



**Construir el bastidor y carrocería del prototipo de vehículo de competición
formula SAE eléctrico para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de
la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**

Maigua Broncano, Christofer Alexander y Silva Cumbe, Luis Javier

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Monografía, previo a la obtención del Título de Tecnólogo Superior en Mecánica
Automotriz

Ing. Arias Pérez Ángel Javier

16 de agosto del 2022

Latacunga



COPYLEAKS

MONOGRAFIA_SILVA_MAIGUA.pdf

Scanned on: 0:6 August 19, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	392
Words with Minor Changes	28
Paraphrased Words	199
Omitted Words	0

Ing. Arias Perez Angel Xavier



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz
Certificación

Certifico que la monografía: **“Construcción del bastidor y carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE electico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** fue realizada por los señores **Silva Cumbe, Luis Javier y Maigua Broncano Christofer Alexander** la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga 18 de agosto de 2022

Firma:



.....

Ing. Arias Pérez, Ángel Xavier

C.C:050345481-1



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
de la Carrera de Tecnología superior en Mecánica Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Silva Cumbe, Luis Javier** con cédula de ciudadanía n°0706717337 y **Maigua Broncano Christofer Alexander**, con cedula de ciudadanía n°0550464812, declaramos que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Construcción del bastidor y carrocería del prototipo de vehiculo de competición formula SAE electico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga 18 de agosto de 2022

Firmas:

.....
Silva Cumbe, Luis Javier
C.C.: 070671733-7

.....
Maigua Broncano Christofer Alexander
C.C.:055046481-2



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
de la Carrera de Tecnología superior en Mecánica Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros **Silva Cumbe, Luis Javier** con cédula de ciudadanía n°0706717337 y **Maigua Broncano Christofer Alexander**, con cedula de ciudadanía n°0550464812, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Construcción del bastidor y carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE electico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga 18 de agosto de 2022

Firmas:

.....
Silva Cumbe, Luis Javier
C.C.: 070671733-7

.....
Maigua Broncano Christofer Alexander
C.C.:055046481-2

Dedicatoria

En primer lugar, este proyecto se lo dedico a mi Dios porque el me bendijo al realizar paso a paso este proyecto y no me dejo decaer nunca siempre me dio fuerzas para no rendirme y por esta razón se la dedico a mi Dios.

En segundo lugar, les dedico a mis padres Manuel Maigua y Margoth Broncano que fueron mis pilares fundamentales, los que siempre estuvieron conmigo y siempre confiaron en mí, los que me guiaron por un buen camino y que gracias a ellos soy el hombre que soy.

También agradezco a mis 3 hermanas Karla, Alisson y Doménica que gracias a ellas no me eh rendido y que con sus palabras de apoyo me dieron más fuerzas para seguir adelante y no rendirme jamás.

En si dedico a mi familia a mi padre a mi madre y a mis 3 hermanas que fueron los únicos en confiar en mí y los que siempre me tuvieron fe en que si lo lograría.

Maigua Broncano Christofer Alexander

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme ayudado a terminar este proyecto, por mantenerme con vida y por darme fuerzas cada día para no rendirme y seguir adelante con mis metas que las debo cumplir paso a paso y terminando este proyecto eh logrado una meta más.

También agradezco a mis padres por su inmenso apoyo y por su incondicional confianza que me han brindado durante toda mi trayectoria en la universidad, también agradezco a mis hermanas por sus palabras de aliento, de apoyo que me daban más fuerzas para seguir adelante y nunca decaer, agradezco a mis compañeros, amigos y colegas los cuales siempre me apoyaron de manera moral y siempre creyeron en mí.

También agradezco a mi tutor académico Ing. Xavier Arias por la paciencia y confianza que me brindo al realizar este proyecto y sobre todo la dedicación que nos impartía para realizar correctamente este proyecto.

Y, por último, pero no menos importante agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe y a los ingenieros por sus enseñanzas y capacitaciones que me brindaron los cuales me sirvieron de mucho.

Maigua Broncano, Christofer Alexander

Dedicatoria

A mis queridos padres Luis Silva, Mary Cumbe, por su incondicional apoyo moral y guía en todo el transcurso de mi vida personal y profesional, por su constante compañía y por siempre estar pendientes en el avance de mi vida académica. A mi hermana Paola y mi hermano Eduardo por brindarme toda su confianza y por apoyo emocional que me brindan todos los días con palabras de motivación para seguir adelante con mis estudios.

Silva Cumbe, Luis Javier

Agradecimiento

A mis queridos padres estoy muy agradecido por su constante apoyo emocional, espiritual y económico gracias a todo ese apoyo pude culminar unas de mis metas de mi vida profesional. A mis hermanos por enseñarme a evitar problemas y jamás darme por vencido. A la mi familia más cercana, los cuales me brindaron palabras de motivación en el transcurso de mi proceso de estudiante

Silva Cumbe, Luis Javier

ÍNDICE DE CONTENIDO

Caratula.	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autor.....	4
Autorización de Publicación.	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	15
Índice de tablas.....	18
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Antecedente	21
Planteamiento del problema	22
Justificación.....	23
Objetivos	23
<i>General</i>	23
<i>Específicos</i>	24
Alcance.....	24
Capítulo II: Marco Teórico	25

Formula SAE.....	25
<i>Metodología del diseño</i>	25
<i>Identificación de la necesidad</i>	26
<i>Investigación preliminar</i>	26
<i>Especificaciones de diseño en el Formula SAE</i>	26
El Bastidor	28
Tipos de bastidores.....	28
<i>Bastidor Independiente</i>	28
<i>Bastidor de Tipo Columna o en "X"</i>	29
<i>Bastidor perimetral</i>	30
<i>Bastidor de plataforma</i>	30
<i>Bastidor Monocasco</i>	31
<i>Bastidor Tubular</i>	32
Procesos de soldadura	33
<i>Soldadura MIG/MAG</i>	33
<i>Soldadura GMAW</i>	34
<i>Soldadura TIG</i>	35
<i>Soldadura SMAW</i>	36
<i>Soldadura por puntos de resistencias</i>	37
<i>Soldadura laser</i>	38
<i>Soldadura por arco eléctrico</i>	39
Proceso de corte	40
<i>Térmico</i>	40

<i>Mecánico</i>	41
Tipos de materiales	41
<i>El acero</i>	42
<i>El aluminio</i>	43
<i>Magnesio</i>	44
Elementos estructurales	44
<i>Compresión</i>	44
<i>Tracción</i>	45
<i>Flexión</i>	45
<i>Torsión</i>	46
<i>Cizalla</i>	47
Tipos de aceros	47
<i>Acero al carbono</i>	47
<i>Aceros aleados</i>	47
<i>Aceros inoxidables</i>	48
<i>Aceros de baja aleación</i>	48
<i>Aceros grado herramienta</i>	48
Estimación de cargas	48
<i>Peso del Motor</i>	49
<i>Peso de la Batería</i>	49
<i>Peso del asiento</i>	49
<i>Peso del conductor</i>	49
<i>Peso de la carrocería</i>	49

Tipos de fibra	50
<i>Fibras naturales</i>	<i>50</i>
<i>Fibras sintéticas</i>	<i>51</i>
<i>Fibras de vidrio.....</i>	<i>51</i>
<i>Fibras de carbono.....</i>	<i>51</i>
<i>Estructura Primaria.....</i>	<i>52</i>
<i>Estructura Principal.....</i>	<i>52</i>
<i>Sobre de Protección en Vuelcos</i>	<i>53</i>
Requisitos del chasis	54
<i>Estructura primaria.....</i>	<i>54</i>
<i>Tubos doblados o tubos múltiples.....</i>	<i>54</i>
Consideraciones Geométricas	55
<i>Ancho total.....</i>	<i>56</i>
<i>Largo Total.....</i>	<i>57</i>
<i>Altura total.....</i>	<i>57</i>
Ergonomía del piloto	58
<i>Características que influyen en la ergonomía del piloto.....</i>	<i>59</i>
<i>Concepto de rigidez del bastidor.....</i>	<i>60</i>
<i>Criterios de rigidez</i>	<i>61</i>
<i>Rigidez a la flexión</i>	<i>62</i>
<i>Rigidez a Torsión.....</i>	<i>63</i>
Capítulo III: Modelado.....	64
Modelado del bastidor.....	65

<i>Análisis por elementos finitos del Chasis del Formula SAE</i>	69
<i>Tipo de mallado</i>	71
<i>Estudios de independencia de mallas</i>	71
<i>Análisis de Aceleración</i>	73
Construcción del chasis tubular	74
<i>Requerimientos de construcción</i>	75
<i>Materiales</i>	76
<i>Dimensionamiento de la tubería</i>	76
<i>Corte del tubo</i>	77
<i>Doblado de tubos</i>	78
<i>Soldadura de la estructura</i>	79
<i>Armado de la estructura tubular</i>	82
<i>Pintado del bastidor</i>	85
Capítulo IV: Protocolo de pruebas	87
Pruebas en pista	88
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	92
Conclusiones	92
Recomendaciones	93
Bibliografía	94
Anexos	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Pasos en el proceso de diseño</i>	26
Figura 2 <i>Bastidor y Carrocería</i>	28
Figura 3 <i>Bastidor Independiente</i>	29
Figura 4 <i>Bastidor de tipo columna</i>	29
Figura 5 <i>Bastidor perimetral</i>	30
Figura 6 <i>Bastidor de plataforma</i>	31
Figura 7 <i>Bastidor Monocasco</i>	32
Figura 8 <i>Bastidor tubular</i>	33
Figura 9 <i>Soldadura MIG/MAG</i>	34
Figura 10 <i>Soldadura GMAW</i>	35
Figura 11 <i>Soldadura Tig</i>	36
Figura 12 <i>Soldadura smaw</i>	37
Figura 13 <i>Soldadura por puntos de resistencias</i>	37
Figura 14 <i>Soldadura por Laser</i>	39
Figura 15 <i>Soldadura por arco eléctrico</i>	40
Figura 16 <i>Materiales para la construcción de un chasis</i>	42
Figura 17 <i>Fabricación del chasis con el acero</i>	43
Figura 18 <i>Ejemplos de resistencias de materiales a compresión</i>	44
Figura 19 <i>Tracción</i>	45
Figura 20 <i>Proceso de flexión</i>	46
Figura 21 <i>Proceso de torsión</i>	46
Figura 22 <i>Proceso de cizalla</i>	47
Figura 23 <i>Descripción de tuberías para la fabricación del formula SAE</i>	53
Figura 24 <i>Requisitos mínimos de tuberías de acero</i>	53
Figura 25 <i>Consideraciones geométricas</i>	55
Figura 26 <i>Ancho total de la formula SAE eléctrico</i>	56
Figura 27 <i>Largo total del vehículo formula SAE eléctrico</i>	57

Figura 28 <i>Altura total de la formula SAE eléctrica</i>	58
Figura 29 <i>Ergonomía del vehículo</i>	59
Figura 30 <i>Características que del piloto</i>	59
Figura 31 <i>Posición de conducción</i>	60
Figura 32 <i>Representación de la flexión del chasis</i>	62
Figura 33 <i>Esquema de ensayo de torsión</i>	63
Figura 34 <i>Bastidor realizado en Inventor 2022</i>	64
Figura 35 <i>Bocetos en Inventor</i>	65
Figura 36 <i>Base de la carrocería</i>	66
Figura 37 <i>Distancia entre los perfiles del plano XY</i>	66
Figura 38 <i>Perfiles de la carrocería en plano XY</i>	67
Figura 39 <i>Perfiles y bases del bastidor</i>	67
Figura 40 <i>Unión de líneas para la construcción de un Formula SAE</i>	68
Figura 41 <i>Dimensiones de los tubos de la carrocería del Formula SAE</i>	68
Figura 42 <i>Distribución de los tubos en el bastidor</i>	69
Figura 43 <i>Análisis de cargas</i>	70
Figura 44 <i>Simulación de cargas aplicadas en el bastidor</i>	70
Figura 45 <i>Espectro de calidad de métricas</i>	71
Figura 46 <i>Detalles de mallado</i>	72
Figura 47 <i>Mallado hexaédricos</i>	72
Figura 48 <i>Descripción de las cargas aplicadas en el bastidor</i>	73
Figura 49 <i>Simulación de la aceleración</i>	73
Figura 50 <i>Esfuerzos mínimos y máximos</i>	74
Figura 51 <i>Modelado del bastidor tubular</i>	75
Figura 52 <i>Señalamiento de tubos para el respectivo corte</i>	77
Figura 53 <i>Corte de tubos para la elaboración del bastidor</i>	77
Figura 54 <i>Tipo de corte boca de pescado</i>	78
Figura 55 <i>Doblez de tubos con la dobladora hidráulica</i>	79

Figura 56 <i>Máquina de soldar tipo MIG</i>	80
Figura 57 <i>Proceso de soldadura mig</i>	80
Figura 58 <i>Unión de tubos por medio de los puntos de suelda</i>	81
Figura 59 <i>Porosidad</i>	82
Figura 60 <i>Elaboración del bastidor tubular</i>	83
Figura 61 <i>Base donde va a estar sujeto la transmisión</i>	83
Figura 62 <i>Base donde va sujeto el motor</i>	84
Figura 63 <i>Base donde van sujeto los frenos</i>	84
Figura 64 <i>Procedimiento de pintura en el bastidor de un formula SAE</i>	85
Figura 65 <i>Finalización de pintado del bastidor tubular</i>	86
Figura 66 <i>Vehículo formula SAE preparado para las pruebas correspondientes</i>	88
Figura 67 <i>Pista del sector Inca, Ciudad Quito</i>	89
Figura 68 <i>Ruta donde se realizó las pruebas</i>	89
Figura 69 <i>Comportamiento a pistas exigentes</i>	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Masas principales del vehículo</i>	49
Tabla 2 <i>Peso del vehículo eléctrico</i>	50
Tabla 3 <i>Materiales usados en la construcción</i>	76
Tabla 4 <i>Estado de la carrocería y del bastidor</i>	91

Resumen

La monografía tiene como objetivo principal la construcción del bastidor y carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico de tal forma que se puedan aplicar los distintos estándares y conocimientos adquiridos durante la carrera además de asegurar un buen funcionamiento en condiciones adversas así como garantizar la seguridad en la conducción de un vehículo formula SAE eléctrico, de igual manera sirve y ayuda como fuente bibliográfica para la realización de futuros proyectos. Para verificar el buen desempeño del chasis y de la carrocería se optó por utilizar un software que permite tanto la verificación dimensional como el modelado, para que sea fabricado de manera rápida eficiente y óptica. Este proyecto de monografía se divide en cinco capítulos, lo cual estos ayudarán a explicar claramente la fabricación del bastidor tubular así como la fabricación de la carrocería ya que se explica desde el primer bastidor también las dimensiones que cumple con las especificaciones de la normativa SAE el material y los perfiles incorporados para la elaboración del bastidor así como el ensamble del bastidor y los sistemas complementarios del fórmula SAE, para terminar con el protocolo de pruebas para verificar el óptimo y buen funcionamiento del bastidor y carrocería de un vehículo fórmula SAE eléctrico.

Palabras clave: Bastidor tubular, Formula SAE, Normativa SAE

Abstract

The monograph objective of the titling project is the construction of the frame and body of the prototype of the electric SAE formula racing vehicle in such a way that the different standards and knowledge acquired during the race can be applied in addition to ensuring proper operation in adverse conditions as well as guaranteeing the safety in the driving of an electric SAE formula vehicle, in the same way it serves and helps as a bibliographic source for the realization of future projects. To verify the good performance of the chassis and bodywork, it was decided to use software that allows both dimensional verification and modeling, so that it is manufactured quickly efficiently and optically. This monograph project is divided into five chapters, which will help to clearly explain the manufacture of the tubular frame as well as the manufacture of the bodywork since the dimensions that comply with the specifications of the SAE standard are also explained from the first frame material and the incorporated profiles for the elaboration of the frame as well as the assembly of the frame and the complementary systems of the SAE formula, to finish with the test protocol to verify the optimal and proper functioning of the frame and bodywork of an SAE formula electric vehicle..

Keywords: Tubular frame, Formula SAE, SAE regulations

Capítulo I: Antecedente

Antecedentes

Desde la antigüedad las carrocerías han sido un invento muy innovador ya que se usaban para el transporte masivo de personas, cosas y animales pequeños. Gracias a la innovación se han ido mejorado para un mejor traslado y confortabilidad. En año 1769 se consideró el inicio automovilístico con la creación de un carromato de vapor creado por Nicolas José Cugnot. En los primeros años tomaron como modelos a los vehículos de tracción animal(carruajes), conservando la estructura del chasis, base o largueros sobre los que se conformaban la carrocería junto también al resto de los elementos mecánicos que hacían mover, frenar, girar, etc.

El primer avance relevante fue el remplazo del larguero de madera que constituían el chasis por largueros de chapas de acero que permitía una mejor sostenibilidad, rigidez y mejora el crecimiento de potencia en la carrocería. La invención del automóvil se atribuye tradicionalmente a Karl Benz (1844-1929). Pero para la creación de Benz se hizo necesaria la contribución de ingenios anteriores, como el motor de cuatro tiempos inventado de forma independiente por su compatriota Nikolaus August Otto (GARCÍA, 2019)

En 1927 se presentó la primera carrocería que fue diseñada y construida en su totalidad con una estructura de acero, aunque con algunos refuerzos de madera. En los años 30 las empresas automovilísticas adoptaron el uso de las chapas de acero para la construcción total del vehículo.

Un hito histórico en la evolución de la carrocería automotriz fue en el año 1934 al mostrar los primeros vehículos autoportantes con una carrocería completamente construida. Se trataba del Citroën Traction Avant.

En la actualidad se consta con varios prototipos de automóviles que han ido mejorado sus diseños. Unas de las principales es el diseño de los bastidores y carrocería es muy importan para la creación de los automóviles ya que permite soportar el peso componente en vehículo y para una mejor seguridad para el conductor y una mejor aerodinámica al momento de conducir. En estas últimas décadas se incorporado nuevas tecnologías en el ámbito automotriz como en la inyección, frenos, suspensión, estructura, sensores, actuadoras y etc. Existen competencias de Fórmula 1, Racing, Rally, Karting entre otras ya que el objetivo general es ver que vehículo es mejor de todos. Los vehículos eléctricos han ido tomando el mercado automotriz por varias ventajas que presenta hacia los vehículos de combustión interna. Una de ellas es una mayor eficiencia de potencia, torque con un menor consumo de energía ya que también a una menor contaminación hacia el medio ambiente. Gracias a estos aspectos tenemos la visión de realizar un vehículo de competición SAE eléctrico e implementar estas nuevas ideas en nuestro país.

Planteamiento del problema

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL de la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz tiene como objetivo proyectar profesionales con conocimientos para el rendimiento correcto del estudiante de modo que dicho conocimiento se vea plasmado en trabajos prácticos y teóricos.

El bastidor y la carrocería del vehículo de competición formula SAE eléctrico necesita cumplir requisitos esenciales para su correcta utilización las cuales deben ser moldeables ligeros y rígidos, estas características le dan estabilidad al vehículo. De no realizar con estas características necesarias el bastidor y la carrocería sufrirán una ruptura o se doblara al momento de un choque y esto provocara un accidente al conductor.

Del mismo modo se necesita verificar y analizar los diferentes materiales para la construcción del bastidor y la carrocería. Al utilizar materiales menos resistentes como no tener ductilidad, peso y rigidez el vehículo optará por el desgaste y consumo excesivo de energía lo cual significa que entre mayor sea el peso mayor será la energía requerida.

De no solucionarse lo referido anteriormente el bastidor del vehículo de competición formula SAE eléctrico será más pesado. Como resultado todos los componentes eléctricos se desgastarán prematuramente y puede llegar a dañarse

Justificación

Con este proyecto se pretende obtener la construcción del bastidor y la carrocería de un vehículo de competición formula SAE eléctrico y en este se realizará pruebas de rendimiento que garantiza la integridad del bastidor.

La construcción de este bastidor tiene como aspectos positivos mejorar el rendimiento del vehículo de competición de formula SAE eléctrico a través del análisis y la investigación, así como la elección del correcto material que se adapte a los requisitos necesarios como peso y ductilidad.

La elaboración de este proyecto beneficiara a la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE. El proyecto a desarrollar impartirá conocimientos como procesos y técnicas de soldaduras, tipos de materiales y prácticas de construcción de un bastidor

La importancia de este proyecto es que la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE posea un bastidor y carrocería para un vehículo de competición formula SAE eléctrico el cual ayudara a reforzar habilidades e ingenio de conocimiento e investigación

Objetivos

General

Construir un bastidor y carrocería de un vehículo de competición formula SAE eléctrico partiendo de las normativas de competición con la finalidad de tener un mejor prototipo en su aerodinámica al momento de conducir

Específicos

- Investigar y conocer los variados tipos de bastidores, así como de carrocerías para tener un mejor conocimiento al momento de realizar la construcción
- Modelar la estructura del bastidor mediante el uso de un software Inventor 2022 para el prototipo de un vehículo formula SAE eléctrico
- Realizar el estudio de los materiales y dimensiones de los tubos para construcción del bastidor
- Realizar la soldadura correspondiente para el bastidor y carrocería del vehículo SAE
- Pintar la carrocería con el tratamiento adecuado para su presentación

Alcance

El desarrollo del proyecto culminará con la construcción del bastidor y carrocería de un vehículo de competición formula SAE eléctrico y la implementación de todos sus sistemas que compone un vehículo como la transmisión, suspensión, dirección, frenos y el motor, al finalizar el prototipo deberá funcionar correctamente y en armonía con el resto de sistemas y el cual al fin del proyecto se le entregará a la carrera de tecnología superior en mecánica automotriz de la Espe sede Latacunga para el beneficio de la carrera y para sus respectivas enseñanzas y estudios

Capítulo II

Marco Teórico

En este capítulo se demuestran fundamentos muy importantes enfocados al desarrollo del bastidor y carrocería. De primer plano se da a conocer de forma muy detallada el propósito de las competencias de Go Kart, Rally, formula 1, formula SAE, etc. Para la participación de cualquier tipo de competencia se debe basar en una normativa. Una de las principales es que debe cumplir los miembros estructurales de acuerdo al reglamento establecido en la competencia. El estudio de la investigación teórica es muy importante ya que nos demuestra las características estructurales para poder emplearlas en el vehículo que se vaya a construir. Todo basándose en los manuales referentes a su tipo de competición.

En el presente proyecto se efectúa el estudio agremiado a proyectos que son dirigidos a la construcción de bastidores y carrocerías para la construcción de un vehículo de competencia SAE con el objetivo de diseñar y construir un prototipo aerodinámico para un mejor rendimiento esto conlleva aplicar: materiales más ligeros con una mejor resistencia, ergonomía del piloto, cargas y momentos aplicados sobre la estructura y el procedimiento para el análisis de elementos finitos. Finalmente, se indaga el arte

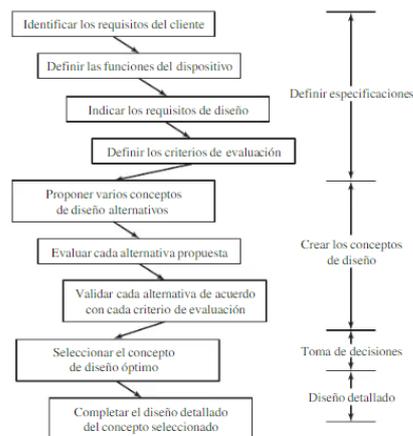
Formula SAE

Metodología del diseño

Los procesos de diseño y construcción son definidos de manera técnica por aplicaciones de una apropiada metodología que proporciona el camino a la resolución más apreciable en la construcción de sistemas y elementos. La mejor metodología de diseño propuesta en esta área de diseño, que se rige a las normas establecidas en el libro de "Diseño de Elementos de Maquinaria"

Figura 1

Pasos en el proceso de diseño



Nota. Clasificación de proceso de construcción del bastidor del formula SAE. Tomado de (Chevilan, 2020)

Identificación de la necesidad

En la parte de la construcción del vehículo de formula SAE, establece la oportunidad de diseñar y construir un chasis que proporcione el soporte de todos los componentes y satisfaga con todas las exigencias que se rige en el reglamento de la formula SAE.

Investigación preliminar

Se detalla la información que se obtiene en el proceso de diseño y construcción del chasis se realiza con previa anterioridad el “Análisis fundamentales de los elementos finitos”, en donde se una previa revisión al reglamento de las competencias como: tipos de chasis, especificaciones de la cabina de conducción, las cargas y momentos aplicados e interpretación del Análisis de elementos finitos que son referentes a equipos de la Formula SAE.

Especificaciones de diseño en el Formula SAE

En esta etapa del proceso para el diseño se determinaron varios parámetros en la cual se someterá a diferentes situaciones de peso, flexión y momento en el chasis. Las consideraciones de diseño resultan de los requerimientos implantados por los diferentes

sistemas del vehículo, la función principal que desempeñara la estructura y con el cumplimiento del reglamento FSAE. Se detallarán los requerimientos del diseño continuación:

- Distancia entre ejes de 1525 mm
- La distancia entre ruedas del eje más pequeño del vehículo no será inferior al 75% de la distancia entre ruedas más grande.
- El vehículo estará diseñado para el piloto más alto del equipo y para un hombre de dimensiones que representan al 95% de la población
- Ancho de vía delantera de 1200 mm
- Ancho de vía posterior de 1100 mm
- En la parte inferior del asiento se coloca el círculo inferior 200 mm, de tal manera que la distancia entre el centro del círculo y la cara más alejada de los pedales sea como mínimo 915 mm.
- Debe tener forma tubular de entre 25 a 29 mm de diámetro exterior, fabricado de aluminio o acero y ser como mínimo de 300mm de longitud
- Debe haber como mínimo 75mm desde la parte inferior del tubo hasta el suelo
- Geometría de la suspensión: puntos de anclaje de brazos, rocker, amortiguador y barras estabilizadoras
- Permitir espacio para: motor, baterías, tren de fuerza motriz, controladores del motor, piloto, sistemas de dirección y caja de pedales
- Mantener todos los elementos eléctricos dentro de la estructura
- Altura baja del centro de gravedad
- Por otro lado, los 180° del tubo inferiores deben estar descubiertos a lo largo de una longitud mínima de 280mm para la posible sujeción y remolque del vehículo en caso de ser necesario.

El Bastidor

La principal función del chasis es formar una estructura sólida para el vehículo, y varios de los componentes que conforma el automóvil están sujetos al chasis como son la dirección, el motor, los ejes y los resortes. En sí el marco necesita ser fuerte, ligero y estable. Generalmente se construye con acero templado. (Bohner Max, G. H, 2001)

Figura 2

Bastidor y Carrocería



Nota. Ejemplo de un bastidor con sus respectivas dimensiones. Tomado de (Esab, 2017)

Tipos de bastidores

Bastidor Independiente

El bastidor independiente está conformado por la estructura de acero, que consta de 2 vigas longitudinales conectadas por barras transversales soldadas, remachadas o atornilladas dispuestas diagonalmente o transversalmente. De esta forma el chasis tiene la función de absorber y recibir todos los esfuerzos de torsión y flexión que se derivan del buen funcionamiento del motor y del movimiento del automóvil. Como resultado el ensamble se crea con alta rigidez y resistencia, lo que constituye la base para colocar las piezas mecánicas y también las la carrocería del automóvil. (Galbarro, H. R, 2015)

Figura 3*Bastidor Independiente*

Nota. Ejemplo de cómo es un bastidor independiente. Tomado de (Esab, 2017)

Bastidor de Tipo Columna o en "X"

El bastidor tipo columna o también conocido como bastidor en x toma su nombre de su forma en x el bastidor en x. El bastidor en x se estrecha en el medio, lo que le da al automóvil un chasis más rígido, diseñado para soportar puntos de torsión altos. La sección transversal delantera de este tipo de chasis suele ser bastante fuerte, por lo que se puede utilizar para fijarlo a los estabilizadores de la suspensión delantera y a los componentes del motor. (Galbarro, H. R, 2015)

Figura 4*Bastidor de tipo columna*

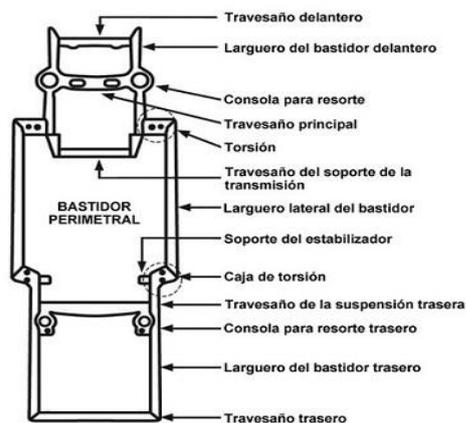
Nota. Modelado de un bastidor de tipo columna o en x. Tomado de (Euroweld, 2020)

Bastidor perimetral

El bastidor perimetral o también llamado tipo perimetral, se utilizan en varios modelos de vehículos y camiones. En el bastidor perimetral los largueros sostienen la carrocería del automóvil en la parte más ancha brindando una mejor protección al momento de un choque lateral. Mediante esta configuración el chasis puede conformar una estructura de caja de torsión, lo cual al momento de un choque frontal absorberá gran parte de la energía generada en el impacto. También este bastidor es un poco ancho lo cual le da una buena estabilidad. (Galbarro, H. R, 2015)

Figura 5

Bastidor perimetral



Nota. Modelado de un bastidor perimetral y sus especificaciones. Tomado de (Sole, 2022)

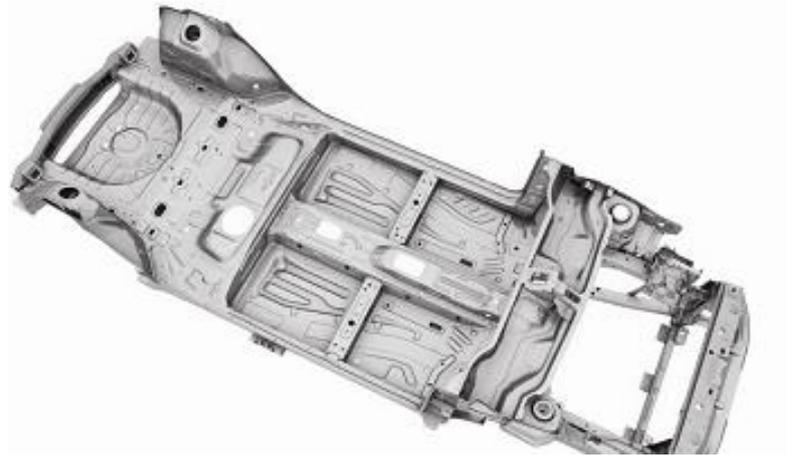
Bastidor de plataforma

El bastidor de plataforma ejecuta la función como su nombre detalla es una plataforma resistente y portante. Consiste en un bastidor liviano formado por la combinación de varias placas soldadas, generalmente con la soldadura por puntos, formando así toda una base lo suficientemente rígida para que pueda soportar las partes mecánicas y luego en la carrocería del automóvil. Debido a que la plataforma proporciona alta rigidez en este tipo de chasis la carrocería en sí puede ser más ligero, además de los factores extraíbles que

facilitan el trabajo de las piezas de repuesto y el reemplazo en caso de daño por daños en algún lugar de la carrocería. (Galbarro, H. R, 2015)

Figura 6

Bastidor de plataforma



Nota. Modelado de un bastidor de plataforma. Tomado de (RENOGY , 2020)

Bastidor Monocasco

La carrocería autoportante o también conocido como carrocería monocasco es actualmente la opción más utilizada en la industria de la automoción especialmente en automóviles ligeros y turismos, ya que supone una importante reducción del peso del vehículo, aporta una mayor flexibilidad es más eficiente y su funcionamiento en serie es menos costoso. La carrocería monocasco es un tipo de carrocería autopropulsada esto significa que no le hace falta estructuras auxiliares para dotar de mayor resistencia del automóvil. Con ello se puede menorar el peso del conjunto lo que ahorra combustible durante el movimiento del automóvil. (Galbarro, H. R, 2015)

Figura 7*Bastidor Monocasco*

Nota. Modela del bastidor y también carrocería denominado monocasco. Tomado de (Lafayette, 2017)

Bastidor Tubular

Este tipo de bastidor denominado bastidor tubular tiende a formar una estructura que va a tener forma perimetral o celosía de elementos tubulares o de varilla que pueden tener unas secciones transversales circular, ovalados o cuadrada. Este tipo de chasis surge para tener estructuras más esbeltas y ligeras. El costo es muy elevado en la fabricación de estos bastidores por lo cual su uso es limitado en pequeños automóviles de competición o también en varios prototipos que por algún motivo requiere una importante reducción de peso. (Galbarro, H. R, 2015)

Figura 8*Bastidor tubular*

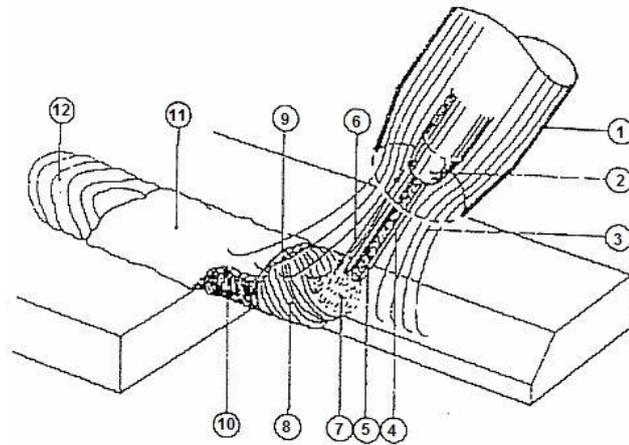
Nota. Modelado de un bastidor tubular y su forma. Tomado de (Autocrash, 2017, Marzo 14)

Procesos de soldadura***Soldadura MIG/MAG***

En el proceso de soldadura MIG se tiende a establecer entre la potencia consumida y la pieza a soldar. En el momento de la protección, el proceso no vuelve al gas, y puede estar inactivo, lo cual significa que no debe participar en la reacción que dará el tiempo de soldadura, lo que lleva a un proceso activo en la soldadura y fabricación MAG. (Galbarro, H. R, 2012)

La soldadura MIG es un proceso muy utilizado en el sector industrial por su alta factibilidad y productividad de automatización. La propia versatilidad es otro aspecto importante que hace que el proceso Mig sea ampliamente utilizado por la mayoría de personas, ya que esta permite soldar acero de muy poca aleación, acero inoxidable, aluminio y cobre en espesores máximo o mínimo de 0,5 mm y en varias posiciones. (Galbarro, H. R, 2012)

El escudo de gas asegura una soldadura continua y uniforme, así como libre de escorias e impurezas. Además, la soldadura MIG es un método muy compatible y limpio con todas las medidas de protección medioambiental. (Galbarro, H. R, 2012)

Figura 9**Soldadura MIG/MAG**

Nota. Proceso de cómo funciona la soldadura Mig. Tomado de (Galbarro, H. R, 2012)

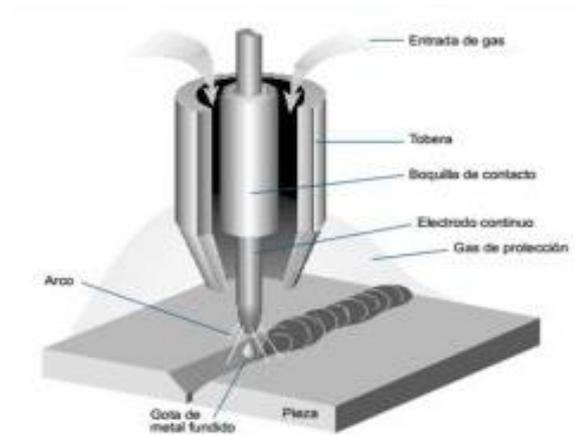
Soldadura GMAW

La soldadura Gmaw establece un arco eléctrico entre un conductor cargado continuamente y la pieza de trabajo. La protección contra arcos es proporcionada por un proceso MIG de gas no inerte Helio o Argón. (Esab, 2017)

Este proceso se puede utilizar de dos formas: semiautomática (soplete de soldadura manual) y automática (máquina de soldar). Permite la soldadura de todos los metales no ferrosos y ferrosos. (Esab, 2017)

Figura 10

Soldadura GMAW



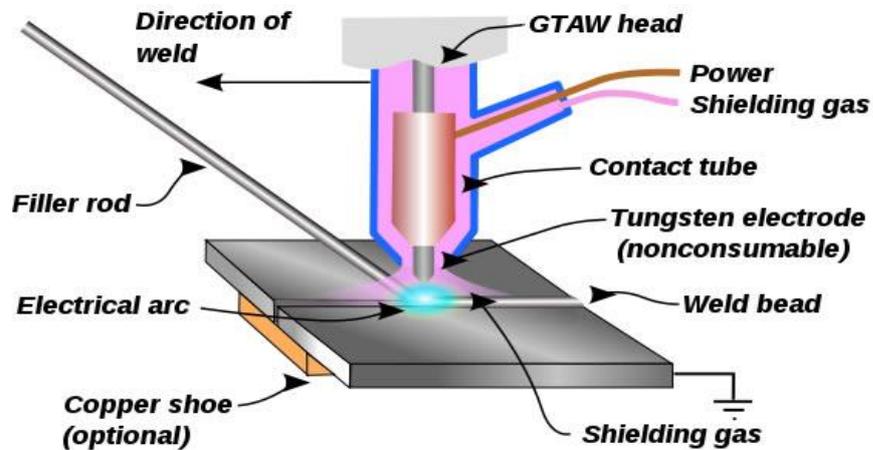
Nota. Proceso de la soldadura gmaw y su procedimiento. Tomado de (Esab, 2017)

Soldadura TIG

La soldadura tig tiene una ventaja que es, principalmente, que los cordones son más fuertes, más flexibles y menos susceptibles a la corrosión respecto al resto de procedimientos, por lo que el gas protector le impide el contacto entre el oxígeno atmosférico y el baño de soldadura. Además, el gas simplifica enormemente la soldadura de metales no ferrosos y ferrosos, ya que no requiere el uso de oxidantes, con dobleces o inclusiones de escoria que pueden estar involucradas. Este método está destinado a juntas con necesidades que son especiales de terminados de precisión y superficial, por sus características aumentan los costes de producción. (Chevilan, 2020)

Figura 11

Soldadura Tig



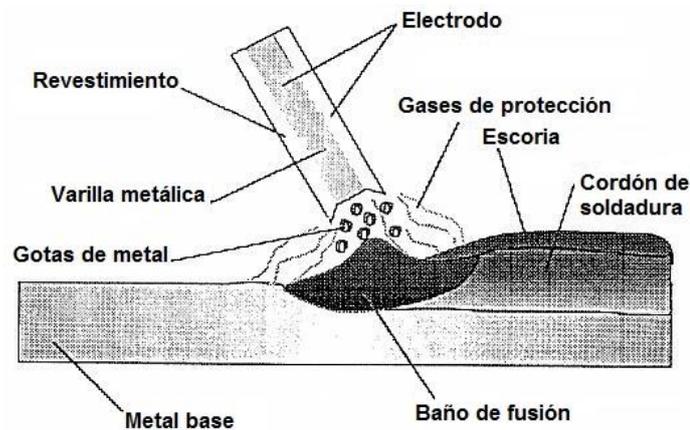
Nota. Proceso de cómo se realiza la soldadura tig. Tomado de (ESGRAF, 2020)

Soldadura SMAW

La soldadura smaw es un proceso de electrodo revestido, reconocido como smaw por la aws, este proceso de soldadura por arco eléctrico entre el electrodo revestido y el metal base. El arco produce una temperatura de alrededor de 3500 °C en la punta del electrodo, que es más alta que la temperatura requerida para fundir el máximo de los metales. El calor derrite el electrodo revestido y el metal base, creando un charco de líquido o charco fundido que se solidifica a medida que este electrodo se mueve a lo largo de la unión. En la soldadura de electrodos revestidos, la corriente se fija según el diámetro del electrodo y el tipo de revestimiento, y la tensión es igual a la longitud del arco. (Esab, 2017)

Figura 12

Soldadura smaw



Nota. Se puede visualizar el procedimiento de la soldadura smaw. Tomado de (Chevilan, 2020)

Soldadura por puntos de resistencias

Este método se utiliza principalmente entre varias piezas de la carrocería, basado en la aplicación de presión y un aumento de la temperatura. Las zonas a soldar se calientan mediante corriente eléctrica y presionándolas simultáneamente. La temperatura alcanzada en este proceso se aproxima al punto de fusión de la sustancia. Es muy utilizado en lotes de chapa o chapa, con un espesor de 0,5 a 3 mm. Se pueden encontrar de 2000 a 3000 puntos de soldadura en el vehículo. (Autocrash, 2017, Marzo 14)

Figura 13

Soldadura por puntos de resistencias



Nota. Se visualiza el proceso de soldadura por puntos de resistencia. Tomado de (Mecánica de materiales, 2015)

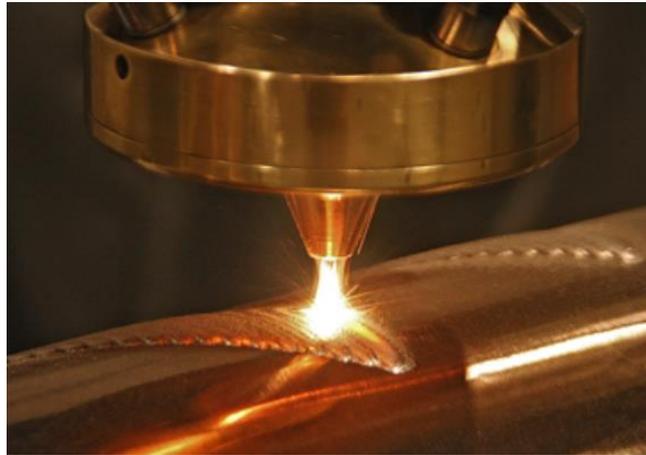
Las ventajas de su uso son que la velocidad y el tiempo de ejecución son inferiores a un segundo por soldadura, no requiere rellenos, la fuerza de adherencia es alta y no requiere operaciones de esmerilado o acabado. (Autocrash, 2017, Marzo 14)

Soldadura laser

Este es un proceso robusto que permite soldar por puntos de resistencia, se fusione y se extienda. También puede interactuar con otro material gracias a que la densidad de energía del rayo láser se produce al enfocar ondas de luz y no electrones, lo que significa que no necesita conducir electricidad y no se ve afectado por el magnetismo. (Autocrash, 2017, Marzo 14)

En la soldadura láser, hay soldadura por penetración y soldadura por conducción. La soldadura por penetración se produce a través del vapor producido al elevar la temperatura del metal por encima del punto de ebullición. La presión del vapor abre un canal alrededor del rayo láser que captura casi toda la radiación, convirtiéndola en calor, lo que da como resultado una soldadura profunda y hermética. (Autocrash, 2017, Marzo 14)

La soldadura conductiva es el proceso óptimo de pequeños espesores, a diferencia de la de penetración, puede recibir baja radiación, suficiente para fundir el metal, pero no vaporizarlo. (Autocrash, 2017, Marzo 14)

Figura 14*Soldadura por Laser*

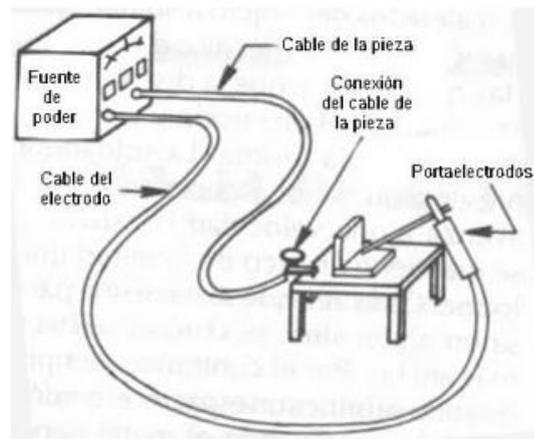
Nota. Esta soldadura realiza un acabado más profundo al momento de soldar. Tomado de (RENOGY , 2020)

Soldadura por arco eléctrico

La soldadura por arco eléctrico consiste en fundir el metal a alta temperatura utilizando un voltaje y un valor de corriente específicos. Mediante esta diferencia de voltaje, el aire se ioniza y se transfieren electrones a través de los electrodos y de la pieza a soldar. El calor generado (4000 °C) funde tanto el material base como el material de relleno, asentándose y formando lo que se conoce como cordón de soldadura. También conocidos como materiales de "relleno", los electrodos están recubiertos de una sustancia no metálica que tiene una composición química muy diversa. (Demaquinasyherramientas.com, 2016, marzo 16)

Figura 15

Soldadura por arco eléctrico



Nota. Esta soldadura es la más antigua y se lo realiza con un electrodo. Tomado de (Wiliam, 2016)

Proceso de corte

En la actualidad existe tres categorías de corte los cuales son térmico, erosivo y mecánico

Térmico

En si el proceso térmico utiliza calor para cortar o derretir el material cortado.

Algunos ejemplos incluyen oxígeno, plasma y corte por láser.

- **Oxicorte:** Funciona con la creación de una reacción química con el acero sobrecalentado y el oxígeno y lo cual utiliza una temperatura de 982,2°C
- **Plasma:** Funciona con la utilización de un gas ionizado a máxima temperatura lo cual produce un arco muy caliente y con máxima densidad de energía
- **Laser:** Este tipo de corte funde el material por medio de una máxima cantidad de calor lo cual se emite a través de una luz
- **Erosivos:** Este tipo de proceso suele utilizar aire, agua y otros elementos naturales para retirar el material

- **Corte por chorro de agua:** El funcionamiento de este corte por chorro de agua es que se utiliza una corriente de agua que va a una alta velocidad es tan potente la velocidad que puede cortar materiales duros como el metal y la piedra

Mecánico

El funcionamiento de este proceso utiliza materiales manuales y también el uso de fuerza física por ejemplo uno de los cortes más utilizados es el corte por sierra

- **Corte manual:** Este tipo de corte se utiliza elementos físicos de corte lo cual se utiliza fácilmente como coger la herramienta y comenzar a cortar
- **Corte automático:** Este tipo de corte puede cortar una pieza de metal, espuma o un tubo por medio de sistema electrónico o también el uso de medios programables para el proceso de corte.

Tipos de materiales

El diseño y la fabricación de camiones nuevos depende de una serie de factores. La mayoría de los fabricantes prefieren materiales livianos, económicos, seguros y reciclables. (Motors, 2020)

Estas son las características que se demandan actualmente, ya que se busca no solo proteger a los ocupantes del camión, sino también al medio ambiente, al reducir las emisiones de gas del efecto invernadero y reducir el consumo de combustible. (Motors, 2020)

Figura 16

Materiales para la construcción de un chasis



Nota. Para realizar las carrocerías y los bastidores tienen diferentes tipos de materiales los cuales los podemos utilizar correctamente. Tomado de (Frías, 2017)

El acero

Los elementos básicos utilizados en la carrocería deben cumplir una variedad de características tales como resistencia al calor, químicos o mecánicos, así como eficiencia de fabricación y durabilidad. El acero es la primera elección de los fabricantes con todas las cualidades anteriores. (Motors, 2020)

La mejora o el desarrollo de la fabricación de acero hizo que este elemento fuera más resistente, ligero y rígido que las versiones anteriores. El acero se utiliza no solo en la carrocería del automóvil, sino también en el motor, el chasis, las ruedas y muchas otras partes. (Motors, 2020)

Figura 17

Fabricación del chasis con el acero



Nota. El acero es uno de los materiales más fuertes que existen en la actualidad por su dureza y su resistencia. Tomado de (Aguado, 2014)

El hierro y el acero forman la base para el desarrollo de componentes clave para la producción de vehículos a gran escala. Y lo mejor de todo, no es tan caro.

La principal razón por la que el acero se utiliza como base principal para la estructura de la carrocería es su capacidad natural para absorber la energía de choque generada durante un impacto. Sin duda un material imprescindible para el desarrollo y construcción de camiones. (Motors, 2020)

El aluminio

El aluminio para la construcción del bastidor es considerablemente utilizado en la industria automotriz, en estructuras de carrocerías y marcos. Muchos argumentan que el uso de aluminio puede reducir el peso del automóvil. Sus principales características son el peso ligero, alta absorción de energía y fina resistencia. (Motors, 2020)

Además, el aluminio es resistente a la corrosión, pero debido a su bajo módulo de elasticidad, las piezas de acero no se pueden reemplazar. Por lo tanto, estas piezas deben rediseñarse para que tengan la misma resistencia mecánica. El uso de aluminio en la industria automotriz se ha incrementado dramáticamente en poco tiempo. (Motors, 2020)

En la industria automotriz, el aluminio fundido se ha utilizado en pistones, culatas, colectores de admisión y transmisiones. En aplicaciones de chasis, se utiliza como ruedas, bastidores, componentes de frenos, suspensiones, componentes de dirección y placas. El aluminio se utiliza en carrocerías y accesorios exteriores como umbrales, puertas y cubiertas. (Motors, 2020)

Magnesio

El magnesio para la construcción del bastidor es otro metal más liviano que se utiliza al igual que el aluminio en el ámbito automotriz

La diferencia entre magnesio y aluminio es que el magnesio es más liviano con un 33% que el aluminio y un 75% más liviano que los otros aceros

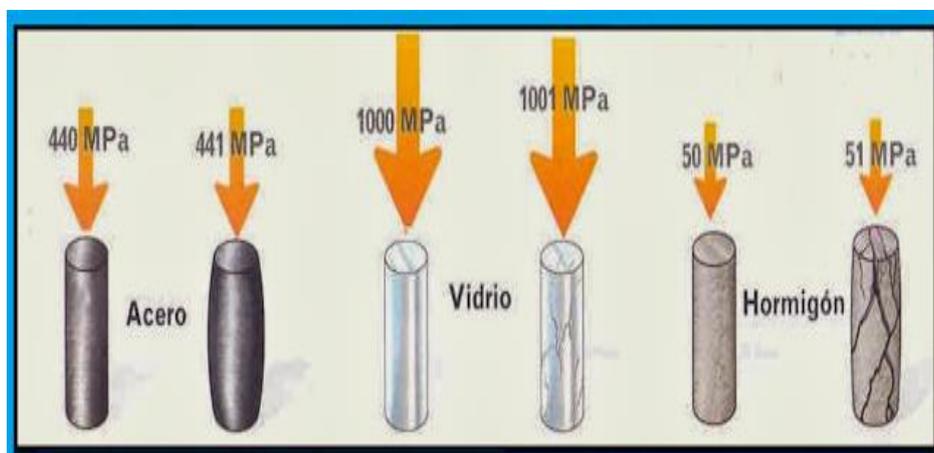
Elementos estructurales

Compresión

Un objeto experimenta tensión de compresión cuando dos fuerzas actúan sobre él en direcciones iguales y opuestas, lo que hace que su centro de gravedad se infle y reduzca su longitud original. Cuando una parte de gran longitud en relación con su sección transversal se comprime, se deforma, lo que se denomina torsión. (Mecánica de materiales, 2015)

Figura 18

Ejemplos de resistencias de materiales a compresión



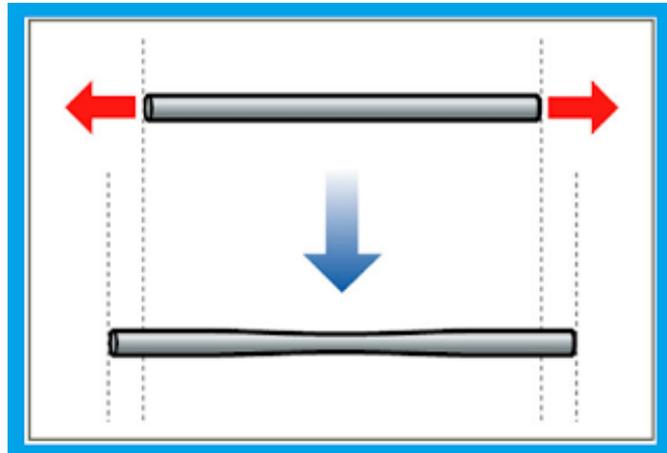
Nota. Cada material tiene su corrosión, dureza y resistencia. Tomado de (Autocrash, 2017, Marzo 14)

Tracción

En si la tracción es lo opuesto a la compresión lo cual significa que tracción es estirar. Sé dice que un elemento está sometido a un forcejeo de tracción cuando las fuerzas que actúan sobre él tienden a estirarlo. La tensión es un gran factor de apoyo para este tipo de esfuerzo. (Mecánica de materiales, 2015)

Figura 19

Tracción



Nota. La tracción es lo opuesto a la compresión lo que significa que tracción es estirar. Tomado de (Gobain, 2021)

Flexión

Un elemento se flexionará cuando se aplique una carga que tiende a doblarse, mientras que el otro elemento se hundirá (presión). (Mecánica de materiales, 2015)

Figura 20

Proceso de flexión



Nota. La flexión funciona cuando se le aplica peso. Tomado de (Bohner Max, G. H, 2001)

Torsión

Un cuerpo está sujeto a torsión cuando las fuerzas tienden a torcerlo, es decir, la fuerza resultante de la torsión o movimiento de rotación de un objeto sobre sí mismo, al aplicar las dos fuerzas de torsión en direcciones opuestas. (Mecánica de materiales, 2015)

Figura 21

Proceso de torsión



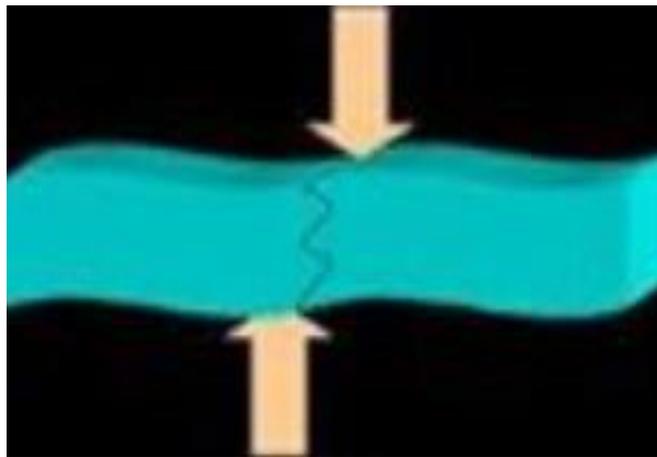
Nota. Se visualiza una torsión lo cual es hecho por el sobrepeso causado. Tomado de (R.P.Singh, 2010)

Cizalla

Un cuerpo experimenta esfuerzo cortante lo cual también es llamado cizallamiento cortante o esfuerzo cortante cuando dos fuerzas opuestas que actúan sobre él tienden a cortarlo. (Mecánica de materiales, 2015)

Figura 22

Proceso de cizalla



Nota. Como se visualiza en la imagen se está realizando la cizalla. Tomado de (William, 2016)

Tipos de aceros

Los tipos de aceros primordiales son estos cinco:

Acero al carbono

Este tipo de acero al carbono se compone principalmente de carbono, junto con otros materiales como el hierro o el manganeso. Este acero es el más disponible en la industria de la construcción, para la fabricación de maquinaria, automóviles, tuberías o motores. (Derichebourg, 2020)

Aceros aleados

El acero aleado es acero que se obtiene al mezclarlo con otros metales. Dependiendo de las cantidades de estos metales y de sus diferentes composiciones, se pueden obtener aceros con propiedades muy diferentes. (Derichebourg, 2020)

Aceros inoxidables

El acero inoxidable se compone de carbono hierro y cromo. Dependiendo de la aleación, también puede tener otros componentes. Se distingue sobre todo por su alta resistencia a la abrasión. En la actualidad, se utiliza en muchas áreas, desde la fabricación de automóviles hasta la construcción de una casa. (Derichebourg, 2020)

Aceros de baja aleación

El acero con una aleación baja a gran escala se utiliza en la producción de tuberías, carrocerías para vehículos, líneas ferroviarias y naves aeroespaciales. El acero se usa con una aleación baja y alta resistencia en estas áreas debido a la resistencia a la corrosión. Los aceros de baja aleación suelen contener menos del 10% de los elementos de aleación. El análisis elemental rápido y preciso es un requisito esencial en el proceso de fabricación de acero. Este acero no tiene que cumplir con los estándares de calidad, sino que también permite a los señores que producen el acero ahorrar dinero. (Euroweld, 2020)

Aceros grado herramienta

Este tipo de aceros suelen ser aceros de aleación media a alta que se utilizan para fabricar piezas que requieren una alta resistencia al desgaste o al impacto. Los aceros clasificados para herramientas se suministran típicamente en condiciones de menor dureza para que puedan ser mecanizados y luego tratados térmicamente, logrando así la dureza y las propiedades mecánicas requeridas. (Euroweld, 2020)

Estimación de cargas

El vehículo fórmula SAE eléctrico tiene componentes diseñados para resistir 3.5 g de impacto, 1.5 g de fuerza laterales y 1.5 g de frenado para el respectivo análisis, al considerar las cargas individual y colectiva para determinar las dimensiones típicas de las áreas o puntos donde se aplican las cargas para optimizar y aprobar el chasis. El peso del conductor y de varios componentes del vehículo se muestra en la siguiente tabla.

(R.P.Singh, 2010)

Tabla 1*Masas principales del vehículo*

Componente	Masa (Kg)	Newton
Tren de fuerza	20	200
Sistema de dirección	15	100

Nota. Pesos específicos del sistema del tren de fuerza y sistemas de dirección

Peso del Motor

Para el análisis estructural que se va a realizar en inventor se necesita todos los pesos que va a ir montado encima del bastidor, se comienza con el motor que tiene un peso de 17.7 kg. (Golden Motor, 2019)

Peso de la Batería

El peso estimado de la Batería es de 10.30 kg (RENOGY , 2020). Esta batería es de litio ion y está diseñada para almacenar la energía eléctrica y son dispositivos que tiene dos o tres celdas. (Sole, 2022)

Peso del asiento

El asiento de la fórmula SAE es uno de los elementos que va a ir montado sobre el bastidor lo cual se debe realizar un análisis estructural y tiene un peso de 5 kg este haciendo se va a realizar con la fibra de vidrio. (William, 2016)

Peso del conductor

Todo el peso total del auto formula SAE eléctrico incluye los 80 kg del peso del conductor que es el peso ideal. (Martinez, 2021)

Peso de la carrocería

El peso de referencia del objeto se toma como punto de partida y debido a que está directamente relacionado con el proceso de construcción al controlar cada fase específica. (LUIS, 2018)

Tabla 2*Peso del vehículo eléctrico*

Pieza	Peso Kg
Nariz	8.16
Pontones	7.71
Cuerpo central	1.5
Parte fija trasera	2.94
Peso total de la carrocería	20.31

Nota. Pesos específicos de elementos de la carrocería

Tipos de fibra

Fibras naturales

Estos textiles son aquellos que se han convertido en algo fundamental en la vida humana, para lo cual se utiliza fibras naturales como el algodón que se descubrió hace 500 años y la cual es la lana más antigua. (Fibras Naturales, 2019) Se han descubierto más tipos de fibra 100% naturales con el tiempo los cuales son (Frías, 2017):

- Fibras de coco
- Fibra de retama
- Fibra de yute
- Fibra de cáñamo
- Fibras de kapok
- Fibra de sisal
- Fibra de ramio

Fibras sintéticas

La fibra sintética se obtiene a través de la producción del petróleo lo cual es una fibra química, y la fabricación de la materia prima y la elaboración del hilo es un producto humano. (Lafayette, 2017)

Fibras de vidrio

La fibra de vidrio es la fibra más utilizada en la industria y se puede encontrar en todas partes como cables telefónicos, televisión por cable, internet, depósitos industriales, contenedores etc. (Gobain, 2021)

Se originó hace más de 2000 años y los registros en su primera aparición data en Egipto, cuando las personas del desierto cocinaban su comida sobre rocas, la fibra de vidrio se produjo con la fusión de fuego y arena. (Gobain, 2021)

Fibras de carbono

La fibra de carbono contiene las propiedades del carbón lo que ayuda a aportar resistencia a la abrasión, la humedad y el calor en todo tipo de producto que utilice fibra de carbono.

Las fibras de carbono son fibras de carbono finas prensadas y entrelazadas algunos de los cuales tienen forma de trenza retorcidas, torcidas etc. A las fibras de carbono también se les conoce como rovings. (ESGRAF, 2020)

El ensamblaje estructural fabricado que soporta todos los sistemas funcionales del vehículo.

Este ensamblaje puede ser una sola estructura fabricada, múltiples estructuras fabricadas o una combinación de Estructuras compuestas y soldadas.

- **Monocasco:** Un tipo de Chasis donde las cargas son soportadas por los paneles externos

- **Aro principal:** Una barra antivuelco ubicada al costado o justo detrás del torso del conductor.
- **Aro delantero:** Una barra antivuelco ubicada sobre las piernas del conductor, cerca del volante.
- **Aro(s) de rollo:** Refiriéndose tanto al aro frontal como al aro principal
- **Soportes de arriostamiento de aro antivuelco:** La estructura desde el extremo inferior del arriostamiento del aro antivuelco hasta el(los) aro(s) antivuelco.
- **Mamparo delantero:** Una estructura plana que brinda protección a los pies del conductor.

Estructura Primaria

La combinación de los siguientes componentes:

- Aro principal
- Aro delantero
- Tirantes y soportes de aros enrollables
- Estructura de impacto lateral
- Mamparo delantero
- Soporte de mamparo delantero
- Cualquier miembro del marco, guías o soportes que transfieran carga desde el sistema de sujeción del conductor Sistema

Estructura Principal

La parte del chasis que se encuentra dentro de la envolvente de la estructura primaria, excluyendo el arriostamiento del aro principal y la parte del aro principal sobre un plano horizontal Ubicado en la parte superior del elemento de impacto lateral superior o en la parte superior de la zona de impacto lateral.

Sobre de Protección en Vuelcos

La estructura primaria más un plano desde la parte superior del aro principal hasta la parte superior del aro frontal, más un plano desde la parte superior del aro principal hasta el tubo estructural triangulado más posterior, o equivalente monocasco.

Figura 23

Descripción de tuberías para la fabricación del formula SAE

Application	Steel Tube Must Meet Size per F.3.4:	Alternative Tubing Material Permitted per F.3.5 ?
a. Front Bulkhead	Size B	Yes
b. Front Bulkhead Support	Size C	Yes
c. Front Hoop	Size A	Yes
d. Front Hoop Bracing	Size B	Yes
e. Side Impact Structure	Size B	Yes
f. Bent Upper Side Impact Member	Size D	Yes
g. Main Hoop	Size A	NO
h. Main Hoop Bracing	Size B	NO
i. Main Hoop Bracing Supports	Size C	Yes
j. Driver Restraint Harness Attachment	Size B	Yes
k. Shoulder Harness Mounting Bar	Size A	NO
l. Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	Size C	Yes
m. Accumulator Protection Structure	Size B	Yes
n. Component Protection	Size C	Yes
o. Other Structural Tubing	Size C	Yes

Nota. Medidas de la diferente tipa de tuberías de acero. Tomado de (Reglamento SAE,2022)

Figura 24

Requisitos mínimos de tuberías de acero

A tube must meet all four minimum requirements for each Size specified:

Tube	Minimum Area Moment of Inertia	Minimum Cross Sectional Area	Minimum Outside Diameter or Square Width	Minimum Wall Thickness	Example Sizes of Round Tube
a. Size A	11320 mm ⁴	173 mm ²	25.0 mm	2.0 mm	1.0" x 0.095" 25 x 2.5 mm
b. Size B	8509 mm ⁴	114 mm ²	25.0 mm	1.2 mm	1.0" x 0.065" 25.4 x 1.6 mm
c. Size C	6695 mm ⁴	91 mm ²	25.0 mm	1.2 mm	1.0" x 0.049" 25.4 x 1.2 mm
d. Size D	18015 mm ⁴	126 mm ²	35.0 mm	1.2 mm	1.375" x 0.049" 35 x 1.2 mm

Nota. Dimensiones para la construcción de las tuberías para formula SAE. Tomado de (Reglamento SAE,2022)

Las propiedades de CUALQUIER material de acero para los cálculos presentados en un SES deben ser:

- Módulo de Young (E) = 200 GPa (29 000 ksi)
- Límite elástico (Sy) = 305 MPa (44,2 ksi)
- Resistencia máxima (Su) = 365 MPa (52,9 ksi)

Requisitos del chasis

Estructura primaria

La Estructura Primaria debe construirse a partir de uno o una combinación de los siguientes:

Material y tubería de acero
Materiales de tubería alternativos
Material compuesto

Tubos doblados o tubos múltiples

El radio mínimo de cualquier curva, medido en la línea central del tubo, debe ser tres o más veces el diámetro exterior del tubo (3 x OD). Las curvas deben ser suaves y continuas sin evidencia de aplastamiento o falla de la pared.

Si se usa un tubo doblado (o un miembro que consta de varios tubos que no están en una línea) en cualquier lugar de la estructura principal que no sean los aros antivuelco, se debe conectar un tubo adicional para sostenerlo:

- a. El punto de fijación del tubo de soporte debe estar en la posición a lo largo del tubo doblado donde se desvía más lejos de una línea recta que conecta ambos extremos
- b. El tubo de soporte debe terminar en un nodo del chasis.
- c. El tubo de soporte para cualquier tubo doblado (que no sea el Miembro de Impacto del Lado Superior barra de montaje del arnés del hombro) debe ser:

- El mismo diámetro y espesor que el tubo doblado
- Con un ángulo de no más de 30° desde el plano del tubo doblado.

Consideraciones Geométricas

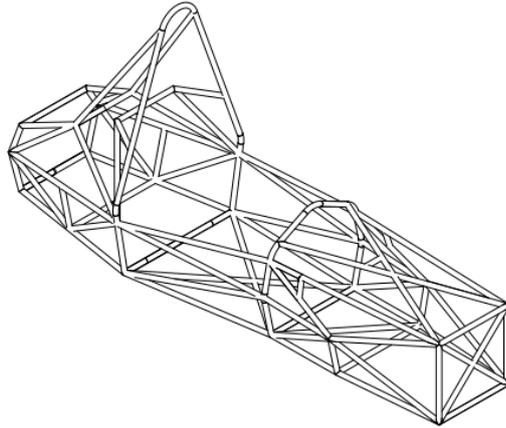
Al momento de hacer la fabricación del bastidor se ve un objeto de apariencia muy simple pero la fabricación de un bastidor tubular requiera importantes conocimientos técnicos como la selección de la geometría el espesor y la forma y también la elección de materiales que debe tener ductilidad, mecanizado y resistencia para elaborar el bastidor mediante la simulación que se realizará en Inventor 2022

Dependiendo de la construcción del bastidor de un vehículo formula SAE eléctrico hay que tener en cuenta que el bastidor debe ser liviano, pero debe tener estabilidad y rigidez para brindar una mejor seguridad al conductor. Desde el punto de vista el bastidor debe estar elaborado y diseñado para aguantar el peso de los componentes de un vehículo formula SAE eléctrico y también debe soportar las fuerzas de inercia generadas al manejar lo cual esta fuerza se produce en aceleración, frenado bruscos y en curvas a toda velocidad.

Para construir la estructura tubular de un vehículo formula SAE eléctrico debemos tener en cuenta varios parámetros básicos durante la construcción del bastidor como son la longitud total la anchura total y la altura, también es necesario realizar un análisis de la correcta ordenación de los elementos electromecánicos

Figura 25

Consideraciones geométricas



Nota. Vista isométrica de chasis del vehículo SAE Eléctrico

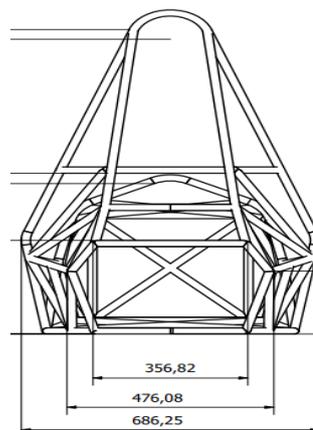
Ancho total

La anchura total del vehículo formula SAE eléctrico se considera de acuerdo con las especificaciones del reglamento SAE ya que la organización dicta las dimensiones que se deben tener en cuenta a la hora de fabricar el bastidor de igual manera se estima el tamaño de todos los componentes eléctricos que conlleva esta fórmula SAE

Los componentes se distribuyen de una manera estéticamente agradable para no entorpecer el movimiento del conductor al momento de una emergencia.

Figura 26

Ancho total de la formula SAE eléctrico



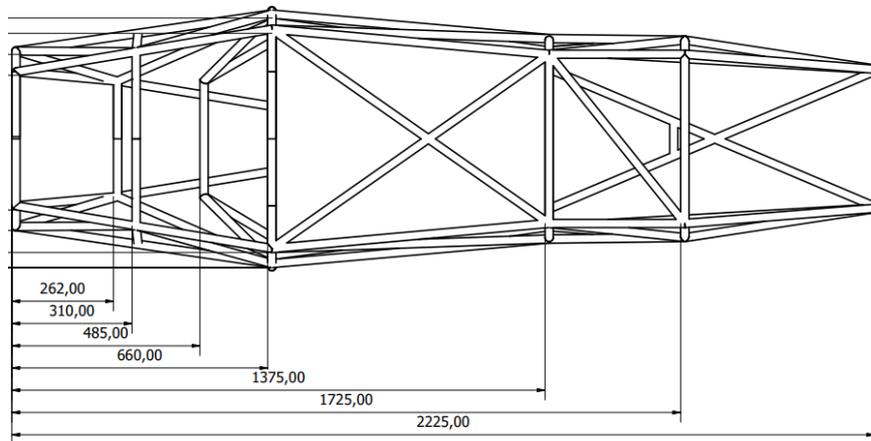
Nota. Vista frontal del chasis del vehículo SAE Eléctrico

Largo Total

La longitud total que tiene el bastidor del vehículo fórmula SAE eléctrico tiene parámetros diferentes como la distancia que mide entre los ejes y el espacio que necesita el tren motriz, y esto se tendrá en cuenta por la normativa SAE que interviene en la elaboración del bastidor

Figura 27

Largo total del vehículo formula SAE eléctrico



Nota. Vista Superior del chasis del vehículo SAE Eléctrico

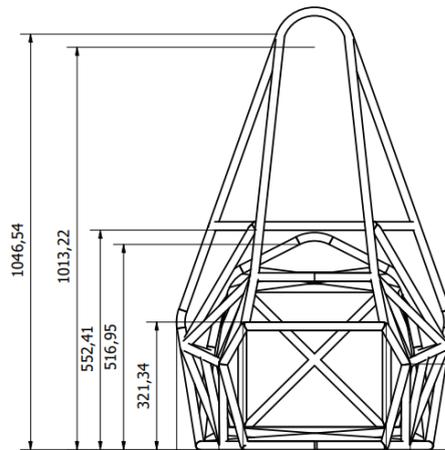
Altura total

En este caso la altura requerida del bastidor de un vehículo fórmula SAE eléctrico está relacionada con la solidez y la estabilidad que debe poseer a la hora de conducirlo ya que una altura excesiva provocará inestabilidad al momento que la fórmula SAE eléctrico se muevan en caminos rectos o curvos a altas velocidades.

Estos requisitos vienen fijados por la normativa SAE con parámetros específicos aptos de explicar la altura total que tendrá el bastidor del vehículo fórmula SAE Eléctrico.

Figura 28

Altura total de la formula SAE eléctrica



Nota. Vista Posterior del chasis del vehículo SAE Eléctrico

Ergonomía del piloto

El modo de conducción que aplica la fórmula SAE eléctrico directamente afecta su comportamiento. En sí el peso que proviene del conductor representa y supone el 55% de todo el peso total del vehículo formula SAE eléctrico lo cual la posición del centro de gravedad perjudica directamente a su configuración. Debido a que la fórmula SAE eléctrico tendrá movimiento en pistas con baches cualquier vibración del terreno irregulares se transmite directamente al conductor por lo cual una posición de asiento adecuadamente proporciona aspectos de la comodidad de conducción y también ayuda a soportar resistencias físicas durante el movimiento, viajes, pruebas o de uso diario.

La posición del manejo debe estar siempre directamente relacionada con los parámetros de puesta a punto del coche la cual no se puede suscitar el óptimo comportamiento de la fórmula SAE eléctrico entonces de nada sirve tener una posición muy cómoda. La posición de conducción cómoda sin comprometer el ajuste se determina mediante la configuración de diversos parámetros como por ejemplo la distancia que tiene entre el asiento y el suelo.

Figura 29

Ergonomía del vehículo



Nota. La fórmula Sae tiene normativas para la respectiva protección del conductor. Tomado de (Autocrash, 2017, Marzo 14)

Características que influyen en la ergonomía del piloto

Las características de la ergonomía de vehículos son esenciales para un correcto confort del conductor por ende las dos manos deben sujetar el lado superior del volante. Pero no debe superar la altura de los hombros. Inclinar bastante la silla elevará los brazos por encima de la altura de los hombros y por el contrario inclinar la silla en posición vertical cambiará la distribución del peso

Figura 30

Características que del piloto

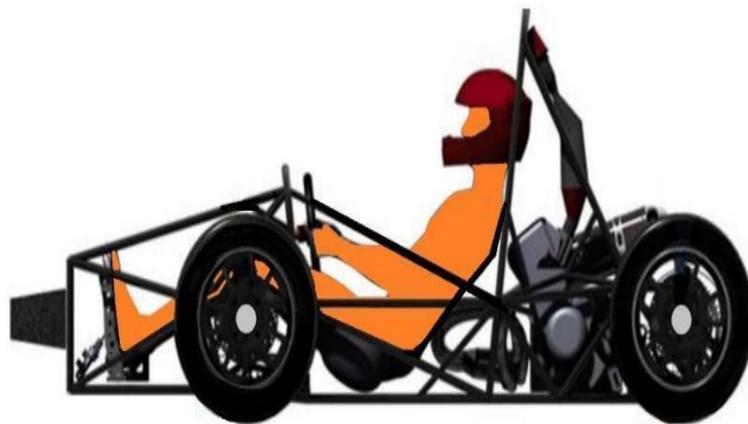


Nota. La fórmula SAE tiene su respectivo operativo de manejo. Tomado de (Bohner Max, G. H, 2001)

La cómoda posición de conducción ayuda al conductor a sentirse relajado y cómodo lo que aumenta la versatilidad de un vehículo formula SAE eléctrico y ayuda a mejorar la estabilidad del vehículo y el agarre en la pista. La posición al momento de conducir debe ser ideal lo cual para tener esta posición ideal se debe tener las extremidades levemente doblados máximo hasta la mitad para así alcanzar los pedales y también el volante del mismo modo el asiento se inclina generalmente entre 30 a 45°

Figura 31

Posición de conducción



Nota. Se necesita tener una buena posición al conducir para tener una buena comodidad. Tomado de (Martinez, 2021)

Concepto de rigidez del bastidor

El bastidor actúa como enlace entre los ejes del vehículo tanto la parte delantera como la trasera que soporta la gran masa del vehículo y protege al conductor de algún accidente que pueda ocurrir. A continuación, en este capítulo se tratará los parámetros que deben optimizarse para mejorar el rendimiento del bastidor. Entonces se estudiará el principal factor que es la rigidez.

El comportamiento del vehículo mejora con el aumento de la rigidez del bastidor y la rigidez acumulada siendo el peso los componentes funcionales clave del bastidor. El problema para optimizar estos factores es que en muchos casos una mayor rigidez significa un mayor peso y costo. Dependiendo de las limitaciones técnicas y económicas de la competencia en la que el vehículo pretenda participar el costo total debe ser inferior a \$25,000 dólares. Así como el costo no tiene mucha importancia en competencias como lo es la Fórmula 1 si tiene un valor significativo en una competencia como la fórmula SAE porque su excedente implica recortes presupuestarios para otras partes del vehículo

Crterios de rigidez

Se puede decir que la rigidez en sí es una función lineal que se puede definir por medio de esta fórmula:

$$K = \frac{P}{\Delta}$$

K= Parámetros de rigidez

P= Fuerza ejercida

Δ =Desplazamiento

Los autos del mundo utilizan la rigidez torsional que tiene la siguiente formula:

$$K = \frac{M}{\theta}$$

Este es el caso más común y las unidades utilizadas son (N.m/grado de definición) más comúnmente expresado para el par que actúa en 1° de deformación

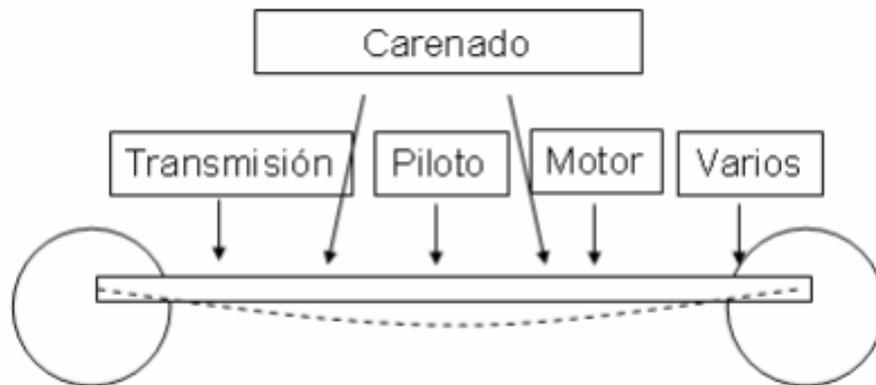
La capacidad de un bastidor para resistir la tensión sin deformarse o un mayor movimiento según el tipo de tensión al que este sujeto se puede clasificar en rigidez a la flexión y a la torsión. (Aguado, 2014)

Rigidez a la flexión

Los vehículos estarán sujetos a varias cargas que se tiende a deformarse el bastidor cuando el vehículo esta soportado por la suspensión como se muestra en la imagen

Figura 32

Representación de la flexión del chasis



Nota. Rigidez a la flexión se ocasiona por las cargas que se tiende a deformar. Tomado de (Bohner Max, G. H, 2001)

La rigidez a flexión tiene la siguiente formula

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{E * I}{L}$$

Donde:

I = Momentos de inercia

K = Rigidez a flexión

M = Momento flector

E = Modulo de elasticidad

θ = Angulo de deformación

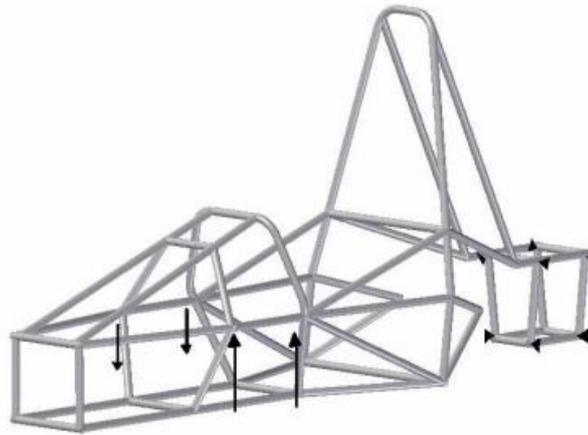
L = Longitud

Rigidez a Torsión

La rigidez de torsión se debe a cargas desequilibradas que pueden crear demasiado torque en el bastidor. Cómo puede ser como tales cargas asimétricas que pueden ser horizontales o verticales

Figura 33

Esquema de ensayo de torsión



Nota. Aquí se ve como sus diferentes cargas van a estar en el bastidor. Tomado de (Derichebourg, 2020)

La rigidez a torsión tiene la siguiente formula

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{G * J}{L}$$

Donde:

T= Momento torsor

K= Rigidez a flexión.

G= Módulo de cortadura

θ= Angulo de deformación.

L= Longitud

Capítulo III

Modelado

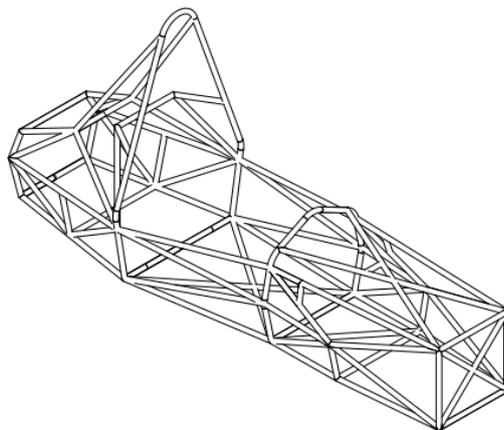
En la actualidad existen muchas aplicaciones o programas que pueden ayudar al modelado de varias áreas estructurales, en esta ocasión en el sector automotriz existen programas muy mejoradas que pueden partir desde esquemas o diagramas de líneas hasta el diseño del bastidor de un fórmula SAE eléctrico que luego viene determinado por los materiales para la construcción entre otras cosas.

En esta ocasión se debe tener en cuenta los conocimientos adquiridos durante la trayectoria de la carrera, el modelado estructural del bastidor tubular de un vehículo fórmula SAE eléctrico se elaborará por medio de un software que tiene una ventaja significativa en estos tipos de modelados.

El software utilizado es Inventor 2022 para diseñar el modelado, por lo que se realizará un boceto a partir de las dimensiones del bastidor, cuando se complete el dibujo lineal de la estructura, los materiales se seleccionarán secuencialmente.

Figura 34

Bastidor realizado en Inventor 2022



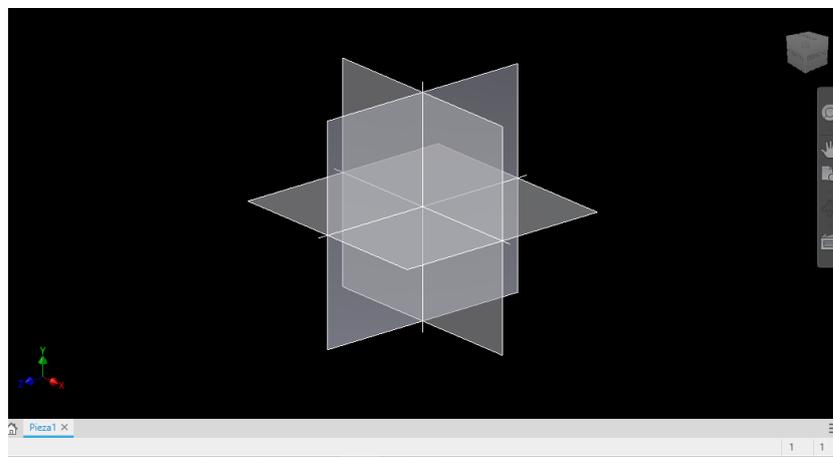
Nota. Modelado en Vista Isométrica del chasis del vehículo SAE Eléctrico

Modelado del bastidor

El modelado del bastidor se realizará utilizando el software Inventor 2022, donde el contorno del bastidor comenzará en el plano 2D para después elegir el comando (dibujo 3D) en función al esquema 2D se dibuja puntos de referencia donde se elabora el diseño de la parte frontal del bastidor, dado que el bastidor se interpreta en 3 ejes de coordenadas (X, Y, Z dimensiones).

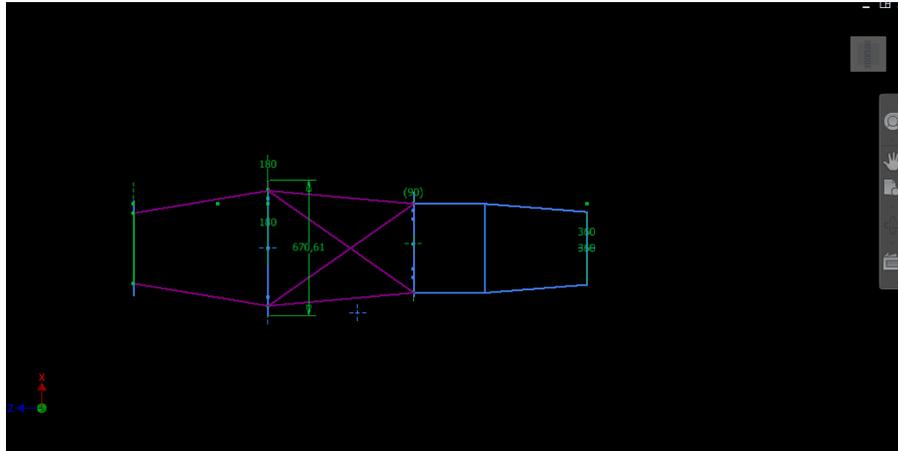
Figura 35

Bocetos en Inventor



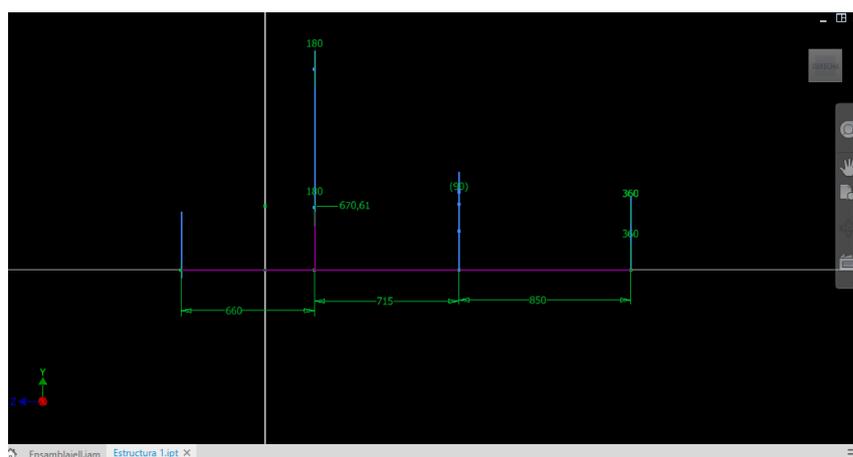
Nota. Se diseñó en el software inventar el bastidor del formula SAE.

Se empezó a dibujar la base de la carrocería con las medidas estándar de normas SAE. Elegimos un plano donde se va a dibujar la base el cual fue el XZ nos guiamos por el diseño que nos presenta la normativa.

Figura 36*Base de la carrocería*

Nota. Diseño de la base del bastidor para construcción de los perfiles.

Al terminar el diseño de la base de la carrocería empezamos a dibujar los perfiles del plano XY, son 4 perfiles que van separados desde la parte frontal a una distancia de 850mm hasta el segundo perfil que está a una distancia de 715mm el tercer perfil se encuentra a una distancia de 660 mm hasta la parte posterior como se ve en la figura 34.

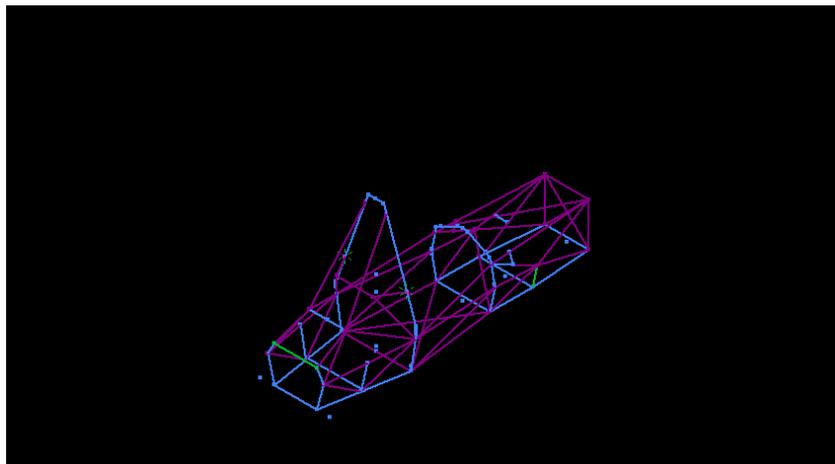
Figura 37*Distancia entre los perfiles del plano XY*

Nota. Separación de los perfiles para el diseño del formula SAE.

Al concluir el diseño de los perfiles y la base de la carrocería realizamos las uniones en los puntos que se interceptan para formar la carrocería del formula SAE siempre guiándose con el diseño que se presentan en las reglas de Formula SAE como se ve en la figura 37.

Figura 40

Unión de líneas para la construcción de un Formula SAE

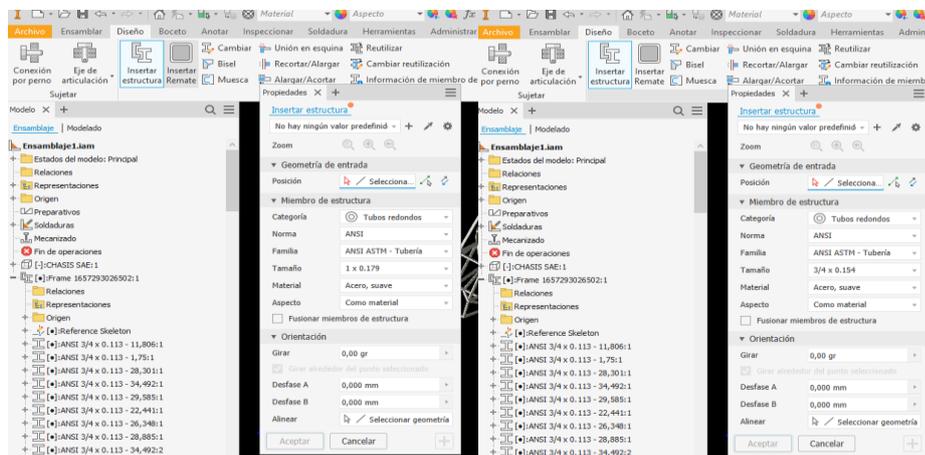


Nota. Diseño en líneas para el diseño del formula SAE.

El tubo que se aplicó en la carrocería es de 1 pulgada en las bases principales y de $\frac{3}{4}$ para el diseño como se describe en la figura 38

Figura 41

Dimensiones de los tubos de la carrocería del Formula SAE

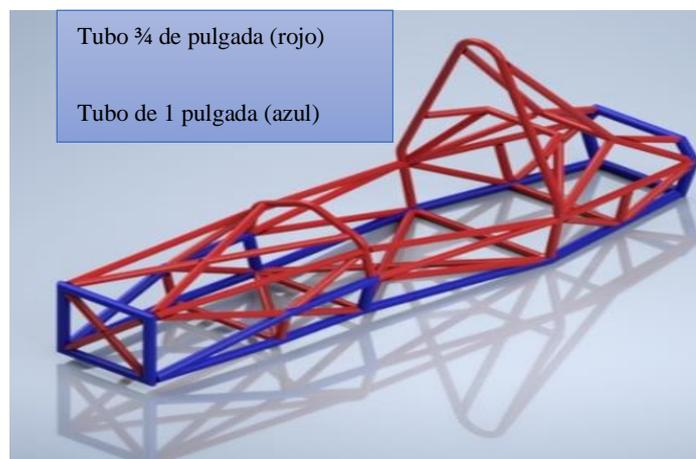


Nota. Destalles del tipo de tubería que aplico en el bastidor del formula SAE.

Los tubos rojos sola la base principal donde se va colocar el tubo de 1 pulgada para que soporte la carga de la carrocería. Los tubos azules son de $\frac{3}{4}$ de pulga donde realizo el diseño del Formula SAE como se ve en la figura 39.

Figura 42

Distribución de los tubos en el bastidor

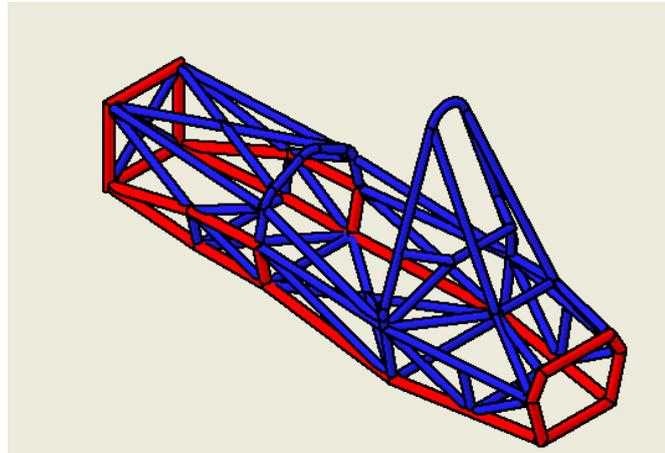


Nota. Renderización de chasis del formula SAE

Análisis por elementos finitos del Chasis del Formula SAE

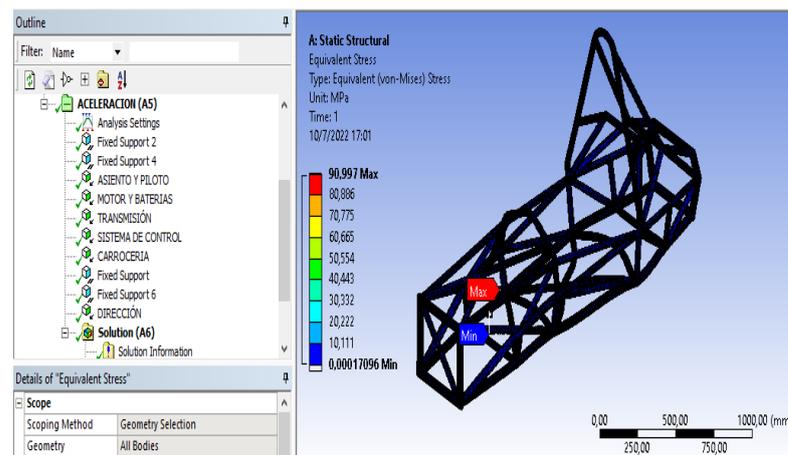
En el análisis de la estructura se aplicaron las siguientes fuerzas en plano Y. Se aplico una fuerza de soporte 1,2,4 y 6 con una fuerza de -7000 Newton.

En la carrocería se distribuyó los elementos que componen el Formula SAE que son: Motor y Batería con una fuerza de 267 Newton, la carrocería en si tiene una fuerza de 200 Newton, en la parte del copiloto se aplicó una fuerza de 800 Newton, en las partes posterior se aplicó la fuerza de transmisión de 300 Newton, para la parte de control se aplicó una fuerza de 100 Newton y finalmente en la parte frontal se aplicó la fuerza en sistema de Dirección que es de 100 Newton.

Figura 43*Análisis de cargas*

Nota. Planos del chasis en la vista Isométrica.

Al aplicar todas estas fuerzas en el chasis del Formula SAE se realizó la simulación de la Estructura Estática para comprobar si cumple en la escala de seguridad. Toda la estructura soporto estas cargas y dio una escala menor a 1

Figura 44*Simulación de cargas aplicadas en el bastidor*

Nota. Modelado en ANSYS de Elementos Finitos.

Tipo de mallado

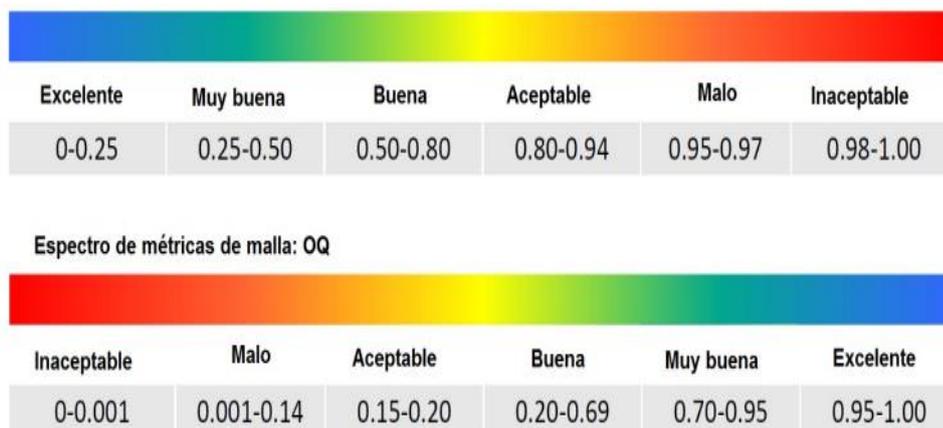
Meshing tiene seis métodos de mallado para las geometrías 3D en software de ANSYS. Los cuales son el Tetraedros, barrido (prismas o hexaedros), zonas múltiples, Hexaédrico dominante, Malla CutCell cartesiana, Automático (Combina tetraedros de parche conforme con barrido según la complejidad de la geometría). Todos estos métodos de mallado permiten el mejoramiento de la estructura para el análisis estructural. Si se general de forma automática el mallado será irregular y existiera errores al momento de realizar el análisis estructural. (J. G. ARDILA MARÍN, D. A. HINCAPIE ZULUAGA, J. A. SIERRA DEL RIO, 2016)

Estudios de independencia de mallas

El número de Nusselt proporciona e identifica la medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie, (J. G. ARDILA MARÍN, D. A. HINCAPIE ZULUAGA, J. A. SIERRA DEL RIO, 2016)

Figura 45

Espectro de calidad de métricas



Nota. Cuadro de seguridad para la aplicación del mallado 2018. Tomado de (Chevilan, 2020)

El tipo de mallado que se empleado en el análisis estructural del Formula SAE es un mallado de hexaédricos. Se configuró con el ajuste geométrico, la preferencia física que se uso es la **CFD** con un elemento de orden Lineal. Las medidas de los elementos son por defecto (132,28) con el Formato Export es Estándar como se representa en la Figura 43.

Figura 46

Detalles de mallado

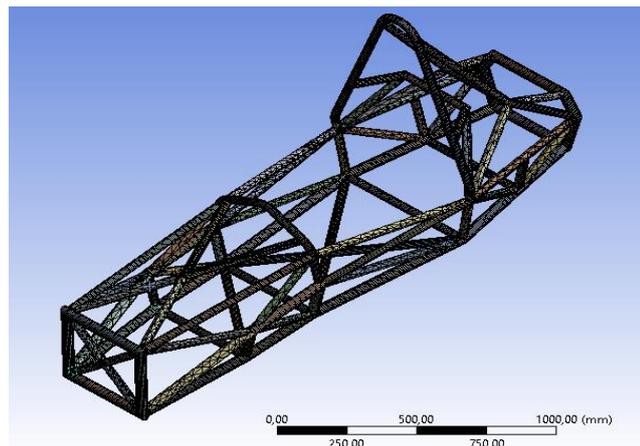
Details of "Mesh"	
[-] Display	
Display Style	Use Geometry Setti...
[-] Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (132,28 mm)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
[-] Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)

Details of "Mesh"	
Average Surface Area	15705 mm ²
Minimum Edge Length	6,4564e-002 mm
[-] Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	1,1677e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,99702
<input checked="" type="checkbox"/> Average	0,77949
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13375
[-] Inflation	

Nota. Parámetros para la aplicación del mallado en el bastidor.

Figura 47

Mallado hexaédricos



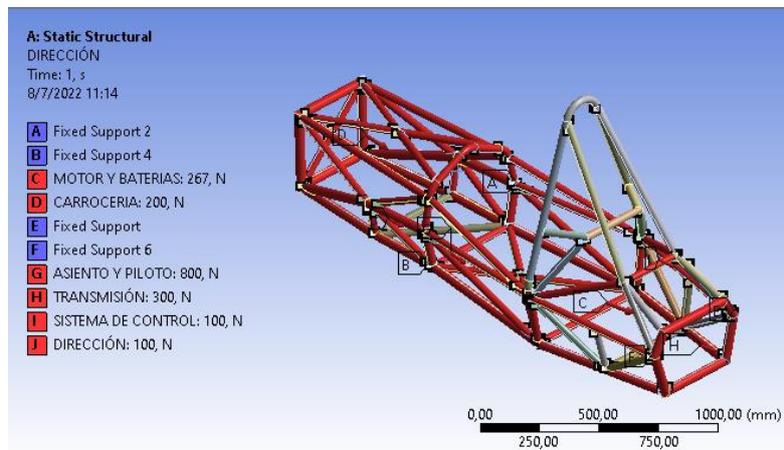
Nota. Mallado hexagonal que se aplicó en el bastidor.

Análisis de Aceleración

En el análisis de la aceleración se aplicó fuerzas en el eje X ya que todas las fuerzas van hacia una dirección horizontal. Con las cargas ya descritas del Formula SAE se da paso a realizar a la simulación los resultados obtenidos fueron muy viables que ya que la estructura no sufrió ni una deformación los detalles se presentaran en la siguiente figura 45.

Figura 48

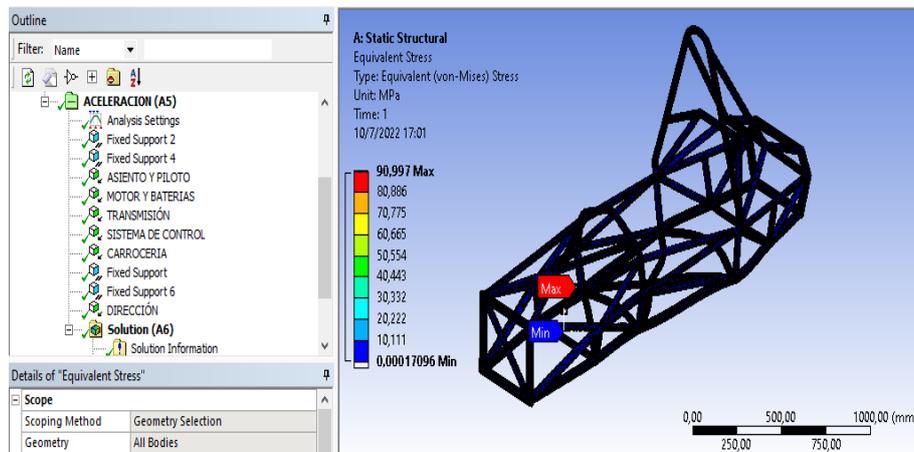
Descripción de las cargas aplicadas en el bastidor



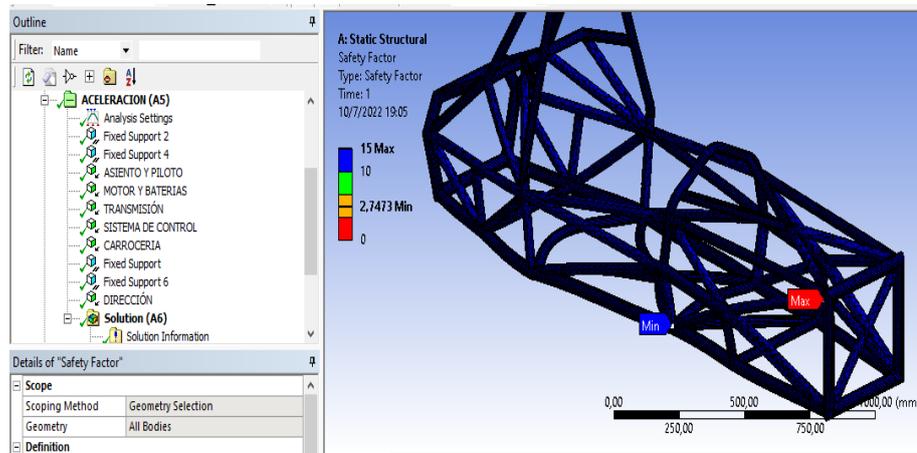
Nota. Fuerzas aplicadas en bastidor del formula SAE distribuidas por el bastidor.

Figura 49

Simulación de la aceleración



Nota. Parámetros de seguridad que puede soportar el bastidor del formula SAE.

Figura 50*Esfuerzos mínimos y máximos*

Nota. Simulación del bastidor, verificándolos parámetros de seguridad.

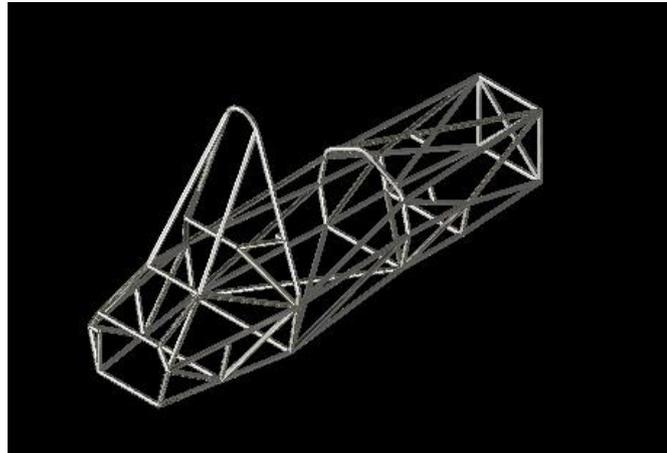
Construcción del chasis tubular

Antes de construir el bastidor tubular se debe tener en cuenta un plano donde se debe especificar las dimensiones y medidas, los planos permitirán la implementación rápida de los tubos para que consiga forma el bastidor de un vehículo formula SAE eléctrico ya que se lograra un proceso de construcción rápido y seguro y se reducirá la tasa de tiempo de inactividad, y materiales, así como también el ensamble preciso de la estructura.

Con el modelado construido en el software Inventor 2022 se crea el bastidor tubular de un vehículo fórmula SAE eléctrico.

Figura 51

Modelado del bastidor tubular



Nota. Construcción y diseños del bastidor en el software inventor.

Al terminar la estructura del chasis tal y como se muestra en la imagen, se unen todos los sistemas que en sí forman parte de un fórmula SAE eléctrico los cuales son:

- Carrocería
- Sistema de Dirección
- Sistema de Tren de Potencia
- Sistema de Frenos

Requerimientos de construcción

Para la debida construcción del bastidor tubular se debe equipar adecuadamente para no tener accidentes graves como son desgarraduras, lesiones etc., los cuáles son causados por el mal uso de las herramientas. El equipo de protección personal también es necesario para evitar quemaduras.

Al cortar soldar etc. Tener las herramientas adecuadas es esencial para una elaboración correcta para beneficiar el tiempo de construcción y materiales.

Materiales

Se dará a conocer los materiales que se emplearán para fabricar el bastidor de un fórmula SAE eléctrico. El tipo de material que se utilizará para la construcción del bastidor se indicará en la siguiente tabla.

Tabla 3

Materiales usados en la construcción

Tipos de materiales utilizados en el bastidor	
MATERIAL	DIAMETRO
Tubo astm	1 pulgada célula 40
Tubo astm	$\frac{3}{4}$ " célula 40
Tubo negro ISO 2	$\frac{3}{4}$ "

Nota. Materias que se adquirieron para la construcción de bastidor del formula SAE.

Dimensionamiento de la tubería

Para empezar la construcción del bastidor se debe marcar los tubos lo cual consiste en un proceso en el que se utiliza el tamaño del tubo. Entonces al construir el bastidor al marcar el tubo y luego cortarlo se debe tener en cuenta el consumo de material.

Al momento de marcar el tubo debemos tener varias herramientas como por ejemplo escuadras o flexómetros. Esto favorecerá a la precisión que tendrá al momento de cortar. Para marcar los tubos se utiliza lápiz, esfero o tiza y así tener una mejor vista al momento de cortar el tubo.

Figura 52

Señalamiento de tubos para el respectivo corte



Nota. Como se ve en la imagen procedemos a subrayar el tubo para un corte previo.

Corte del tubo

Para realizar el corte del tubo ya señalado con el valor medido, la línea de corte debe ser precisa y perfecta. Por lo tanto, no debe existir problemas de llenado ni defectos al momento de la soldadura.

Para realizar el correspondiente corte del tubo se necesitará una herramienta eléctrica para ayudar el proceso de corte y no realizar el corte manual, esta herramienta eléctrica para realizar el corte correspondiente es la amoladora.

Figura 53

Corte de tubos para la elaboración del bastidor



Nota. Se procede a realizar con una cortadora eléctrica la cual es la moladora.

Tipo de corte.

El tipo de corte que se va a utilizar se denomina corte de boca de pescado, este tipo de corte es más utilizado en tubos redondos porque así al momento de realizar este tipo de corte encaja de tubo a tubo y evita la penetración de desechos al momento de soldar y así lograr una soldadura uniforme.

Figura 54

Tipo de corte boca de pescado



Nota. Corte boca de pescado

Doblado de tubos

Para el proceso de doblado de los tubos se requiere una herramienta que se denomina dobladora hidráulica esta dobladora realiza el doblado del tubo según el ángulo establecido. Como se visualiza en la Figura 52.

Figura 55

Doblez de tubos con la dobladora hidráulica



Nota. Se dobla los tubos con la ayuda de una dobladora hidráulica

A realizar el doblado del tubo, este se puede doblar en caliente o en frío. El doblado en frío tiene un costo muy bajo, mientras que el doblado en caliente el costo es más elevado.

Soldadura de la estructura

El proceso de soldadura utilizado para estructurar y ensamblar los tubos doblados y cortados con precisión es la soldadura MIG.

El tipo de soldadura a utilizar denominada MIG se caracteriza por utilizar soldadura por arco que utiliza un electrodo metálico y funde el material, este es protegido por un gas proporcionado por un tanque externo

El gas utilizado en este proceso de soldadura es CO₂ el alambre es de 0,9 AWS de espesor. La calidad que brinda la soldadura MIG se refleja en situaciones donde realizar este proceso tiene importantes ventajas como son:

- Buen acabado del cordón
- No tiene escoria
- Tiene una mayor penetración
- Rapidez de deposición

- Visibilidad de arco

Figura 56

Máquina de soldar tipo MIG



Nota. Esta máquina es la que produce la soldadura mig.

Ya determinado el procedimiento de soldadura, las tuberías se ensamblan de acuerdo con los planos realizados y se procede a soldar cómo se visualiza en la figura 54

Figura 57

Proceso de soldadura mig



Nota. Proceso de soldadura mig con su respectiva protección.

Uniones soldadas

Antes de proceder con la soldadura de cordón para montar el bastidor, se necesita tener en cuenta que el bastidor tubular puede sufrir modificaciones ante un posible fallo durante la construcción, por lo cual se necesita hacer puntos de soldadura que se deben realizar con la soldadura MIG.

Figura 58

Unión de tubos por medio de los puntos de suelda



Nota. Para unir los tubos se utiliza la técnica de suelda por puntos.

Ya cuando el bastidor está completamente ensamblado y no hay problemas, se continúa a unir los nodos correctamente para que sean estables y seguros para que los diversos sistemas de un fórmula SAE pueda instalarse correctamente.

Defectos de la soldadura

Puede aparecer varios defectos en la soldadura, puede provenir del tipo de electrodo utilizado o de la deformación por la alta temperatura aplicada y de irregularidades del cordón lo cual puede cambiar la forma y configuración tanto por dentro y por fuera de la soldadura.

Porosidad

Este defecto denominado porosidad se presenta con frecuencia en la soldadura lo cual aparece como pequeños puntos discontinuos en forma de cavidades, en sí tiene

agujeros o en otras palabras son vacíos que se forman por el gas atrapado al momento de soldar. Los vacíos que quedan en el cordón de soldadura provocan una pérdida de resistencia.

Figura 59

Porosidad



Nota. La soldadura deja sus defectos como por ejemplo la porosidad.

Armado de la estructura tubular

Se comenzó el proceso de soldadura y ensamble de los tubos que componen el bastidor de un fórmula SAE. Por lo cual se empezará ensamblando con una base de medidas, esta base son las dimensiones que son requeridas para los diferentes componentes que conforman un fórmula SAE como el motor, el eje trasero, el sistema de dirección y también los frenos, después de la soldadura respectivamente, encontrando así la distancia o la posición de estas piezas lo cual no deben cambiar mucho. De esta forma se consigue la correcta combinación de la parte delantera, lateral y trasera del bastidor mediante la soldadura MIG para la correspondiente unión del chasis tubular.

Figura 60

Elaboración del bastidor tubular



Nota. Después de tener todos los cortes se tiende a unir con la ayuda de la soldadura mig.

Una vez terminado el bastidor de un fórmula SAE se procedió a la construcción de todas las bases para los diferentes elementos fijos y móviles que forman parte del prototipo de competición como son:

En la figura número 58 se puede observar la base de la transmisión donde fue construido previamente en base a las dimensiones de la transmisión, para que esta tenga una sujeción firme en las pruebas que se realizaran previamente.

Figura 61

Base donde va a estar sujeto la transmisión



Nota. Como se visualiza se realizó un soporte donde va a estar asentado la transmisión

Esta base para el motor se lo hizo sujeto al bastidor para tener una mejor firmeza tambien se hizo en base a las medidas que tiene el motor como se visualiza en la figura 59.

Figura 62

Base donde va sujeto el motor



Nota. Aquí va a estar sujeto el motor para una mayor eficacia.

Las bases de los frenos se realizaron a los lados del bastidor como se visualiza en la figura 60, ahí estarán sujetos los frenos de disco que irán a las 4 ruedas

Figura 63

Base donde van sujeto los frenos



Nota. Aquí van a ir sujetos los discos de frenos

Pintado del bastidor

Ya ensamblado y finalizado el bastidor tubular de un vehículo fórmula SAE eléctrico se tiende a pintar el chasis, el color de pintura del bastidor será de acuerdo al reglamento de la fórmula SAE que es el color negro, este color va a resaltar y combinar con los demás componentes que conforma un fórmula SAE, en sí evita el desgaste y mantiene la protección de los diversos factores climáticos que perjudican el terminado del bastidor.

Figura 64

Procedimiento de pintura en el bastidor de un formula SAE



Nota. Se pinta para tener una mejor visualización y evitar corrosiones.

Al finalizar el procedimiento de pintura podemos visualizar en la figura 62 el resultado final del chasis tubular para un vehículo formulas eléctrico con extraordinarios acabados.

Figura 65

Finalización de pintado del bastidor tubular



Nota. Terminado del bastidor con todas sus bases incluidas.

Capítulo IV: Protocolo de pruebas

Protocolo de pruebas

Una vez finalizada toda la construcción del chasis tubular de un fórmula SAE, y también ya instalado todos los sistemas que componen un vehículo fórmula SAE eléctrico, se procedió a verificar el funcionamiento de todos los sistemas para identificar defectos. Para ello se realizan pruebas funcionales para identificar cualquier anomalía en el fórmula SAE eléctrico.

Todas las pruebas se llevaron a cabo con cada uno de los elementos conectados e instalados de forma funcional, cada sistema como el motor, dirección, suspensión, frenos aportaron cargas al chasis, el principal propósito al realizar las pruebas es verificar si el chasis tubular presenta desperfectos o desprendimientos de todos los componentes instalados, incluso para comprobar inestabilidad o vibraciones provocadas por el motor eléctrico, pueden producirse anomalías por el peso causado de los sistemas que componen el fórmula eléctrico incluido el conductor.

El vehículo fórmula SAE contiene el peso de los sistemas, así como el peso del conductor, estos pesos hacen que la estructura esté sometida a cargas importantes a la hora de probar los resultados correctos de la sustentación, soporte y funcionamiento de un fórmula SAE eléctrico, ya con los recorridos hechos.

Figura 66

Vehículo formula SAE preparado para las pruebas correspondientes



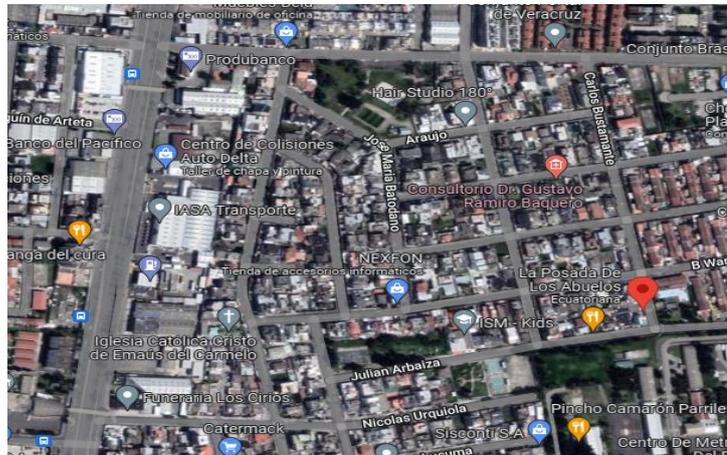
Nota. Protocolo de pruebas donde se verificará el buen funcionamiento del bastidor.

Pruebas en pista

Las correspondientes pruebas se realizaron para validar el buen rendimiento del chasis, también el buen funcionamiento de los sistemas complementarios de un vehículo fórmula SAE eléctrico, estas pruebas se exponen a diversos y duras condiciones alrededor de la pista. Donde se realizaron las pruebas correspondientes fue en la ciudad de Quito, se eligió este lugar porque el recorrido alrededor del campo proporciona un conjunto de curvas y tramos que permite una operación tranviaria más definida, poniendo a prueba todos los sistemas de un fórmula SAE eléctrico.

Figura 67

Pista del sector Inca, Ciudad Quito



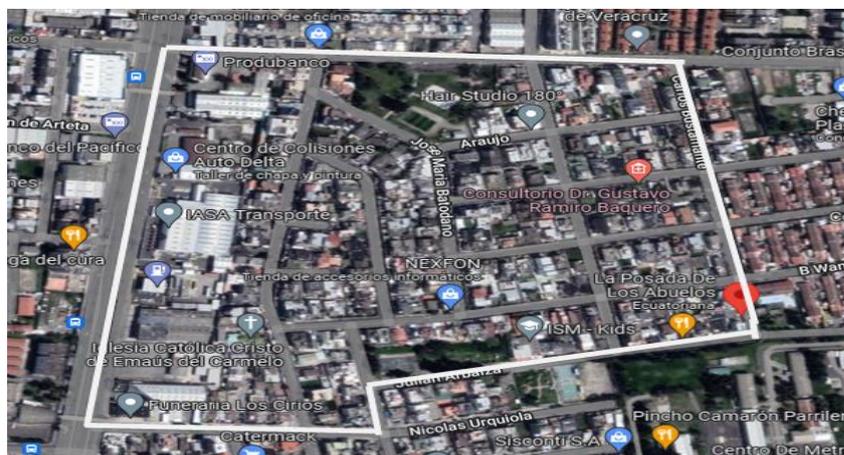
Nota. Proyección de donde se va a realizar las pruebas.

Para ello el vehículo formula SAE eléctrico se movió a velocidades considerables partiendo inicialmente a baja velocidad, esto fue para comprobar el correcto y normal funcionamiento de todos los componentes y sistemas que equipa un vehículo formula SAE eléctrico por lo cual se rodeó el camino del sector Inca como se visualiza en la figura 66.

Cuando ya se han probado absolutamente los sistemas, las correspondientes pruebas se ejecutaron a velocidades altas y en condiciones más duras para verificar el buen funcionamiento de un fórmula SAE eléctrico.

Figura 68

Ruta donde se realizó las pruebas



Nota. Ruta a realizar para las correspondientes pruebas.

Ya hechas las pruebas tenemos como resultado una excelente estabilidad del bastidor en curvas y esto se produce cuando el funcionamiento del bastidor es adecuado, lo que proporciona al bastidor ser una estructura que tiene resistencia y estabilidad frente a cualquier pista ya sea con baches, cuestas y curvas.

Después de que el vehículo fue enviado al proceso de pruebas durante unas 5 vueltas a una velocidad muy considerable se verificó que el chasis tubular puede soportar efectivamente tales exigencias, lo que prueba que la fabricación del chasis tubular para un vehículo formula SAE eléctrico cumple con una excelente confiabilidad al momento de un manejo exigente.

Figura 69

Comportamiento a pistas exigentes



Nota. Pruebas realizadas en cuestas, baches y cuervas

Tabla 4*Estado de la carrocería y del bastidor*

Ítem	Componente	Estado		Observaciones
		Bueno	Malo	
1	Bastidor	Si		Ninguna
2	Carrocería	Si		Ninguna

Nota. Determinación del estado de la carrocería y del bastidor

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se logro terminar el diseño, simulación y construcción para así verificar el desenvolvimiento del chasis durante las pruebas de ruta, los objetivos del proyecto es diseñar un chasis que soporte las cargas durante su trayectoria. Las pruebas realizadas en el formula SAE fueron un total éxito cumplieron con todos los aspectos. Además, se obtuvo la aprobación técnica realizada por ingenieros especializados en carrocerías todo eso se basó en el reglamento de la Formula SAE 2022.

Mediante el software Inventor se determinó los espacios adecuados para la instalación de los sistemas mecánicos y eléctricos. Todo esto se aplicó mediante un diseño para su exacta ubicación del conductor, motor, dirección, frenos, amortiguadores, baterías, potenciómetro y VMS. Gracias al diseño se pudo obtener una buena organización y un mejor rendimiento para el formula SAE ya que se pudo optimizar varios aspectos en el vehículo.

Los resultados de los análisis finitos determinaron si la estructura era capaz de soportar las cargas que se iban aplicar al bastidor como en condiciones excesivas de funcionamiento y también en condiciones de impactos. En todas las simulaciones que se realizaron no hubo un sobrepaso del límite elástico que pudo deformar al material aplicado para la construcción del bastidor así evitando teóricamente las deformaciones permanentes que se pudieran presentar en la estructura.

Las pruebas dinámicas que se realizaron en las pistas tuvieron resultados muy positivos en chasis del formula SAE, esto repercute mucho en el diseño, construcción y la buena distribución de los pesos en el chasis. El proyecto de la fabricación de un formula

SAE fue todo un éxito gracias a los conocimientos adquiridos y aprendidos durante la fabricación del SAE eléctrico.

Recomendaciones

Regirse a la normativa del formula SAE 2022, respetando los parámetros de construcción, material, peso, altura, tubos y tipos de acero. Esto permite un diseño garantizado al momento de su fabricación todo esto certificado por la normativa de la formula SAE

Durante la fase de construcción es recomendable mejor los prototipos continuamente en el diseño de fisuras para evitar un exceso de desperdicio de material al momento de su fabricación para obtener un mayor rendimiento.

En el proceso de soldadura se recomienda utilizar el proceso de MIG para así obtener una soldadura de mayor resistencia.

Para el diseño del chasis se utilizaron tubos de 1 y $\frac{3}{4}$ de pulgada con un grosor de 2.4 mm con un diseño obtenido por la normativa y mejorando su estructura para un mejor manejo. Además, para un mejor sostén de las cargas que se aplicaron durante las pruebas de ruta.

Bibliografía

- Aguado, D. S. (2014). *Diseño y analisis de un chasis* . Madrid. España. Recuperado el 26 de Junio de 2022, de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23229#preview>
- Autocrash. (2017, Marzo 14). Conozca los métodos de unión para el ensamble de carrocerías. En *Autocrash*. Recuperado el 04 de Junio de 2022, de <https://www.revistaautocrash.com/conozca-los-metodos-union-ensamble-carrocerias/>
- Bohner Max, G. H. (2001). *Tecnología del automovil*. Barcelona: Reverte, S.A. Recuperado el 21 de Mayo de 2022, de <http://biblioteca.uide.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=19381>
- Chevilan. (2020). *Chevilan*. Recuperado el 21 de 05 de 2022, de <http://chevilan.es/soldadura-metales>
- Demaquinasyherramientas.com. (2016, marzo 16). *Demaquinasyherramientas. Introducción a la Soldadura por Arco*. Recuperado el 04 de Junio de 2022, de <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-por-arco>
- Derichebourg. (2020). *Tipos de acero* . Recuperado el 05 de Junio de 2022, de <https://www.derichebourgespana.com/tipos-de-acero/>
- Esab. (2017). *Esab*. Recuperado el 21 de 05 de 2022, de https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso_soldadura_gmaw.cfm
- ESGRAF. (06 de Agosto de 2020). *Especialidades de grafito S.A. de C.V.* Recuperado el 04 de Julio de 2022, de <https://www.esgraf.com.mx/fibra-de-carbono-aplicaciones-industriales/>
- Fibras Naturales*. (01 de Enero de 2019). Recuperado el 03 de Julio de 2022, de <https://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/>

- Frías, G. (27 de Febrero de 2017). *Fibras textiles naturales*. Recuperado el 03 de Julio de 2022, de <https://gabrielfariasiribarren.com/fibrastextiles-naturales/>
- Galbarro, H. R. (2012). *Fundamentos de la Soldadura MIG-MAG*. Sevilla. Recuperado el 21 de Mayo de 2022, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn53.html>
- Galbarro, H. R. (2015). *El Bastidor de los Vehículos Automóviles*. Recuperado el 21 de 05 de 2022, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>
- Gobain, S. (02 de Enero de 2021). *Saint Gobain*. Recuperado el 04 de Julio de 2022, de <https://www.saint-gobain.com.mx/aplicaciones-del-hilo-de-fibrade-vidrio-que-no-conocias-y-probablemente-usas>
- Golden Motor*. (2019). Recuperado el 10 de Julio de 2022, de <https://goldenmotor.com/>
- Lafayette. (12 de Julio de 2017). *Portafolio Textil*. Recuperado el 03 de 07 de 2022, de <https://www.lafayette.com/fibras-sinteticas-naturales/>
- LUIS, G. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CARROCERIA DE UN VEHICULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE ELECTRICO*. Recuperado el 10 de Julio de 2022, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15150/1/UPS-CT007483.pdf>
- MARIO GARCÍA. (25 de 11 de 2019). *HISTORIA DEL MOTOR. LA VANGUARDIA*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20191125/471783996973/karl-benz-automovil.html>
- Martinez, A. (2021). *GQ SPORTS*. Recuperado el 10 de 07 de 2022, de <https://www.gq.com.mx/deportes/articulo/cuanto-debe-pesar-un-piloto-de-la-formula-1-en-2021#:~:text=El%20peso%20de%20los%20pilotos,eso%20deben%20ser%20del%20conductor.>

- Mecánica de materiales. (2015). *Elementos estructurales*. Recuperado el 05 de Junio de 2022, de <http://amoviblesio.blogspot.com/2015/11/compresion-traccion-flexion-torsion.html>
- Motors, M. (2020). *Materiales más usados en el chasis y cuerpo de una camioneta*. Recuperado el 04 de Junio de 2022, de <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/materiales-usados-chasis-camioneta/>
- R.P.Singh. (2010). *STRUCTURAL PERFORMANCE ANALYSIS OF FORMULA SAE CAR*. Universiti Teknologi Malaysia. Recuperado el 03 de Julio de 2022, de <http://mech.utm.my/wp-content/uploads/2017/01/5STRUCTURAL-PERFORMANCE-ANALYSIS-OF-FORMULA-SAE-CAR.pdf>
- RENOGY . (2020). Recuperado el 10 de Julio de 2022, de <https://es.renogy.com/bateria-inteligente-de-litio-ferrofosfato-de-12v-100ah/>
- Sole, C. (14 de Febrero de 2022). *TOYOTA*. Obtenido de <https://blog.toyota-forklifts.es/que-son-las-baterias-de-litio>
- William, V. (2016). *Diseño y construcción de un asiento ergonómico en fibra natural aplicado a un vehículo de competencia tipo fórmula SAE*. Recuperado el 10 de Julio de 2022, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5850>

Anexos