



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTIDOR LIGERO TIPO MONOPLAZA
PARA UN PROTOTIPO DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA DESTINADO PARA
INVESTIGACIONES SOBRE EFICIENCIA Y BAJO CONSUMO ENERGÉTICO, POR
MEDIO DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS CAE.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: CARLOS ALEXANDER OJEDA MADRUÑERO
CESAR SANTIAGO QUINCHE CABASCANGO

TUTOR: JOHNNY MARCELO PANCHAS RAMOS

Quito - Ecuador

2024

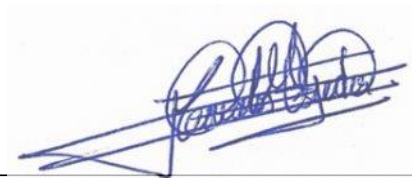
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Carlos Alexander Ojeda Madruñero con documento de identificación N° 1750094045 y Cesar Santiago Quinche Cabascango con documento de identificación N° 1727463968 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 31 de julio del año 2024

Atentamente,



Carlos Alexander Ojeda Madruñero
1750094045



Cesar Santiago Quinche Cabascango
1727463968

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Carlos Alexander Ojeda Madruñero con documento de identificación No.1750094045 y Cesar Santiago Quinche Cabascango con documento de identificación No. 1727463968, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño y construcción de un bastidor ligero tipo monoplaça para un prototipo de propulsión eléctrica destinado para investigaciones sobre eficiencia y bajo consumo energético, por medio de simulación y análisis CAE”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 31 de julio del año 2024

Atentamente,



Carlos Alexander Ojeda Madruñero
1750094045



Cesar Santiago Quinche Cabascango
1727463968

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johnny Marcelo Pancha Ramos con documento de identificación N° 1714747506, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTIDOR LIGERO TIPO MONOPLAZA PARA UN PROTOTIPO DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA DESTINADO PARA INVESTIGACIONES SOBRE EFICIENCIA Y BAJO CONSUMO ENERGÉTICO, POR MEDIO DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS CAE, realizado por Carlos Alexander Ojeda Madruñero con documento de identificación N° 1750094045 y por Cesar Santiago Quinche Cabascango con documento de identificación N° 1727463968, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de julio del año 2024

Atentamente,



Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos, MsC

1714747506

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios primeramente porque sin su bendición no se lograría este propósito, también a mis padres y mis hermanos que en todo momento me han dado la mano y me han apoyado moralmente con sus palabras de aliento, a mi novia que me ha aportado su apoyo incondicional.

Carlos Alexander Ojeda Madruñero

Dedico el presente proyecto a mis padres Euclides Quinche, María Cabascango y hermano Wilmer Quinche por ser esos invaluable pilares en mi formación personal, cuya paciencia y apoyo incondicional me han permitido culminar cada etapa de mi formación académica y por tanto la culminación del presente trabajo, gracias por ser esa fuente de inspiración y de constante ánimo para alcanzar mis metas sin ustedes nada de estas metas sería posible, también dedico este proyecto a mis familiares quienes me han aconsejado y persuadido a perseguir mis sueños.

Cesar Santiago Quinche Cabascango

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a la institución y a los ingenieros que durante estos semestres me han aportado con conocimiento y sabiduría para enfrentar los trabajos y los problemas que se presentan en el día, y que me servirán para desenvolverme en el ámbito laboral y personal manteniendo los valores salesianos, también agradecer a mis padres quienes me han aportado con el sustento económico y moral para no desistir, levantarme y luchar por mi futuro mi amigo Cesar Quinche que junto a él hemos puesto el hombro para llevar a cabo este proyecto.

Carlos Alexander Ojeda Madruñero

Agradezco a cada uno de mis profesores de la Universidad Politécnica Salesiana por compartir sus conocimientos y ayudarme en mi formación académica, a mi tutor Ing. Johnny Pancha por su constante apoyo y consejo en cada etapa de la elaboración del proyecto, agradezco a mi compañero de tesis Carlos Ojeda por toda su ayuda, sin su perseverancia y contante aporte nada de esto se hubiera logrado.

Cesar Santiago Quinche Cabascango

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
PROBLEMA	4
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.	6
Marco Teórico.....	7
Bastidor Automotriz.....	7
Bastidor para competencias automovilísticas.....	7
Bastidor tubular	8
Bastidor monocasco	8
Análisis por elementos finitos	9
Esfuerzo.....	10
Esfuerzo de Von Mises	10
Tensión de Cortadura máxima - Tresca	11
Tensión de Mohr Coulomb	11
Tensión normal máxima.....	11
Factor de Seguridad.....	12
1 CAPÍTULO 1	15
MATERIALES DE CONSTRUCCION Y METODOS DE UNIÓN.....	15
1.1 Prototipos de Bajo Consumo	15
1.1.1 Prototipo Tubular.....	15
1.1.2 Prototipo Mixto	16
1.2 Relación Peso – Eficiencia	17
1.3 Material de un Bastidor Tubular.....	18
1.3.1 Acero	18

1.3.2	Aluminio.....	21
1.3.3	Titanio.....	22
1.3.4	Fibra de Carbono	23
1.4	Metodos de Unión	24
1.4.1	Unión por Soldadura.....	24
1.4.2	Unión Mecánica.....	26
2	CAPÍTULO 2	27
	SELECCIÓN DE MATERIAL Y DISEÑO.....	27
2.1	Selección del material.....	27
2.1.1	Perfil estructural	27
2.1.2	Material del perfil	29
2.1.3	Propiedades y Dimensiones del perfil	30
2.1.4	Propiedades Mecánicas.....	30
2.1.5	Dimensiones	31
2.1.6	Selección del Material del Mamparo.....	32
2.2	Diseño del bastidor con materiales ligeros	33
2.2.1	Dimensiones del piloto	34
2.2.2	Dimensiones y peso del tren motriz eléctrico.....	35
2.2.3	Modelado por ordenador	36
2.2.4	Dimensión Frontal de Deformación	37
2.2.5	Mamparo.....	37
2.2.6	Ancho del bastidor.....	38
2.2.7	Longitud del bastidor y posterior de rueda.....	39
2.2.8	Dimensiones Totales	39
2.2.9	Puntos de sujeción	40
3	CAPÍTULO 3	42

ANÁLISIS CAE	42
3.1 Análisis estructural	42
3.1.1 Aplicación de cargas.....	42
3.1.2 Peso del bastidor	45
3.1.3 Mallado	45
3.1.4 Resultados del bastidor analizado	48
4 CAPÍTULO 4	55
FABRICACIÓN DEL BASTIDOR TIPO PROTOTIPO	55
4.1 Preparación del material	55
4.1.1 Marcado y Corte	55
4.2 Soldadura TIG	57
4.2.1 Variables de la Soldadura TIG	58
4.2.2 Características Maquina de Soldar TIG.....	60
4.2.3 Soldadura de los perfiles.....	62
4.2.4 Preparación de Nylon	66
4.2.5 Perforación y Unión Mecánica	68
5 CAPÍTULO V	72
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	72
5.1 Análisis e Interpretación de Resultados.....	72
5.1.1 Resultados en Posición Recostada.....	72
5.1.2 Resultados en Posición de Entrada al Bastidor	73
5.1.3 Resultados en el Mamparo	75
5.1.4 Resultados del Peso del Bastidor.....	76
5.1.5 Análisis de resistencia y seguridad del bastidor	78
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	82

6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	83
	ANEXOS.....	6-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Prototipo tipo tubular.	16
Figura 1.2:	Estructura tipo Sándwich.....	17
Figura 1.3:	Bastidor de fibra de carbono.....	17
Figura 1.4:	Aceros.....	19
Figura 1.5:	Thrust SSC.....	23
Figura 1.6:	Fibra de Carbono	24
Figura 2.1:	Composición química de perfiles de aluminio.	30
Figura 2.2:	Propiedades Mecánicas de las aleaciones de aluminio.....	30
Figura 2.3:	Dimensiones de perfil cuadrados.....	31
Figura 2.4:	Bastidor y piloto	37
Figura 2.5:	Dimensión Frontal de Deformación	37
Figura 2.6:	Mamparo y barra antivuelco.....	38
Figura 2.7:	Ancho del bastidor.....	38
Figura 2.8:	Longitud del bastidor.....	39
Figura 2.9:	Vista superior del bastidor	40
Figura 2.10:	Vista lateral del bastidor	40
Figura 2.11:	Subdivisión del bastidor	41
Figura 2.12:	Vista frontal del bastidor	41
Figura 3.1:	Distribución de cargas del bastidor.....	43
Figura 3.2:	Peso teórico del bastidor.....	45
Figura 3.3:	Refinamiento de la malla	46
Figura 3.4:	Análisis de convergencia de refinamiento de malla	47
Figura 3.5:	Diagnostico de calidad de malla	48
Figura 3.6:	Esfuerzo de Von Mises máximo con el piloto recostado	48
Figura 3.7:	Desplazamiento máximo con el piloto recostado	49
Figura 3.8:	Flujograma de la teoría de falla	50
Figura 3.9:	Mínimo factor de seguridad con el piloto recostado	51

Figura 3.10: Esfuerzo de Von Mises máximo con el piloto de pie	51
Figura 3.11: Desplazamiento máximo con el piloto de pie.....	52
Figura 3.12: Mínimo factor de seguridad con el piloto de pie	52
Figura 3.13: Esfuerzo de Von Mises máximo de la barra antivuelco	53
Figura 3.14: Desplazamiento máximo de la barra antivuelco	53
Figura 3.15: Factor de seguridad de la barra antivuelco	54
Figura 3.16: Resultados de análisis de pernos.....	54
Figura 4.1: Toma de medidas del perfil.	55
Figura 4.2: Armado de área de piloto y posterior del bastidor.....	56
Figura 4.3: Corte del Mamparo del bastidor.	56
Figura 4.4: Limpieza de recubrimiento de perfilería.....	57
Figura 4.5: Inclinação del porta electrodo.	59
Figura 4.6: Equipo de Soldadura TIG.	60
Figura 4.7: Material de aporte.	60
Figura 4.8: Maquina de reglaje de amperaje	61
Figura 4.9: Soldadura de apoya manos.	62
Figura 4.10: Forma final del apoya mano y base conductor.	63
Figura 4.11: Soldadura del piso de alojamiento de conductor.	63
Figura 4.12: Soldadura del mamparo y base posterior.....	64
Figura 4.13: Soldadura de sección frontal del bastidor.....	64
Figura 4.14: Soldadura sección trasera de rueda.....	65
Figura 4.15: Armado superficial del bastidor.	65
Figura 4.16: Soldadura Bases de dirección.	66
Figura 4.17: Corte de figuras de nylon.....	67
Figura 4.18: Desbaste de vértices de nylon.....	67
Figura 4.19: Inserción del nylon a estructura tubular.....	68
Figura 4.20: Perforación de base espaldar y estructura de rueda	69
Figura 4.21: Unión perno-tuerca de la sección posterior del bastidor	69
Figura 4.22: Unión perno-tuerca de la sección posterior y primera base conductor.....	70
Figura 4.23: Unión perno-tuerca de toda la estructura del bastidor.	70
Figura 4.24: Bastidor tipo prototipo finalizado.....	71
Figura 5.1: Simulación de entrada del piloto.	79

Figura 5.2: Simulación de manejo del piloto.	79
Figura 5.3: Deformación del Mamparo.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factor de Seguridad.....	14
Tabla 2.1: Selección del perfil para diseño y construcción del bastidor.	28
Tabla 2.2: Selección del material del bastidor.....	29
Tabla 2.3: Selección de perfil estructural de aluminio.	31
Tabla 2.4: Composición Química y propiedades mecánicas del material del mamparo....	32
Tabla 2.5: Selección de aleación de material de mamparo	33
Tabla 2.6: Porcentaje de masa corporal.....	34
Tabla 2.7: Peso del piloto	35
Tabla 2.8: Dimensiones y peso de los componentes del tren motriz eléctrico	35
Tabla 3.1: Distribución de pesos corporal.....	42
Tabla 3.2: Distribución de pesos del tren motriz.....	43
Tabla 3.3: Propiedades del aluminio	43
Tabla 3.4: Propiedades del nailon 6	44
Tabla 3.5: Características de los pernos	44
Tabla 3.6: Estudios de convergencia.....	46
Tabla 3.7: Características del perfil.....	50
Tabla 4.1: Especificaciones de corriente para el aluminio.	58
Tabla 4.2: Designación del material de aporte	59
Tabla 4.3: Descripción de la Fuente de poder.	61
Tabla 5.1: Resultados del análisis CAE – Posición Recostada	72
Tabla 5.2: Resultados del análisis CAE – Posición de Entrada	74
Tabla 5.3: Resultados del análisis CAE – Mamparo.....	75
Tabla 5.4: Peso real del bastidor.....	77
Tabla 5.5: Peso de los elementos adicionales del bastidor	77

RESUMEN

La industria automotriz es uno de los principales sectores de desarrollo a nivel mundial, por ende, la innovación y búsqueda de nuevas tecnologías es indispensable para mejorar este sector. Uno de los principales enfoques que se busca actualmente es la de generar nuevas fuentes energéticas que brinden una mayor autonomía con una considerable reducción de contaminación siendo la energía eléctrica la más estudiada, es ahí donde la elaboración de prototipos de propulsión eléctrica juega un papel importante ya que permite establecer bases en cuanto a la eficiencia que se podría llegar a obtener al realizar ajustes o mejoras en el diseño de los componentes o la aerodinámica de estos.

Uno de los principales componentes en los automóviles o cualquier tipo de prototipo de propulsión es el bastidor, donde es considerado como la estructura que comprende el soporte fundamental para los distintos sistemas mecánicos y eléctricos, además es el componente que se encarga de soportar las diferentes cargas vivas y muertas en el vehículo.

Con el transcurso del tiempo los bastidores han ido presentando mejoras considerables para obtener una mejor adaptabilidad a las nuevas tecnologías variando el diseño y material de construcción logrando reducir el peso de estos sin llegar afectar su resistencia, de esta forma se logra ahorrar recursos materiales, económicos y tecnológicos los cuales son considerados como factores importantes al momento de eficientizar este tipo de componentes.

Varios estudios han demostrado que la reducción de la masa en estructura del bastidor ha aportado considerablemente el aprovechamiento de los recursos energéticos y la relación potencia peso que pueden entregar, esto va de la mano con el diseño y los materiales de fabricación ya que si la constitución es demasiado compleja representara una problemática en el aprovechamiento los recursos.

El presente proyecto se enfoca en el diseño construcción de un bastidor ligero tipo monoplaza para un prototipo de propulsión eléctrica, a través de un software de diseño asistido por computadora CAD, se creará un diseño del bastidor considerando factores como las dimensiones del piloto, las dimensiones para el tren de propulsión eléctrica y la posición de manejo y el material de construcción, a través de la análisis CAE se prevé obtener resultados que garanticen que usando materiales ligeros y con un correcto diseño un bastidor puede ser ligero y llegar a soportar cargas específicas sin deformarse permanentemente.

Palabras Claves: bastidor, deformación, prototipo de propulsión, análisis CAE, diseño asistido por computador.

ABSTRACT

The automotive industry is one of the main sectors of development worldwide, therefore, innovation and the search for new technologies are essential to improve this sector. One of the main approaches currently being sought is to generate new energy sources that provide greater autonomy with a considerable reduction of pollution, being electric energy the most studied, that is where the development of prototypes of electric propulsion plays an important role as it allows to establish bases in terms of efficiency that could be obtained by making adjustments or improvements in the design of the components or the aerodynamics of these.

One of the main components in automobiles or any type of propulsion prototype is the frame, which is considered the structure that comprises the fundamental support for the different mechanical and electrical systems, it is also the component that is responsible for supporting the different live and dead loads in the vehicle.

With the passage of time, the frames have been presenting considerable improvements to obtain a better adaptability to new technologies by varying the design and construction material managing to reduce the weight of these without affecting their resistance, thus saving material, economic and technological resources which are considered as important factors at the time of making this type of components more efficient.

Several studies have shown that the reduction of the mass in the frame structure has contributed considerably to the use of energy resources and the power-to-weight ratio that can be delivered, this goes hand in hand with the design and manufacturing materials because if the constitution is too complex it will represent a problem in the use of resources.

This project focuses on the design and construction of a lightweight single-seater frame for an electric propulsion prototype, through a CAD computer-aided design software, a frame design will be created considering factors such as the dimensions of the pilot, the dimensions for the electric drive train and the driving position and construction material, through the CAE analysis is expected to obtain results that ensure that using lightweight materials and with a correct design a frame can be light and can withstand specific loads without permanent deformation.

Keywords: frame, deformation, prototype propulsion, CAE analysis, computer assisted design.

INTRODUCCIÓN

Los bastidores en el sector automotriz tienen diferentes diseños los cuales son establecidos por las empresas con mayor impacto comercial, también existen vehículos tipo prototipo que usan bastidores mejorados basando su diseño en reglamentos de seguridad y lineamientos de cargas que pueden soportar. En el capítulo 1 se da una breve descripción de algunos tipos de prototipos de bajo consumo así mismo se describe el tipo de material que generalmente de usa en estos, también se hace énfasis en los procesos de unión que se requieren para dicho proceso puesto que existen métodos que implica la unión permanente y otros métodos donde la unión es mecánica.

En el capítulo 2 se hace énfasis a la selección de un material ligero a través de criterios ponderados considerando aspectos como el peso, disponibilidad, costos, facilidad en el proceso de unión y propiedades mecánicas del material. En el mismo capítulo se detalla el diseño del bastidor a través de un software de diseño CAD considerando variables como la estatura del piloto, las dimensiones del tren de propulsión eléctrica, la forma de pilotaje y las dimensiones físicas del material ligero seleccionado.

En el capítulo 3 se detalla el análisis estructural realizado en el bastidor a través de Ingeniería asistida por computadora CAE, considerando la aplicación de cargas, la distribución de pesos, propiedades mecánicas de cada material y el método de unión, con esto se quiere determinar si el bastidor será seguro y no sufrirá deformaciones o roturas ante una carga. En el capítulo 4, se muestra el proceso de la construcción del bastidor con el material seleccionado y los procesos de unión que se implementaron. Finalmente, en el capítulo 5 se muestra un resumen de los resultados más relevantes obtenidos en la elaboración del presente proyecto técnico.

PROBLEMA

El ahorro de combustible se ha vuelto un factor importante en la industria automovilística esto por su creciente costo y la contaminación que produce su extracción, esto ha provocado la innovación y la búsqueda de nuevas fuentes energéticas para obtener mayor autonomía siendo la eléctrica la más usada actualmente, esta autonomía básicamente depende del peso y en prototipos eléctricos la masa está ligada al diseño de la carrocería y del bastidor además del tipo de material de construcción que se use, siendo el bastidor uno de los elementos con más peso en la estructura del vehículo, ya que están contruidos de acero para proporcionar una gran rigidez, dureza y ductilidad generando un problema en la relación de peso y potencia que puede entregar además de presentar desventajas en cuanto a corrosión, cavitación y susceptibilidad al pandeo cuando se usan largueros de muy bajo espesor en el diseño estructural. Entonces el usar materiales pesados representa un inconveniente en especial cuando se habla de vehículos eléctricos ya que mientras más pesado sea un vehículo mayor será la potencia requerida, dando como resultado un mayor consumo energético de las baterías con un bajo rendimiento del automóvil. (Nandhakumar et al., 2021)

Sin embargo, utilizar materiales ligeros para la construcción de un bastidor no solo depende de ser liviano sino también de las propiedades físicas, químicas y ecológicas que presenten en relación con el diseño que se está planteando con el fin de determinar aquellas que se adapten de mejor manera a los requerimientos solicitados. Es ahí donde muchos fabricantes e investigadores difieren en la metodología de selección del material, diseño y análisis de los prototipos, dando como resultado en nacimiento de nuevos enfoques de investigación. (Sastre y Muñoz, 2010)

Enfoques que se pueden destacar es el realizado por (Guevara, 2020) donde al usar acero AISI 1010 para la construcción de un chasis recomienda el cambio de los compontes de tracción del vehículo para disminuir las cargas y pesos además de realizar modificación en la triangulación del diseño del bastidor utilizando otro tipo de perfiles estructurales y tamaño porque lo pone en desventaja frente a otros bastidores de la misma índole debido a que se ajusta mínimamente a los pesos requeridos por la norma en la que se basa su diseño y construcción. (Guevara, 2020)

La selección de un material se ha vuelto de suma importancia ya que influye directamente en la calidad del producto final, a nivel mundial existen varias metodologías de selección de

un material en la que cada una establece varias alternativas de análisis, pero sin tomar en cuenta las decisiones por etapas y sin profundizar en las características del material y su comportamiento, ya que por lo general la selección del material se realiza en la última etapa cuando el diseño final de los prototipos está terminado de tal forma que no existe intervención durante el proceso de las evaluaciones técnicas provocando que en la etapa de construcción varias de las propiedades se pierdan. (Hernández, 2020)

El diseño es otro de los factores que influyen directamente en la autonomía de los prototipos de bastidor para un vehículo eléctrico de bajo consumo. Su adaptabilidad a los diferentes elementos que lo conforman depende de varios factores técnicos como las dimensiones, seguridad y su flexibilidad a adaptarse al tren de propulsión y la aerodinámica, entonces el diseño del bastidor depende de los criterios del diseñador y de la normativa en que se basa su diseño ya que influyen directamente en el tamaño y la cantidad de material que usan, debido a que mayores dimensiones tenga la estructura mayor es la cantidad de material usado en la fabricación generando un problema medioambiental por el excesivo desperdicio de los recursos materiales. Entonces uno de los inconvenientes de los diseñadores es el diseño de nuevos prototipos que aprovechen todos los recursos y minimicen problemas con la aerodinámica y el aprovechamiento de la energía de propulsión. (Steven Odi-Owei, 2022)

Mientras que los procesos de fabricación de un bastidor deben adaptarse al tipo de material seleccionado, ya que al tomarse consideraciones en cuanto a la rigidez y ligereza se obvian ciertos parámetros de unión dando como resultado deformaciones permanentes relacionados a las propiedades del material. Entonces los nuevos enfoques deben priorizar criterios de selección para la preparación del material, en relación con el diseño para garantizar el acople y así evitar aberturas en las uniones que deberían ser fijas. (Steven Odi-Owei, 2022)

Delimitación del problema. –

Los estudios de eficiencia energética en los vehículos eléctricos han tomado relevancia por la innovación tecnológica que se debe realizar en los componentes para obtener el máximo rendimiento con un ahorro importante recursos. En este caso al ser un prototipo eléctrico, se desarrollará un bastidor ligero optimizado que permitirá realizar ensayos de consumo energético en la Universidad Politécnica Salesiana ya que este tipo de enfoques se deberán realizar en centros de investigación institucional. La construcción de un bastidor ligero permitirá establecer la aplicabilidad de este tipo de componentes frente a otros de la misma índole.

Objetivo General.

Diseñar y Construir un bastidor ligero tipo monoplaça para un prototipo de propulsión eléctrica destinado para investigaciones sobre eficiencia y bajo consumo energético, por medio de software de simulación y análisis CAE.

Objetivos Específicos.

- Investigar los diferentes tipos de materiales ligeros, diseños de prototipos de bastidor y procesos de unión usados para la construcción de un prototipo de vehículo eléctrico.
- Elaborar el diseño del prototipo de bastidor con la utilización de programas de diseño asistido CAD.
- Seleccionar un material ligero que se adecue al diseño del prototipo del bastidor optimizando la relación entre peso, resistencia, costo y disponibilidad.
- Ejecutar un análisis estructural de esfuerzos mediante programas de simulación por ordenador CAE.
- Construir el prototipo del bastidor de acuerdo con el diseño planteado y material seleccionado.

Marco Teórico

Bastidor Automotriz

El bastidor es el elemento principal que constituye al vehículo ya que todos los sistemas que permiten su funcionamiento son alojados en su estructura de tal manera que este sea el encargado de soportar la carga y los esfuerzos que se generan cuando el vehículo se encuentre en movimiento ya que el diseño de esta estructura incluye también la seguridad activa y pasiva para el conductor. (Chunyang Gui et al., 2018)

El bastidor se encuentra constituida por vigas longitudinales y transversales que bien pueden ser unidas por proceso de soldadura o por medio de procesos de unión por sujeción las cuales se unen por medio de refuerzo a lo largo y ancho de la estructura para ofrecer mayor rigidez y resistencia, esto dependerá de las dimensiones a la cuales están regidas. (Viñas, 2014)

En la actualidad el bastidor para su construcción en la industria automotriz pasa por un proceso automatizado es decir que los procesos de unión y ensamblaje se realizan a través de varios robots, ya que debido a la cantidad de piezas estructurales estas deben ser ensambladas con precisión puesto que en esta se ensamblan componentes como el motor y la caja de cambios. (Springer, 2023)

Bastidor para competencias automovilísticas

Los vehículos de competencia usan diseños especiales en la que siempre se ha adoptado que el motor y la transmisión puedan integrarse a la estructura como un elemento portante con el fin de eliminar estructuras de refuerzo reduciendo considerablemente el peso, además que nuevos diseños el conductor se encuentra cerrado por medio de una célula para garantizar su seguridad. (Frömmig, 2023)

Los bastidores para este tipo de vehículos también se encuentran fabricados por diferentes tipos de materiales con el objetivo de aligerar el peso para que en la competencia no represente ninguna problemática por lo que Guevara menciona con respecto al diseño “depende de la normativa de competición donde será usado, por tal razón no existe un tipo de chasis específico o estándar, los factores que definen el tipo de bastidor dependen principalmente de las siguientes variables: peso, resistencia del chasis, materiales, dimensión etc. Estas variables dependen de otras variables como la seguridad del conductor, fuentes de energía, tipo de concepto de uso y varias generalidades como los sistemas de tracción, dirección y frenado.” (Guevara, 2020)

Dentro de los vehículos de competencia también existen diferentes tipos de bastidores sin embargo como lo antes mencionado dependen de los criterios de diseño de los fabricantes siendo los más idóneos los bastidores tipo monocasco y tubular.

Bastidor tubular

Es una de las estructuras que tienen mayor predominio en la categoría NASCAR en la que el material base para su construcción es el acero, la característica de este tipo de bastidor como menciona Frömmig es que “el método de construcción es el ensamblaje de perfiles huecos de acero para formar una estructura.” (Frömmig, 2023)

Para este caso el motor y la transmisión se integran a la estructura de forma no portante es decir que estos se encuentran soportados por varias vigas de manera que puedan sostenerlos. La estructura tubular es importante para este tipo de competencias de alto rendimiento como es el caso del Rally Dakar, para este tipo de bastidor se considera reducir la tensión de flexión por lo que un factor importante en la construcción es la triangulación, este método como menciona Frömmig (2023) consiste en que “diferentes perfiles convergen en un punto de cuenta, lo que da como resultado múltiples triángulos en el espacio”, es decir que si existe un nodo por la unión de tres tubos evitara que exista una fuerza de deformación que comprometa a la estructura siempre y cuando se mantenga una relación peso/rigidez. (Frömmig, 2023)

Bastidor monocasco

Es un bastidor de construcción ligera usado para vehículos de fórmula y prototipos de deportivos, la que consiste en la combinación de un motor con una célula de seguridad unidos mediante sujeción atornillada. Este tipo de construcción como menciona Frömmig “es especialmente eficiente si tiene un mínimo de aberturas, lo que es muy difícil de implementar en los vehículos de producción debido a las ventanas, trampillas y puertas necesarias”, por lo que lo son especiales para los vehículos antes mencionados, sin embargo, han tenido mayor acoplamiento a la categoría de fórmula E. (Frömmig, 2023)

Existen también alternativas en la que se fusionan con otros tipos de materiales como pueden ser aluminio y también fibras de carbono ofreciendo características como rigidez y resistencia más eficientes además de que se reduce el peso para aprovechar las condiciones aerodinámicas.

Análisis por elementos finitos

Es un método que tiene trascendencia a partir del siglo XX, en la actualidad tiene una mayor aplicación para los ingenieros de diversas ramas que utilizan esta herramienta para realizar ensayos, esto para determinar el comportamiento de una estructura al estar expuesta a fuerzas externas, estas fuerzas pueden ser por gravedad, por cargas electromagnéticas, presiones o por temperaturas. Si estos valores son conocidos se puede obtener resultados como deformaciones, desplazamientos, tensiones u otros de acuerdo con las características que el material presente. (Estrada Cingualbres, 2013)

Este método como lo menciona Álvarez (2023) “parte de una formulación integral, es decir combina linealmente una serie de funciones”, es decir son una representación de un modelo matemático donde influyen la aproximación y proyección. (Álvarez Cabal et al., 2023)

En la actualidad este método permite determinar los resultados de un estudio de un elemento a ensayar por medio de softwares computarizados CAD o en programas específicos que contengan el paquete completo ya que como menciona Estrada (2013) “toda la familia de COSMOS, ANSYS, NASTRAN, PASTRAN” o software de diseño CAD poseen módulos de elementos finitos. (Estrada Cingualbres, 2013)

La finalidad de este método en un material, estructura, u objeto es de dividir o descomponer dicha pieza real en un gran número de miles o millones de elementos finitos a la cual se le denomina mallado, mientras el mallado sea más fino el número de divisiones corresponderán a un caso real de resultados. Estos pequeños elementos forman elementos tetraédricos que comparten una unión denominada nodo. El software genera ecuaciones que vincula el comportamiento de cada elemento considerando la conectividad con los otros elementos adjuntos, estas ecuaciones son organizadas por un grupo mayor de ecuaciones algebraicas simultáneas para que las ecuaciones desconocidas puedan ser resueltas ya que estas ecuaciones que se formaron hacen referencia a la respuesta de cargas, restricciones y propiedades del material. (Solidworks Simulation, 2024)

El ensayo realizado por el método de elementos finitos permite obtener resultados con respecto al comportamiento de la pieza al aplicar una carga, con esto se puede observar los esfuerzos o deformaciones que la pieza soporta, además del factor de seguridad que una estructura puede tener para no comprometer la integridad de la estructura.

Esfuerzo

El esfuerzo es una medida o intensidad de fuerza interna que tiene un material al ser sometidas a cargas externas, es decir una fuerza aplicada sobre una cierta área. La ecuación 1 muestra la fórmula para obtener este valor, este esfuerzo puede ser axial (sigma) cuando la fuerza actúa perpendicular al área o puede ser esfuerzo cortante (tau) cuando la fuerza actúa paralela al área. (Rosete Fonseca et al., 2028)

$$\sigma \text{ o } \tau = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$\sigma \text{ o } \tau = \text{Esfuerzo} (lb/in^2, N/m^2, Pa)$

$F = \text{Carga aplicada} (lb \text{ o } N)$

$A = \text{Área}$

Esfuerzo de Von Mises

El esfuerzo por tensión de Von Mises es el resultado que se obtiene en un software de simulación de una pieza cuando se aplica una carga externa que influya en el límite elástico del material, es decir que este tiende a sufrir una deformación, este esfuerzo se la conoce como criterio de la máxima energía de distorsión, como menciona Beer (2013) este esfuerzo “se basa en el cálculo de la energía de distorsión en un material dado, es decir, de la energía asociada con cambios en la forma del material”, es decir que si una estructura con un cierto material siempre va a tender a deformarse dependiendo de la cantidad de volumen del elemento. (Beer Ferdinand et al., 2013)

Entonces un material que sea dúctil al someterse a factores que modifiquen su estructura, cederá de su posición inicial siempre y cuando el esfuerzo de Von Mises sea mayor o igual al límite de tensión del material tal como se indica en la ecuación 2, SolidWorks (2024) menciona que “en la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión” además de que el límite elástico se encuentra influenciada por la temperatura de material con la que fue fabricada. (SolidWorks Simulation, 2024)

$$\sigma_{Von\ Mises} \geq \sigma_{límite} \quad \text{Ec. (2)}$$

Tensión de Cortadura máxima - Tresca

Es un tipo de ensayo para materiales dúctiles que también forma parte del análisis que se realiza en el software de simulación, este tipo de tensión es conocido también como el criterio de flexibilidad, Pedrero (2023) menciona “el fallo se produce cuando la tensión cortante máxima toma el valor que toma en el ensayo de tracción, en el momento del fallo”, en otras palabras la tensión en un punto del elemento sólido se produce cuando esta es mayor o igual a la mitad límite de tensión del material así como se muestra en la ecuación 3. (Pedrero, 2023)

$$T_{Max} \geq \frac{\sigma_{límite}}{2} \quad \text{Ec. (3)}$$

Tensión de Mohr Coulomb

Este tipo de tensión se conoce como teoría de rozamiento interno, este ensayo a la igual que los anteriores se caracteriza por que se realiza para materiales frágiles donde su estructura posee menor ductilidad y dureza.

Este tipo de tensión en la teoría Pedrero (2023) manifiesta que “el fallo se produce cuando el mayor de los círculos es tangente a la curva envolvente de los mayores de los círculos de Mohr correspondientes a todos los posibles estados tensionales en que se alcanza el fallo”, entonces este tipo de tensión sucede cuando un material frágil es sometido a ensayos mecánicos como tracción y compresión. (Pedrero, 2023)

Como el ensayo se realiza en materiales frágiles donde no se considera la resistencia elástica, el fallo será más evidente siempre que el esfuerzo de tensión sea mayor que cero, y cuando es mayor que el esfuerzo por límite de tensión y compresión.

Tensión normal máxima

Este tipo de tensión también se da en aquellos materiales frágiles, Pedrero (2023) menciona que “el fallo se produce cuando la tensión normal máxima toma el valor que toma en el ensayo de tracción, en el momento del fallo”, esto sucede en la tensión normal denominada Rankine. (Pedrero, 2023)

Para el caso en donde se usa el software de simulación y análisis a esta tensión se le conoce con el criterio de Coulomb, que también es usado para el análisis en materiales frágiles donde el límite de tensión y compresión que tiene el material son iguales, sin embargo, esto no

aplica para todos los materiales ya que poseen características diferentes. El fallo como menciona Solidworks (2024) “se produce cuando la tensión principal máxima alcanza el límite de ruptura del material ante una tensión simple”, es decir que la tensión máxima es igual al esfuerzo límite del material como se expresa en la ecuación 4, considerando que para estos tipos de materiales no poseen punto de flexibilidad específico obviando la resistencia elástica. (Solidworks Simulation, 2024)

$$\sigma_{Max N} \geq \sigma_{límite} \quad \text{Ec. (4)}$$

Factor de Seguridad

Dentro del análisis en la ingeniería, es un cálculo que se realiza a las estructuras cuando estas deben soportar cargas que puedan alterar su funcionalidad, de esta manera se garantiza que la estructura o el elemento no va a fallar, el factor de seguridad (F.S.) se plantea como menciona Rosete (2018) “el esfuerzo real (esfuerzo último σ_u o esfuerzo de fluencia σ_{yp}) de una estructura. Dado en tablas, debe ser mayor que el esfuerzo requerido (esfuerzo permisible o de trabajo)” (pág. 21), por lo que este factor está influenciado directamente por dos esfuerzos, uno que es el esfuerzo permisible que tiene el material con la que está elaborada la estructura y el otro es el esfuerzo de trabajo, es decir el esfuerzo que se produce cuando se aplica una carga externa a la estructura.

Este cálculo también es determinado a través del software de simulación, ya que al ser una herramienta ofrece esta facilidad, en la ecuación 5 se muestra la relación entre los esfuerzos que influyen para su cálculo, para el caso del software el esfuerzo de trabajo toma como dato el esfuerzo de Von Mises y el esfuerzo permisible que viene siendo el esfuerzo del material es decir el límite.

$$F.S = \frac{\sigma_{límite}}{\sigma_{Von Mises}} \quad \text{Ec. (5)}$$

La relación de estos dos esfuerzos genera un valor que de acuerdo a Rosete et al., (2018) “es importante recordar que el esfuerzo y el área del elemento están inversamente relacionados, por lo que no se puede utilizar un factor de seguridad demasiado grande, pues disminuiría considerablemente el esfuerzo último y el esfuerzo de trabajo sería muy pequeño, creando áreas de estructuras muy grandes y pesadas, por lo que se sobre diseña el elemento” (pág. 22).

Si el factor de seguridad es muy alto está implica que es un elemento muy rígido capaz de soportar cargas esto a la vez de que el tamaño será superior y muy sólido, en el ámbito automotriz esto representa una problemática puesto que si el material es demasiado pesado existirán desventajas que pueden afectar el rendimiento de un vehículo.

Para determinar si el factor de seguridad es el adecuado en una estructura se consideran parámetros que son fundamentales como:

- Propiedades del elemento, es decir a la composición que el material posee y las características que ofrece como resistencia, módulo de Young, dureza, etc., además de las dimensiones con las que se pretenderá fabricar o construir una estructura.
- Número de las cargas que soportara, puesto a que tiene relación con el esfuerzo permisible, ya que si las cargas exceden en numero la estructura o elemento tiende a fatigarse generando un fallo.
- Tipo de cargas planeadas para el diseño, es decir a que cargas el diseño será expuesto en el futuro ya que las cargas aplicadas en el análisis se consideran como una estimación, sin embargo, estas cargas pueden variar cíclicamente en el caso real.
- Tipo de falla, prácticamente esto involucra la calidad del material, resistencia y dureza que este puede a tener, ya que materiales que son frágiles tendrán a sufrir fallas más repentinas contrario a lo que les pasa a los materiales de mayor ductilidad que sufren deformación antes de que falle, por lo general estos materiales debido a las cargas tienden a sufrir fallas de estabilidad o pandeo muy repentinas.
- Métodos de análisis, es decir a la calidad de los resultados que se obtienen en el análisis ya que al ser suposiciones sean esfuerzos calculados que no puedan asemejarse a la realidad.
- Diseño, este influye también con respecto a los refuerzos que tendrá la estructura ya que si existe un diseño que presente los refuerzos correspondientes el factor de seguridad aumentará o disminuirá.

Un factor de seguridad es el adecuado cuando se encuentra dentro del rango establecido, así como se muestra en la Tabla 1, los valores en recomendaciones generales.

Tabla 1: Factor de Seguridad

Aplicaciones	Factor de Seguridad (F.S)
Para uso con materiales altamente confiables donde la carga y las condiciones ambientales no son severas y donde el peso es una consideración importante.	1,3 – 1,5
Para uso con materiales confiables donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	1,5 - 2
Para uso con materiales comunes donde la carga y las condiciones ambientales no son severas.	2 – 2,5
Para uso con materiales menos probados y frágiles donde la carga y las condiciones ambientales no son severas.	2,5 - 3
Para uso con materiales donde las propiedades no son confiables y donde las condiciones ambientales y de carga no son severas, o donde se usan materiales confiables en condiciones ambientales difíciles.	3 - 4

Factor de seguridad recomendado, Fuente: (The Engineering ToolBox, 2010)

CAPÍTULO 1

MATERIALES DE CONSTRUCCION Y METODOS DE UNIÓN

Los bastidores tienen una gran relevancia para los vehículos de competencia, debido a que por su diseño se trata de optimizar el consumo de energía tanto para vehículos con motor de combustión interna y también vehículos con motores eléctricos ya que la mejor manera de que esto sea aprovechada es considerando los materiales con los que estos son construidos puesto a que en el mercado internacional existen materiales que ofrecen características benéficas para la construcción, sin embargo en el mercado nacional representa una problemática debido a que algunos materiales que ofrecen mayores características no se encuentran disponibles o el precio excede.

Dentro de la industria automotriz la mayoría de la constitución del vehículo son elaborados a partir de elementos metálicos o también materiales sintéticos que bien pueden ser usados, puros o combinados es decir que tengan materiales aleados que beneficien en la estructura interna del material. Casado et al., (2020) mencionan “metales como el acero, el aluminio y otras aleaciones ligeras, son empleados fundamentalmente en piezas de estructura resistente, como largueros y travesaños, dando lugar a la carrocería” (pág. 5), principalmente porque son materiales que poseen mayor dureza y resistencia capaces de soportar el peso distribuido dentro del vehículo.

1.1 Prototipos de Bajo Consumo

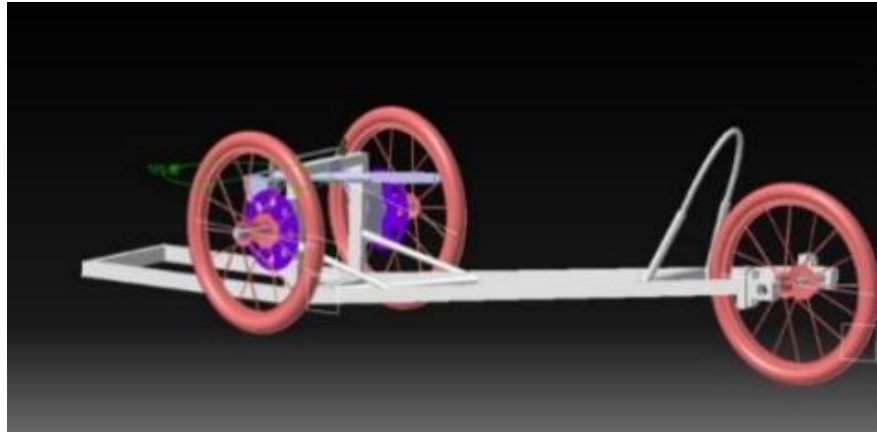
El bajo consumo energético depende del diseño de un bastidor y el material que se usa para su construcción para reducir el consumo energético que propulsa el vehículo, para el caso de categoría prototipo el diseño implica un modelo eficiente donde la seguridad de quien opera se compromete en el diseño en la que se considera visibilidad mínima, ancho de vía para mantener estabilidad y que el bastidor ofrezca resultados con respecto a impactos laterales. (Miralles et al., 2020)

1.1.1 Prototipo Tubular

El prototipo tubular de un bastidor consiste en una estructura sencilla formada por largueros y travesaños, en la cual las dimensiones y el material obtienen una reducción de peso considerable siempre y cuando se respete las dimensiones requeridas que no afecten al conductor de acuerdo a las consideraciones antes mencionadas, en la figura 1.1 muestra el

diseño de un bastidor de aluminio 6061 para una competencia en China, donde toma como relevancia medidas la distancia entre ejes y ancho de vía, y disposición del conductor. (Yuhao et, al., 2023)

Figura 1.1: Prototipo tipo tubular.



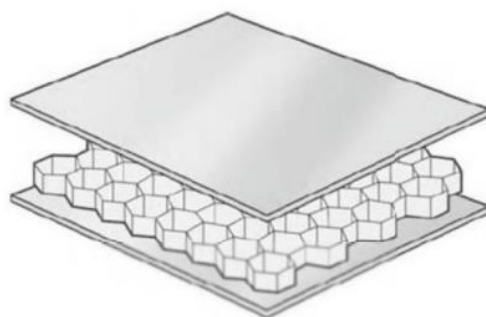
Diseño de un bastidor de bajo consumo energético, Fuente: Yuhao et, al.

Sin embargo, el diseño puede variar para quien realiza la construcción ya que no mantiene un nivel estándar es decir que para el caso de prototipos no exige que se deba ser construido con un solo material pueden ser otros, pero si se debe considerar el peso que va a tener.

1.1.2 Prototipo Mixto

Este prototipo consiste en una construcción mixta donde dos materiales intervienen y que es muy usado para vehículos de propulsión eléctrica, denominada estructura sándwich donde Frömmig (2023) menciona que originalmente “se compone de dos láminas de aluminio, entre las cuales se encuentra un núcleo de soporte de aluminio, que a su vez tiene una estructura alveolar y está adherido a las láminas exteriores” (pág. 416), dando una mayor resistencia y facilidad de montaje para formar la estructura, sin embargo esta idea tuvo mayor predominio al sustituir las planchas de aluminio por fibra de carbono ya que es un material que ofrece mayores características físicas a la de un metal, y el núcleo se mantiene de aluminio en forma de panal de abeja tal y como se observa en la figura 1.2 donde se muestra la disposición de esta estructura tipo sándwich.

Figura 1.2: Estructura tipo Sándwich.



Composición de lámina de fibra de carbono con núcleo de aluminio, Fuente: (Frömmig)

De esta manera este prototipo presenta una mejor alternativa de construcción debido a la reducción considerable de peso aportando considerablemente en el consumo de la energía, en la figura 1.3 muestra el bastidor utilizando este método de un vehículo para una competencia en la SEM.

Figura 1.3: Bastidor de fibra de carbono



Estructura del bastidor tipo sándwich, Fuente: Miralles et,al.

1.2 Relación Peso – Eficiencia

Conocida como relación peso/potencia es un factor muy importante que se considera en los vehículos donde el rendimiento se involucra, para un vehículo que posee un diseño y construcción con mayor peso necesitará una mayor energía para lograr mover las masas suspendidas es decir el peso que hay que mover por cada kilowatt, sin embargo para un vehículo eléctrico debido a la inercia del movimiento debido por el peso puede cargar las baterías por medio del freno regenerativo al manejar a una misma velocidad permitiendo que los generadores entren en función. (López, 2020)

Pero en un vehículo eléctrico de competencia la forma de la carrocería y un menor peso ofrece una mayor maniobrabilidad y que el recorrido sea más rápido además de que una selección de materiales livianos beneficia esta relación.

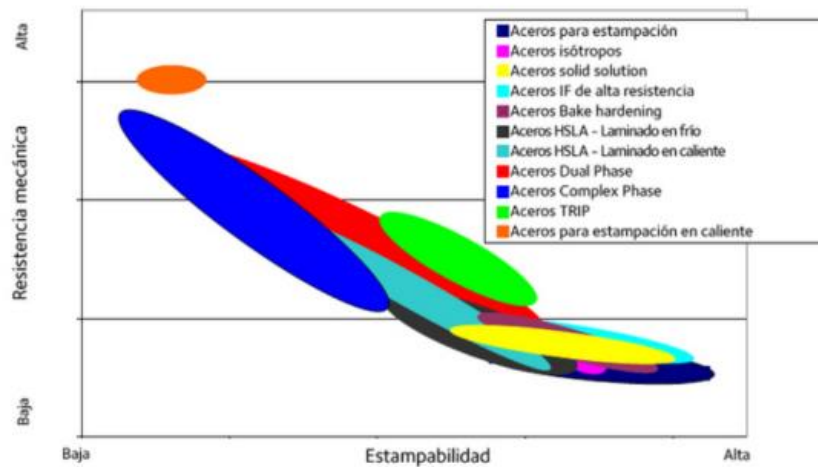
1.3 Material de un Bastidor Tubular

Considerando lo mencionado para los bastidores tubulares que son construidos para competencias el material que tiene mayor uso es el acero, prácticamente para vehículos donde las exigencias son más esforzadas debido al peso que se distribuya en este, siendo la triangulación un factor importante en el diseño. Frömmig (2023) menciona “la ingeniería de fabricación proporciona los procesos necesarios para producir la forma deseada y, cuando corresponda, define las compensaciones que se deben realizar en la ejecución de un diseño” (pág. 401), indicando que el diseño con el material es indispensable para la construcción de un bastidor ligero.

1.3.1 Acero

El acero es uno de los materiales más usado en el ámbito automotriz, debido a su inmensa fabricación a nivel mundial su adquisición para la construcción de piezas, estructuras o perfilierías no representa una complejidad, este material presenta una gran fiabilidad y excelente comportamiento ante los esfuerzos por fatiga, además es resistente y posee una facilidad con respecto a la unión por soldadura. La clasificación de los aceros depende prácticamente para que fines será utilizado, debido a sus aleaciones o purezas estos tendrán mayor relevancia en la construcción de un vehículo, en la figura 1.4 se muestra los aceros que existen en el mercado internacional. (Mencias, 2019)

Figura 1.4: Aceros



Gama de aceros en el sector automotriz, Fuente: (Mencias)

Acero al Carbono. El acero al carbono por su nombre posee en su estructura mayor contenido de carbono entre 0,03 – 1,67 % además de elementos adicionales como Silicio, Manganeso, Fosforo, Azufre y Nitrógeno, los aceros entre el 0,06 – 0,25 % se denominan de bajo carbono indicando que posee poca dureza y buena ductilidad y excelente soldabilidad, de este porcentaje se fabrican los paneles de carrocería, alambres, tubos, barras y otros elementos del vehículo. (Pérez & Valiente, 2021)

Como el acero de bajo carbono posee una baja resistencia mecánica, es decir un bajo límite elástico, Mencias (2019) menciona “sera necesario mayores espesores para resistir los distintos esfuerzos a los que se someten las piezas” (pág. 23), sobre todo en los tubos que son usados para la construcción de bastidores ya que están sometidos a esfuerzos de carga o fatiga cíclica.

También existen aceros con medio contenido de carbono entre el 0,25 - 0,5 %, usado para fabricar herramientas, bulones, engranes mejorando la dureza y resistencia. Por último los aceros con alto contenido de carbono van entre el 0,5 – 1,67 % ofreciendo mayor dureza sin embargo al ser un material con extrema dureza es propenso a recibir fracturas haciendo que tenga mayor fragilidad, de este tipo de carbono se fabrican las brocas, hojas de sierra y elementos usados para el corte.

Acero de Alta Resistencia – Bake Hardening. Este tipo de acero posee una característica de tratamiento por envejecimiento debido a la presencia de carbono y nitrógeno en su estructura, requiere un proceso térmico de baja temperatura para aumentar

el límite elástico, incrementando la resistencia a la deformación, de este material se fabrican elementos externos o también bastidores inferiores, travesaños o refuerzos. (Mencias, 2019)

Acero de Alta Resistencia – ALE. Pertenecientes a los aceros micro aleados ya que poseen en su composición elementos como el titanio, vanadio, cromo, niobio, circonio en cantidades mínimas con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas, presentan características ventajosas por tener un alto límite elástico y excelente comportamiento a la deformación al someterse a cargas exteriores, además de que son muy resistentes a las fatigas, a los choques y buena capacidad en frío. (Mencias, 2019)

Es un material que pertenece al acero estructural denominado ASTM A36, Pérez (2021) menciona que el material “se utiliza para carrocerías ligeras, ya que conservan la resistencia del conjunto y refuerzan zonas concretas” (pág. 43), de manera que es un material idóneo para la construcción de bastidores y el cuerpo o jaula de un vehículo ya que presentan un contenido de carbono entre 0,05 – 0,25 %, mejora su composición junto a los materiales de adición haciendo que posea buena soldabilidad. (Mencias, 2019)

Acero Inoxidable. Este material surge al añadir en su composición cromo en un 10 %, níquel y molibdeno al acero al carbono, dándole características anticorrosivas al material, pero en el ámbito automotriz Águeda et al. (2023) menciona que existen clases:

Acero inoxidable extra suave: Contiene el 13 % de cromo y un 0,15 % de carbono, con él se fabrican elementos de máquinas, álabes de turbinas, válvulas, etc. Posee una resistencia mecánica de 800 N/mm² y una dureza 175-250 HB.

Acero inoxidable al cromo-níquel: Contiene 16 % de cromo, 2 % níquel y 0,2% de carbono. Posee una resistencia mecánica 950 N/mm² y una dureza de 275-300 HB, usado para construcción de álabes de turbina, ejes de bomba, etc.

Acero inoxidable al cromo-níquel: Contiene 18 % cromo, 8 % níquel y 0,18% carbono. Posee una resistencia mecánica de 600 N/mm² y una dureza de 175-200 HB, es de uso muy constante debido a su resistencia al calor hasta los 400°C.

Acero inoxidable al cromo-magnesio: Contiene 11 % de cromo, 18 % de magnesio y 0,14 % de carbono. Posee una resistencia mecánica de 650 N/mm² y una dureza de 175-200 HB, es soldable y resistente a elevadas temperaturas principalmente usadas para colectores de escape. (pág. 76)

Este material también es usado para construcción de bastidores debido a que por su bajo contenido de carbono hace que sea liviano pero resistente, sin embargo, el método de unión puede ser especial.

1.3.2 Aluminio

Este material es usado también para la construcción de carrocerías, además de elementos donde el esfuerzo es más cíclico como motores, radiadores, tuberías entre otros. El uso de este elemento en el campo automotriz tiene mayor demanda en la fabricación de carrocerías debido a las buenas propiedades que este material ofrece, como menciona Pérez (2021) “siendo la ligereza, seguridad, capacidad de conformación, protección frente a la corrosión y reparabilidad” (pág. 44), sin embargo como es un material que también puede alearse con elementos como el cobre, silicio, manganeso, magnesio y zinc, el método de unión es más especializado, además que las aleaciones pueden aumentar o disminuir las propiedades mecánicas.

En la mayoría de los chasis o bastidores que son de competencia, la estructura o diseño que compone son fabricadas de aluminio, principalmente destinado para vehículos eléctricos como es el caso de General Motors que en su modelo EV-1 que redujo el peso en un 40% en comparación con el acero. (Denton, 2020)

El aluminio que es fabricado para diversas funciones se encuentra designados por temple, es decir que indica la secuencia de tratamientos con la que son producidos.

Temple F. Este temple que hace referencia a la fabricación es aplicado para aquellos productos obtenidos por procesos de deformación sin considerar las condiciones térmicas a las que ha sido expuesta ni endurecimiento por deformación.

Posterior a este proviene el temple O, que se designa a aquellos productos del aluminio que han sido recocidos con el fin de que la resistencia baje.

Temple H. Temple denominado endurecido por deformación, es decir que aplica para aquellos materiales de aluminio que fueron producidos al someterse a procesos de deformación en frío después de pasar por el proceso de recocido, esto aumenta considerablemente la resistencia.

Dentro de este tipo de temple se encuentra el H1 siendo un proceso correspondiente a la laminación en frío, recocido y laminación hasta el espesor final; el H2 para productos con un proceso a la laminación en caliente, laminación en frío y recocido; el H3 productos con la misma elaboración que el H2 aumentado la laminación hasta el espesor final y recocido; el H4 productos endurecidos por laminación en frío y recocido parcial ya que posterior pasa por un proceso de curado térmico.

Temple T. Este temple es para productos tratados térmicamente con o sin endurecimiento por trabajo mecánico, al igual que al anterior este posee subcategorías como: el T4 productos solubilizado y enfriado rápidamente denominado envejecimiento natural, el T5 productos solubilizados y envejecido artificialmente, y T6 productos solubilizados, enfriado rápidamente y envejecido artificialmente.

De aquí que cada tipo de aluminio posee su respectiva aleación con la que son fabricadas, y el uso que se les puede dar ya que por cada tratamiento tienden a tener mayor resistencia.

1.3.3 *Titanio*

El Titanio es un elemento con mayor abundancia en el mundo, sin embargo, su adquisición resulta compleja por lo que es un material costoso, Froes (2019) menciona “el uso del titanio en automóviles y motocicletas se concentra en las aplicaciones de competición, donde el peso reducido y la alta resistencia junto con la rigidez pueden proporcionar la ventaja del piloto” (pág. 2), sin embargo, por el costo algunas empresas automotrices se encargan a la fabricación de componentes como válvulas, muelles de suspensión, entre otros.

Froes (2019) indica “el Thrust SSC, o coche supersónico Thrust, un coche británico de titanio propulsado a reacción desarrollado por Richard Noble, Glynne Bowsher, Ron Ayers y Jeremy Bliss” (pág. 3), siendo el vehículo en la cual alcanzado una velocidad de 1228 km/h teniendo un peso de 9,072 kg tal como se muestra en la figura 1.5, pues la principal característica del titanio es que es un material extremadamente ligero. (Róldan, 2021)

Figura 1.5: Thrust SSC



Vehículo de titanio, Fuente: (Cook)

Las características que posee este material es que reduce el peso con respecto al acero hasta en un 40%, posee alta resistencia, resistente a la corrosión, dúctil, refractario, posee una resistencia a la tracción de 240 Mpa, tiene un módulo de elasticidad entre 115 – 120 GPa, una dureza de 6 Mohs, ideal para construcciones de chasis y elementos principales en el funcionamiento del motor. (Róldan, 2021)

1.3.4 Fibra de Carbono

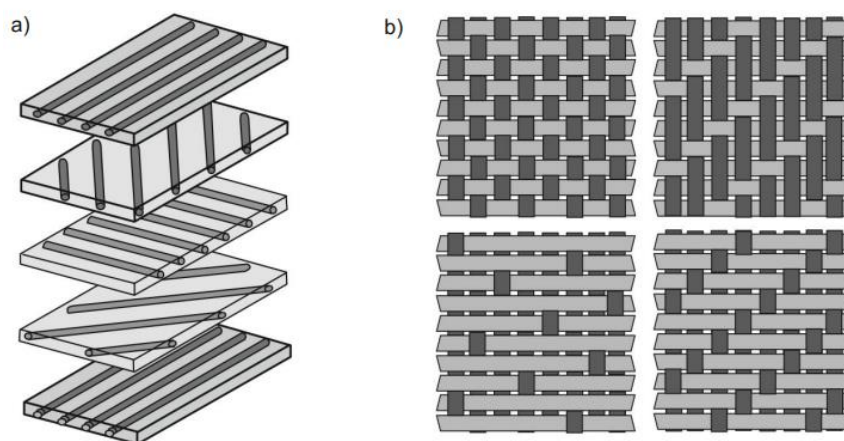
Este elemento es uno de los más livianos que existe, debido a que su elaboración es compleja por los elementos que los componen como el petróleo, carbón mineral y policloruro de vinilo. Larróde (2020) indica que “es un material excepcional para aplicaciones de estructuras sometidas a cargas repetitivas o fatiga ya que es el único material conocido cuyas propiedades mecánicas apenas son sensibles a la aplicación de una carga cíclica” (pág. 280), con esto también se puede recalcar que sirve como un refuerzo para otro material, es decir que si una estructura se encuentra construida con un material ligero se usa la fibra para reforzar las zonas que tengan un mayor tendencia a deformarse.

La mayoría de usos que tiene este material es para vehículos de competencia de Formula 1 y Formula E, en la que la construcción la realizan por un método de tipo sándwich formados por dos láminas de fibra y un núcleo que bien puede ser aluminio para dar forma al monocasco, pero también es aplicable para construcción de células de seguridad y construcción mixta con bastidor tubular. (Frömmig, 2023)

La ventaja de usar la fibra de carbono como material de refuerzo es que debido a su baja densidad tiene rigidez y resistencia similar a un material metálico, y esto genera que se

reduzcan el número de defectos considerando el número de fibras y la orientación con que estas se aplican tal como la figura 1.6 indica (a-matriz y fibra; b-tejido fibroso), ofreciendo que la carga del material pueda distribuirse y tenga un uso eficiente.

Figura 1.6: Fibra de Carbono



Orientacion de fibra de carbono, Fuente: (Frömmig)

1.4 Métodos de Unión

Los métodos de unión dependen prácticamente del material que se va a usar para formar una estructura considerando factores como el volumen, espesor y el tipo del material si es puro o presenta aleaciones, ya que de acuerdo con los materiales que pueden ser usados en la construcción de chasis o bastidores vistos con anterioridad el acero es quien tiene mayor soldabilidad y dentro de este método existente algunos que son fáciles de usar y otros que requieren mayor experiencia. Sin embargo, existen otros métodos donde no implica la unión por fundición si no por medios mecánicos de contacto. (Mato, 2020)

1.4.1 Unión por Soldadura

La soldadura es un método que consiste en la unión de dos elementos con el mismo material por medio de la fundición a elevadas temperaturas en donde factores como amperaje facilitan que esto suceda, este proceso puede ser o bien usando material de aporte o bien solo elevadas temperaturas. (Sánchez, 2013)

Soldadura Eléctrica por Puntos. Se la conoce como un tipo de soldadura autógena en donde la aportación del material no interfiere, el proceso sucede cuando los dos materiales en contacto se someten a presión en caliente por lo general este método se usa para chapas

metálicas de acero, estas chapas son de un espesor pequeño y un mínimo de solapado, además de que no permite la unión de distintos elementos, es decir deben poseer las mismas características y propiedades. (Domínguez & Ferrer, 2021)

Soldadura con Material de Aporte. Este método de soldadura se aplica para perfiles tubulares de acero, donde su nombre mismo lo indica para que los materiales se unan existe un material de aporte que permite su fundición además de ser un método sencillo.

Soldadura por Arco con Electrodo Revestido - SMAW. Es un tipo de soldadura donde el material de aporte alcanza una temperatura de hasta 5500 °C dejando como resultado escoria producto de la combustión del recubrimiento del electrodo, el alma del electrodo puede ser de aluminio, fundición, acero, entre otros dependiendo el tipo de material a unir siempre y cuando el espesor sea superior a los 5 mm (Domínguez & Ferrer, 2021)

Soldadura por Arco con Núcleo de Fundente - FCAW. En este caso se compone de un electrodo tubular lleno de fundente, siendo una mejora a la soldadura por electrodo revestido con respecto a velocidad y productividad, bien puede usarse con gas protector o sin gas. (Kumar Dwivedi, 2022)

Soldadura TIG. La soldadura TIG conocida por el uso de electrodo de tungsteno no consumible y gas inerte, que une materiales con el material de aporte siendo protegido por un gas de argón, dando como resultado una soldadura más limpia y precisa ya que necesita niveles de amperaje elevados. Ibañez Chaves (2021) menciona “se utiliza en la mayoría de los casos para aceros inoxidables, aceros al cromo-molibdeno, aluminio y aleaciones de níquel, que son muy resistentes al calor” (pág. 523), siendo idóneo para diferentes zonas donde se quiera aplicar, además de que permite cordones de mayor resistencia y sean menos sensibles a la corrosión.

Soldadura MIG/MAG. Esta soldadura requiere de un alambre que se usa como electrodo y un gas inerte o gas activo para la protección de gases como el oxígeno y el nitrógeno que se encuentran en el medio ambiente, los principales gases que se usan para el proceso MIG es argón y helio, o pueden ser mezclas de ambos dependiendo en material que se requiera unir y para el MAG se usa dióxido de carbono. Ambos procesos están destinados para diferentes materiales, Domínguez (2021) indica “las soldaduras MIG se emplean para soldar aluminio, cobre, níquel y titanio. Las soldaduras MAG se emplean para los aceros

aleados e inoxidables” (pág. 244), lo que le hace ideal para elementos cuyo espesor es mínimo.

1.4.2 Unión Mecánica

El método de unión mecánica en los bastidores o chasis de un vehículo se refiere a la intervención de un tercer elemento que permita la unión, pero no permanentemente, este elemento puede variar según el uso que va a tener la estructura es decir si va a soportar cargas o si va a estar sometidos a esfuerzos cíclicos, también depende del material que se requiere unir, siendo un método con menores costos. (Mato, 2020)

Remachado. Este tipo de unión se utiliza principalmente para piezas que comprendan aluminio, siendo los más usados autoperforantes recubiertos de un tratamiento anticorrosivo. (Domínguez y Ferrer, 2021)

Unión Roscada. Esta unión se compone de dos elementos de apriete en sentido opuesto, existen diferentes elementos roscantes en las que influyen número de hilos, cabeza del elemento, largo del vástago e inclusive el material con la que son fabricados cada uno destinado para diferentes fines, se considera de importancia la unión roscada por tuerca y tornillo ya que no es necesario realizar en el elemento el perforado con roscado. (Moro, 2023)

CAPÍTULO 2

SELECCIÓN DE MATERIAL Y DISEÑO

2.1 Selección del material

La selección del material es una de las etapas más importantes antes de realizar el diseño del bastidor, ya que nos permite determinar las características y propiedades físicas del material para el respectivo diseño por ordenador CAD, el material a usar en el diseño y construcción del bastidor tipo prototipo se menciona antes, pero cada material presenta ventajas y desventajas que se deben considerar.

2.1.1 Perfil estructural

Dentro de la ingeniería el perfil estructural es un elemento muy considerado para la construcción de estructuras, por tal motivo ha tenido un gran impacto en la industria química, alimenticia e inclusive en la automotriz, en la cual se considera como importancia el material con la que estos son fabricados.

Para el caso de la industria automotriz el perfil toma relevancia dentro de la construcción de bastidores para vehículos de competencia como se mencionó con anterioridad, donde factores como rigidez, resistencia y flexibilidad intervienen directamente en su selección.

Perfil Cuadrado o Rectangular, es un elemento que tiende a tener mayor deformación debido a los vértices ya que en esos puntos es donde existe la mayor concentración de tensiones, en caso de un impacto las caras laterales presentan una menor eficiencia en distribuir el impacto. Presenta buena resistencia estructural bajo cargas distribuidas.

Perfil Circular, este tipo de perfil presenta una elevada resistencia a la presión interna, es decir que lo hace ideal para el transporte de fluidos, además distribuye las cargas de manera uniforme a lo largo de la circunferencia en caso de un impacto haciendo que se deforme.

Perfil Ovalado, presenta una menor deformación dependiendo el lugar en el que se impactó, distribuyendo de mejor manera las cargas a lo largo de su perfil.

Cabe mencionar que para cada uno de los perfiles mencionados el espesor y el material son indispensables, además se considera como importancia para la selección del perfil

parámetros como: la adaptabilidad, adquisición de mercado, procesos de manufactura, resistencia y distribución de cargas. En el caso de la adaptabilidad se refiere a que el perfil cumpla en el futuro a implementaciones exteriores que se realicen en el bastidor que no alteren el diseño. Para el caso de procesos de manufactura implica a la facilidad con la que se realizara la construcción y adaptabilidad.

La evaluación para la selección se realiza a través de ponderaciones que garanticen la correcta elección a la cual se destinara para diseño y construcción del bastidor, la ponderación se basa en:

- Excelente / cumple = 9 a 10
- Regular / satisface ≥ 5
- Insuficiente / no cumple ≤ 5

En la Tabla 2.1 se muestra la selección mediante el criterio por ponderación con un total de 10 puntos considerando los parámetros antes mencionados, la cual aportara con el diseño y el desarrollo del bastidor.

Tabla 2.1: Selección del perfil para diseño y construcción del bastidor.

Ítem	Porcentaje de relevancia	Perfil cuadrado	Perfil circular	Perfil Ovalado
Adaptabilidad	20 %	10	7	6
Adquisición en el mercado	5 %	10	10	8
Procesos de manufactura	25 %	8	7	4
Resistencia y distribución de cargas	50 %	9	10	10
Total	(10 pts.)100 %	9,25	8,5	7

Ponderación de selección del perfil estructural, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Con una ponderación de 9,25 el perfil cuadrado es el idóneo para implementar en el diseño del bastidor con la que permitirá realizar el análisis y permitirá ver el comportamiento al estar sometido a cargas.

2.1.2 Material del perfil

Los materiales que se usan para la fabricación de perfiles dúctiles a nivel comercial son el acero y el aluminio, dentro del comercio ecuatoriano son los principales materiales que se puede adquirir con mayor frecuencia, sin embargo, para el caso del titanio que es un material que posee extremada ligereza el comercio en el país es limitado indicando una problemática en la adquisición recurriendo a importación y elevados costos.

Los materiales como el acero presentan una mayor rigidez, además de que la mayoría de las estructuras o piezas de máquinas son hechas con estos tipos de materiales sin embargo es un material que por su estructura tiene mayor peso, el aluminio es un material dúctil que al igual que el acero se usa para construcción de diferentes piezas en las que predominan en el campo automotriz debido a su densidad posee un menor peso.

Por último, la fibra de carbono es un material con las mismas características que un material en el que la correcta ubicación de cada lámina requiere de un mayor conocimiento para tener mayor resistencia, siendo uno de los materiales más ligeros.

Para la selección del material considerando que el proyecto es para un prototipo de bajo consumo energético se considera parámetros como: peso, adquisición, costos y procesos de unión.

Basándose en la ponderación antes mostradas en la tabla 2.2 muestra la selección del material para implementar en el diseño por medio de software de simulación.

Tabla 2.2: Selección del material del bastidor.

Ítem	Porcentaje de relevancia	Acero	Aluminio	Titanio	Fibra de Carbono
Peso	40 %	4	8	9	10
Adquisición en el mercado	10 %	10	10	2	5
Costos	20 %	10	8	3	3
Procesos de unión	30 %	10	10	4	3
Total	(10 pts.)100 %	8,5	9	4,5	5,25

Ponderación de selección del material del perfil, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Para la implementación del material en el perfil, el aluminio obtuvo una ponderación de 9 indicando que cumple con los parámetros establecidos para el diseño y construcción.

2.1.3 Propiedades y Dimensiones del perfil

El aluminio posee diferentes designaciones indicador de las diferentes propiedades con las que fueron fabricadas, para el caso de carrocerías el temple T es el ideal para estructuras con mayor resistencia, así mismo dentro de esta designación están la T1 hasta la T6 donde el último presta mejores características y propiedades físicas, en la figura 2.1 se muestra la composición química de las aleaciones usadas en perfilería.

Figura 2.1: Composición química de perfiles de aluminio.

No. Aleación	Si	Fe	Mg	Mn	Cu	Cr	Zn	Ti	Varios	Al (min)
6063	0.20 - 0.60	0.35	0.45 - 0.90	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	restante
6061	0.40 - 0.80	0.70	0.80 - 1.20	0.15	0.15 - 0.40	0.04 - 0.35	0.25	0.15	0.15	restante
6005	0.60 - 0.90	0.35	0.40 - 0.60	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	restante

Materiales de aleación para fabricación de perfiles de aluminio, Fuente: Cedal

2.1.4 Propiedades Mecánicas

De acuerdo a los temples antes descritos, en la figura 2.2 se muestra las propiedades mecánicas que presenta cada una de las aleaciones de los diferentes perfiles de aluminio.

Figura 2.2: Propiedades Mecánicas de las aleaciones de aluminio

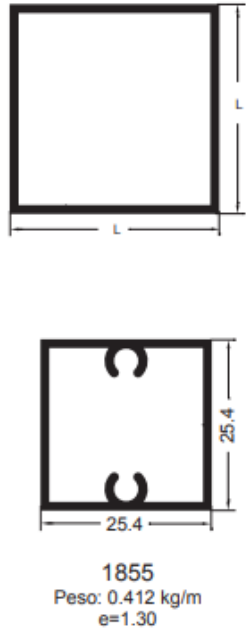
Aleación A.A.	Espesor pulgadas	Dureza (HWB) mín.	Webster B normal	Resist. a Fluencia (Kg /mm ²) mínimo normal		Rest. a tensión (Kg /mm ²) mínimo normal		Elongación (% en 5 cm)
6063-T1	Todos	4	6	5.6	8.5	11.2	16	14
	T4	<0.5"	5	6.2	8.8	12.9	16.7	14
	T5% (1)	<0.5"o más	4	6	8.5	12.5	16.1	14
	T5	Todos	7	9.5	12.3	13.9	17.6	12
	T6	<0.5"	8	11.2	16.2	15.5	19.7	8
		<0.5"o más	7	10.7	14.4	14.8	18.6	8
6061-T1	Todos	10	13	17.6	21.4	21.1	23.6	8
		<0.5"o más	9	17.6	19.3	21	22.5	8
	Todos	8	11	11	14.1	18	24	15
	T1	Todos	8	11.2	14.8	18.3	24.5	14
	T5	Todos	12	20.9	26	24.5	30	8
	T6	Todos	14	24.5	28.1	26.5	31.6	9
6005-T1	Todos	8	9	8.2	13	16.3	23	15
	T4	Todos	9	10.5	14	17.5	24	15
	T5	Todos	10	24	27.5	26	29.5	8
	T6	Todos	14	24.5	28.5	26.5	30	8
	Todos	9	10	9.5	16	18.3	20	16
	T4	Todos	9	13.3	16.5	22.4	25	16
6351-T1	T5	Todos	11	24.5	30	26.5	31.7	10
	T6	Todos	12	26	30.2	29.6	34.4	10
	Todos	15	16	26	30.2	29.6	34.4	10
	Todos	15	16	26	30.2	29.6	34.4	10

Propiedades Físicas de perfiles de aluminio, Fuente: Cedal

2.1.5 Dimensiones

Por último, las dimensiones influyen en el diseño del bastidor y con el peso en la construcción en la figura 2.3 muestra las dimensiones del perfil cuadrado, cabe recalcar que no todas las referencias del perfil están disponibles en el mercado, existiendo con mayor amplitud la referencia 1015, 1386, 1583 y 2036.

Figura 2.3: Dimensiones de perfil cuadrados.



Referencia	Lado		Espesor mm	Peso kg/m
	Milímetros	Pulgadas		
1014	44.45	1 3/4	1.90	0.875
1015	50.80	2	2.00	1.058
1286	25.40	1	1.80	0.461
1386	38.10	1 1/2	1.80	0.708
1466	22.20	7/8	1.00	0.231
1583	38.10	1 1/2	1.20	0.480
1714	25.40	1	1.30	0.340
1852	50.80	2	1.40	0.750
1854	31.75	1 1/4	1.10	0.366
1855*	25.40	1	1.30	0.412
1902	101.60	4	3.20	3.395
1903	101.60	4	2.30	2.457
1906	76.20	3	2.00	1.590
1981	17.00	2/3	1.00	0.162
2036	25.40	1	1.10	0.290
2439	19.00	3/4	1.10	0.214
2856	19.00	3/4	1.00	0.195

Dimensiones y pesos de perfiles estructurales de aluminio, Fuente: Cedral

Teniendo en cuenta la aleación, temple y las dimensiones, la ponderación para la selección del perfil se realiza bajo parámetros como: costo al por menor, peso, propiedades físicas y adquisición en el mercado. En la tabla 2.3 muestra la selección que se usara en la construcción del bastidor tomando con mayor relevancia la aleación 6063 con un temple T5 y T6 con una referencia de 2036.

Tabla 2.3: Selección de perfil estructural de aluminio.

Ítem	Porcentaje de relevancia	AA 6063 T5 AA 6063 T6	
Peso	10 %	10	10

Adquisición en el mercado	45 %	10	2
Costo al por menor	25 %	10	2
Propiedades mecánicas	20 %	8	10
Total	(10 pts.)100 %	9,5	5,5

Ponderación de selección de perfil de aluminio estructural, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Con una ponderación de 9,5 el perfil AA 6063 T5 cumple con los requisitos indispensables para el desarrollo físico del bastidor.

2.1.6 Selección del Material del Mamparo

El mamparo es la parte fundamental del bastidor ya que en él se apoyará parte del peso del conductor y la cual se realizará análisis de esfuerzos, para este elemento el temple de aluminio que usa para la fabricación es el H14 ideal para elaboración de moto partes, cerramientos, etc. Sin embargo, posee dos tipos de aleaciones que ofrecen la suficiente resistencia siendo el AA1100 y AA1200 considerando un espesor de 3mm antideslizante existente en el mercado, en la tabla 2.4 muestra materiales de aleación que lo compone y propiedades mecánicas.

Tabla 2.4: Composición Química y propiedades mecánicas del material del mamparo

Composición Química	AA1100	AA1200
Si	0.99	1
Fe		
Cu	0.05 – 0.2	0.05
Mn	0.05	-
Mg	-	-
Zn	0.1	0,1
Ti	-	0.05
Propiedades Mecánicas		
Resistencia a la tracción (MPa)	115 - 155	105-140
Resistencia a la compresión (MPa)	95	-
Elongación %	3	3-6

Características de las aleaciones del mamparo, Fuente: Alumina

En la tabla 2.5 muestra la selección de acuerdo con la ponderación considerando factores como: resistencia, costo por unidad, facilidad de maquinación, soldable y peso.

Tabla 2.5: Selección de aleación de material de mamparo

Ítem	Porcentaje de relevancia	AA 1100	AA 1200
Peso	40 %	9	10
Facilidad de maquinación	5 %	10	10
Costo por unidad	5 %	10	9,5
Propiedades mecánicas	40 %	10	9
Soldabilidad	10 %	10	10
Total	10 pts. (100 %)	9,8	9,7

Ponderación de las aleaciones de mamparo tipo plancha, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

La aleación AA1100 es favorecida con una décima pues se considera que ambos materiales presentan características suficientemente satisfactorias, sin embargo, debido a las propiedades mecánicas vistas en la tabla 2.5 esta aleación posee las condiciones más favorables obteniendo una ponderación de 9,8.

2.2 Diseño del bastidor con materiales ligeros

En primera instancia se debe tomar en cuenta el propósito del diseño, así como las especificaciones y requerimientos que se esperan obtener, el bastidor al ser una estructura conformada principalmente por largueros y travesaños se deberá dimensionar y optimizar correctamente para que se ajuste al material seleccionado y que los métodos de manufactura sean lo óptimo posibles.

Determinado el material que se usará para la construcción del bastidor se procederá a realizar un modelado por medio de software de diseño CAD, tomando como referencia las dimensiones del piloto, las dimensiones del tren de propulsión eléctrico, la posición de manejo y las características mecánicas del material seleccionado.

2.2.1 Dimensiones del piloto

Las dimensiones del piloto es una de las principales características que se debe tomar en cuenta al momento de diseñar el bastidor, ya que influye directamente en las dimensiones generales del prototipo de propulsión eléctrica y el peso que podrá soportar.

De acuerdo con (Ramos, 2021), Ecuador es uno de los países con más baja estatura del continente americano con una altura promedio de 167,3 cm en hombres y 155,2 cm en mujeres, gracias a esto se puede trazar una distancia promedio que deberá tener los largueros y el piso del bastidor, así como la distribución de los pesos que deberá soportar.

Distribución de pesos del piloto, La distribución de las masas del cuerpo humano depende de la estatura y el peso, y es un factor importante a la hora de aplicar las diferentes cargas en el bastidor con el fin de determinar el peso real que podrá soportar. En la tabla 2.6 se muestra el porcentaje de distribución de masas para una persona de 1,68 m de altura tomando como referencia un estudio realizado por (Chandler et al., 1975) que permite caracterizar de forma porcentual las masas de cada parte del cuerpo humano tomando como referencia el promedio de la muestra.

Tabla 2.6: Porcentaje de masa corporal

Parte del cuerpo humano	Peso(g)	% Corporal
Cabeza	3988,3	6,13 %
Torso	33994,58	52,25 %
Parte superior del brazo	3730,7	5,73 %
Antebrazo	2202	3,38 %
Manos	774,1	1,19 %
Muslo	13298,4	20,44 %
Pierna	5357,6	8,24 %
Pies	1712,9	2,63 %

Distribución de masas del cuerpo humano en personas de 65.1 Kg, Fuente: (Chandler et al., 1975)

Para agregar un margen de error de al menos un 10% en el peso del conductor se ha optado por incrementar la masa del piloto hasta los 71,43 Kg con una distribución de pesos corporal mostrada en la tabla 2.6. En la tabla 2.7, se muestra el peso en Newtons que se espera podrá

llegar a soportar el bastidor ligero de propulsión eléctrica en varias de los travesaños principales.

Tabla 2.7: Peso del piloto

Parte del cuerpo humano	% Corporal	Masa (Kg)	Peso (N)
Cabeza	6,13 %	4,38	42,97
Torso	52,25 %	37,32	366,11
Parte superior del brazo	5,73%	4,09	40,12
Antebrazo	3,38%	2,41	23,64
Manos	1,19%	0,85	8,34
Muslo	20,44%	14,6	143,23
Pierna	8,24%	5,89	57,78
Pies	2,63%	1,89	18,54

Especificaciones del peso que debería llegar a soportar el bastidor de propulsión eléctrica,

Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

2.2.2 Dimensiones y peso del tren motriz eléctrico

Otras de las consideraciones al momento de diseñar el bastidor son las dimensiones del piso del tren motriz eléctrico y la ubicación de las llantas. Tomando como mención trabajos planteados como el de (Moreta y Patache, 2022) donde lograron construir un bastidor liviano eléctrico monopla se ha optado tomar como referencia las dimensiones y pesos de la batería y motor eléctrico tal y como se muestra en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Dimensiones y peso de los componentes del tren motriz eléctrico

Componente	Características	
Motor eléctrico Brushed Speed motor WPHMOTO	Tensión	48 V DC
	Velocidad	3000-3360 rpm
	Potencia	1000 W – 1.4 Hp
	Peso	5,45 kg
	Dimensiones	170 * 152 mm
Batería Turnigy Graphene Pantler	Tensión	22,2 V

Capacidad	6000 mAh
Peso	1,140 kg
Dimensiones	220*121*72 mm

Especificaciones técnicas de los componentes del tren motriz eléctrico, Fuente: (Moreta y Patache, 2022)

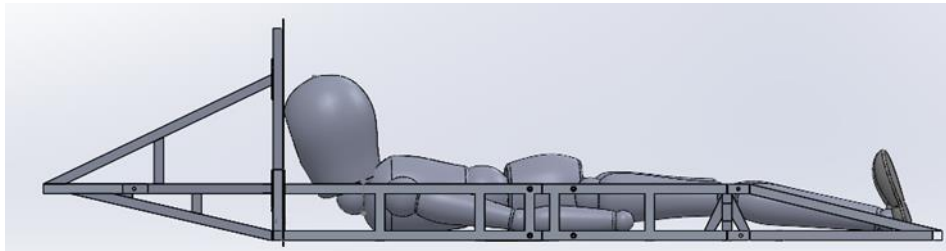
2.2.3 Modelado por ordenador

Para modelar el diseño con las dimensiones con referencia al piloto y el tren trasero se usará un software de diseño CAD el cual permite la simulación de un elemento 3D a partir de un croquis 2D. En primera instancia se deberá determinar la posición con la que el conductor se ubicará dentro del bastidor ya que afecta de forma directa la aerodinámica de la carrocería, de acuerdo con (Iskander, 2006) la resistencia al avance de un vehículo se afectado principalmente por la geometría exterior de la carrocería, por ende, un buen diseño del bastidor ayuda a minimizar esta resistencia. (Iskander, 2006).

De manera general existen dos formas de pilotaje de los prototipos, una con el piloto sentado y la otra con el piloto recostado, la primera ofrece ventajas en cuanto al control de manejo, y un mayor ángulo de visión mientras que como desventajas están un área frontal mayor que aumenta la resistencia al flujo de aire exterior, mientras que la segunda tiene como ventajas un área frontal menor lo que facilita el flujo del aire así mismo proporciona un menor centro de gravedad lo que permite estabilidad en altas velocidades y estabilidad en curvas. (RedBull, 2023)

Para tener una referencia de la ubicación del conductor en el bastidor se ha optado por implementar un muñeco articulado de 168 cm tal y como se muestra en la figura 2.4 que simula la posición en la que deberá ubicarse el piloto y como este deberá recostarse en el mamparo para obtener un ángulo de visión de noventa grados. Así mismo es posible visualizar posibles defectos que se podrían generar en las dimensiones para su respectiva corrección.

Figura 2.4: Bastidor y piloto

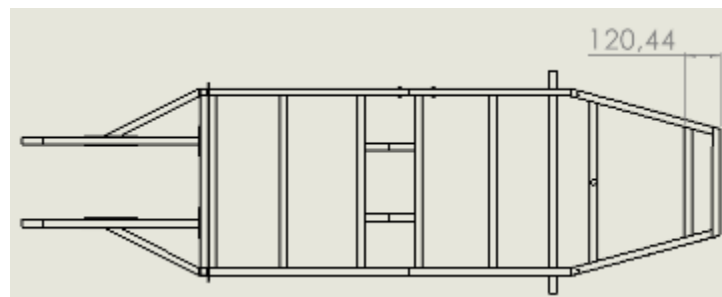


Posición rescostado del piloto en el bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

2.2.4 Dimensión Frontal de Deformación

Una de las consideraciones más importantes al momento de diseñar los prototipos eléctricos es la seguridad de los ocupantes es por tal razón que al dimensionar la longitud de los largueros se debe tomar en cuenta una distancia de deformación frontal de al menos 100 mm en caso de colisión para ello se ha implementado un travesaño en una distancia de 120 mm desde el frente del bastidor hasta los pies del piloto tal y como se muestra en la figura 2.5.

Figura 2.5: Dimensión Frontal de Deformación

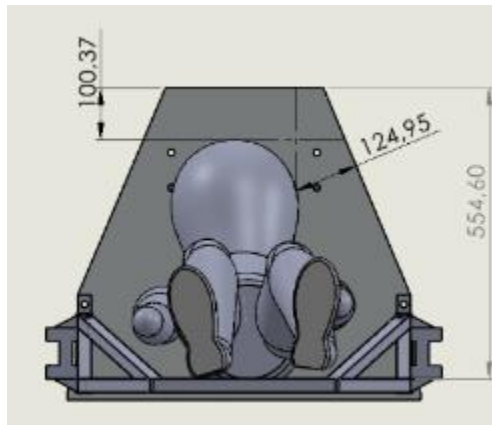


Posición rescostado del piloto en el bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

2.2.5 Mamparo

Para proteger al conductor en caso de vuelco se ha optado por implementar en el bastidor una barra antivuelco tipo panel que funcionara además como mamparo que separara el tren motriz eléctrico y el espaldar del piloto, esto en caso de derrames de líquido, conexiones eléctricas mal realizadas o en caso de que exista una deformación del tren tarsero, por ello es necesario dimensionar y seleccionar el material correctamente de tal forma que exista una distancia de protección en caso de vuelco y que este resista sin llegar a deformarse ante una carga específica. En la figura 2.6 se puede ver que la longitud del mamparo vista desde el frontal es de 554,60 mm, con una distancia desde el casco al punto más alto y en los laterales de al menos 50 mm

Figura 2.6: Mamparo y barra antivuelco



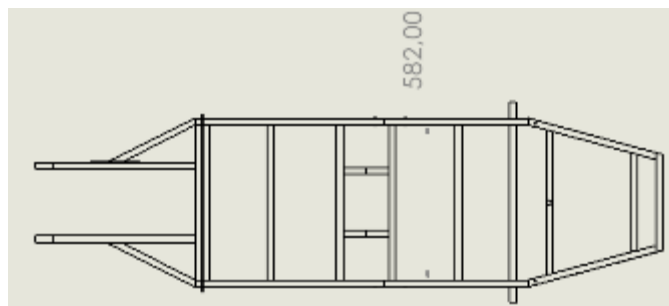
Altura del mamparo y longitud de protección en caso de vuelco, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

2.2.6 Ancho del bastidor

Para el ancho del bastidor se ha tomado como referencia el estudio realizado por Ávila Chaurand et al., (2007), donde determina las dimensiones antropométricas de la población latinoamericana para niños, niñas, hombres y mujeres con una edad aproximada entre 5 a 39 años de diferentes países, dando como resultado que una mujer con una estatura aproximada de 166.4 cm tiene un ancho de 46,1 cm con un percentil del 95% mientras que para los hombres la anchura promedio es de 50,7 cm para una persona de 1,80 m con un percentil del 95%. (Ávila Chaurand et al., 2007).

Gracias a esto se puede trazar un ancho mínimo que debería tener el prototipo de bastidor eléctrico que para cuestiones de movilidad y confort del conductor se ha optado por dejar una distancia de al menos 582 mm entre los largueros tal y como se muestra en la figura 2.7.

Figura 2.7: Ancho del bastidor



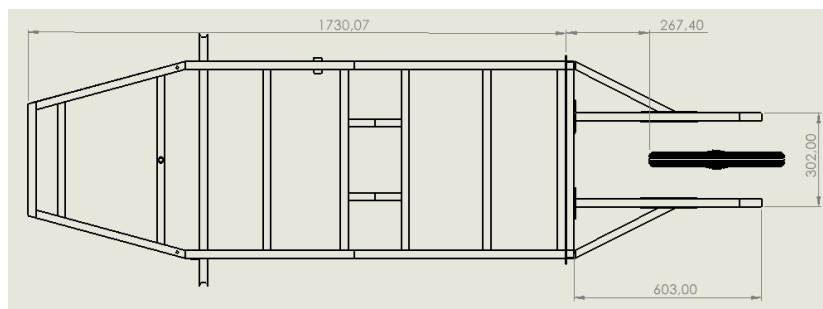
Ancho del bastidor para un piloto de 1.68 metros, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

2.2.7 Longitud del bastidor y posterior de rueda

La longitud máxima del bastidor debe adaptarse a la longitud del piloto, para ello se ha optado por generalizar la altura del piloto al desconocer la complexión de este, así como el sexo, siguiendo la anchura y estatura promedio de los ecuatorianos que se ha mencionado anteriormente se puede trazar una longitud máxima que debería tener el bastidor teniendo en cuenta el área frontal de deformación que para este caso es de 120 mm tal y como se muestra en la figura 2.5.

Para las dimensiones de la parte trasera del bastidor se tomado como referencia las dimensiones de los componentes citados en la tabla 2.8 planteada por (Moreta y Patache, 2022). Siguiendo estas características generales tenemos que para el diseño planteado las dimensiones de la base serán de 267,40 x 302 mm tal y como se puede observar en la figura 2.8.

Figura 2.8: Longitud del bastidor

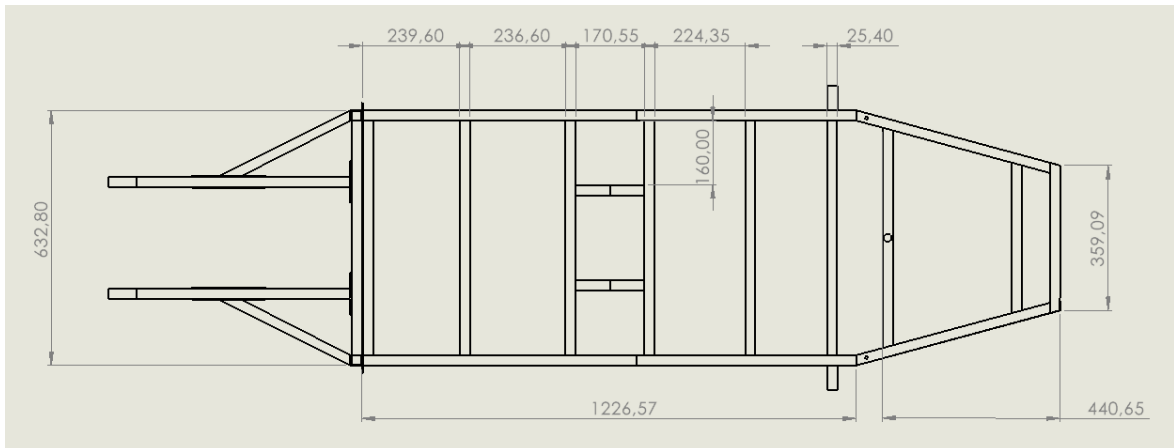


Dimensiones del piso del bastidor y tren de propulsión eléctrico, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

2.2.8 Dimensiones Totales

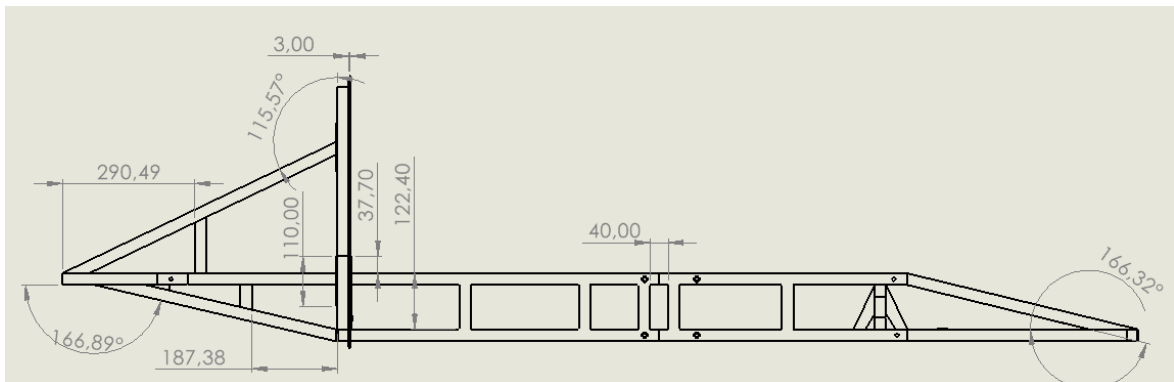
En la figura 2.9 y figura 2.10 se puede ver el diseño final del bastidor donde se muestra que se ha implementado travesaños para soportar el peso del conductor además de proporcionar rigidez al piso, así mismo es apreciable la implementación de apoyos a lo largo de los largueros para brindar rigidez al bastidor y que este no se deforme ante las diferentes cargas.

Figura 2.9: Vista superior del bastidor



Dimensiones del bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Figura 2.10: Vista lateral del bastidor

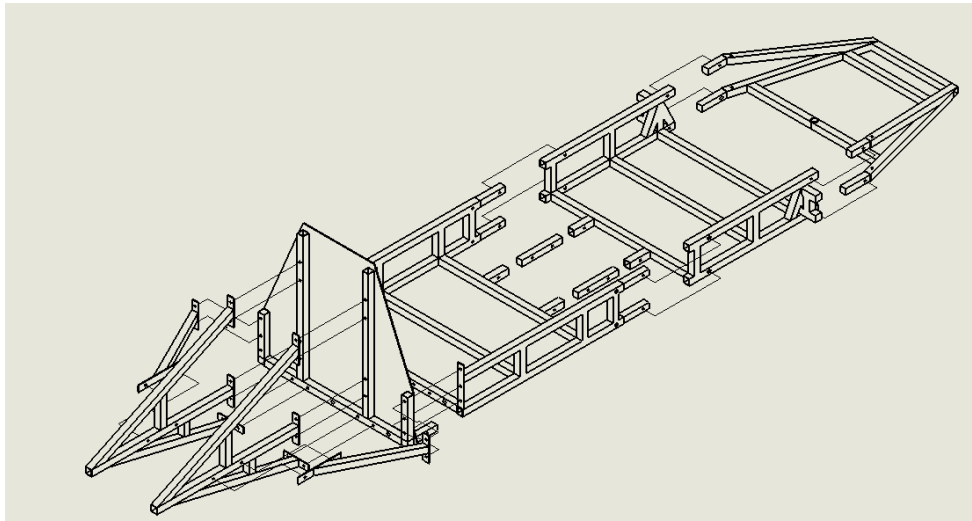


Dimensiones del bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

2.2.9 Puntos de sujeción

El bastidor por cuestiones de transporte y almacenamiento se ha optado por realizar sujeciones empernadas con nailon en puntos que permitan el fácil acople y desacople dividiendo el bastidor en 10 partes. En la figura 2.11, se muestra las divisiones en el modelo planteado, en esta se puede observar que el bastidor tiene previsto una subdivisión del mamparo con los brazos de sujeción del tren trasero y la estructura donde se va a recostar el piloto al momento de subirse.

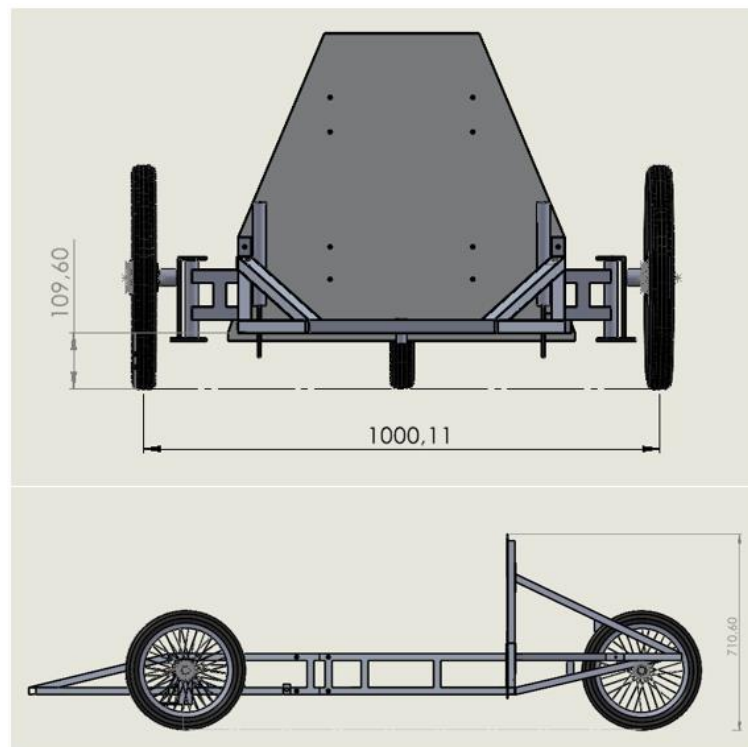
Figura 2.11: Subdivisión del bastidor



Partes de unión del bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

En la figura 2.12 se puede observar las dimensiones de altura del bastidor con respecto al piso al estar colocadas las ruedas.

Figura 2.12: Vista frontal del bastidor



Altura con respecto al piso, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS CAE

Para realizar el análisis de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), se debe tomar en cuenta el tipo de análisis que se va a realizar en el bastidor para determinar si las propiedades mecánicas del material son idóneas para la fabricación.

3.1 Análisis estructural

3.1.1 Aplicación de cargas

Uno de los factores más importantes en este análisis es determinar las cargas que el bastidor soportará. Como se había mostrado en la tabla 2.7 acerca de la distribución del peso del piloto para una persona de 71,43 kg es indispensable determinar los pesos corporales de cada parte del cuerpo humano y así determinar las zonas del bastidor que mayor esfuerzo soportaran. Para cuestiones de análisis se deberá realizar la sumatoria del peso corporal tal como en la tabla 3.1 se muestra, con el fin de distribuir los esfuerzos que soportaran los travesaños.

Tabla 3.1: Distribución de pesos corporal

Distribución corporal	Peso (N)
Parte superior (Cabeza)	438,21
Parte media (Tronco)	438,21
Parte baja (Miembros inferiores)	219,55
Piernas	57,78
Pies	18,74

Peso en Newton del cuerpo del conductor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Otra de las cargas que se debe considerar en el análisis estático es el peso del tren de propulsión eléctrico, siguiendo la tabla 2.8 acerca de las dimensiones y pesos de los componentes se puede generar las fuerzas en Newtons que deberá soportar los largueros traseros tal y como se indica en la tabla 3.2.

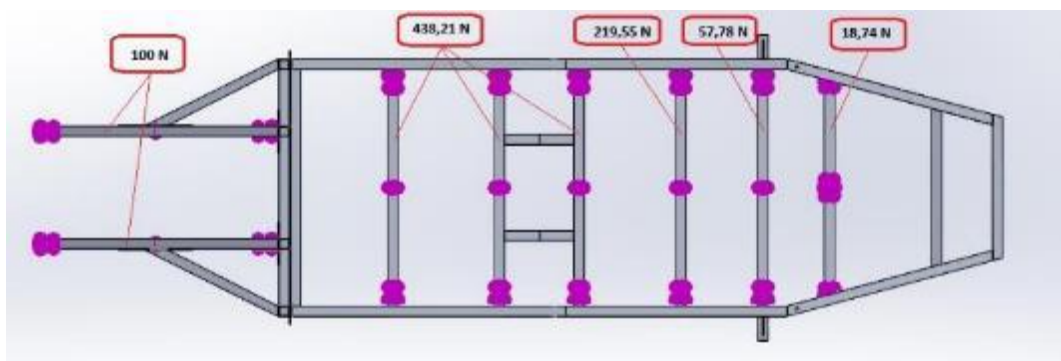
Tabla 3.2: Distribución de pesos del tren motriz

Componentes	# Elementos	Peso (N)
Motor eléctrico Brushed	1	53,47
Batería	2	22,37
Total	-	75,84

Peso en Newton del sistema motriz y batería, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Para cuestiones de análisis se ha optado por implementar una carga de 100 newtons para tener un margen de error de al menos un 32%. En la figura 3.1 se muestra la distribución real de las cargas que deberá llegar a soportar el bastidor con piloto de 71,43 kg recostado con la indumentaria y casco incluido.

Figura 3.1: Distribución de cargas del bastidor



Aplicación de cargas con el piloto recostado, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Antes de aplicar las cargas en el bastidor se debe tomar en cuenta las propiedades del material en el diseño, las cuales se ingresarán de forma manual al software de análisis CAE, para esta ocasión se ha optado por usar aluminio 6063 T5 para los largueros y travesaños, así como los brazos del espaldar mientras que el aluminio 1100 H14 se usará para las platinas de sujeción de los pernos y para conformar el mamparo. Las propiedades de dichos materiales se encuentran descritos en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Propiedades del aluminio

Propiedades del aluminio 6063 t5		Propiedades del aluminio 1100 H14	
Propiedades	Valor	Valor	Unidad
Módulo elástico	69000	68900	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	0.33	N/D

Densidad de masa	2700	2710	kg/m ³
Límite de tracción	185	95	N/mm ²
Límite elástico	145	117	Mpa

Especificaciones de las propiedades mecánicas del aluminio, Fuente: (MatWeb, 2024)

Para proporcionar rigidez en el ajuste de los pernos con las platinas en los puntos de acople del bastidor se ha optado por introducir nailon 6PA en varias secciones del perfil de aluminio 6063 T5 con esto se garantiza el ajuste correcto de los pernos sin llegar a deformar el material, para realizar un análisis más exacto será necesario introducir las propiedades mecánicas del nailon en las configuraciones del software que se encuentran descritas en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Propiedades del nailon 6

Propiedades del nailon 6		
Propiedades	Valor	Unidad
Módulo elástico	3300	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.38	N/D
Densidad de masa	1140	kg/m ³
Límite de tracción	-	N/mm ²
Límite elástico	85	MPa

Especificaciones de las propiedades mecánicas del nailon 6, Fuente: (SMITHS, 2023)

El bastidor al ser un diseño tipo ensamble se deberá restringir la interacción entre los componentes para obtener resultados que validen su fabricación, por ende, al momento de configurar el software de análisis CAE se deberán ingresar valores de las propiedades del perno que se usará para determinar si estos no sufrirán deformaciones al momento de aplicar un esfuerzo. Para determinar la resistencia de los pernos que se usarán en el bastidor será necesario realizar un análisis estático, para ello se deberá determinar variables como la resistencia del perno y el material tal y como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Características de los pernos

Perno de acero hexagonal Flange Cadm 8.8	
Diámetro	6 mm
Resistencia a la tracción	700 Mpa

Material	Acero al carbono
Longitud	40 - 70 mm
Paso del hilo	1 rosca/mm
Factor de seguridad que se espera	2
Diámetro de la cabeza del perno	10 mm

Características de dimensiones del perno, Fuente: (Imporpernos, 2019)

3.1.2 *Peso del bastidor*

Mediante el uso del software de análisis CAE, se puede determinar el peso teórico que el bastidor llegará a tener considerando los valores ingresados en cuanto a las propiedades de cada material, en la figura 3.2 se muestra que usando aluminio 6063 T5, aluminio 1100 H14 y nailon 6PA el peso que se espera tener en el bastidor es de 11,87 kg sin considerar sistemas externos como la dirección y soportes de rueda.

Figura 3.2: Peso teórico del bastidor

Propiedades físicas de "Recostado"	
Masa = 11,87 kg	
Volumen = 0,01 m ³	
Área de superficie = 5,06 m ²	
Centro de masa: (m)	
X = 0,02	
Y = -0,13	
Z = 0,31	
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kg.m ²)	
Tomado en el centro de masa.	
Ix = (-0,00, 0,10, 1,00)	Px = 0,76
Iy = (1,00, 0,00, 0,00)	Py = 4,30
Iz = (-0,00, 1,00, -0,10)	Pz = 4,72
Momento de inercia: (kg.m ²)	
Tomado en el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas de s	

Propiedades físicas del bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

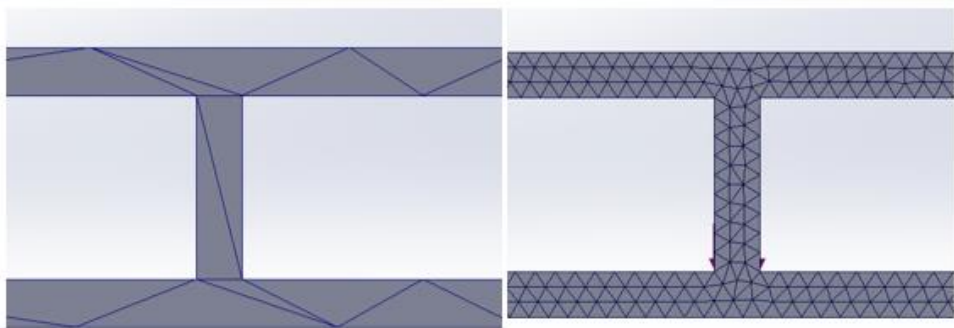
3.1.3 *Malla solida*

Dentro del análisis CAE se debe considerar factores como la malla que validan si los resultados obtenidos al momento de realizar el estudio son los más parecidos a la realidad, la malla básicamente consiste en el análisis de elementos finitos (FEA), el cual subdivide al solido estudiado en elementos de reducido tamaño que se conectan entre puntos comunes llamados nodos, esto permite predecir el comportamiento del modelo durante el análisis tomando en consideración que el mallado va a depender de factores como la geometría del sólido, las especificaciones del contacto entre los componentes y el tamaño en general de la pieza. (SOLIDWORKS, 2024)

Utilizando esta herramienta se procede a generar una malla en el diseño del prototipo del bastidor previamente realizado en el software de diseño CAD, para generar la malla es indispensable tomar en cuenta el tipo de mallado, así como los recursos computacionales.

Una forma sencilla para definir el tamaño del elemento y validar los resultados obtenidos, es realizar un análisis de convergencia el cual consiste en crear mallas de distinto tamaño (refinamiento) tal y como se muestra en la figura 3.3 hasta obtener valores donde la variación de resultados sea mínima, para esto se debe considerar la geometría creada para el mallado, el control de mallado y el tamaño de los elementos globales. (SOLIDWORKS, 2024)

Figura 3.3: Refinamiento de la malla



Malla estándar vs malla de alta calidad, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

En la tabla 3.6 se puede observar el refinamiento de malla realizado en el diseño del bastidor donde se logra apreciar que se han realizado 6 estudios en donde al reducir el tamaño de la malla se generara mayor número de nodos y por ende la demanda de mayores recursos computacionales, así mismo se muestra que en el estudio 5 y 6 la variación en los resultados de tensión de Von Mises es mínima dando como resultado una alta calidad de malla.

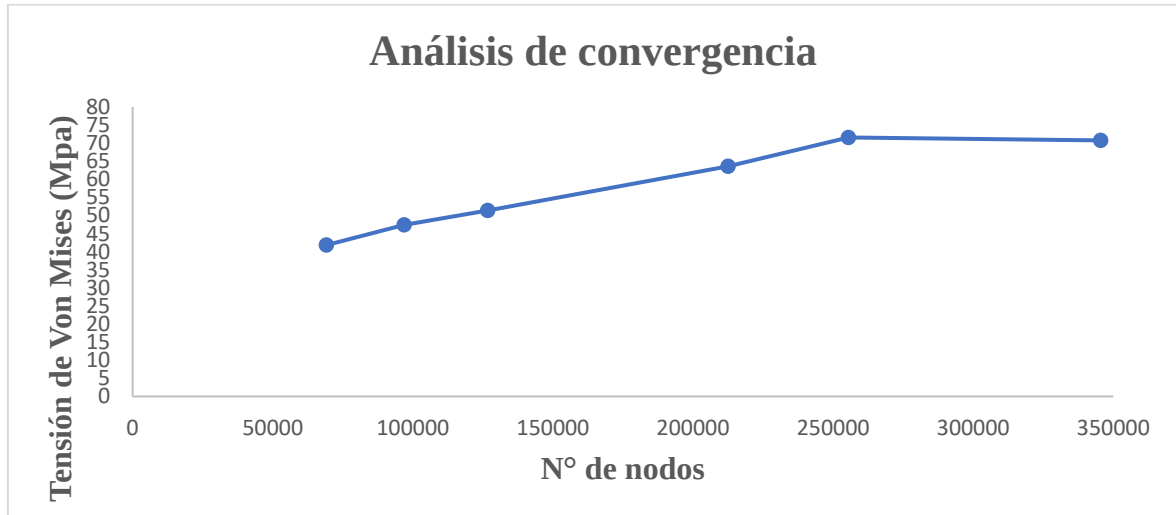
Tabla 3.6: Estudios de convergencia

Variables	Estudio 1	Estudio 2	Estudio 3	Estudio 4	Estudio 5	Estudio 6
N° de nodos total	69129	96980	126750	212615	255531	345507
N° de elementos total	32092	45942	60999	103457	124873	170806
Tamaño máx. del elemento(mm)	89,95	44,973	22,49	15,852	12,852	10,852
Tamaño min. Del elemento(mm)	4,5	2,25	2,5	2,19	1,78	1,5
Tensión Von Mises (Mpa)	41,831	47,452	51,366	63,626	71,593	70,761

Refinamiento de malla con control de mallado, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

En la figura 3.4 se muestra la tendencia del análisis de convergencia donde se muestra que la tensión de Von Mises tiende a ser más estable en los últimos estudios validando la calidad de la malla.

Figura 3.4: Análisis de convergencia de refinamiento de malla

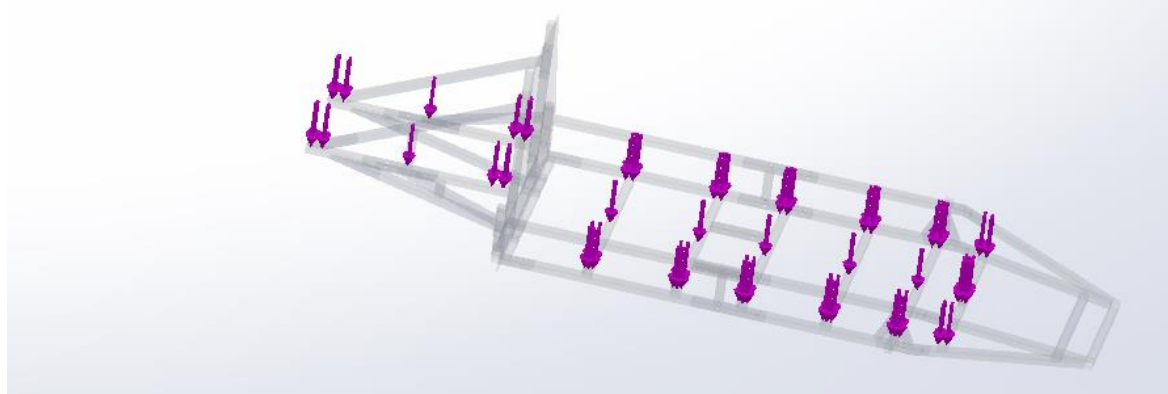


Línea de tendencia de estudios de malla, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Otra forma de determinar la calidad de la malla es por medio del software de análisis CAE, al momento de realizar el diagnóstico de calidad de malla se puede ingresar de forma manual el tipo de diagnóstico que se desea realizar, para este caso al ser una malla sólida de alta calidad con zonas de redondeo se deberá realizar un diagnóstico de cociente jacobiano. En la figura 3.5 se muestra que la malla tiene un cociente jacobiano menor a 10 en un 90% de los elementos en el último estudio, por ende, se deberá usar una malla de tamaño de elemento máximo de 10,852 mm basado en una malla en curvatura de combinado.

Figura 3.5: Diagnostico de calidad de malla

Nombre del modelo: Convergencia_3
Nombre de estudio: Recostado(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Diagnóstico de calidad de malla Diagnóstico3
Criterio de calidad de malla: Cociente jacobiano
Puntos jacobianos : 16
Criterio de error: Mayor que 10.0
Número total de elementos de baja calidad: 12



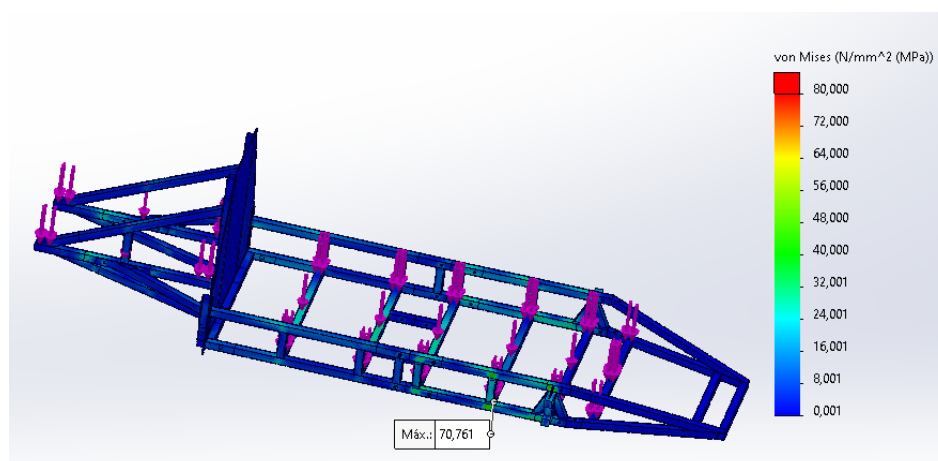
Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

3.1.4 Resultados del bastidor analizado

Utilizando una malla de alta calidad de máximo 10,852 mm y mínimo 1,50 mm se puede determinar los resultados para la tensión de Von Mises, desplazamiento máximo y factor de seguridad mínimo del bastidor al aplicar las diferentes fuerzas.

En la figura 3.6 se puede ver que al aplicar las fuerzas descritas en la figura 3.1 se tiene esfuerzo de Von Mises máxima de 70,761 MPa, el cual no supera los 145 MPa del límite elástico del aluminio 6063 T5, esto nos quiere decir que el bastidor llegara a soportar la carga del piloto cuando esta recostado sin llegar a sufrir fractura el material.

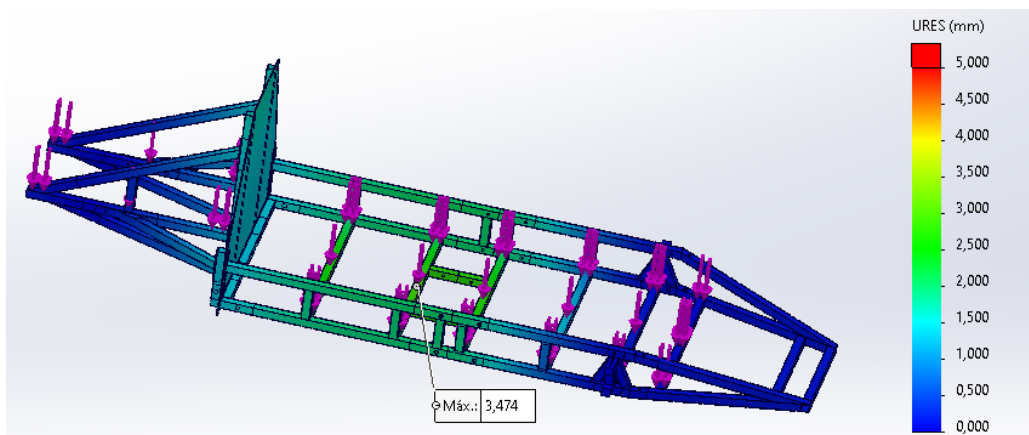
Figura 3.6: Esfuerzo de Von Mises máximo con el piloto recostado



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

De igual forma es importante determinar el desplazamiento que tendrán los travesaños al estar sometidos ante diferentes cargas. Aplicando una fuerza de 438,21 N en los travesaños del piso se logró determinar de acuerdo con la figura 3.7 que el desplazamiento máximo que tendrá el bastidor es de 3,474 mm, con esto se garantiza que la deformación no será permanente ya que por la propia elasticidad del material este retornará a su posición inicial cuando se retire la carga.

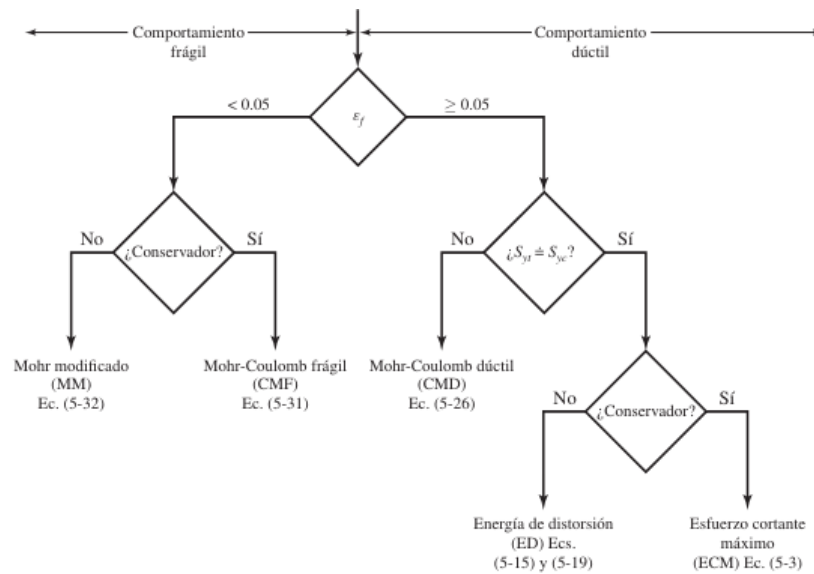
Figura 3.7: Desplazamiento máximo con el piloto recostado



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Para determinar el factor de seguridad es importante establecer las características del material, siguiendo el diagrama flujo de criterio de falla mostrado de la figura 3.8, se puede seleccionar un procedimiento eficaz para predecir las fallas por cargas estáticas dependiendo si el material es dúctil o frágil.

Figura 3.8: Flujoograma de la teoría de falla



Flujoograma para predecir fallas estáticas, Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008)

En la tabla 3.7, se muestran las características necesarias del perfil de aluminio 6063 T5 para elegir qué tipo de análisis de factor de seguridad usar.

Tabla 3.7: Características del perfil

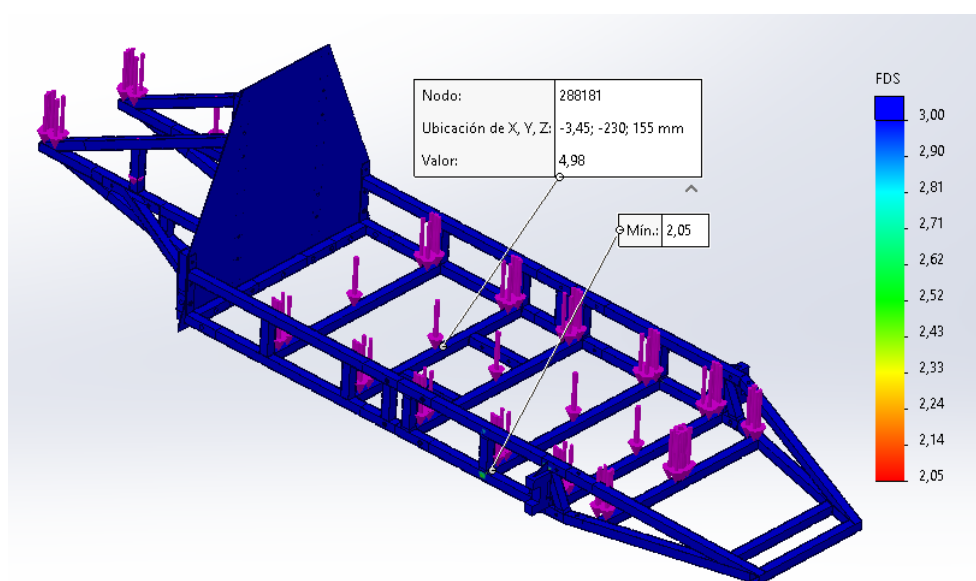
Propiedad	Valor
Deformación plástica	0.2 %
Resistencia a la compresión	186 MPa
Resistencia a la tensión	186 MPa

Características del aluminio 6063 T5, Fuente: (MatWeb, 2024)

Siguiendo el diagrama de flujo de la selección de criterios de falla se puede determinar que para el aluminio 6063 T5 se puede definir un trazado de factor de seguridad de energía distorsionada (Von Mises) o de esfuerzo cortante máximo (Tresca).

En la figura 3.9 se puede ver que al aplicar un análisis de energía distorsionada el factor de seguridad mínimo obtenido es de 2,05 lo que nos indica que el bastidor es hasta doble de seguro, así mismo se muestra que en la zona de mayor desplazamiento el factor de seguridad llega a alcanzar un valor de hasta 4,98

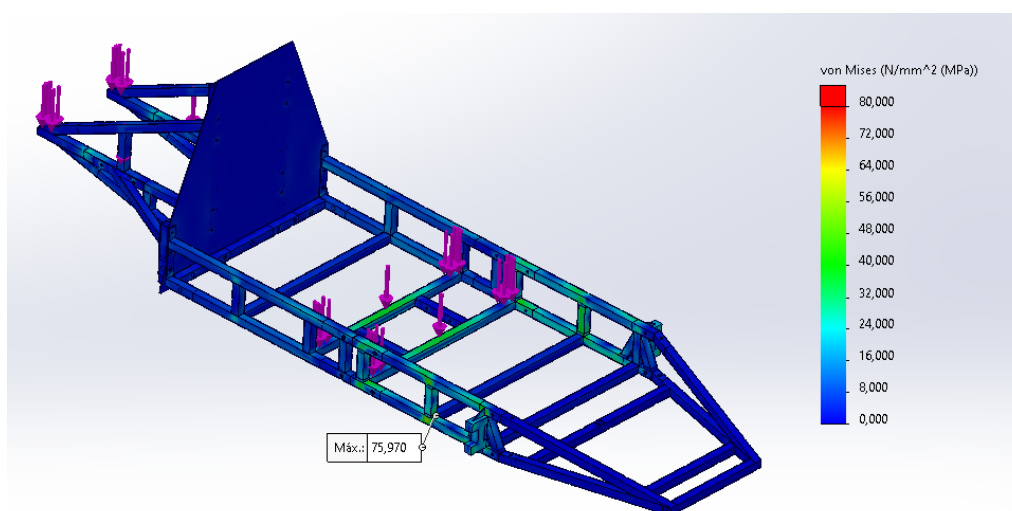
Figura 3.9: Mínimo factor de seguridad con el piloto recostado



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Otro aspecto importante de análisis es el lugar por donde el piloto se ubicará dentro del bastidor para ello se ha optado incrementar la carga de 700 N en dos travesaños centrales simulando que el piloto estará en posición de pie. En la figura 3.10 se muestra que para este caso el esfuerzo máximo de Von Mises es de 75,970 MPa

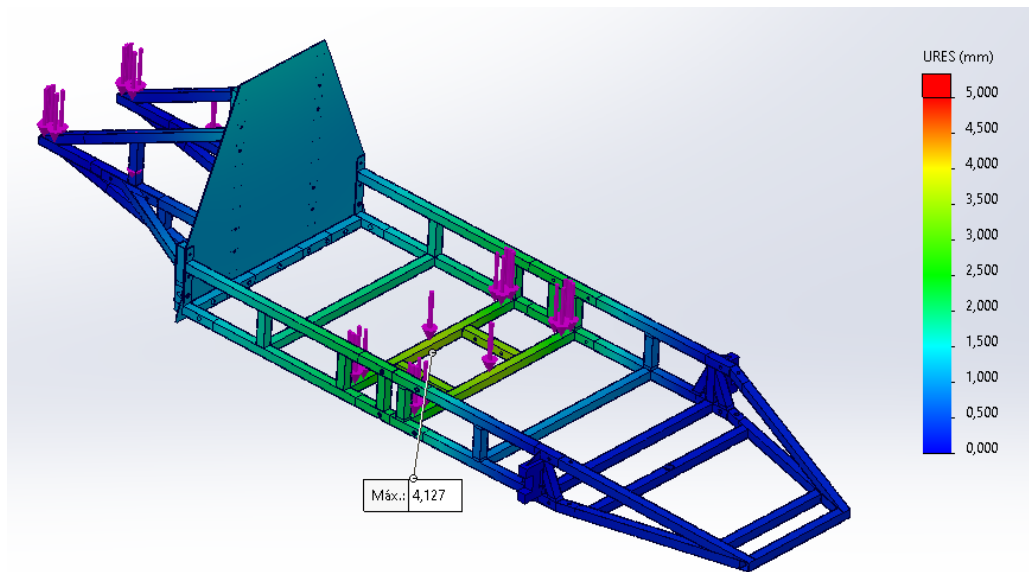
Figura 3.10: Esfuerzo de Von Mises máximo con el piloto de pie



Esfuerzo maximo con el piloto de pie en los travesaños medios Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Siguiendo la misma aplicación de cargas se tiene en la figura 3.11 que el desplazamiento máximo que tendrá en el bastidor será de 4,127 mm

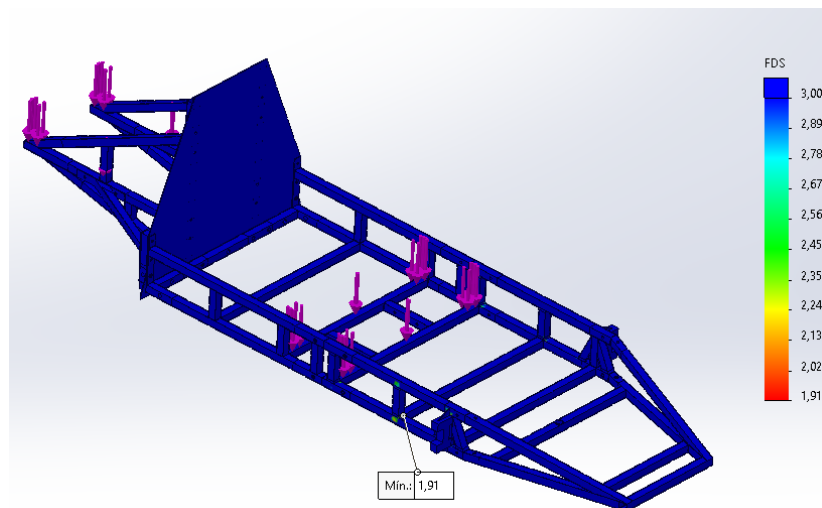
Figura 3.11: Desplazamiento máximo con el piloto de pie



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

En cuanto al factor de seguridad se puede ver que es hasta 1,9 veces más seguro lo que garantiza que el bastidor no se deformara de forma permanente ya que se encuentra dentro del límite elástico del material de acuerdo con lo que se muestra en la figura 3.12.

Figura 3.12: Mínimo factor de seguridad con el piloto de pie

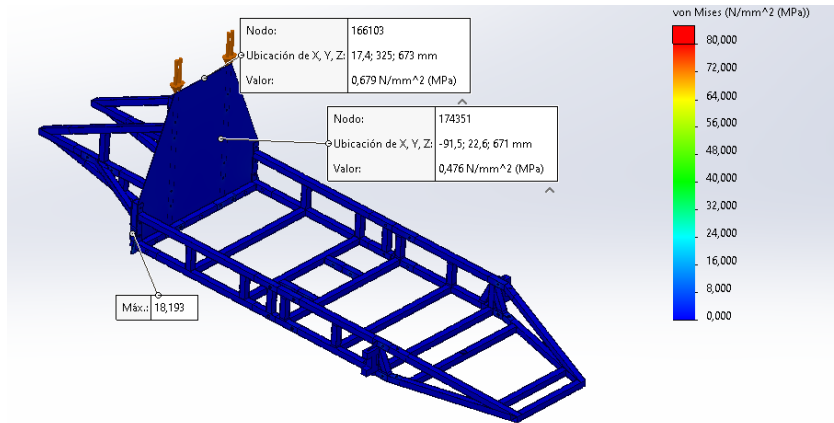


Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Mamparo, Uno de los componentes que proporcionan mayor seguridad al conductor es la barra antivuelco, esta debe ser resistente ante cargas y garantizar que no se deforme en caso de vuelco. Utilizando una fuerza vertical de 700 N se puede ver en la figura 3.13 que al realizar en análisis CAE en el mamparo no sufre ningún tipo de deformación, lo que

garantiza la efectividad del componente con un esfuerzo máximo de Von Mises de 0,679 MPa.

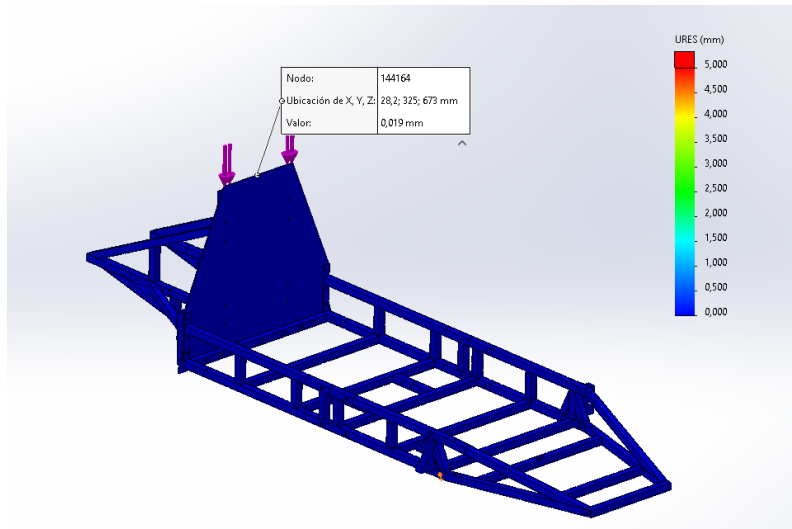
Figura 3.13: Esfuerzo de Von Mises máximo de la barra antivuelco



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Para diagnosticar si existe deformación es importante determinar el desplazamiento, en la figura 3.14, se puede ver que al aplicar una fuerza de 700 N vertical a la parte superior del mamparo el desplazamiento máximo obtenido es de 0,019 mm.

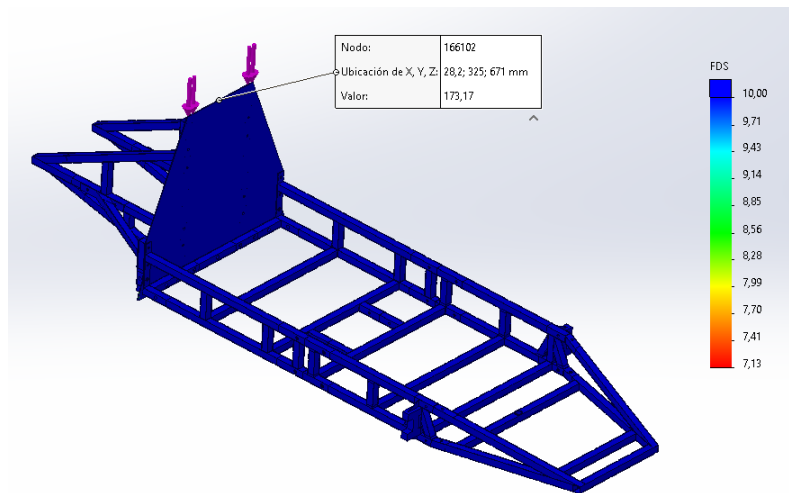
Figura 3.14: Desplazamiento máximo de la barra antivuelco



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Para determinar la seguridad del mamparo se usará un factor de seguridad por energía distorsionada Von Mises dando como resultado que la barra antivuelco tipo panel será hasta 172,17 seguro tal y como se muestra en la figura 3.15.

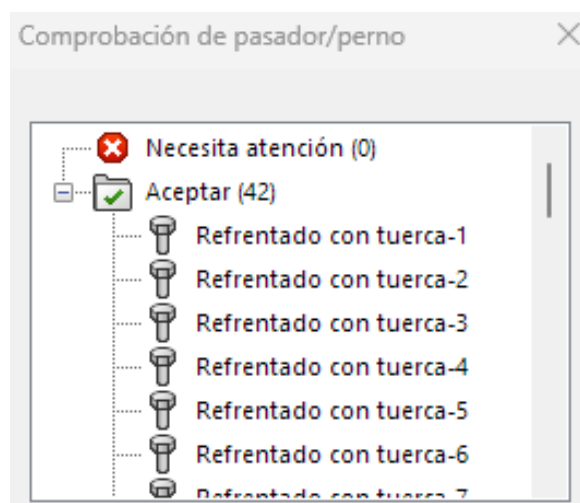
Figura 3.15: Factor de seguridad de la barra antivuelco



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Análisis de resistencia del perno, El software de análisis CAE a través de cálculos matemáticos y de datos ingresados de las características del perno, determina la fuerza cortante, la fuerza axial y el momento flector de cada perno, indicando de esta forma si el perno sufrirá algún tipo de deformación o rotura al estar sometido a esfuerzos o cargas por el uso. En el anexo 1 se muestra una lista de los resultados obtenidos para cada perno usado en la simulación dando como resultado que ningún perno ha fallado al someterlo a diferentes cargas. Además, en la figura 3.16 se logra observar que el mismo software de análisis CAE determina que ningún perno necesita atención con un factor de seguridad mayor a 2 para cada perno.

Figura 3.16: Resultados de análisis de pernos



Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

CAPÍTULO 4

FABRICACIÓN DEL BASTIDOR TIPO PROTOTIPO

La construcción del prototipo consiste en una serie de procesos donde el material seleccionado y adquirido debe ser preparado adecuadamente, además se considera que los procesos de manufactura son de mayor relevancia para dar forma al bastidor, así como para la fabricación y armado.

4.1 Preparación del material

De acuerdo con lo que se indicó en el capítulo 2 con respecto al diseño, el prototipo se subdividirá en 10 partes lo cual facilitará el fácil transporte. El bastidor posee formas trapezoidales y de triangulación por lo que las medidas se realizan con un margen de error de ± 25 mm de manera que se cumpla con el diseño y se asemeje a la realidad.

4.1.1 Marcado y Corte

Para realizar el corte del perfil de aluminio cuadrado de 1" de diámetro se procederá a marcar al perfil de acuerdo con las dimensiones que se planteó en el diseño CAD, en la figura 4.1 se muestra la toma de medida y el corte por medio de la tronzadora, para obtener un corte limpio y que este no presente impurezas en los bordes.

Figura 4.1: Toma de medidas del perfil.



Marcado y corte del perfil cuadrado para construcción del bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Posterior a tener todos los cortes según los requerimientos del diseño, en la figura 4.2 se muestra que será necesario armar de forma superficial el área donde se ubicará el piloto y el tren de propulsión eléctrica para observar posibles desperfectos.

Figura 4.2: Armado de área de piloto y posterior del bastidor.



Armado superficial de la estructura del bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Las platinas de sujeción y el mamparo utilizaran el mismo material es decir el AA1100 H14, el corte de este material se realizará usando una amoladora con disco de corte multiusos para dimensionar las platinas, mientras que para dar forma al mamparo se usará cortadora por plasma (oxicorte), en la figura 4.3 se muestra el mamparo cortado por plasma.

Figura 4.3: Corte del Mamparo del bastidor.



Corte de la forma mamparo por plasma, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Debido a que la perfilería posee recubrimiento exterior este deberá ser preparado en los puntos que se pretende soldar, ya que el material de aporte no permite que ambos materiales

se fundan y queden en una unión permanente, en la figura 4.4 se muestra el acabado superficial del perfil de aluminio luego de ser desbastado con un disco flap.

Figura 4.4: Limpieza de recubrimiento de perfilería.



Perfil cuadrado con recubrimiento y perfil sin recubrimiento, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

4.2 Soldadura TIG

La soldadura es un proceso que consiste en la unión permanente de dos materiales dúctiles por medio de fundición, para este tipo de proceso cabe mencionar que los elementos a soldar deben ser del mismo material ya que estos al someterse a una elevada temperatura alcanzan el punto de fusión, siendo el punto en el que el material alcanza de estar en estado sólido a líquido. (Pacheco, 2015)

Para el caso de la soldadura TIG (Tungsten, Inert, Gas) que es usada para soldar aluminio con material de aporte del material base según la AWS (sociedad americana de soldadura) también se la conoce como GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) es importante conocer las características de la maquina y los amperajes que se usarán para soldar. (Pacheco, 2015)

Para este tipo de soldadura se usará un electrodo de tungsteno que no es consumible, la corriente eléctrica, un material de aporte y el gas inerte que generalmente es argón para que permita la unión de dos elementos de manera que alcanza hasta una temperatura de 3500 °C , las ventajas de este tipo de soldadura es que genera un arco estable y concentrado, no genera chispas producto del contacto entre el material base y el electrodo de manera que no deja resultados como escoria, además es factible para soldar en cualquier posición. (Pacheco, 2015)

4.2.1 Variables de la Soldadura TIG

En la soldadura depende de variables que influyen en el proceso de unión y que es fundamental conocer para realizar la unión de los perfiles de aluminio.

Corriente, La corriente que se puede usar en este proceso puede ser:

- Continua directa, sucede que el calor se distribuye menor en el electrodo que en el material base permitiendo una perfecta unión entre los metales debido a la buena penetración.
- Continua invertida, ocasiona que el material base sea portador de electrones logrando incrementar la temperatura en el electrodo se genera un bombardeo iónico que permite la limpieza de la soldadura. (Pacheco, 2015)
- Alterna, al usar este tipo de corriente permite que tanto el electrodo como el material base tengan la misma temperatura a una frecuencia entre 50 a 60 Hz ofreciendo una penetración intermedia a la directa siendo ideal para el aluminio y magnesio. (Pacheco, 2015)

Intensidad de Corriente, La intensidad depende prácticamente del espesor del material, es decir que por cada milímetro de espesor se debe usar una corriente de 40 amperes, en la tabla 4.1 se muestra la intensidad de corriente para el aluminio y sus aleaciones.

Tabla 4.1: Especificaciones de corriente para el aluminio.

Material	Espesor del material		Intensidad de corriente	Tipo de corriente (con dispositivo de alta frecuencia)	Proceso
	Plg	mm	amperes		
Aluminio y sus aleaciones	1/16	1.58	60 – 100	Corriente alterna	Manual
Aluminio y sus aleaciones	1/8	3.17	120 – 160	Corriente alterna	Manual
Aluminio y sus aleaciones	3/16	4.76	180 – 240	Corriente alterna	Manual
Aluminio y sus aleaciones	1/4	6.35	240 – 320	Corriente alterna	Manual

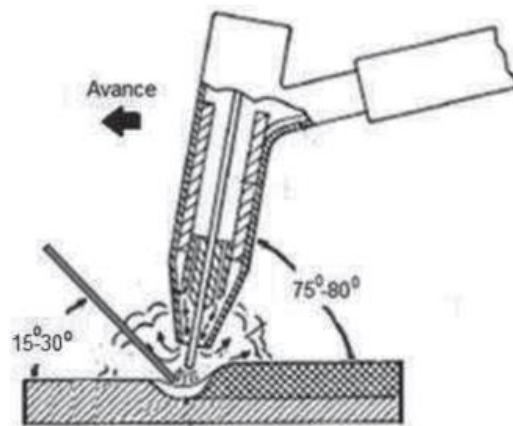
Uso de corriente para los determinados espesores de aluminio, Fuente: (Pacheco)

Electrodo no consumible, Se fabrican con diámetros desde 0,6 hasta los 6,35 mm con aleaciones de cerio, lantano, torio y circonio. Para el caso de la soldadura en corriente

alterna para metales como el aluminio y el magnesio es recomendable usar electrodo de tungsteno puro ya que ofrece buena resistencia a la contaminación. (Pacheco, 2015)

Inclinación del electrodo, El porta electrodo para realizar la soldadura debe encontrarse en un ángulo entre 75° y 80° para dar un mejor control al cordón, al usar un material de aporte este debe encontrarse en un ángulo entre el 15° y 30° tal como se muestra en la figura 4.5. (Pacheco, 2015)

Figura 4.5: Inclinación del porta electrodo.



Inclinación del electrodo y material de aporte en la soldadura, Fuente: (Pacheco)

Metal de aporte, Este elemento puede o no ser indispensable en este tipo de soldadura ya que depende principalmente del material base haciendo un mayor énfasis en las propiedades físicas, químicas y mecánicas del material. (Pacheco, 2015)

En la tabla 4.2 se muestra el metal de aporte que se puede usar para los diferentes tipos de materiales base.

Tabla 4.2: Designación del material de aporte

Designación de varilla	Uso de material
A5.18	Para aceros al carbono de mediana resistencia
A5.28	Para aceros de baja aleación y alta resistencia
A5.9	Para aceros inoxidables
A5.10	Para aluminio y sus aleaciones
A5.14	Para níquel y sus aleaciones

Material de aporte y uso en los diferentes materiales base, Fuente: (Pacheco)

4.2.2 Características Maquina de Soldar TIG

Como se mencionó con anterioridad con respecto a los perfiles estos deben encontrarse limpios para que no interfiera en el proceso teniendo en cuenta que existen perfiles que poseen inclinación, como primera estancia en la figura 4.6 se muestra al equipo usado para realizar la soldadura.

Figura 4.6: Equipo de Soldadura TIG.



Gas Inerte (Argón), Equipo de regulación de amperaje y porta electrodo de tungsteno,

Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Material de aporte, En la figura 4.7 se muestra el material de aporte que se usará para unir los perfiles la cual tiene una designación 4043 en la que Marcos (2020) menciona que “se utiliza para la soldadura de aleaciones con tratamiento térmico y, especialmente, las de serie 6 obteniendo un baño de fusión más fluido y con menor riesgo de fisuración. Es válido para servicios de temperatura por encima de 65° C” (pág. 214), por lo que es un material de aporte muy usado para la construcción de chasis, ejes de transmisión y cuadros de bicicleta.

Figura 4.7: Material de aporte.



Designación 4043 del material de aporte para aluminio, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Equipo de regulación de amperaje, En esta máquina es donde se regulará el amperaje, penetración y otros factores que intervienen durante la soldadura, en la figura 4.8 y en la tabla 4.3 se muestra el uso que tiene cada uno de los ítems.

Figura 4.8: Maquina de reglaje de amperaje



Designación de ítems para regulación de amperaje, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Tabla 4.3: Descripción de la Fuente de poder.

Ítem	Descripción
1	Display, elemento de visualización de cantidad de amperaje.
2	Posición LIFT – se produce el arco cuando el electrodo de tungsteno toca con el material base y se levanta ligeramente.
3	Posición HF - Alta frecuencia, se produce el arco sin que el electrodo de tungsteno entre en contacto con el material base.
4	Posición MMA. Trabajo se realiza con electrodo
	Posición 2T. Trabajo con boquilla y botón de suelda
	Posición 4T. Trabajo automático
	Posición DC. Corriente Continua, trabajos con acero al carbono o
	acero inoxidable
	Posición AC. Corriente alterna, trabajo con aluminio.

-
- Posición Gas. Regula la salida de presión de Gas de Argón o purga
- Perilla giro a la izquierda, sirve para penetración con espesores gruesos.
- 5 Perilla giro a la derecha, sirve para relleno de materiales con cierta apertura.
- 6 Perilla de regulación de corriente de amperaje.
- 7 Perilla de porcentaje de corriente de aportación de calor al material base, sube el amperaje solo al inicio de arranque de soldadura.
- 8 Perilla de caída de arco o apagado de arco, permite que el arco se apague paulatinamente al aplastar el botón de suelda.
- 9 Perilla de flujo de gas con respecto al tiempo
- 10 Conexión de la pinza polar
- 11 Conexión a la boquilla del electrodo
-

Descripción de los elementos que intervienen en la regulación de la soldadura TIG, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

4.2.3 Soldadura de los perfiles

Como se pudo apreciar anteriormente en la figura 4.2 la mayoría de los perfiles tienden a formar un ángulo de 90° con respecto a los otros perfiles.

Soldadura apoya manos, los primeros elementos a soldar serán parte de los travesaños del piso y él apoya manos en los dos lados que va a conformar el bastidor, estos elementos forman una posición en T tal como en la figura 4.9 se muestra.

Figura 4.9: Soldadura de apoya manos.



Soldadura del apoya mano del bastidor tipo prototipo, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Al finalizar la soldadura, este elemento tiende a tener forma de escalera la cual posteriormente se usará para formar el piso en donde el piloto se alojará, en la figura 4.10 muestra el acabo del apoya mano con la base del piso.

Figura 4.10: Forma final del apoya mano y base conductor.



Estructura del apoya mano y base conductor forma de escalera, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Soldadura del piso, El piso es el área donde el conductor se alojará, se compondrá de perfiles transversales según el diseño de la figura 2.9, donde los elementos a soldar serán los apoya manos y travesaños, como en la figura 4.11 se muestra.

Figura 4.11: Soldadura del piso de alojamiento de conductor.



Forma de la estructura del alojamiento del conductor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Soldadura del mamparo, El mamparo es el elemento en donde la cabeza del conductor se apoyará al estar recostado, en la parte posterior a él es decir la zona lisa se soldará un perfil longitudinal y dos transversales tal como en la figura 4.12 muestra, cabe mencionar que el perfil y el mamparo poseen un espesor diferente.

Figura 4.12: Soldadura del mamparo y base posterior.



Soldadura de perfiles formando base posterior del mamparo, Fuente: C. Ojeda y C.

Quinche

Soldadura del apoya pies, En él apoya pies como su nombre lo indica es la sección en donde parte del peso suspendido de los pies reposan, este elemento de acuerdo con el diseño mostrado en la figura 2.9 los perfiles tienen un cierto grado de inclinación, en la figura 4.13 se muestra la soldadura la sección frontal del bastidor.

Figura 4.13: Soldadura de sección frontal del bastidor.



Soldadura de sección frontal con perfiles formando un trapecio, Fuente: C. Ojeda y C.

Quinche

Soldadura de base rueda, Esta estructura se comprende de dos elementos que unen a la parte posterior del mamparo con la sección posterior donde la rueda se anclará, cabe mencionar que estos elementos son desmontables a las cuales se soldará platinas del mismo

material del mamparo, en la figura 4.14 se muestra la soldadura de la estructura que conforma la base rueda.

Figura 4.14: Soldadura sección trasera de rueda.



Estructura soldada de apoya mamparo y base rueda motriz, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Estructura formada, Al finalizar la soldadura de todos los componentes de la estructura, en la figura 4.15 se muestra al bastidor armado temporalmente, ya que para que este se encuentre totalmente fijo debe ser ajustado por pernos y material de refuerzo.

Figura 4.15: Armado superficial del bastidor.



Armado de las estructuras soldadas dando forma al bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Soldadura de bases dirección, Para estas bases de la dirección, se soldará perfil cuadrado y perfil circular con espesor de 1,9 mm, estas se encontrarán unidas a la sección frontal del bastidor tal como se muestra en la figura 4.16.

Figura 4.16: Soldadura Bases de dirección.



Bases de dirección con perfil circular, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

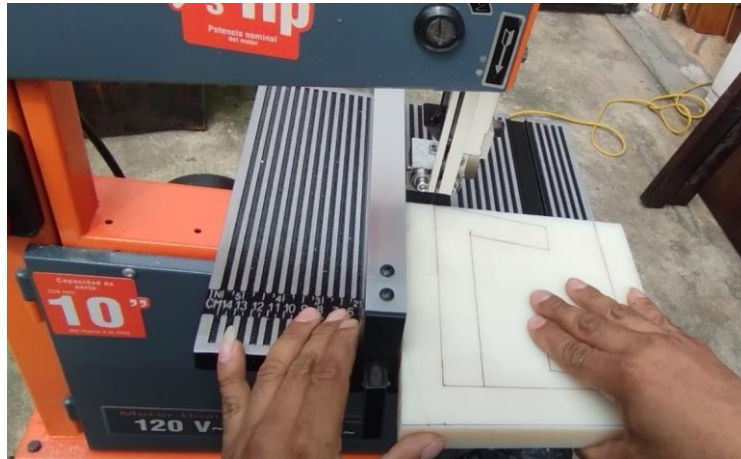
Una vez que todas las estructuras se encuentren soldadas, con la amoladora y un disco Flap se procederá a devastar el cordón sin que la soldadura se vea afectada, también se considera los materiales con diferente espesor y que en el Anexo 2 se muestra una tabla con los valores de amperaje usados para la soldadura de las diferentes estructuras.

4.2.4 Preparación de Nylon

El Nylon de material de Poliamida 6PA es el material que se usará como refuerzo en las zonas donde se empernarán cada una de las estructuras del bastidor, es decir los puntos más críticos que tendrían a fallar al soportar una carga, en este caso se implementará para la parte media del bastidor, para la sección delantera que une al apoya pies con la base del piso, base espaldar con estructura de rueda y base espaldar con base piso.

La plancha de nylon para implementarse en el bastidor se cortará con una sierra eléctrica como en la figura 4.17 muestra, de forma que queden con un espesor de 23,1 mm considerando que es el espacio hueco existente del perfil cuadrado.

Figura 4.17: Corte de figuras de nylon.



Corte de ángulos necesarios para implementación en estructura, Fuente: C. Ojeda y C.

Quinche

Desbaste de material, Los elementos cortados a la medida de los perfiles en los vértices se realizará el desbaste por medio del uso de la fresadora, ya que debido a la soldadura esta provoca internamente un relleno por lo que el desbaste angular en los vértices garantiza el correcto anclaje entre el tubo y el nylon, en la figura 4.18 se muestra el procedimiento realizado a los bloques de nylon.

Figura 4.18: Desbaste de vértices de nylon



Desbaste de los vértices de bloques de nylon a 45°, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

Insertión del nylon, Los nylon preparados adecuadamente se insertarán en las estructuras dentro del perfil tal como se aprecia en la figura 4.19.

Figura 4.19: Inserción del nylon a estructura tubular



Ingreso de los bloques de nylon a las estructuras del bastidor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

4.2.5 Perforación y Unión Mecánica

La perforación se realizará en zonas donde se insertó nylon y en especial las platinas, ya que se hará la sujeción mecánica con perno y tuerca.

Para la perforación se usará el taladro y una broca de 6 mm ya que es el diámetro que tendrá el perno, en la figura 4.20 se muestra el ejemplo de perforación de la platina que unirá la base espaldar con la estructura donde se anclará la rueda motriz.

Figura 4.20: Perforación de base espaldar y estructura de rueda



Perforación de platina de estructura espaldar, base espaldar con mamparo, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

Cabe mencionar que la perforación se realiza en todas las zonas donde requiere sujeción por lo que estas deben coincidir de acuerdo con el diseño manteniendo un margen de error por consideraciones de corte y soldadura.

Unión perno – tuerca, Este es el último proceso que se realizará en el bastidor con la que después de la perforación se usará perno y tuerca clase 8.8 de acero al carbono M6 que posee una resistencia a los 700 MPa, el primer elemento a unir mediante este proceso es de la base espaldar – mamparo con la estructura donde se montará la rueda motriz, así como en la figura 4.21 se muestra la estructura armada.

Figura 4.21: Unión perno-tuerca de la sección posterior del bastidor



Unión del mamparo con estructura de rueda motriz, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

Realizada la unión posterior, esta se unirá con la primera estructura donde se alojará el conductor es decir el piso tal como en la figura 4.22 se muestra.

Figura 4.22: Unión perno-tuerca de la sección posterior y primera base conductor.



Unión del mamparo con estructura de rueda motriz y base de conductor, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

Como procedimiento final se procederá a unir la parte delantera es decir el alojamiento de los pies y la segunda estructura del piso, lugar donde reposa las piernas del conductor, en la figura 4.23 se muestra el bastidor completamente armado mediante la sujeción mecánica a la cual tiene una longitud de 1,72 m.

Figura 4.23: Unión perno-tuerca de toda la estructura del bastidor.



Unión de todas las estructuras del bastidor tipo prototipo, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

Por último, se implementará un sistema de dirección por medio de palancas con las que el piloto direccionará el prototipo. En la figura 4.24 se muestra el prototipo con el sistema de

dirección implementado y un piloto con un peso aproximado de 70 kg recostado en la estructura.

Figura 4.24: Bastidor tipo prototipo finalizado.



Bastidor Tipo prototipo armado finalizado, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

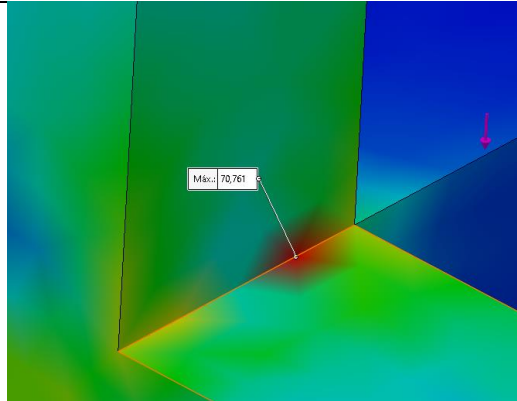
Los resultados obtenidos se basarán en un análisis estructural, al momento de aplicar cargas en función de la posición de entrada y manejo del prototipo eléctrico. En este análisis, se interpretarán los resultados obtenidos en el análisis CAE para identificar las zonas que tienden a soportar mayor esfuerzo y verificar si el desplazamiento está dentro del límite permisible. De esta manera se validará si el objetivo de construir un bastidor con materiales ligeros se cumple.

5.1 Análisis e Interpretación de Resultados

5.1.1 Resultados en Posición Recostada

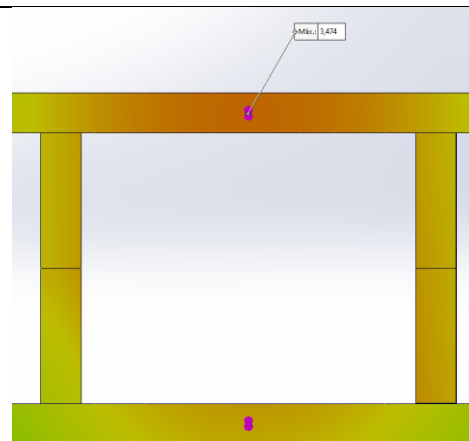
En la tabla 5.1 se muestra los resultados obtenidos en el análisis en la estructura del bastidor tipo prototipo al momento de aplicar los esfuerzos cuando el piloto esta recostado.

Tabla 5.1: Resultados del análisis CAE – Posición Recostada

Posición recostada		
Variable	Valor	Análisis de resultados
Esfuerzo de Von Mises máx. (Mpa)	70,761	

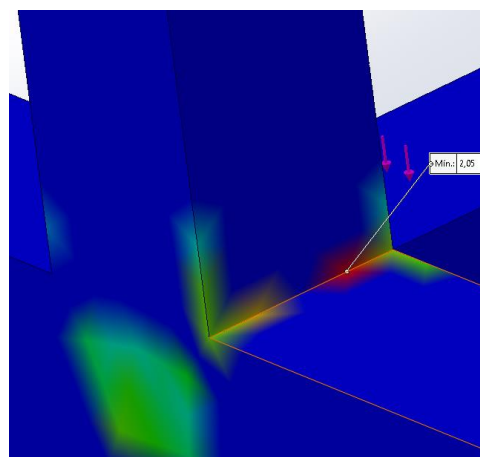
Gracias al mapa de colores del software de análisis CAE, se muestra que la zona de mayor estrés estará ubicada en los perfiles que sujetan los largueros con los apoya manos. Sin embargo, los resultados validan que el material no sufrirá deformaciones plásticas, ya que el límite elástico del material 6063 T5 utilizado estará en los 145 MPa, por ende, no necesitará una optimización en el diseño.

Desplazamiento máx. 3,477
(mm)



El análisis indica que los travesaños centrales al momento de aplicar un esfuerzo de 438,21 N tienen un desplazamiento vertical máximo desde su posición inicial de 3,477 mm al ser un componente que no interfiere en el ensamble del bastidor su desplazamiento es permisible, así mismo es identificable que el valor es bastante bajo aun cuando se aplica un esfuerzo en lugar de una carga de masa distribuida.

Factor de seguridad 2,05
min.



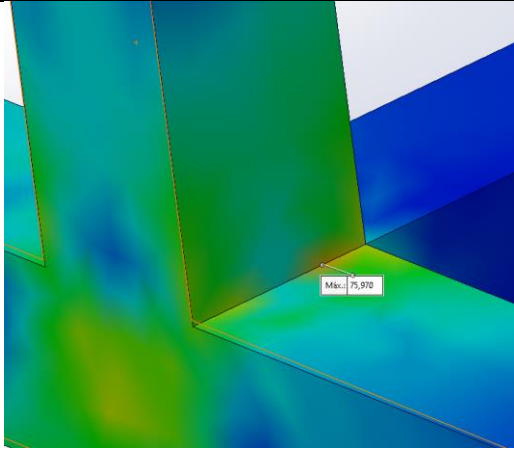
Los valores en el factor de seguridad validan el diseño del modelo y por ende su construcción, gracias a la escala de colores se puede identificar que el mínimo factor de seguridad se da en la misma zona de mayor estrés descrita en el esfuerzo de Von Mises, el factor de seguridad mínimo de 2,05 indica existe un margen adicional para cargas imprevistas que podrían suscitarse en el bastidor.

Descripción de los resultados obtenidos, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

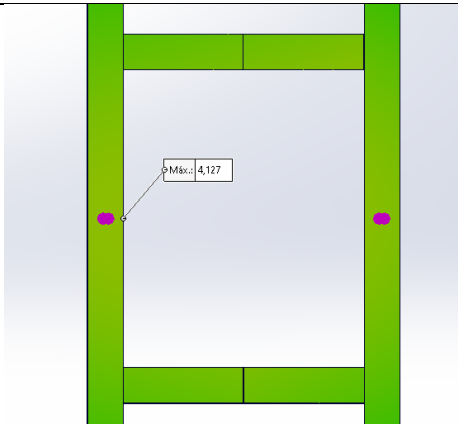
5.1.2 Resultados en Posición de Entrada al Bastidor

En la Tabla 5.2 se muestra los resultados cuando el piloto entra al bastidor de acuerdo a los esfuerzos aplicados.

Tabla 5.2: Resultados del análisis CAE – Posición de Entrada

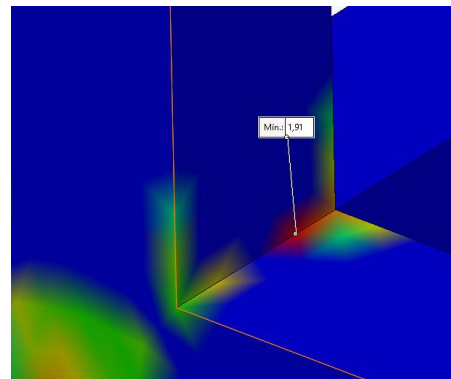
Posición de entrada		
Variable	Valor	Análisis de resultados
Esfuerzo de Von Mises máx. (Mpa)	75,970	

Los resultados al aplicar una fuerza de 700 N en el par de travesaños medios que simulan la entrada del piloto al bastidor muestran que la mayor zona de estrés se da en el perfil del apoya manos, esto indicará que podrían realizarse mejoras, para reducir este factor como agregar platinas de aluminio que ayuden a mejorar esta resistencia, pero se debe considerar el peso que podrían agregar al bastidor. El esfuerzo obtenido no sugiere una deformación plástica del aluminio 6063 T5 ya que está dentro del límite elástico del material por ende no se necesita optimizar el diseño además de que esta carga no es constante para el uso diario del bastidor.

Desplazamiento máx. (mm)	4,127	
---------------------------------	-------	--

El valor obtenido indica un aumento en el desplazamiento por el aumento del esfuerzo ejercido en el par de travesaños, al igual que en el análisis de resultados cuando el piloto esta recostado el desplazamiento de 4,127 mm no sugiere interferencia con otros mecanismos del bastidor manteniéndose dentro de las especificaciones requeridas para no cambiar el material.

**Factor de seguridad
min.** 1,91



El factor mínimo de seguridad para este caso de análisis es de 1,91 lo que, validará la fiabilidad del diseño, estos valores indican que el bastidor al posicionarse el conductor en el bastidor puede soportar hasta 1,9 veces la carga máxima que puede soportar el material indicando que se encuentra dentro de su límite de fluencia.

Descirpción de los resultados obtenidos, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

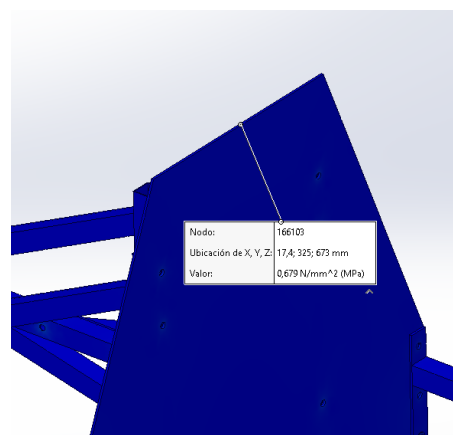
5.1.3 Resultados en el Mamparo

Los resultados que se muestra en la tabla 5.3 hace referencia a la carga soportada en caso de volcamiento considerando un esfuerzo de 700 N.

Tabla 5.3: Resultados del análisis CAE – Mamparo

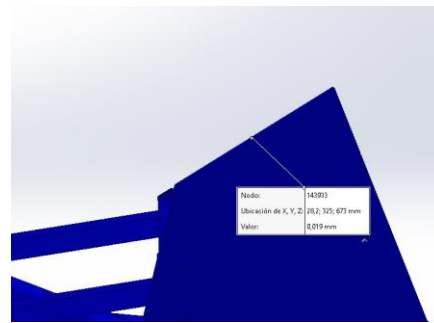
Mamparo		
Variable	Valor	Análisis de resultados

**Esfuerzo de Von
Mises máx. (MPa)** 0,679



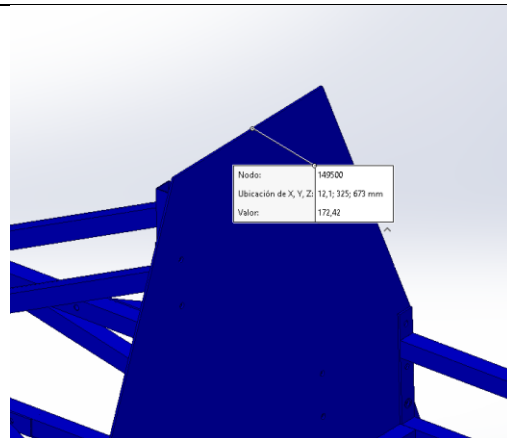
La escala de colores indica que al aplicar una fuerza vertical de 700 N en el mamparo este no sufrirá ninguna falla plástica ya que sus valores se encuentran por debajo de 1 MPa siendo su mayor área crítica la arista del contorno

Desplazamiento máx. 0,019
(mm)



El valor de desplazamiento máximo obtenido se dará por las sujeciones fijas del bastidor y el desplazamiento total del mismo, al ser un componente de seguridad la fuerza aplicada de 700 N se asume se generará solo en caso de vuelco.

Factor de seguridad 179,17
min.



La escala de colores indica que el mamparo no presenta errores de diseño y que su margen de seguridad es de hasta 179,17 garantizando que no fallará bajo las condiciones de análisis previstas.

Descirpción de los resultados obtenidos, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

5.1.4 Resultados del Peso del Bastidor

La tabla 5.4 muestra el peso de cada componente del bastidor siendo el peso real total de 11,10 kg mostrando un error de 6,49 % del valor teórico, esto nos quiere decir que su comportamiento es más ligero del esperado dando como resultado una correcta optimización en la etapa de fabricación.

Tabla 5.4: Peso real del bastidor

Peso del bastidor tipo prototipo desmontable		
Bastidor		
Elementos	Peso	
	kg	g
Mamparo	3	500
Apoya pies	1	250
2 apoya mamparo base rueda	1	600
2 ángulo apoya mamparo base rueda	-	300
2 L de mamparo y 1era parte de piso	-	500
1era Parte Piso	2	200
2da Parte piso con dirección	1	750
Total	8	3100
Peso total	11	100

Peso de cada componte que forma la estructira del bastidor , Fuente: C. Ojeda y C.

Quinche

En la tabla 5.5 se puede ver peso en kg de los elementos externos al bastidor en donde se puede observar que la implementación de estos sistemas aumenta el peso del prototipo eléctrico hasta los 23,650 kg, siendo una gran alternativa la optimización de estos componentes por materiales de menor peso.

Tabla 5.5: Peso de los elementos adicionales del bastidor

Peso de elementos adicionales al bastidor		
Piso		
Elementos	Peso	
	kg	g
Apoya pies	-	600
1era parte piso	-	800
2da parte piso	-	800
Apoya espaldar	-	600

Total	-	2800
Peso total	2	800

Sistema de Dirección

Elementos	Peso	
	kg	g
2 base rueda Posterior	-	950
Sist. Dirección y Manguetas	1	800
2 mandos de dirección izq. y der.	1	300
Rueda Posterior	2	250
2 Rueda Delantera	3	450
Total	7	2750
Peso total	9	750
Peso Total de elementos adicionales	12	550

Peso del sistema de direccion y piso del prototipo , Fuente: C. Ojeda y C. Quinche

5.1.5 *Análisis de resistencia y seguridad del bastidor*

Con el fin de determinar la resistencia del bastidor se ha optado por subir un piloto de aproximadamente 70 kg en posición recta en los dos principales travesaños simulando las condiciones de carga propuestas en el análisis CAE, con esto se pretende determinar si existe algún tipo de deformación permanente, producto de un incorrecto ensamblaje o ajuste de los pernos.

La figura 5.1 muestra que no existe una deformación alguna del bastidor en la zona de mayor de desplazamiento indicador de que los soportes medios que conectan los travesaños cumplen la función de distribuir la carga, además se debe tomar en cuenta que con la implementación del piso se supone una mejor distribución de la masa lo que aumenta su índice de seguridad.

Figura 5.1: Simulación de entrada del piloto.



Aplicación de una carga de 70 kg en los travesaños gemelos, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

Para determinar el comportamiento real del bastidor en posición de manejo será necesario recostar el piloto de tal forma que se distribuya la masa a lo largo de los travesaños y largueros, en la figura 5.2 se muestra que no existe rotura o deformación apreciable producto de una mala soldadura o incorrecta sujeción de los pernos de soporte.

Figura 5.2: Simulación de manejo del piloto.



Distribución de masas de un piloto de 70 kg, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

Por cuestiones de seguridad del piloto en el diseño del bastidor se tomaron cuenta factores como una distancia mínima de deformación entre el casco y el contorno de la plancha de aluminio. En la figura 5.3, se puede ver que la distancia superior y vertical no es inferior a los 5 cm indicador de que el dimensionamiento es adecuado y que puede ser recortado en la parte superior para reducir el peso y tener una mayor eficiencia energética.

Figura 5.3: Deformación del Mamparo.



Distancias de deformación del Mamparo, Fuente: C. Ojeda y C. Quinche.

Con la implementación de un piloto y la aplicación pesos reales en el bastidor se puede determinar que el diseño cumple con los estándares de seguridad y dimensionamiento planteados, esto nos quiere decir que cada uno de los materiales seleccionados en previas etapas es idóneo para bastidores de prototipos eléctricos de bajo consumo energético.

CONCLUSIONES

- La selección del material por medio de los criterios de ponderación permitió exaltar la importancia del aluminio con respecto a otros materiales que son usados para diseño, considerando peso, tipo de perfil y facilidad en procesos de unión en la que influyen factores propios del material y costos, así mismo se demostró que al seleccionar un material con una ponderación superior a 9 puntos reflejo que es idóneo para este proyecto.
- La utilización de aluminio debajo espesor para el diseño CAD de un bastidor ligero conlleva la implementación de un mayor número de componentes para brindar una mayor rigidez y que este no se deforme al aplicar una carga, el análisis CAE realizado demuestra que fue necesario la implementación de hasta cinco travesaños en las zonas de mayor esfuerzo para obtener un desplazamiento mínimo, así mismo la ubicación de estos juegan un papel importante para alcanzar un factor de seguridad aceptable.
- Al usar un aluminio con espesor mínimo de 1,10 mm y otros con espesor de 2 y 3 mm para formar la estructura comprendió de procesos que requieren mayor especialización como en el caso del corte por plasma para dar forma al mamparo y la soldadura TIG para unir permanentemente los perfiles que conformaron la estructura del bastidor ya que al poseer diferentes espesores la maquina se deberá regular adecuadamente para que el resultado final cumpla tanto con el diseño y los análisis correspondientes.
- Al momento de validar los resultados del análisis estructural, la creación de una malla de alta calidad en el diseño del bastidor es indispensable ya que esta define si los resultados alcanzados están dentro de lo esperado y por ende la aprobación del diseño para la fabricación, como se había mostrado en el análisis de convergencia de una malla estándar a una malla de alta calidad puede darse un error en los resultados de hasta de un 41% haciendo que las cargas que se espera soporte el bastidor difiera de los valores reales.
- Los resultados del análisis CAE demuestran que los bastidores tipo prototipo de aluminio de bajo espesor no están diseñados para soportar grandes masas externas cuando los requerimientos disminuyen su peso, por lo que conductores de un peso específico que para el estudio es de hasta 71,43 kg, incluyendo la indumentaria y equipamientos.

RECOMENDACIONES

- En la selección del material es un estudio que implica una amplia información de los materiales que ofrezcan un bajo peso por lo que se debe investigar otros perfiles y materiales que existen con mayor abundancia en el mercado y que permitan una fácil adquisición de manera que ofrezcan las mismas o mejoren las prestaciones con respecto al peso del bastidor.
- Se recomienda el estudio de otros tipos de aluminio que brinden un mayor límite elástico pero que mantengan espesores delgados para reducir los pesos, con esto se pretende que se pueda diseñar un bastidor más seguro, pero con una inversión menor en recursos.
- Dentro de los procesos de unión se recomienda que para obtener una mejor penetración entre los materiales unidos por soldadura regular el amperaje de acuerdo con el espesor que estos tengan para que garantice la solidez de la estructura.
- Se recomienda la realización de un análisis de fatiga para determinar el comportamiento de un bastidor a lo largo del tiempo con cargas repetidas y así determinar su vida útil si el componente es de uso diario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Águeda Casado, E., García Jiménez, J. L., Gómez Morales, T., & Navarro, J. M. (2023). *Mecanizado básico para electromecánica* (Segunda ed.). Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 6 de Mayo de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Mecanizado_b%C3%A1sico_para_electromec%C3%A1nica/5BHTEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Alonso Marcos, C. (2020). *Soldadura MIG de acero inoxidable y aluminio*. Santiago de Compostela: Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Soldadura_MIG_de_acero_inoxidable_y_alum/zG0DEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Álvarez Cabal, R., Benito Muñoz, J. J., Flores Estribano, J., Salete Casino, E., & Ureña Prieto, F. (2023). *Basis of the finite element method* (Primera ed.). Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 1 de Mayo de 2024, de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/240103?page=182>.
- Beer, F., Johnston, R., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2013). *Mecánica de Materiales* (Sexta ed.). (J. E. Murrieta Murrieta, Trad.) Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. Recuperado el 1 de Mayo de 2024
- Budynas, R., & Nisbeth, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://termoaplicadaunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf>
- Casado, E. Á., Gracia, J. G., Morales, T. G., García Jiménez, J. L., & Navarro, J. M. (2020). *Amoviles* (segunda ed.). Madrid: Paraninfo S,A. Recuperado el 5 de Mayo de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Amovibles_2%C2%AA_edicic%C3%B3n/zLfvDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Cook, N. (2001). *The World's Fastest Cars*. Minnesota: Capstone Books. Recuperado el 7 de Mayo de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/The_World_s_Fastest_Cars/bzekJ9uDr1YC?hl=es-419&gbpv=0

- Denton, T. (2020). *Sistemas eléctrico y electrónico del automóvil*. Mexico: Marcombo.
Recuperado el 07 de Mayo de 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/Sistemas_el%C3%A9ctrico_y_electr%C3%B3nico_del_a/kExOEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Domínguez, E., & Ferrer, J. (2021). *Elementos amovibles y fijos no estructurales*. Madrid: Editorial Editex. Recuperado el 9 de Mayo de 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/Elementos_amovibles_y_fijos_no_estructur/-g0tEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Estrada Cingualbres, R. (2013). *Análisis por elementos Finitos (FEA)*. La Habana: Universitaria 2014. Recuperado el 1 de mayo de 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/An%C3%A1lisis_por_elementos_finitos_FEA_Cosm/LVn4DwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=analisis+por+elementos+finitos&printsec=frontcover
- Froes, S., Qian, M., & Niinomi, M. (2019). An introduction to titanium in consumer applications. *Titanio para aplicaciones de consumo*, 1-12. Recuperado el 7 de Mayo de 2024, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815820-3.00001-0>
- Frömmig, L. (2023). *Introduction to the Interaction of Tires, Chassis, Aerodynamics, Differential Locks and Frame*. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg.
Recuperado el 28 de abril de 2024, de <https://doi.org/10.1007/978-3-658-38470-8>
- Guevara Hincapié, G. (2020). *Diseño de chasis para vehículos para competencias Shell Eco Marathon Américas*. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/146fd03d-92b3-4ab7-9087-53e50ab1e5e4/content>
- Guevara, G. (2020). *Diseño de chasis para vehículos para competencias Shell Eco Marathon Américas*. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira. Recuperado el 28 de Abril de 2024, de
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/146fd03d-92b3-4ab7-9087-53e50ab1e5e4/content>
- Gui, C., Bai, J., & Zuo, W. (17 de Julio de 2018). Simplified crashworthiness method of automotive frame for conceptual. *Estructuras de paredes delgadas*, 131, 324-335. Recuperado el 28 de Abril de 2024, de <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.07.005>.
- Hernández, L. T. (2020). Selección de materiales en el proceso de diseño. *A3manos*, 47-48. Recuperado el 13 de octubre de 2020, de
<https://a3manos.isdi.co.cu/index.php/a3manos/article/view/194/175>

- Ibañez Chaves , I. (2021). *Diseño de utillajes, matricería y prototipado con SolidWorks*. Marcombo, S.L. Recuperado el 9 de Mayo de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Dise%C3%B1o_de_utillajes_matricer%C3%ADa_y_proto/-kxOEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Imporpernos. (06 de Septiembre de 2019). *Importadora de pernos IMPORPERNOS*. Obtenido de Importadora de pernos IMPORPERNOS: <https://www.imporpernos.com/blog/norma-iso-1665-din-6921>
- Iskander. (2006). *Estudio de la aerodinámica en los vehículos*. Universidad Autónoma del Caribe . Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108011.pdf>
- Kumar Dwivedi, D. (2022). *Fundamentals of Metal Joining*. Roorkee: Springer Nature Singapore. Recuperado el 9 de Mayo de 2024, de <https://doi.org/10.1007/978-981-16-4819-9>
- Larróde Pellicer, E., & Miravete de Marco, A. (2020). *Elevadores: principios e innovaciones*. Barcelona: Editorial Reverte S.A. Recuperado el 9 de Mayo de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Elevadores_principios_e_innovaciones/AB8DEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- López, N. (1 de Mayo de 2020). *Movilidad Electrica*. Recuperado el 19 de Mayo de 2024, de <https://movilidadelectrica.com/la-verdadera-relacion-entre-el-peso-y-la-eficiencia-en-un-coche-electrico-menos-no-es-mas-sino-al-contrariocx/>
- Mato, Á. (2020). *Soldadura y carpintería metálica*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Soldadura_y_carpinter%C3%ADa_met%C3%A1lica/nt3sDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- MatWeb. (2024). *MatWeb Material Property Data*. Obtenido de MatWeb Material Property Data: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=79875d1b30c94af39029470988004fb6>
- Mencias, J. (2019). *Evolución de los materiales en la industria de la automoción*. Recuperado el 5 de Mayo de 2020, de https://www.google.com.ec/books/edition/Evoluci%C3%B3n_de_los_materiales_e_n_la_indus/tCiGDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Miralles, M. L., Perejo Prados, C., & Lillo , M. Á. (2020). *Acciones de innovación y coordinación docente en ingeniería*. Universidad Miguel Hernández. Recuperado

- el 19 de Mayo de 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/Acciones_de_innovaci%C3%B3n_y_coordinaci%C3%B3n/0m4PEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Moro, J. L. (2023). *El proyecto constructivo en arquitectura--del principio al detalle* (Primera ed., Vol. III). Berlin: Springer. Recuperado el 9 de Mayo de 2024, de
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-68411-5>
- Nandhakumar, S., Seenivasan, S., Mohammed Saalih, A., & Muhammed Saifudheen. (2021). Weight optimization and structural analysis of an electric bus chassis frame. *ScienceDirect*, 1824-1827.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.404>
- Pacheco, G. (2015). *Procesos en Soldadura* (Primera ed.). Mexico: Grupo Editorial Éxodo. Recuperado el 10 de Junio de 2024, de
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/128566>
- Pedrero, J. (2023). *Tecnología de máquinas. Tomo i. Fundamentos. Ejes, acoplamientos y apoyos*. Madrid: UNED. Recuperado el 4 de Mayo de 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/TECNOLOG%C3%8DA_DE_M%C3%81QUINAS_TOMO_I_FUNDAMEN/cr2nEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Pérez, B. R., & Valiente, J. (2021). *Elementos Fijos*. Madrid: Editex. Recuperado el 6 de Mayo de 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/Elementos_fijos/_A0tEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Ramos, X. (16 de Octubre de 2021). *El Universo*. Obtenido de El Universo:
<https://www.eluniverso.com/noticias/informes/ecuador-es-el-tercer-pais-del-continente-americano-con-mas-baja-estatura-enterese-de-las-causas-y-si-es-posible-revertirlo-nota/>
- RedBull. (22 de Octubre de 2023). Obtenido de RedBull: <https://www.redbull.com/es-es/la-posicion-de-los-asientos-de-los-pilotos-en-la-formula-1>
- Róldan, J. (2021). *Preparación de materiales y maquinaria según documentación técnica*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 7 de Mayo de 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/Preparaci%C3%B3n_de_materiales_y_maquinaria/MXhMEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Rosete Fonseca, J. C., Dias de Leon Santiago, V. M., & González Ajuech, V. L. (2028). *Mecánica de Materiales: teoria y aplicaciones*. Mexico: Grupo Editorial Patria.

- Recuperado el 2 de Mayo de 2024, de
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/40533?page=28>.
- Sánchez, M. (2013). *Métodos de unión y desunión de elementos fijos estructurales*. TMVL0309. Málaga: IC Editorial. Recuperado el 2024, de
https://www.google.com.ec/books/edition/M%C3%A9todos_de_uni%C3%B3n_y_desuni%C3%B3n_de_elemen/q00pEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Sastre, R., & Muñoz, F. (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción*. Barcelona: LIGHTNING SOURCE. Recuperado el 12 de Abril de 2024, de <http://hdl.handle.net/2099.3/36874>
- SMITHS. (2023). *Smithmetal.com*. Obtenido de Smithmetal.com:
<https://www.smithmetal.com/pdf/plastics/nylon-6-66.pdf>
- SOLIDWORKS. (2024). Obtenido de SOLIDWORKS:
https://help.solidworks.com/2020/spanish/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm
- Solidworks Simulation. (1 de Mayo de 2024). *Dassault Systèmes*. Obtenido de Dassault Systèmes:
https://help.solidworks.com/2024/spanish/SolidWorks/cworks/c_Basic_Concepts_of_Analysis.htm?format=P&value=1
- Solidworks Simulation. (2024). *Dassault Systèmes*. Recuperado el 4 de Mayo de 2024, de Dassault Systèmes.:
https://help.solidworks.com/2024/spanish/SolidWorks/cworks/r_Maximum_Normal_Stress_Criterion.htm#:~:text=El%20criterio%20de%20tensi%C3%B3n%20normal,material%20ante%20una%20tensi%C3%B3n%20simple.
- SolidWorks Simulation. (2 de mayo de 2024). *Dassault Systèmes*. Obtenido de Dassault Systèmes.:
https://help.solidworks.com/2024/spanish/SolidWorks/cworks/r_maximum_von_mises_stress_criterion.htm?verRedirect=1
- Springer. (15 de Diciembre de 2023). Automotor. (S. Wenzel, M. Rabe, S. Strassburger, & C. von Viebahn , Edits.) *Energy-Related Material Flow Simulation in Production and Logistics*, 55-83. Recuperado el 28 de Abril de 2024, de
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-34218-9>
- Steven Odi-Owei, E. O. (2022). The design process of the chassis of a prototype vehicle for Shell Eco-marathon. *Research Square*, 2-3. Recuperado el 13 de octubre de 2023, de <https://www.researchsquare.com/article/rs-1402102/v2>

- The Engineering ToolBox. (2010). Recuperado el 4 de Mayo de 2024, de https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html
- Viñas, G. V. (2014). *Estructuras del vehículo*. Editex. Recuperado el 28 de Abril de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Estructuras_del_veh%C3%ADculo/hTmRAwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Yuhao, M., Chunyu, L., Yeqi, F., & Zhuqiao, M. (2023). The Fuel-efficient Vehicle Frame for Energy Saving Competition Design and Analysis Based on ABAQUS. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-8. Recuperado el 19 de Mayo de 2024, de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2528/1/012036/pdf>

ANEXOS.

Anexo 1: Resultado de análisis de los pernos del bastidor

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante	Conector
Fuerza cortante (N)	-1,1976	-7,0647	0	7,1655	Refrentado con tuerca-1
Fuerza axial (N)	0	0	-175,99	175,99	Refrentado con tuerca-1
Momento flector (Nm)	0,10841	-0,019629	0	0,11017	Refrentado con tuerca-1
Fuerza cortante (N)	-1,3152	-27,47	0	27,501	Refrentado con tuerca-2
Fuerza axial (N)	0	0	-240,63	240,63	Refrentado con tuerca-2
Momento flector (Nm)	0,29532	-0,032144	0	0,29706	Refrentado con tuerca-2
Fuerza cortante (N)	-10,559	-33,055	0	34,701	Refrentado con tuerca-3
Fuerza axial (N)	0	0	-179,35	179,35	Refrentado con tuerca-3
Momento flector (Nm)	0,53689	-0,17503	0	0,5647	Refrentado con tuerca-3
Fuerza cortante (N)	2,6745	-45,223	0	45,302	Refrentado con tuerca-4
Fuerza axial (N)	0	0	-251,65	251,65	Refrentado con tuerca-4
Momento flector (Nm)	0,58715	0,051664	0	0,58942	Refrentado con tuerca-4
Fuerza cortante (N)	1,3148	-7,0054	0	7,1277	Refrentado con tuerca-5
Fuerza axial (N)	0	0	-174,81	174,81	Refrentado con tuerca-5
Momento flector (Nm)	0,10971	0,020955	0	0,1117	Refrentado con tuerca-5
Fuerza cortante (N)	1,5266	-28,331	0	28,372	Refrentado con tuerca-6
Fuerza axial (N)	0	0	-244,15	244,15	Refrentado con tuerca-6
Momento flector (Nm)	0,29875	0,029954	0	0,30025	Refrentado con tuerca-6
Fuerza cortante (N)	12,121	-34,747	0	36,8	Refrentado con tuerca-7
Fuerza axial (N)	0	0	-177,44	177,44	Refrentado con tuerca-7
Momento flector (Nm)	0,55593	0,19027	0	0,58759	Refrentado con tuerca-7
Fuerza cortante (N)	-3,3529	-47,177	0	47,296	Refrentado con tuerca-8
Fuerza axial (N)	0	0	-254,94	254,94	Refrentado con tuerca-8
Momento flector (Nm)	0,6025	-0,057737	0	0,60526	Refrentado con tuerca-8
Fuerza cortante (N)	-80,887	-6,932	0	81,183	Refrentado con tuerca-9
Fuerza axial (N)	0	0	-247,7	247,7	Refrentado con tuerca-9
Momento flector (Nm)	0,24684	-1,2442	0	1,2685	Refrentado con tuerca-9
Fuerza cortante (N)	-7,2768	-23,768	0	24,857	Refrentado con tuerca-10
Fuerza axial (N)	0	0	-181,08	181,08	Refrentado con tuerca-10
Momento flector (Nm)	0,35118	-0,087235	0	0,36185	Refrentado con tuerca-10
Fuerza cortante (N)	9,1288	-52,444	0	53,233	Refrentado con tuerca-11
Fuerza axial (N)	0	0	-227,49	227,49	Refrentado con tuerca-11
Momento flector (Nm)	1,3106	0,19613	0	1,3252	Refrentado con tuerca-11
Fuerza cortante (N)	84,066	-6,4155	-0,25899	84,311	Refrentado con tuerca-12
Fuerza axial (N)	-0,77152	0	-250,43	250,43	Refrentado con tuerca-12
Momento flector (Nm)	0,24059	1,2895	-0,00074122	1,3118	Refrentado con tuerca-12
Fuerza cortante (N)	4,6876	-22,113	-0,014441	22,604	Refrentado con tuerca-13
Fuerza axial (N)	-0,55268	0	-179,4	179,4	Refrentado con tuerca-13
Momento flector (Nm)	0,32859	0,038405	-0,0010123	0,33083	Refrentado con tuerca-13
Fuerza cortante (N)	-10,088	-50,84	0,032996	51,831	Refrentado con tuerca-14
Fuerza axial (N)	-0,73635	0	-225,12	225,12	Refrentado con tuerca-14
Momento flector (Nm)	1,305	-0,19085	-0,0042684	1,3189	Refrentado con tuerca-14
Fuerza cortante (N)	6,4894	-22,923	0	23,824	Refrentado con tuerca-16
Fuerza axial (N)	0	0	-195,16	195,16	Refrentado con tuerca-16
Momento flector (Nm)	0,60378	0,1044	0	0,61274	Refrentado con tuerca-16
Fuerza cortante (N)	1,1345	-16,26	0	16,299	Refrentado con tuerca-17
Fuerza axial (N)	0	0	-186,42	186,42	Refrentado con tuerca-17

Momento flector (Nm)	0,42525	0,047784	0	0,42793	Refrentado con tuerca-17
Fuerza cortante (N)	-0,8515	-16,661	0	16,683	Refrentado con tuerca-19
Fuerza axial (N)	0	0	-187,18	187,18	Refrentado con tuerca-19
Momento flector (Nm)	0,41814	-0,034898	0	0,41959	Refrentado con tuerca-19
Fuerza cortante (N)	-7,0487	-23,798	0	24,82	Refrentado con tuerca-20
Fuerza axial (N)	0	0	-199,71	199,71	Refrentado con tuerca-20
Momento flector (Nm)	0,62565	-0,11997	0	0,63705	Refrentado con tuerca-20
Fuerza cortante (N)	0	-28,83	118,55	122	Refrentado con tuerca-22
Fuerza axial (N)	-292,02	0	0	292,02	Refrentado con tuerca-22
Momento flector (Nm)	0	-1,988	-0,35793	2,0199	Refrentado con tuerca-22
Fuerza cortante (N)	0	0,30086	116,07	116,07	Refrentado con tuerca-23
Fuerza axial (N)	-211,47	0	0	211,47	Refrentado con tuerca-23
Momento flector (Nm)	0	-1,9917	-0,012843	1,9917	Refrentado con tuerca-23
Fuerza cortante (N)	0	6,7288	117,45	117,64	Refrentado con tuerca-24
Fuerza axial (N)	201,69	0	0	201,69	Refrentado con tuerca-24
Momento flector (Nm)	0	2,0299	-0,070202	2,0311	Refrentado con tuerca-24
Fuerza cortante (N)	0	-37,429	117,02	122,86	Refrentado con tuerca-25
Fuerza axial (N)	273,05	0	0	273,05	Refrentado con tuerca-25
Momento flector (Nm)	0	1,9231	0,46882	1,9794	Refrentado con tuerca-25
Fuerza cortante (N)	0	0,70367	1,0882	1,2959	Refrentado con tuerca-34
Fuerza axial (N)	-73,684	0	0	73,684	Refrentado con tuerca-34
Momento flector (Nm)	0	-0,0096154	0,0079507	0,012477	Refrentado con tuerca-34
Fuerza cortante (N)	0	-3,2459	0,083736	3,247	Refrentado con tuerca-35
Fuerza axial (N)	-73,402	0	0	73,402	Refrentado con tuerca-35
Momento flector (Nm)	0	0,0053961	-0,040311	0,04067	Refrentado con tuerca-35
Fuerza cortante (N)	-0,49515	0	0,57815	0,7612	Refrentado con tuerca-36
Fuerza axial (N)	0	188,21	0	188,21	Refrentado con tuerca-36
Momento flector (Nm)	-0,0093331	0	-0,022132	0,02402	Refrentado con tuerca-36
Fuerza cortante (N)	0	-11,363	0,775	11,39	Refrentado con tuerca-37
Fuerza axial (N)	-105,54	0	0	105,54	Refrentado con tuerca-37
Momento flector (Nm)	0	-0,018723	-0,046845	0,050448	Refrentado con tuerca-37
Fuerza cortante (N)	0	-7,761	-4,8716	9,1632	Refrentado con tuerca-38
Fuerza axial (N)	106,16	0	0	106,16	Refrentado con tuerca-38
Momento flector (Nm)	0	-0,062516	0,0091121	0,063177	Refrentado con tuerca-38
Fuerza cortante (N)	-0,17394	0	2,9397	2,9449	Refrentado con tuerca-39
Fuerza axial (N)	0	188,28	0	188,28	Refrentado con tuerca-39
Momento flector (Nm)	-0,046993	0	0,002903	0,047083	Refrentado con tuerca-39
Fuerza cortante (N)	0	0,71396	-0,23138	0,75051	Refrentado con tuerca-40
Fuerza axial (N)	188,3	0	0	188,3	Refrentado con tuerca-40
Momento flector (Nm)	0	-0,010012	-0,011458	0,015216	Refrentado con tuerca-40
Fuerza cortante (N)	0	0,8012	1,2441	1,4798	Refrentado con tuerca-41
Fuerza axial (N)	-72,522	0	0	72,522	Refrentado con tuerca-41
Momento flector (Nm)	0	-0,01595	0,022834	0,027853	Refrentado con tuerca-41
Fuerza cortante (N)	0	0,5581	0,14005	0,57541	Refrentado con tuerca-42
Fuerza axial (N)	188,27	0	0	188,27	Refrentado con tuerca-42
Momento flector (Nm)	0	-0,0092614	-0,0084954	0,012568	Refrentado con tuerca-42
Fuerza cortante (N)	0	0,28936	-0,368	0,46813	Refrentado con tuerca-43
Fuerza axial (N)	75,909	0	0	75,909	Refrentado con tuerca-43
Momento flector (Nm)	0	0,01026	-0,0040659	0,011037	Refrentado con tuerca-43
Fuerza cortante (N)	0	1,5981	-0,47284	1,6666	Refrentado con tuerca-31
Fuerza axial (N)	190,94	0	0	190,94	Refrentado con tuerca-31
Momento flector (Nm)	0	0,040672	-0,0013321	0,040694	Refrentado con tuerca-31
Fuerza cortante (N)	0	5,2136	-1,4218	5,404	Refrentado con tuerca-32

Fuerza axial (N)	-188,66	0	0	188,66	Refrentado con tuerca-32
Momento flector (Nm)	0	0,081007	0,12386	0,148	Refrentado con tuerca-32
Fuerza cortante (N)	0	8,9196	-0,82373	8,9576	Refrentado con tuerca-33
Fuerza axial (N)	69,679	0	0	69,679	Refrentado con tuerca-33
Momento flector (Nm)	0	-0,030806	-0,19295	0,1954	Refrentado con tuerca-33
Fuerza cortante (N)	0	-0,20253	1,6377	1,6502	Refrentado con tuerca-44
Fuerza axial (N)	-98,216	0	0	98,216	Refrentado con tuerca-44
Momento flector (Nm)	0	-0,081092	0,082986	0,11603	Refrentado con tuerca-44
Fuerza cortante (N)	0	-8,8628	1,9448	9,0736	Refrentado con tuerca-45
Fuerza axial (N)	68,096	0	0	68,096	Refrentado con tuerca-45
Momento flector (Nm)	0	-0,0021979	0,041571	0,041629	Refrentado con tuerca-45
Fuerza cortante (N)	0	-2,6033	1,7483	3,1359	Refrentado con tuerca-46
Fuerza axial (N)	-98,027	0	0	98,027	Refrentado con tuerca-46
Momento flector (Nm)	0	-0,073766	0,051694	0,090076	Refrentado con tuerca-46
Fuerza cortante (N)	0	6,4131	2,2483	6,7958	Refrentado con tuerca-47
Fuerza axial (N)	189,33	0	0	189,33	Refrentado con tuerca-47
Momento flector (Nm)	0	-0,031865	-0,14021	0,14379	Refrentado con tuerca-47
Fuerza cortante (N)	0	3,3349	1,2376	3,5571	Refrentado con tuerca-48
Fuerza axial (N)	-191,14	0	0	191,14	Refrentado con tuerca-48
Momento flector (Nm)	0	-0,064192	0,024218	0,068609	Refrentado con tuerca-48
Fuerza cortante (N)	-6,3029	9,1904	0	11,144	Refrentado con tuerca-58
Fuerza axial (N)	0	0	150,35	150,35	Refrentado con tuerca-58
Momento flector (Nm)	0,8038	0,071356	0	0,80697	Refrentado con tuerca-58
Fuerza cortante (N)	-6,4978	-10,035	0	11,955	Refrentado con tuerca-59
Fuerza axial (N)	0	0	-150,21	150,21	Refrentado con tuerca-59
Momento flector (Nm)	-0,25541	-0,29471	0	0,38999	Refrentado con tuerca-59

Anexo 2: Amperaje usada en estructuras.

Sección	Espesor del material		Intensidad de corriente	Tipo de corriente (con dispositivo de alta frecuencia)	Proceso
	mm	mm	amperes		
Apoya mano y base piso	1.1	1.1	40 – 50	Corriente alterna	Manual
Base espaldar y mamparo	1.1	3	102 – 110	Corriente alterna	Manual
Apoya pies	1.1	1.1	40 – 50	Corriente alterna	Manual
Base dirección	1.1	1,9	70 – 80	Corriente alterna	Manual
Posterior – base rueda	1.1	1.1	40 – 50	Corriente alterna	Manual