberán tener precaución durante el inicio de la Grand Prix, para evitar accidentes.

6.3.3.6. Equipo de talleres Debido a limitaciones de espacio, no estarán permitidos más de diez miembros del equipo (excluyendo pilotos). Los miembros del equipo no deberán estar en el área de taller de otro equipo sin su permiso.

6.3.3.7. Área de talleres Antes de la reunión de pilotos, a los equipos se les asignará su área de taller según la clasificación general obtenida hasta el día anterior. Todo el equipamiento deberá estar colocado



en el área de taller seleccionada antes de la reunión de pilotos. Durante la carrera, todo el trabajo en el área de taller deberá tomar lugar en el patio seleccionado y no en la línea.

6.3.3.8. Derecho de vía en el área de talleres Los vehículos que entran al área de talleres desde el circuito tendrán el derecho de área sobre aquellos que regresan de talleres al circuito. La entrada se avisará con la bandera de avería mecánica (negro con punto rojo). Interferir con un vehículo competidor en cualquier manera resultará en la asignación de penalización al equipo responsable.

6.3.3.9. Medición de tiempo y distancia recorrida El tiempo y la distancia recorrida serán medidos mediante el odómetro de cada equipo (numeral 5.2.1.2).

Es mandatorio que el vehículo se detenga completamente al culminar la hora de la prueba y espere en el lugar que terminó para registrar el consumo de potencia. Se penalizará con falta tipo **Tiempo Grand Prix** (numeral 7.6) al equipo que se evidencie en movimiento luego de culminada la prueba.

6.3.3.10. Registro de potencia consumida A cada equipo se le entregará el día de la prueba un vatímetro que medirá la potencia consumida y que será conectado como se indicó en el numeral **5.2.1.1** diseño eléctrico del presente documento.

Durante toda la prueba, el vatímetro deberá permanecer conectado a la batería y al motor. Justo al finalizar la prueba, este será retirado por los oficiales de la competencia y llevado directamente a la mesa de los jueces para extraer los datos del dispositivo. El dispositivo no deberá ser manipulado por personas no autorizadas por el equipo organizador.

Cualquier incumplimiento de lo anteriormente mencionado, será causal de penalización tipo 3 para el equipo (numeral 7.3).

Debido a la naturaleza de la competencia, también será penalizado el consumo excesivo de potencia, de acuerdo con lo mencionado en el numeral 7.5.

6.3.3.11. Área de jueces El conteo de vueltas y el área de jueces se ubicará en posición adyacente al área de inicio/meta y estará fuera de los límites de todo, excepto los oficiales de competencia y los contadores de vuelta asistentes.

6.3.3.12. Vehículos inhabilitados La prioridad, en caso de ocurrir un accidente, es la seguridad de los pilotos. Una vez que se ha determinado que el piloto no está herido, los vehículos inhabilitados deberán ser removidos de la pista tan rápido como sea posible. En caso de lesión, ninguna persona deberá tomar cualquier acción que pueda incrementar el riesgo asociado a la lesión. En caso de lesión, solo los paramédicos que estén en el sitio, trabajadores de ambulancia o profesionales con licencia médica podrán atender al herido.

Los vehículos inhabilitados deben ser removidos del circuito en la salida segura más cercana; los pilotos no pueden mover los vehículos inhabilitados a través del curso a otro lugar que no sea el punto de salida. Los vehículos inhabilitados pueden ser regresados al área de taller por el piloto y/o miembros del equipo removiendo el vehículo de manera segura del circuito y rodarlo o cargarlo al área de talleres.

Los trabajadores del circuito deberán asistir la remoción del vehículo del circuito. Sin embargo, la responsabilidad primera corresponde al equipo respectivo. Si no hay un bloqueo de emergencia en el circuito para un vehículo inhabilitado resultará en la asignación de una penalización.

El tráfico será controlado en el área de un vehículo inhabilitado por un oficial de circuito o por otros oficiales de la competencia, quienes se encargarán de supervisar la limpieza del circuito y señalarán la reanudación de la competencia.

Los vehículos inhabilitados que hayan sido removidos del circuito y reparados deberán reingresar al circuito en el punto de extracción o en algún punto que haya pasado entre ese punto y la línea de salida en esa misma vuelta. En otras palabras, ningún vehículo podrá avanzar su posición en el circuito como resultado de una invalidez. Los vehículos que reingresan deben ceder el derecho de paso a los vehículos en el circuito.



6.3.3.13. Interrupciones El evento se llevará a cabo de forma continua; salvo: obstrucciones en el circuito, una emergencia, clima riesgoso u otras condiciones pueden requerir un retraso o la terminación prematura del evento. La necesidad de una extensión de cualquier tipo, tal y como el retardo o la terminación, será evaluada por el equipo de jueces con el juez principal, haciendo la determinación final. Si el evento es interrumpido y es necesario reiniciar, el orden de reinicio puede recrearse tan cercano como sea posible al orden de los vehículos al momento de la interrupción.

6.3.3.14. Terminación (Grand Prix) El evento deberá correrse por 1 hora. En ese tiempo, todos los vehículos que sigan en la competencia tendrán permitido finalizar la vuelta en la que se encuentren. Cuando el reloj oficial de la carrera marque 50 minutos, la bandera blanca (la misma de inicio de carrera) se colocará en un área visible y prominente, cerca del área de jueces, esta se mantendrá ahí hasta que el tiempo de la carrera sea de una (1) hora. Para ese tiempo, la bandera blanca será reemplazada con la bandera a cuadros blanco y negro.

6.3.3.15. Puntuación El vehículo con **mejor eficiencia obtendrá 350 puntos** y consecutivamente se restará 30 puntos a los demás vehículos, según la eficiencia obtenida de mayor a menor; a partir del puesto 13 no habrá puntuación.

El vehículo que recorra **más distancia obtendrá 150 puntos** y se restarán 10 puntos por orden de llegada a los demás equipos. Es decir, al segundo puesto se le otorgarán 140, al tercero, 130 y así consecutivamente. Los equipos que culminen la competencia desde la posición 16 en adelante no recibirán puntos.



6.3.3.16. Señales Las banderas serán utilizadas por oficiales de competencia, como se muestra a continuación:

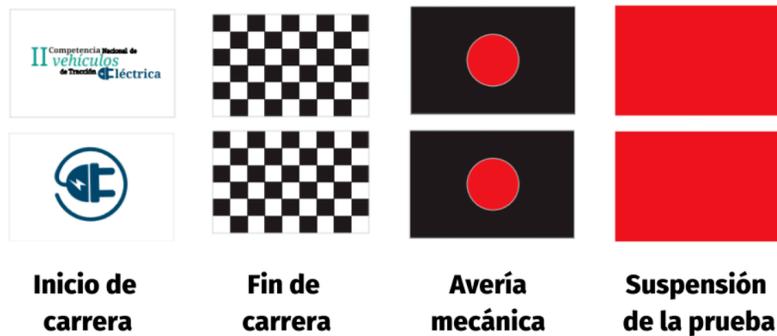


Figura 9: Banderas utilizadas en la competencia.

Adicionalmente, el circuito tendrá la siguiente señalización sobre la pista:



Figura 10: Señalización sobre la pista de la competencia.

6.4. Bonificaciones (máximo 200 puntos)

6.4.1. Puntuación

El equipo que obtenga la mejor calificación en cada categoría de bonificación se llevará 25 puntos; el resto no obtendrá puntos. En caso de empate en el primer lugar, cada equipo recibirá los 25 puntos.

6.4.2. El vehículo más ergonómico

6.4.2.1. Descripción Un experto en ergonomía se basará en una rúbrica para calificar a todos los equipos. Dicha rúbrica será del conocimiento de todos los equipos.

6.4.2.2. Puntuación El equipo que obtenga la mejor calificación se llevará 50 puntos; el resto no obtendrá puntos. En caso de empate en el primer lugar, cada equipo recibirá los 50 puntos.



6.4.3. El vehículo con diseño más estético

6.4.3.1. Descripción A través de las redes sociales de la competencia, las personas podrán votar por el equipo que más les guste. Esta votación se realizará desde el primer día de la competencia, hasta el último, antes del Grand Prix.

6.4.3.2. Puntuación El equipo con más *me gusta* obtendrá 50 puntos; El resto no obtendrá puntos. En caso de empate en el primer lugar, cada equipo recibirá los 50 puntos.

6.4.4. Vehículo más liviano

6.4.4.1. Descripción Se medirá la masa del vehículo sin conductor.

6.4.4.2. Puntuación El equipo con el vehículo más liviano obtendrá 50 puntos y el vehículo más pesado obtendrá 0 puntos. El puntaje del resto de los vehículos se calculará de la siguiente manera (ecuación 2):

$$Puntos = \frac{M_p - M_v}{M_p - M_l} \cdot 50 \quad (2)$$

Donde:

- M_p : Masa del vehículo más pesado.
- M_v : Masa del vehículo a puntuar.
- M_l : Masa del vehículo más liviano.

El resultado se redondeará por debajo para evitar puntajes no enteros.

6.4.5. Controlador y batería propios

6.4.5.1. Descripción En este bono, se premiará a todo equipo que demuestre que la batería fue diseñada y armada por los estudiantes. Se entiende que las celdas se pueden comprar, al igual que el BMS. También se premiará a los que diseñan y fabrican el controlador general del vehículo, que debe incluir el control del motor.

6.4.5.2. Puntuación Si se fabrica solo la batería, el equipo obtendrá 25 puntos; si se fabrica solo el controlador, se recibirá 25 puntos; si se fabrican ambos, serán 50 puntos en total. En caso contrario, los equipos no obtendrán puntos.



6.5. Resumen de la puntuación

Cuadro 2: Resumen de la puntuación.

Prueba	Puntos
Grand prix	500
Prueba de aceleración	100
Prueba de agilidad	100
Presentación e informe	100
El vehículo con diseño más ergonómico	50
El vehículo con el diseño más estético	50
Vehículo más liviano	50
Controlador y Batería propios	50
Total	1000



7. Penalizaciones

Las penalizaciones son valores que se le descuentan al puntaje global del equipo que incurra en faltas. Los motivos pueden ser de carácter convivencial o técnico. Su valor numérico está definido según el tipo de falta cometida, así:

7.1. Falta tipo 1 (0 puntos)

Se considera una falta tipo 1 cuando uno o varios integrantes de un equipo hacen uso de un lenguaje ofensivo contra otros participantes u organizadores del evento.

7.2. Falta tipo 2 (-20 puntos)

Se considera una falta tipo 2 cuando uno o varios integrantes de un equipo cometen acciones mal intencionadas contra otros equipos (por ejemplo: manipulación no autorizada de herramientas o vehículos ajenos), o cuando existe reincidencia de la falta tipo 1.

7.3. Falta tipo 3 (Puntuación mínima en la mejor prueba)

Se considera una falta tipo 3 cuando uno o varios integrantes de un equipo cometen acciones que ponen en riesgo la integridad de cualquier participante del evento; cuando existe un intento de fraude; cuando se manipula el vatímetro o el odómetro, y cuando hay reincidencia de la falta tipo 2.

Aclaración: Al equipo penalizado con este tipo de falta se le restará la puntuación de la prueba en la que tuvo mejor desempeño y se le asignará la puntuación más baja de la misma.

7.4. Falta tipo 4 (Descalificación)

Se considera una falta tipo 4 cuando uno o varios integrantes de un equipo hacen uso de sustancias psicoactivas durante el evento; cuando un equipo ocasiona un choque intencionado, o cuando el jurado lo crea justo.

7.5. Consumo excesivo de potencia (Ecuación P_p)

Se restará del puntaje global al equipo que supere los 550W de potencia nominal promedio en las pruebas dinámicas según la siguiente ecuación:

$$P_p = -\frac{7}{5}\overline{W} + 770 \quad (3)$$

Donde \overline{W} es la potencia nominal promedio en kW, calculada mediante la siguiente ecuación (ecuación 4):

$$\overline{W} = \frac{E_c}{t} \quad (4)$$

Donde E_c es la energía consumida en kWh (medida con el vatímetro) y t es el tiempo del recorrido en horas (medido con el odómetro).



Aclaración: El objetivo de la competencia es obtener altas eficiencias energéticas con una potencia nominal promedio (\overline{W}) de máximo **500W**. Teniendo en cuenta posibles sobrepicos de consumo energético durante el recorrido por pendientes, resaltes, arranque, etc, se penalizará el consumo energético cuando este supere los $\overline{W}_p=550W$.

7.6. Tiempo Grand Prix (Ecuación P_T)

Se restará del puntaje global al equipo que registre en su odómetro más de los 60min permitidos en la Grand Prix. Se dará un intervalo de tiempo adicional de 20s para que cada vehículo se detenga completamente. Una vez superados los 20s y si el vehículo sigue en movimiento, se penalizará con la siguiente ecuación:

$$P_T = - 25t \quad (5)$$

Donde t es el tiempo adicional registrado en segundos (medido con el odómetro).

7.7. Resumen de penalizaciones

Falta	Penalización
Tipo 1	-0
Tipo 2	-20
Tipo 3	Puntuación mínima en mejor prueba
Tipo 4	Descalificación
Consumo excesivo de potencia	$P_p = -\frac{7}{5}\overline{W} + 770$
Tiempo Grand Prix	$P_T = - 25t$



8. Premiación

8.1. Anuncio de resultados

Los jueces publicarán los resultados de cada prueba tan pronto como sea posible después de finalizar cada evento y de validar los datos recogidos.

8.2. Premios de la competencia

Los tres primeros lugares serán premiados.



9. Aclaración y modificación a las reglas

Estas reglas podrán ser modificadas por los jueces de la competencia, a fin de mantener la competencia como una experiencia retadora y gratificante para estudiantes de ingeniería.

No deberán hacerse cambios a cualquier parte sin el consentimiento escrito del juez principal. Las preguntas o recomendaciones para cambios deberán hacerse al juez principal.



10. Definiciones

Para el siguiente reglamento, se suministran las definiciones bajo las cuales se debe interpretar la normativa aquí descrita.

Vehículo de Tracción Eléctrica - VTE

Cualquier vehículo cuya fuerza motriz sea impulsada única y exclusivamente por energía eléctrica.

Cabina / Cockpit

El espacio donde reside el piloto, este espacio debe proveer la suficiente libertad como para que el piloto salga del vehículo por sus propios medios. Se debe garantizar que no existen elementos peligrosos para el piloto en dicho espacio.

Sistema de protección de volcamiento / RPS (Rollover Protection System)

El sistema de protección de volcamiento debe impedir que, en caso de volcamiento lateral o total, cualquier parte del cuerpo del piloto toque el suelo, de igual manera debe extenderse sobre el casco del piloto y generar un espacio de seguridad entre el piloto y cualquier elemento potencialmente riesgoso como el asfalto.

Jaula de seguridad

Es un marco construido para proteger al piloto en caso de volcamiento. Es un tipo de sistema de protección de volcamiento.

Chasis

Armazón que sostiene los elementos de un vehículo (piloto, carrocería, sistema de protección de volcamiento, motor, etc).

Monocasco

Cierto tipo de chasis o armazón de vehículos construidos de una sola pieza. Se caracteriza porque a diferencia de un armazón convencional, los elementos portantes son las pieles, láminas o carrocería del vehículo. Los chasis tipo monocasco, suelen tener integrado el sistema de protección de volcamiento a la estructura



Chasis tipo fórmula

Cierto tipo de chasis donde la estructura posee una cabina abierta y sus ruedas expuestas. Se diferencian de los chasis tradicionales debido a que su sistema de protección de volcamiento se compone de 2 estructuras, y el piloto se ubica entre ellas.

Zona de taller

Es un sitio exclusivo para cada equipo, entregado al inicio del evento en el cual se cuenta con una conexión a 110 V, 10 A; el cual podrá ser utilizado para hacer las modificaciones o reparaciones y la carga de las baterías.

Celda

Un dispositivo que convierte la energía química en energía eléctrica pasando una corriente entre un cátodo y un ánodo, a través de un medio conductor electrolítico. Es la mínima unidad de una batería.

Módulo

Son una o múltiples celdas conectadas en serie o en paralelo, encapsuladas en una estructura mecánica.

Sistema de gestión de baterías – Battery Management System (BMS)

Es un sistema electrónico que permite controlar el balanceo de celda y control de carga, además de proteger la batería, contra elevación de la temperatura de funcionamiento, cortocircuito, sobrecorrientes y sobrevoltajes.

Batería – Battery Pack

Es un módulo que incluye un sistema de gestión de baterías encapsulado. Es aquella que puede estar cargada al 100 % al inicio de cada prueba, cumpliendo los requerimientos del reglamento. Un sistema de almacenamiento de energía basado en condensadores no se considera como una batería sino como un dispositivo de almacenamiento secundario.

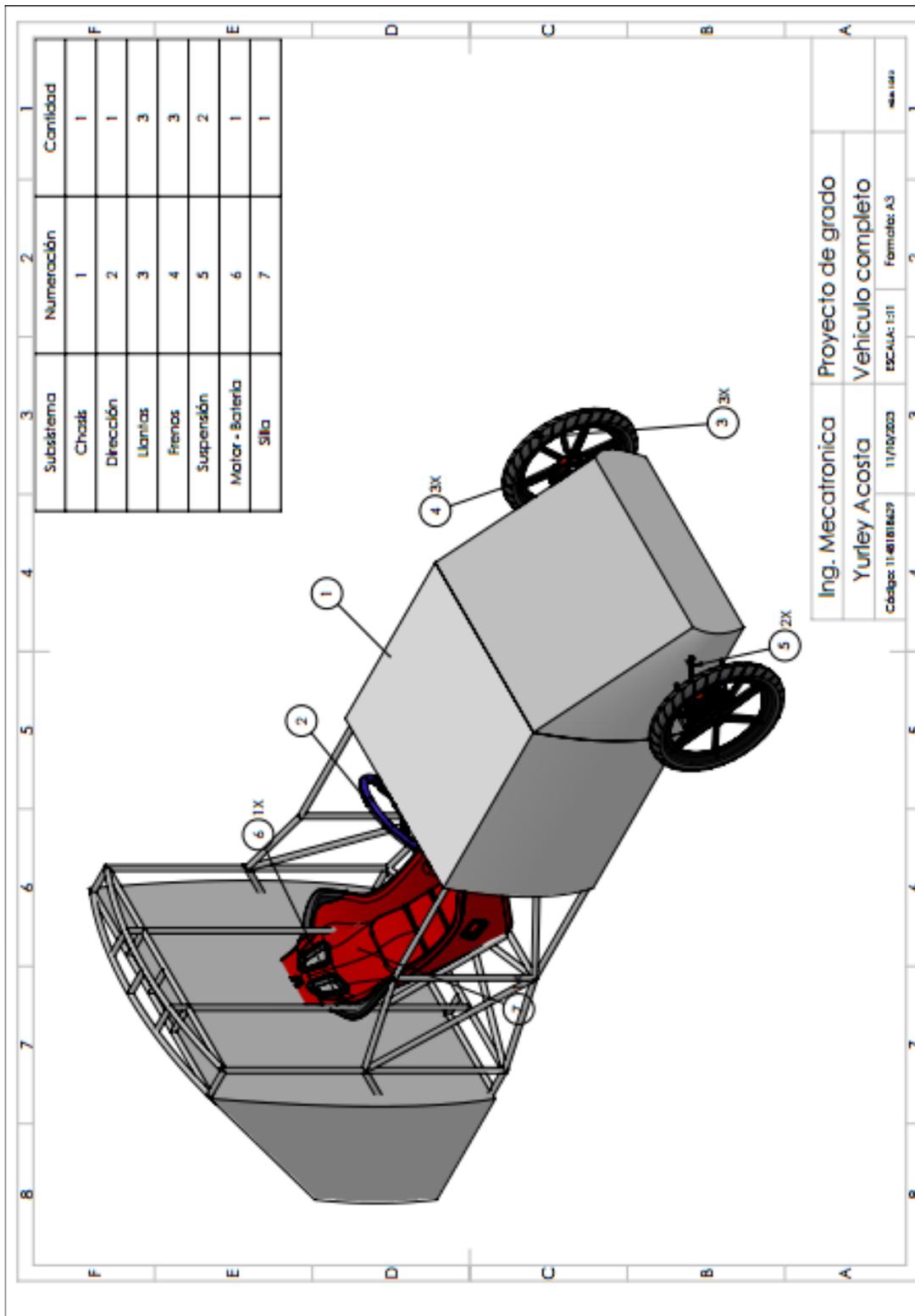
Dispositivo de almacenamiento secundario

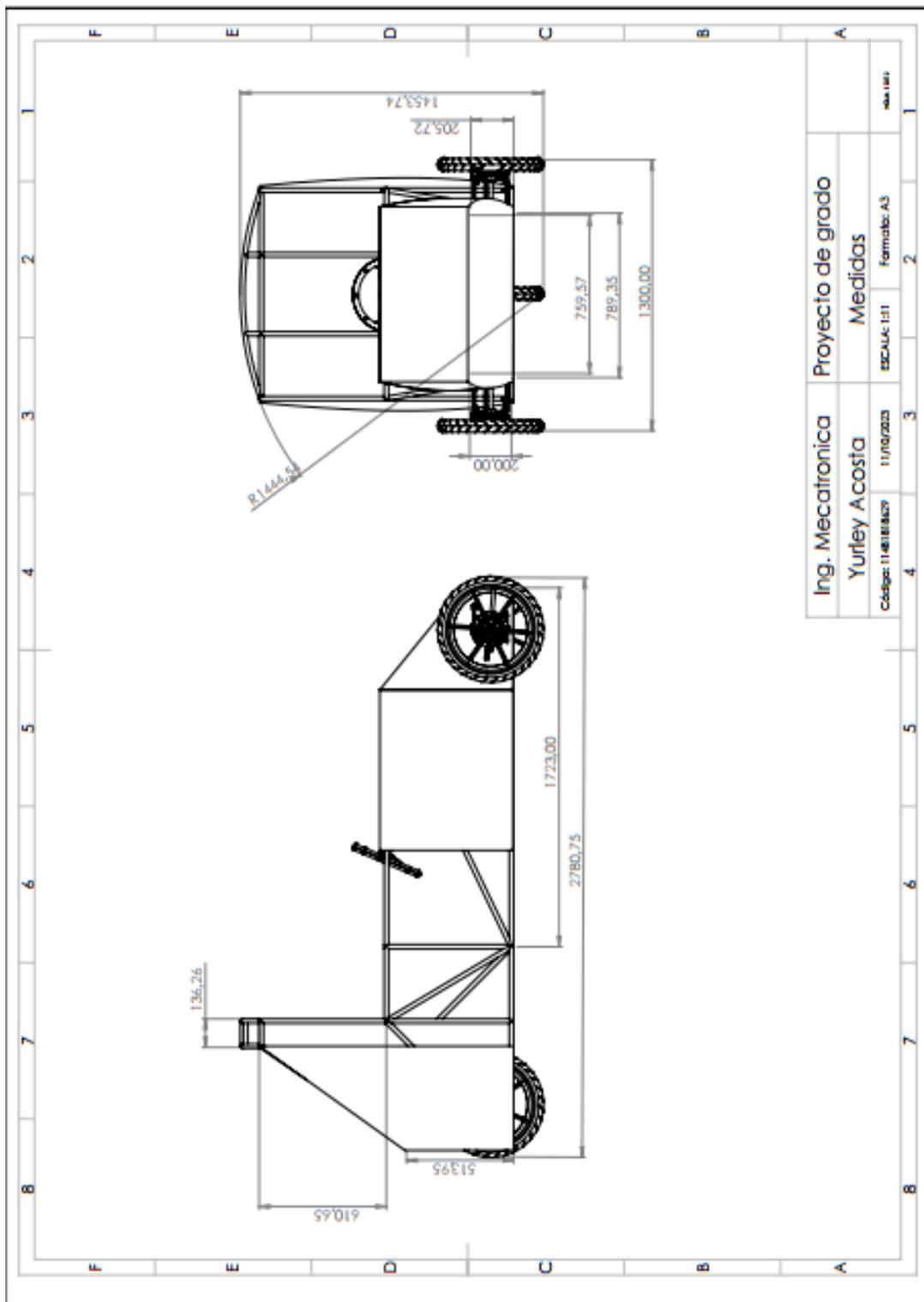
Es aquel que para el inicio de cada prueba, debe estar completamente descargado y sólo se podrá cargar con la energía recuperada durante el recorrido de éstas.

Vatímetro

Es un instrumento para medir la potencia eléctrica promedio consumida durante un recorrido. La unidad de medida de la potencia es el watt (W).

- Anexo S: Plano final del vehículo eléctrico

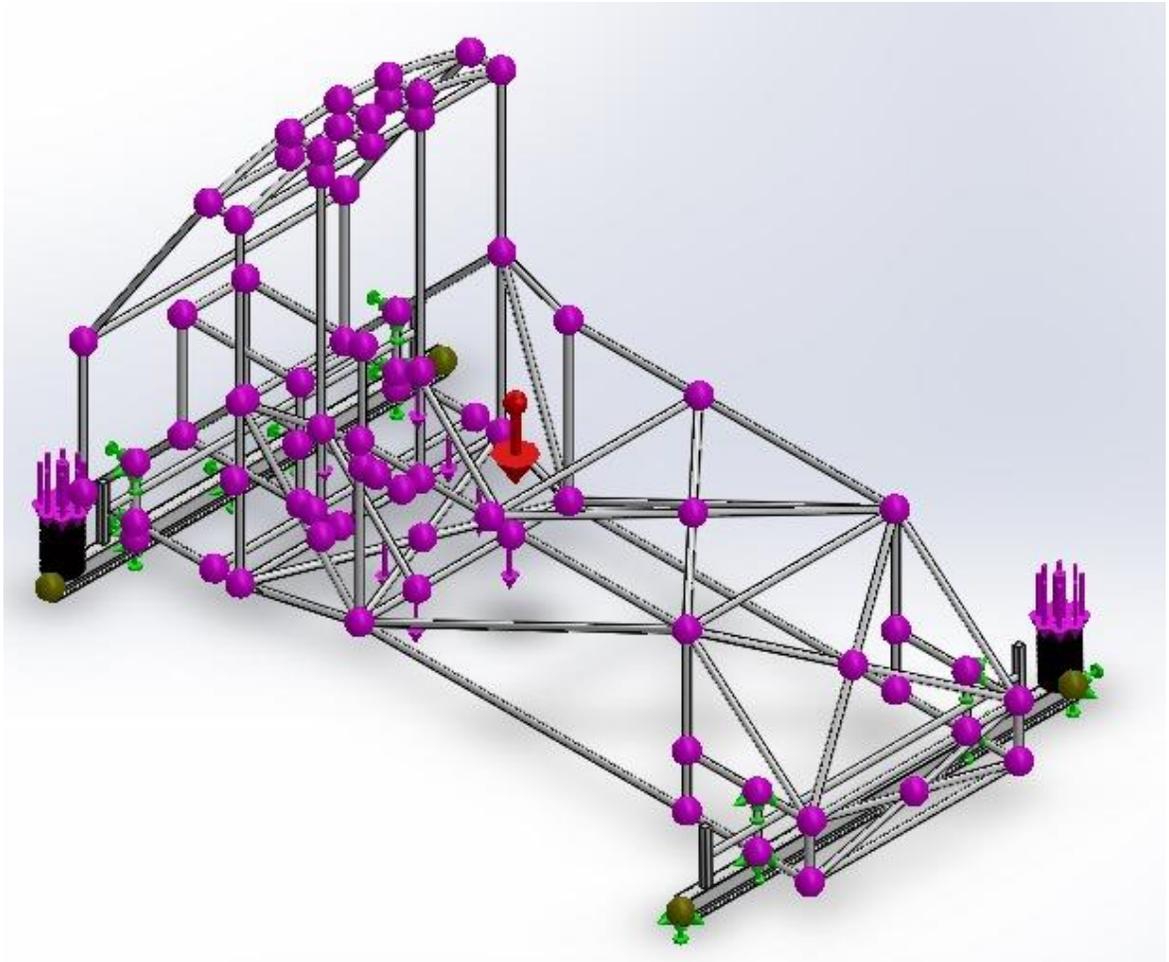




Ing. Mecatronica	Proyecto de grado
Yurley Acosta	Medidas
Código: 1141181629	ESCALA: 1:1
11/10/2023	Formato: A3
	max: 1641

- **Anexo T: Rigidez torsional**

A continuación, se muestra las direcciones y restricciones de las fuerzas también se verá el cómo fueron asumidas las mismas en la sección del documento 6.3.1.

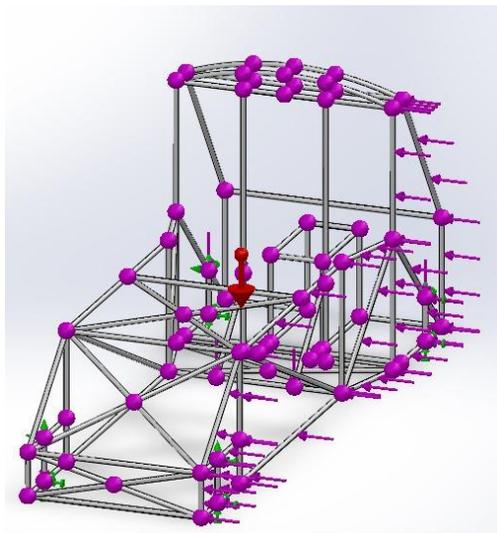
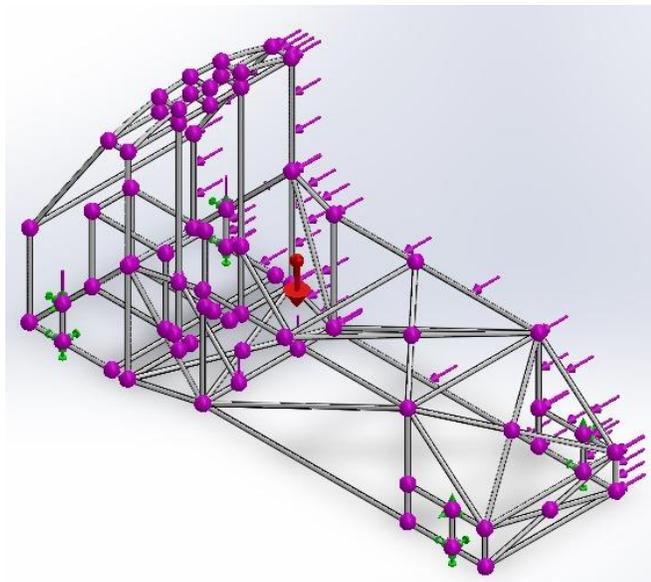


Para este caso, las restricciones se encuentran en los nodos de los neumáticos, debido a que estos van a estar estáticos, las flechas ya indican la dirección de cada fuerza y en el eje donde están actuando, el punto rojo con la flecha hacia abajo, está indicando la fuerza de gravedad. La carga distribuida se identifica como flechas sobre todo el material, mientras

las cargas puntuales, son aquellas que se encuentran sobre o en la posición de uno o varios nodos distintos.

- **Anexo U: Rigidez longitudinal**

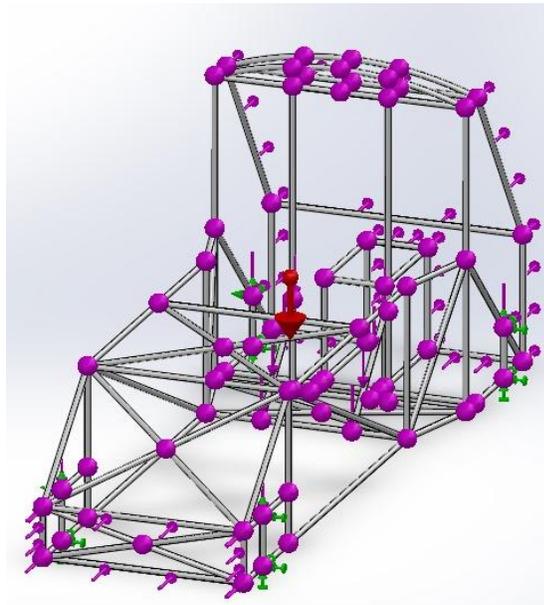
A continuación, se muestra las direcciones y restricciones de las fuerzas también se verá el cómo fueron asumidas las mismas en la sección del documento 6.3.2.

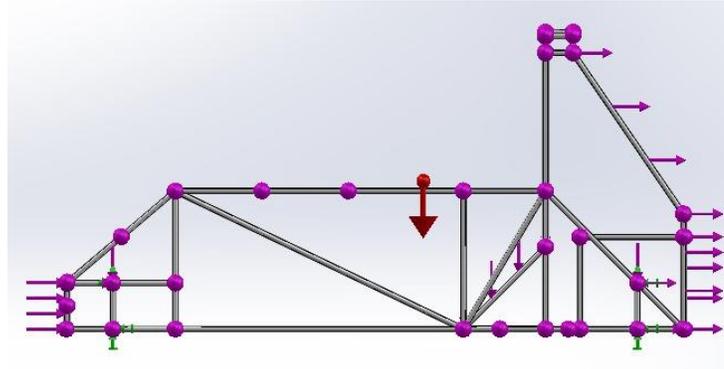


Para este caso, las restricciones se encuentran en los nodos de los neumáticos, debido a que estos van a estar estáticos, las flechas ya indican la dirección de cada fuerza y en el eje donde están actuando, el punto rojo con la flecha hacia abajo, está indicando la fuerza de gravedad. La carga distribuida se identifica como flechas sobre todo el material, mientras las cargas puntuales, son aquellas que se encuentran sobre o en la posición de uno o varios nodos distintos.

- **Anexo V: Análisis de frenado**

A continuación, se muestra las direcciones y restricciones de las fuerzas también se verá el cómo fueron asumidas las mismas en la sección del documento 6.3.3.

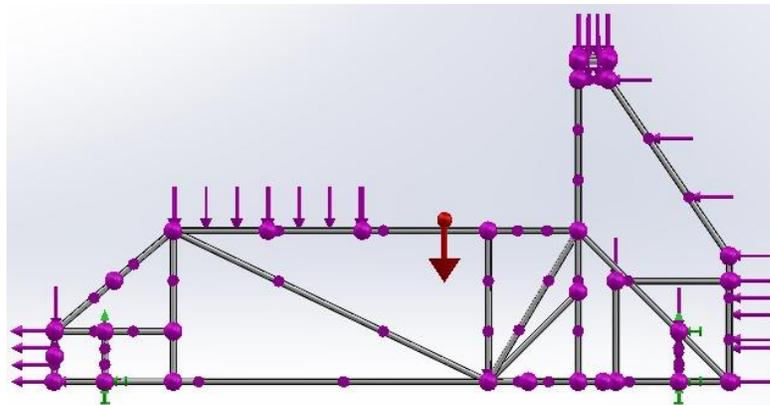
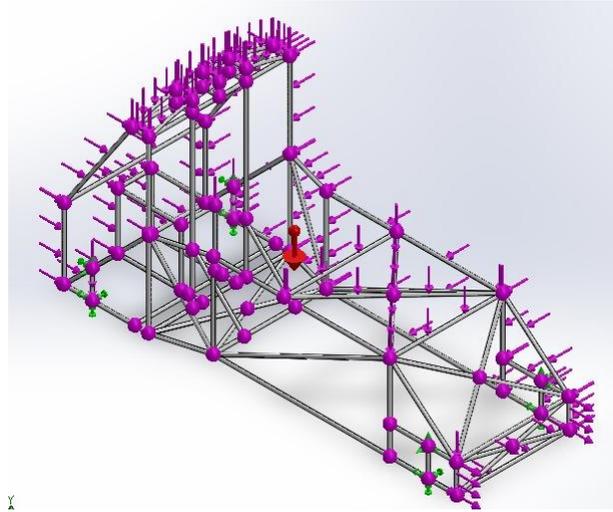




Para este caso, las restricciones se encuentran en los nodos de los neumáticos, debido a que estos van a estar estáticos, las flechas ya indican la dirección de cada fuerza y en el eje donde están actuando, el punto rojo con la flecha hacia abajo, está indicando la fuerza de gravedad. La carga distribuida se identifica como flechas sobre todo el material, mientras las cargas puntuales, son aquellas que se encuentran sobre o en la posición de uno o varios nodos distintos.

- **Anexo W: Análisis de vuelco**

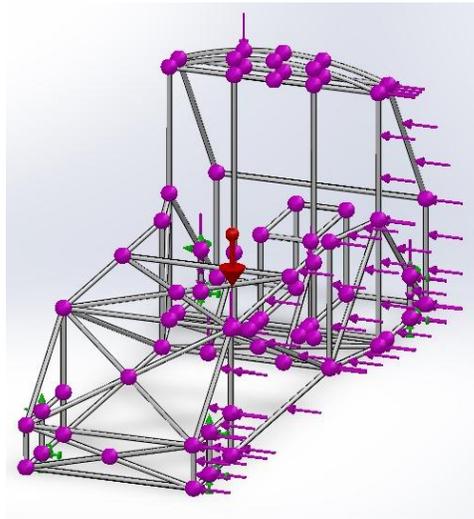
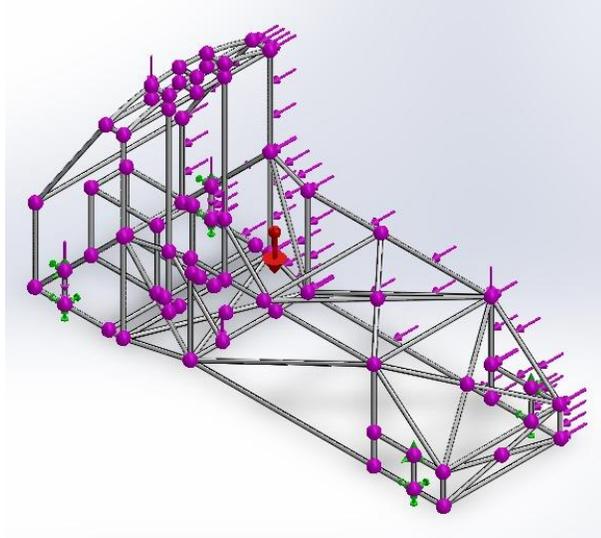
A continuación, se muestra las direcciones y restricciones de las fuerzas también se verá el cómo fueron asumidas las mismas en la sección del documento 6.3.4.



Para este caso, las restricciones se encuentran en los nodos de los neumáticos, debido a que estos van a estar estáticos, las flechas ya indican la dirección de cada fuerza y en el eje donde están actuando, el punto rojo con la flecha hacia abajo, está indicando la fuerza de gravedad. La carga distribuida se identifica como flechas sobre todo el material, mientras las cargas puntuales, son aquellas que se encuentran sobre o en la posición de uno o varios nodos distintos.

- **Anexo X: Análisis de impacto lateral**

A continuación, se muestra las direcciones y restricciones de las fuerzas también se verá el cómo fueron asumidas las mismas en la sección del documento 6.3.5.



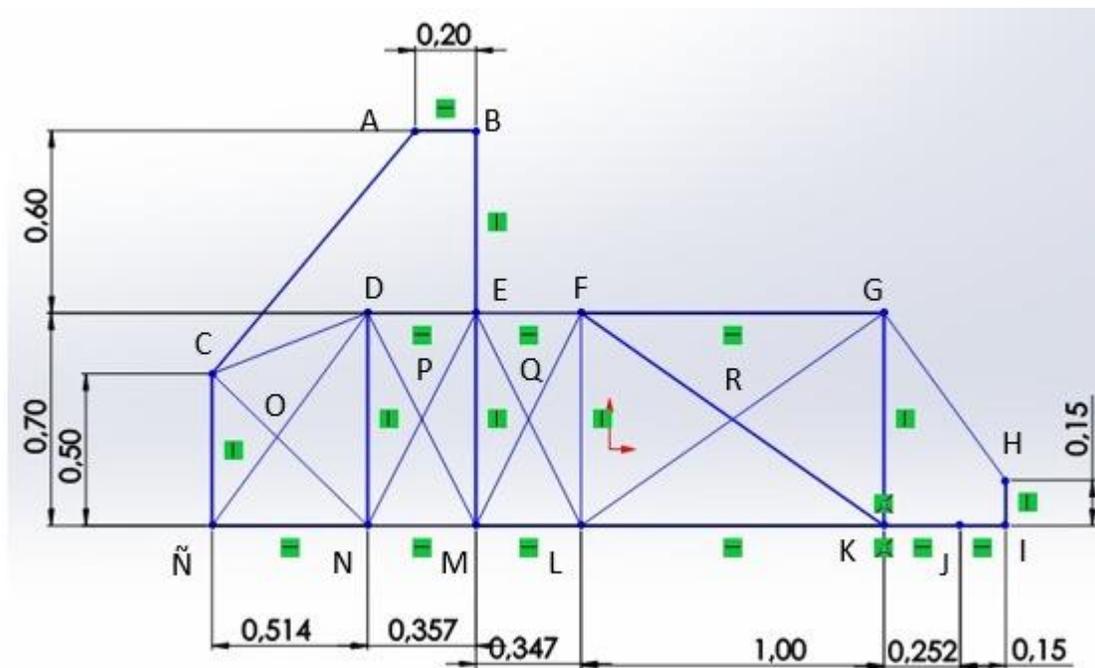
Para este caso, las restricciones se encuentran en los nodos de los neumáticos, debido a que estos van a estar estáticos, las flechas ya indican la dirección de cada fuerza y en el eje

donde están actuando, el punto rojo con la flecha hacia abajo, está indicando la fuerza de gravedad. La carga distribuida se identifica como flechas sobre todo el material, mientras las cargas puntuales, son aquellas que se encuentran sobre o en la posición de uno o varios nodos distintos.

- Anexo Y: Diseños presentados

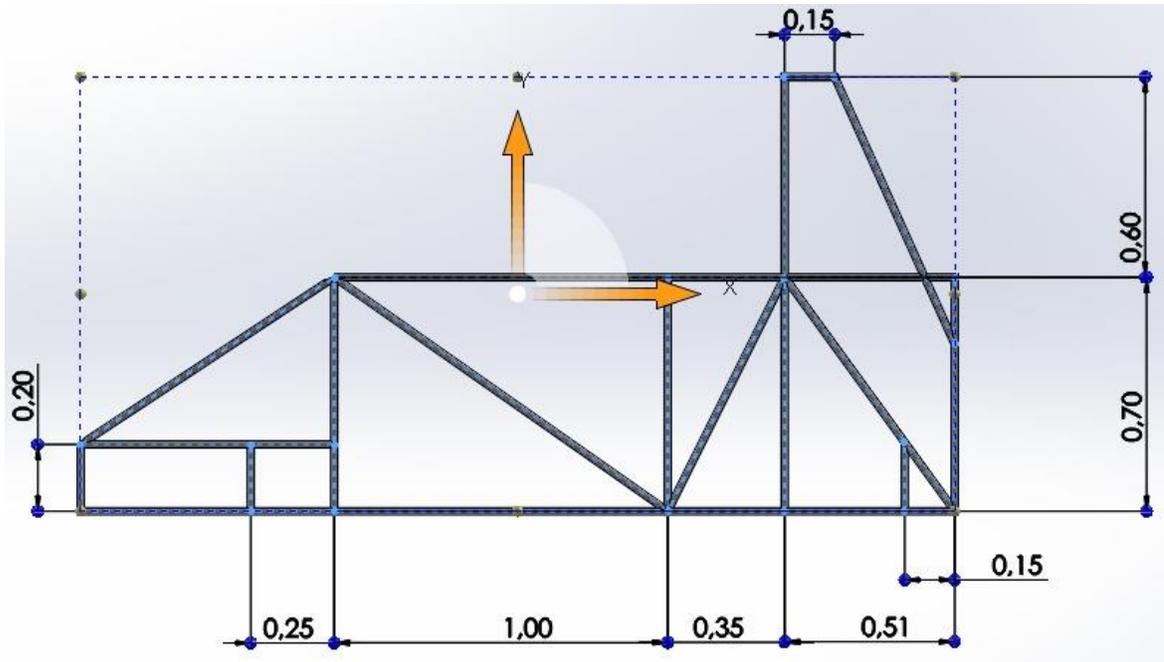
El diseño durante su creación sufrió varios cambios estos con el fin de una optimización y una mejor distribución de espacio, entre estos diseños encontramos:

1. Diseño preliminar



Este diseño fue descartado ya que debido a la cantidad de apoyos que tenía era de gran peso, esto considerando que la distribución de los mismos, estaba mal hecha, había secciones del carro que sufrían un gran desplazamiento debido a la deformación.

2. Segundo diseño



Este segundo diseño, aunque ya no contaba con la misma cantidad de apoyos, aunque ya no contaba con la misma cantidad de apoyos y era más corto, no permitía al piloto contar con un espacio de movimiento en sus extremidades posteriores, esto debido a que por la distancia se limitaba su capacidad de movimiento.

3. Diseño final

A lo largo del proceso de diseño, el vehículo sufrió de muchos más cambios, aun así, se decide mostrar los 3 anteriores, ya que estos fueron los mas significativos para poder terminar de completar la idea final, la cual es la presentada durante el documento, el principal criterio para seleccionar el diseño final, fue considerar la distancia en que se

movería el conductor y el cumplir con el desplazamiento por esfuerzo establecido en la formula SAE.