



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Autor: Bryan Isaac Cuenca Fuentes

Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MsC.

**Construcción de un Prototipo Monoplaza Sobre Base de Chasis Tubular
del Tipo Auto de Ruta**

Certificado de Autoría

Yo, Bryan Isaac Cuenca Fuentes, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mí autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Bryan Isaac Cuenca Fuentes

C.I: 0956838585

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Pueblo certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MsC.

Tutor del Proyecto

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis profesores y mentores, quienes han sido guías indispensables en mi formación académica. Vuestra sabiduría, experiencia y dedicación han sido fundamentales para mi crecimiento como estudiante y como persona. Agradezco especialmente a mi director de tesis, por su paciencia, sabios consejos y por ayudarme a dar forma a mis ideas. Finalmente, quiero dedicar esta tesis a aquellos docentes que han luchado y siguen luchando por la expansión del conocimiento y por el bienestar de la humanidad, dentro de la Universidad Internacional del Ecuador. Vuestra dedicación y pasión son una fuente constante de inspiración para mí.

Bryan Isaac Cuenca Fuentes

Agradecimientos

Con gran emoción y gratitud, me dirijo a quienes han sido una fuente constante de apoyo, inspiración y aliento a lo largo de esta ardua travesía académica. En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia. A mis padres, por su inquebrantable amor, paciencia y sacrificio. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para que yo pueda alcanzar este logro. A mis hermanos, por su compañía y ánimo en los momentos difíciles. Agradezco a mis abuelos, tíos, primos y demás familiares, por su constante aliento y por creer en mí.

Bryan Isaac Cuenca Fuentes

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas	xv
Resumen.....	xvi
Abstract.....	xvii
Capítulo I	1
Antecedentes.....	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2 Formulación del Problema	2
1.2.3 Sistematización del Problema.....	2
1.3 Objetivos de la Investigación.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación	3
1.4.1 Justificación Teórica.....	3

1.4.2	<i>Justificación Metodológica</i>	3
1.4.3	<i>Justificación Práctica</i>	3
1.5	Delimitación Temporal.....	3
1.6	Delimitación Geográfica.....	4
1.7	Delimitación del Contenido.....	4
1.8	Alcance.....	4
	Capítulo II.....	5
	Marco Referencial.....	5
2.1	Criterios de Diseño en Ingeniería Mecánica.....	5
2.2	Tipos de Estructuras Mecánicas.....	8
2.2.1	<i>Máquinas</i>	9
2.2.2	<i>Armaduras</i>	10
2.2.3	<i>Bastidores</i>	12
2.3	Materiales Usados en Bastidores.....	14
2.4	Conexiones de Unión y Soldadura.....	17
2.4.1	<i>Soldadura por Arco Eléctrico</i>	17
2.4.2	<i>Soldadura por Resistencia</i>	18
2.4.3	<i>Soldadura por Gas</i>	18
2.4.4	<i>Soldadura TIG (Tungsten Inert Gas)</i>	19
2.4.5	<i>Soldadura MIG (Metal Inert Gas)</i>	20
2.4.6	<i>Soldadura por Puntos</i>	20

2.5	Parámetros de Funcionalidad y Criterios de Construcción.....	21
2.5.1	<i>Dimensiones Máximas de los Vehículos</i>	22
2.5.2	<i>Rigidez</i>	22
2.5.3	<i>Ancho de Vía</i>	23
2.5.4	<i>Espacio</i>	24
2.5.5	<i>Peso y Distribución</i>	26
2.5.6	<i>Eje de Balanceo</i>	27
2.6	Proceso de Reingeniería Inversa.....	28
2.7	Diseño Asistido por Computadora.....	29
2.7.1	<i>Programas CAD (Diseño Asistido por Computadora)</i>	30
2.7.2	<i>Programas CAE (Ingeniería Asistida por Computadora)</i>	30
2.7.3	<i>Programas CAM (Fabricación Asistida por Computadora)</i>	30
2.8	Bastidores Tubulares.....	31
2.8.1	<i>Bastidor SAE Student</i>	33
2.8.2	<i>Bastidor Caterham 7</i>	34
2.8.3	<i>Bastidor Ariel Atom</i>	35
2.9	Propuesta de un Prototipo.....	36
	Capítulo III.....	38
	Construcción del Prototipo de Chasis Tubular	38
3.1	Proceso de Modelado.....	38
3.1.1	<i>Modelado Cad Mediante Autodesk Inventor</i>	41

3.1.2	<i>Ensayos de Esfuerzo y Deformación</i>	46
3.2	Maqueta Mediante Impresión 3D	48
3.2.1	<i>Preparación del Modelo</i>	48
3.2.2	<i>Impresión SLA (Estereolitografía)</i>	50
3.2.3	<i>Proceso de Curado</i>	51
3.2.4	<i>Etapas de Postprocesado</i>	51
3.3	Maqueta a Escala 1:1	52
3.4	Construcción del Chasis Tubular	58
3.4.1	<i>Selección de Materiales</i>	58
3.4.2	<i>Proceso de Corte y Doblado de Tubos</i>	59
3.4.3	<i>Proceso de Soldadura</i>	60
3.4.4	<i>Proceso de Ensamblaje y Alineación</i>	62
	Capítulo IV.....	64
	Resultados y Discusión	64
4.1	Interpretación de Resultados.....	64
4.1.1	<i>Descripción de Simulaciones</i>	64
4.1.2	<i>Resultados de Ensayos de Esfuerzo</i>	66
4.2	Observación de Datos Presentes en las Pruebas Realizadas.....	68
	Conclusiones	70
	Recomendaciones	71
	Bibliografía	72

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Etapas e Iteraciones de un Proceso de Diseño</i>	7
Figura 2 <i>Ejemplos de Máquinas Mecánicas</i>	9
Figura 3 <i>Ejemplo de Armadura</i>	10
Figura 4 <i>Unión de una Armadura por Nodos</i>	11
Figura 5 <i>Ejemplos de Bastidores</i>	12
Figura 6 <i>Análisis Estructural de un Bastidor Autoportante</i>	13
Figura 7 <i>Soldadura por Arco Eléctrico</i>	17
Figura 8 <i>Soldadura por Resistencia</i>	18
Figura 9 <i>Soldadura por Gas</i>	19
Figura 10 <i>Soldadura TIG</i>	19
Figura 11 <i>Soldadura MIG</i>	20
Figura 12 <i>Soldadura por Puntos</i>	20
Figura 13 <i>Formula CEAX de la Real Federación Española de Automovilismo</i>	21
Figura 14 <i>Vista Superior de un Chasis Tubular</i>	23
Figura 15 <i>Esquema del Percentil Masculino</i>	25
Figura 16 <i>Eje de Balanceo</i>	27
Figura 17 <i>Diagrama del Proceso de Ingeniería Inversa</i>	28
Figura 18 <i>Diseño Asistido por Computadora</i>	29
Figura 19 <i>Chasis Tubular del Tipo Biplaza</i>	31
Figura 20 <i>Componentes de un Bastidor Monoplaza</i>	32
Figura 21 <i>Vehículo Formula SAE Student</i>	33

Figura 22 <i>Bastidor Caterham 7</i>	34
Figura 23 <i>Ariel Atom 4</i>	35
Figura 24 <i>Boceto de Chasis</i>	36
Figura 25 <i>Chasis Tubular del Ariel Atom 3s</i>	37
Figura 26 <i>Dimensiones del Modelo Ariel Atom</i>	38
Figura 27 <i>Dimensiones y Factor de Escala</i>	39
Figura 28 <i>Boceto del Chasis</i>	40
Figura 29 <i>Malla del Chasis en Autodesk Inventor</i>	41
Figura 30 <i>Sección Trasera del Vehículo</i>	42
Figura 31 <i>Sección del Piloto</i>	42
figura 32 <i>Sección Frontal del Chasis</i>	43
Figura 33 <i>Unión de las Partes del Chasis</i>	43
Figura 34 <i>Boceto Final del Chasis</i>	44
Figura 35 <i>Herramienta de Insertar Estructura</i>	44
Figura 36 <i>Acabado Final de la Estructura Tubular</i>	45
Figura 37 <i>Simulación de Cargas Muertas y Vivas</i>	46
Figura 38 <i>Cargas de Impacto Frontal</i>	47
Figura 39 <i>Cargas Laterales</i>	47
Figura 40 <i>Cinta de Entornos de Autodesk Inventor</i>	48
Figura 41 <i>Servicio de Impresión 3D</i>	49
Figura 42 <i>Slicer Ultimaker Cura</i>	49

Figura 43 <i>Impresión SLA</i>	50
Figura 44 <i>Proceso de Curado</i>	51
Figura 45 <i>Acabado Final del Modelo a Escala 1:10</i>	51
Figura 46 <i>Designación de Área de Trabajo</i>	52
Figura 47 <i>Construcción Sección del Motor</i>	53
Figura 48 <i>Construcción Sección del Piloto</i>	53
Figura 49 <i>Construcción Sección Frontal</i>	54
Figura 50 <i>Colocación y Alineación de Elementos</i>	54
Figura 51 <i>Alineación de Elementos</i>	55
Figura 52 <i>Fijación de Soportes para la Estructura</i>	55
Figura 53 <i>Perforación de los Puntos de Unión</i>	56
Figura 54 <i>Fijación de Elementos de Unión</i>	56
Figura 55 <i>Triangulación de Nodos</i>	57
Figura 56 <i>Revisión Final de Anclajes y Uniones</i>	57
Figura 57 <i>Corte de Tubos</i>	59
Figura 58 <i>Doblado de Tubos</i>	59
Figura 59 <i>Proceso de Soldadura Ensamble</i>	60
Figura 60 <i>Proceso de Soldadura en Estructura</i>	60
Figura 61 <i>Proceso de Soldadura Integral</i>	61
Figura 62 <i>Proceso de Inspección Visual</i>	61
Figura 63 <i>Unión de Elementos Finales</i>	62

Figura 64 <i>Acabados Finales</i>	62
Figura 65 <i>Acabado de la Estructura Tubular</i>	63
Figura 66 <i>Comparación entre la Maqueta Escala 1:1 y la Estructura Tubular</i>	63
Figura 67 <i>Simulación de Cargas Estáticas</i>	65
Figura 68 <i>Simulación de Impacto Frontal</i>	65
Figura 69 <i>Simulación de Impacto Lateral</i>	66
Figura 70 <i>Mapa de Colores de Tensiones</i>	66
Figura 71 <i>Resultados Simulación de Cargas Estáticas</i>	67
Figura 72 <i>Resultados Simulación de Impacto Frontal</i>	67
Figura 73 <i>Resultados Simulación de Impacto Lateral</i>	68
Figura 74 <i>Desplazamientos en Caso de Impacto Lateral</i>	69

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Fases del Diseño Mecánico</i>	6
Tabla 2 <i>Propiedades Mecánicas de los Materiales</i>	14
Tabla 3 <i>Normas ASTM para el Acero y Aleaciones</i>	16
Tabla 4 <i>Percentil 95” Masculino</i>	24
Tabla 5 <i>Características del Generador de Estructuras</i>	45
Tabla 6 <i>Tubos Estructurales ASTM A36</i>	58
Tabla 7 <i>Resultados de Simulación de Esfuerzos</i>	69

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad la construcción de un bastidor tubular monoplaça en el que puedan ser adaptables todos los sistemas que constituyen un automóvil, mediante el análisis de los parámetros de diseño establecidos por entes reguladores encargados de la estandarización de vehículos de tipo auto de ruta. Este trabajo busca llevar a cabo la selección adecuada de la estructura correspondiente a un vehículo monoplaça del tipo auto de ruta a través de un proceso de reingeniería inversa, con la finalidad de ayudar a identificar, priorizar y solucionar problemas de diseño que afecten directamente en la fabricación del prototipo y que permitan ahorrar tiempo y dinero durante las etapas de construcción. Como primer punto se usará la aplicación de Autodesk Inventor para obtener un boceto 3D del diseño del chasis tubular con el cual se pueda realizar una simulación considerando las cargas que se presenten en el vehículo. De la misma forma, se considera la selección de la materia prima, debiendo escoger un material que pueda soportar las cargas que generará este prototipo, aparte de los requisitos de calidad que el mismo debe tener. El siguiente paso consiste en elaborar una representación visual de lo que se espera conseguir, tomando en cuenta tanto las cargas estáticas ejercidas, así como las dinámicas a las cuales estará sometido en caso de colisiones. Por último, se justifica el proceso de construcción del prototipo evaluando los datos obtenidos en las simulaciones y pruebas de esfuerzo.

Palabras clave: Ingeniería automotriz, bastidor, prototipo, monoplaça, diseño

Abstract

The purpose of this project is the construction of a single-seater tubular frame in which all the systems that make up an automobile can be adapted through the analysis of the design parameters established by regulatory entities in charge of the standardization of Carcross-type vehicles. This work seeks to carry out the appropriate selection of the structure for a single-seater road car type vehicle using a reverse engineering process, with the purpose of helping to identify, prioritize and solve design problems that directly affect the manufacturing of the prototype while aiming to save time and money during the construction stages. As a first point, the Autodesk Inventor application will be used to obtain a 3D sketch of the design of the tubular chassis to simulate the loads that occur on the vehicle. Similarly, the selection of the raw material is considered as it is necessary to choose a material that can withstand the loads that this prototype will generate, aside from the quality requirements it must have. The next step consists of developing a visual representation of what is expected to be achieved, considering both the static loads exerted and the dynamics to which it will be subjected in the event of collisions. Finally, the prototype construction process is justified considering the data obtained in the simulations and stress tests.

Keywords: Automotive engineering, chassis, prototype, single-seater, design

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Construcción de un prototipo monoplaça sobre base de chasis tubular del tipo auto de ruta.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

Los vehículos monoplaças están diseñados con un enfoque en la ligereza y la rigidez estructural. Su diseño tiene como finalidad disminuir el peso y aumentar la resistencia se utilizan materiales como fibra de carbono y aluminio, normalmente son empleados dentro de competiciones o eventos deportivos, pero al no contar con una fórmula de competición de auto de ruta dentro del país no existe una entidad gubernamental que regule la construcción de estos modelos los cuales en su mayoría son de construcciones hechos a manos o improvisadas lo que los vuelve poco fiable. Se busca aplicar las normas establecidas dentro de reglamentos oficiales tales como la formula SAE (Society of Automotive Engineers) y el Campeonato de España de Autocross (CEAX), para ello se aplica un proceso de diseño automotriz.

1.2.1 Planteamiento del Problema

Un vehículo de tipo auto de ruta es un monoplaça de tamaño reducido empleado para recorrer terrenos mixtos es decir que son aptos para manejarse tanto en tierra como pavimento, con el objetivo de asegurar la integridad del piloto “el chasis debe cumplir ciertos criterios constructivos como la rigidez, resistencia mecánica, ergonomía, el confort, la durabilidad y el comportamiento en caso de choque” (CEAX, 2023). En la actualidad en el Ecuador, no hay una empresa adecuada que se encargue de la creación de estos tipos de chasis tubulares ya que no son de uso común o no hay competencias que tengan las mismas características que estos tipos de chasis por lo que las pocas creaciones que hay de estos son de una forma empírica o personas que lo hacen por hobby.

1.2.2 Formulación del Problema

Al desconocer tanto las especificaciones técnicas de este tipo de chasis de base tubular el tipo de cargas que debe soportar es incierto. Basándose en diseños como el Ariel Atom, además del Caterham, el SAE Formula Student, FSAE Michigan, los cuales ha ganado reconocimiento mundial por su rendimiento excepcional, se formula la propuesta de fabricar un prototipo capaz de cumplir las condiciones de seguridad, estabilidad, ergonomía, dimensiones, entre otros, establecido por la norma CEAX para vehículos de tipo auto de ruta.

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son las consecuencias de no estandarizar la construcción de un chasis tubular?
- ¿Por qué es importante cumplir con los parámetros de seguridad en vehículos, específicamente en lo referente a estructura tubular?
- ¿Cuál es el beneficio de la implementación de normas de diseño sobre el chasis de un vehículo tipo Car Cross bajo el reglamento internacional?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Construir un prototipo de vehículo monoplaza del tipo tubular aplicando los procesos de diseño automotriz.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar las normas que permiten obtener los parámetros de dimensiones, ergonomía, fabricación y seguridad para un chasis tubular monoplaza de tipo auto de ruta, dictados por la Real Federación Española De Automovilismo (RFEDA).
- Determinar la metodología adecuada para el diseño y la construcción del prototipo de vehículo monoplaza sobre base de chasis tubular del tipo auto de ruta.
- Verificar cuales son las condiciones de funcionamiento del prototipo de chasis de base tubular mediante pruebas de simulación CAD y comparando con el resultado final.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

Tomando como punto de partida para el tema de estudio se pondera la presente investigación desde una perspectiva teórica, práctica y metodológica.

1.4.1 Justificación Teórica

Se basa en la selección del proceso de manufactura y materiales adecuados para la construcción del chasis tubular de tipo monoplaza teniendo en cuenta las normas existentes en el campo automotriz.

1.4.2 Justificación Metodológica

Se hará uso de recursos tales como: libros, manuales, artículos científicos cuyo contenido aporten información del chasis monoplaza teniendo en cuenta procesos de manufactura, normas de diseño, propiedades y composición de materiales como el acero.

1.4.3 Justificación Práctica

Los resultados obtenidos sirven para futuros procesos de construcción de vehículos tipo Auto de ruta. Se lleva a cabo el respectivo proceso para la construcción de este prototipo de vehículo monoplaza se lo realiza mediante algunos procesos del cual se requiere como primer punto tener en un boceto 3D el diseño del chasis tubular y una simulación de este mismo con las cargas que se presenten en el vehículo, en este caso se usará la aplicación de Autodesk Inventor o la de Autodesk Fusion 360. Luego se tiene en cuenta la selección de la materia prima ya que hay que escoger un material que pueda soportar las cargas que generará este prototipo, aparte de la calidad que tendrá este mismo. Se aplicarán procesos de soldadura para la unión de las estructuras, además de usar procesos de acabados como punto final.

1.5 Delimitación Temporal

El trabajo comenzará en el mes de mayo de 2023, hasta agosto de 2023, lapso que permitirá diseñar, ensamblar y construir el equipo, así como evidenciar los resultados de las pruebas.

1.6 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrollará dentro de la ciudad de Guayaquil y su implementación se llevará dentro de las instalaciones de la UIDE ubicado en el Campus Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.7 Delimitación del Contenido

En la primera fase se encuentra información acerca del chasis monoplaza de tipo de autos de ruta, tipos de estructuras, materiales de construcción, parámetros de funcionalidad y diseño, así como la propuesta del prototipo. En la segunda fase se plantea el boceto de la estructura, los procesos de diseño, las fases de construcción y se detalla la construcción del chasis de tipo tubular. En la tercera fase se discute el proceso de construcción adecuándolas condiciones de funcionamiento de monoplaza para autos de ruta así mismo como las simulaciones y pruebas de esfuerzos que se le realizan al prototipo.

1.8 Alcance

La finalidad de este proyecto es la construcción de un bastidor del tipo tubular en el cual pueda ser compatible con todos los sistemas que comprenden un vehículo del tipo carcros, esto mediante la comprensión de los distintos parámetros de diseño que comprenden a la estructura de un vehículo monoplaza del tipo auto de ruta.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Criterios de Diseño en Ingeniería Mecánica

La ingeniería mecánica es una disciplina que se encarga de concebir, analizar, desarrollar y fabricar componentes mecánicos destinados a ser usados en diversos campos de aplicación. Por ende, el trabajo de un ingeniero mecánico implica diversas actividades, como el diseño de sistemas, la selección de materiales adecuados, la creación de modelos y prototipos, la supervisión de procesos de fabricación, el control de calidad, la gestión de proyectos y el mantenimiento de equipos. Todo esto mediante la realización de cálculos que corroboren el análisis de sus resultados.

El diseño en ingeniería mecánica juega un papel fundamental, ya que es el proceso mediante el cual se solucionan las necesidades técnicas de un producto o maquinaria. Por ende, el ingeniero mecánico debe aplicar sus conocimientos técnicos para convertir los requisitos y objetivos del proyecto en soluciones tangibles. El principal objetivo del diseño es crear una estructura o sistema funcional, confiable, seguro, económico y de calidad en varias fases sucesivas, teniendo en cuenta diversos criterios mecánicos que sirvan de guía para el producto final. Esto implica que “La creatividad personal, la comunicación y las habilidades de resolución de problemas de un diseñador están vinculadas al conocimiento técnico y sus fundamentos” (Budynas Gordon & Shigley , 2020), de manera que permita seleccionar los procesos de fabricación adecuados para cumplir las especificaciones del diseño.

En general, el diseño mecánico busca encontrar un equilibrio entre todas estas consideraciones técnicas que se presentan dentro de un proyecto para lograr desarrollar soluciones efectivas y satisfactorias, siguiendo una serie de lineamientos iterativos desde el punto de vista técnico, económico y humano. Debido a esto la labor de un ingeniero es esencial para el progreso de tecnologías innovadoras y guiar el adelanto integral de la sociedad.

Se puede enfatizar que el diseño es un proceso lleno innovaciones y altamente iterativo. El proceso de toma de decisiones a veces requiere poca información, a veces la cantidad justa de información y a veces demasiada información, lo que puede resultar contradictorio en algunos casos. Algunas veces las decisiones son provisionales, por lo que es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtenga más información. La iteración en el diseño de máquinas es un enfoque metódico que fomenta la mejora y la adaptación continuas; este proceso iterativo debe repetirse muchas veces para perfeccionar el diseño con el tiempo. Es común que dentro de las primeras iteraciones se generen los cambios más significativos, mientras que las iteraciones posteriores se centran en aspectos más detallados y minuciosos. Como muestra la tabla 1 este enfoque se basa en la idea de que el diseño es un proceso evolutivo y que se pueden obtener mejores resultados mediante la retroalimentación.

Tabla 1

Fases del Diseño Mecánico

Nombre	Descripción	Iteración
Reconocimiento de la necesidad	identifica y comprende la problemática	1
Definición del Problema	Reconocer deficiencias, puntualizar requisitos.	2, 5
Síntesis	Recopilar información relevante.	3, 4, 5
Análisis y optimización	Desarrollar soluciones eficientes.	4, 3, 4, 5
Evaluación	Identificar posibles mejoras, realizar ajustes.	5, 3, 4, 5
Presentación	Compartir información y resultados del diseño.	6

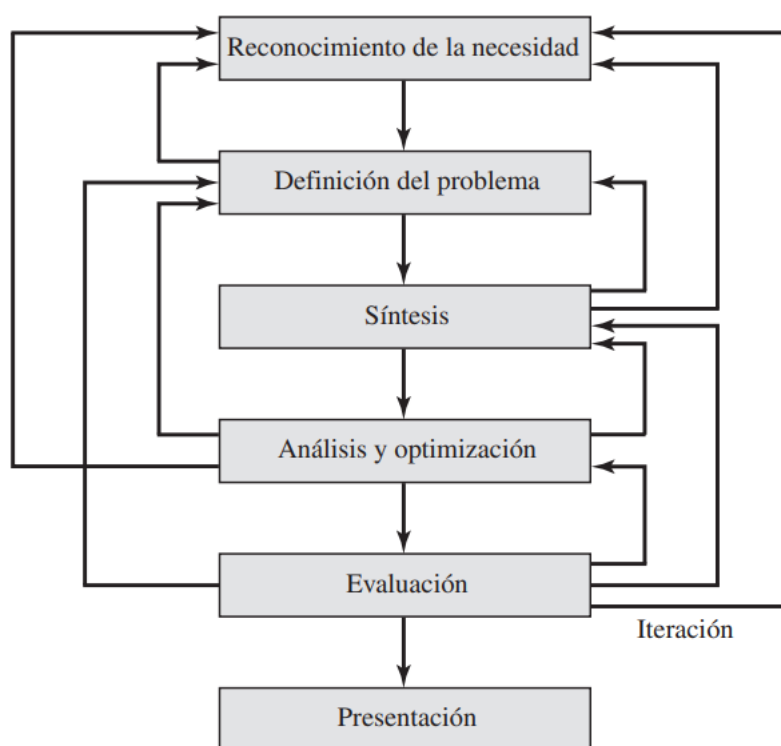
Tomado de: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 2020

El objetivo de aplicar estas fases de retroalimentación continua es en palabras de Groover, (2008) “lograr que el diseñador en ingeniería pueda sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas, debido a que el diseño es una actividad que requiere una intensa comunicación” (pág. 32), normalmente se emplea representaciones como esquemas, figuras o formas escritas y orales de comunicación.

La ventaja de un proceso de diseño iterativo es que se puede ajustar y mejorar continuamente a medida que se obtiene más información y se comprenden mejor las necesidades y desafíos del proyecto. También facilita la detección temprana de posibles problemas y reduce los riesgos asociados con un diseño final poco adecuado. En la figura 1 se muestra las iteraciones presentes en un proceso de diseño.

Figura 1

Etapas e Interacciones de un Proceso de Diseño



Tomado de: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 2020

Después de la implementación, se evalúa el diseño en función de su desempeño y se recopila información sobre su uso y experiencia de los usuarios. Esta información se utiliza para aprender y mejorar futuros diseños. El proceso iterativo de diseño implica repetir estos pasos varias veces, con ciclos de retroalimentación y mejora continua, hasta lograr un resultado final que satisfaga las necesidades y expectativas establecidas. A medida que se avanza en el proceso, las iteraciones tienden a ser más refinadas y focalizadas en aspectos específicos del diseño. Esto permite evolucionar el diseño, maximizando sus posibilidades de éxito.

2.2 Tipos de Estructuras Mecánicas

Dentro de la ingeniería existen elementos o componentes fundamentales que se utilizan en la elaboración de diferentes tipos de estructuras, al ensamblarse estos, conforman un sistema estructural. Estas estructuras básicas proporcionan soporte, resistencia y estabilidad a diversos tipos de construcciones, cada una de ellas se adapta a diferentes necesidades de diseño enfocadas en aplicaciones específicas considerando aspectos como la resistencia y rigidez de los materiales utilizados, la distribución de cargas, las condiciones de carga estática y dinámica, los factores ambientales, la estabilidad, la vibración, la fatiga y otros aspectos relevantes para el rendimiento y la seguridad de la misma, su versatilidad les permite combinarse o modificarse en función de los factores de carga, seguridad, estética y sostenibilidad necesarios para cumplir con los requisitos del proyecto.

Las estructuras de ingeniería se conciben teniendo en cuenta los principios de la mecánica estructural, la resistencia de materiales y estática; conocimientos técnicos que en palabras del autor McCormac Jack (2011) “permiten que la unión ya sea de tirantes, puntales, columnas, diafragmas, vigas o trabes integren un conjunto el cual pueda ser catalogado como un sistema estructural” (p. 8). Las mismas pueden estar compuestas por diversos materiales, como acero, hormigón, madera, aluminio o materiales compuestos. Además, pueden adoptar diferentes formas y configuraciones, desde estructuras simples hasta sistemas complejos y se busca asegurar que la estructura pueda ser capaz de soportar las cargas a las que estará expuesta durante su vida útil, sin comprometer los requisitos de seguridad, funcionalidad, durabilidad y estética.

Existen diversos tipos de estructuras que se utilizan en diferentes industrias y con múltiples aplicaciones. Estas estructuras se pueden clasificar en diferentes categorías, para simplificar su estudio se consideran tres grupos estructurales: Armaduras, bastidores y máquinas.

2.2.1 Máquinas

Las máquinas mecánicas son dispositivos que utilizan principios físicos y mecánicos para realizar tareas o realizar trabajo. Estas máquinas están compuestas por componentes mecánicos, como engranajes, palancas, poleas, ejes, levas, correas y rodamientos, que interactúan entre sí para transformar la energía y realizar un trabajo útil. Algunos ejemplos comunes de máquinas mecánicas incluyen:

Motores de combustión interna: Estos motores convierten la energía química del combustible en energía mecánica. Se utilizan en muchos campos industriales.

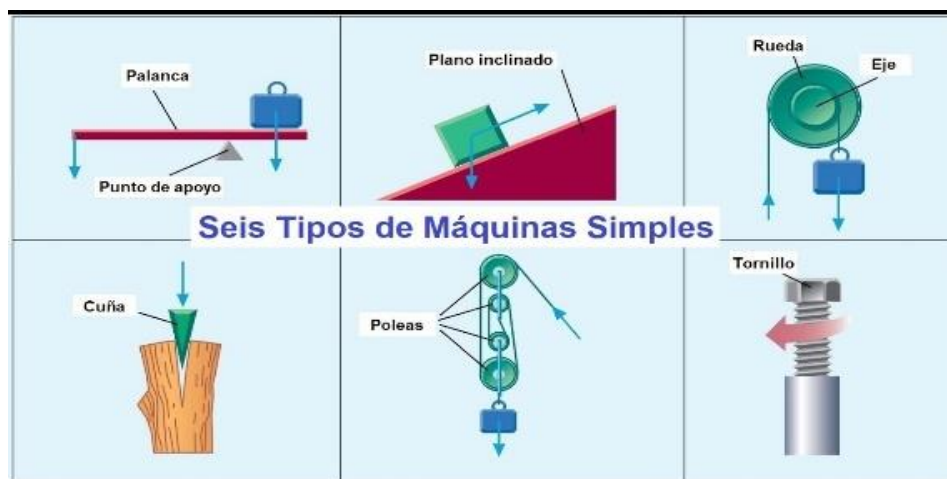
Máquinas herramienta: Estas máquinas, como tornos, fresadoras y taladros, se utilizan para dar forma, cortar y mecanizar materiales.

Transmisiones: Los sistemas de transmisión, se utilizan para transmitir y controlar la potencia generada por un motor a otras partes móviles.

En la figura 2 se muestran algunos ejemplos de máquinas mecánicas, pero existen muchas otras, las máquinas mecánicas han sido fundamentales para el desarrollo de la tecnología y la mejora de la eficiencia y productividad en diversas industrias y campos de aplicación.

Figura 2

Ejemplos de Máquinas Mecánicas



Tomado de: Portal Electromecánico/máquinas mecánicas

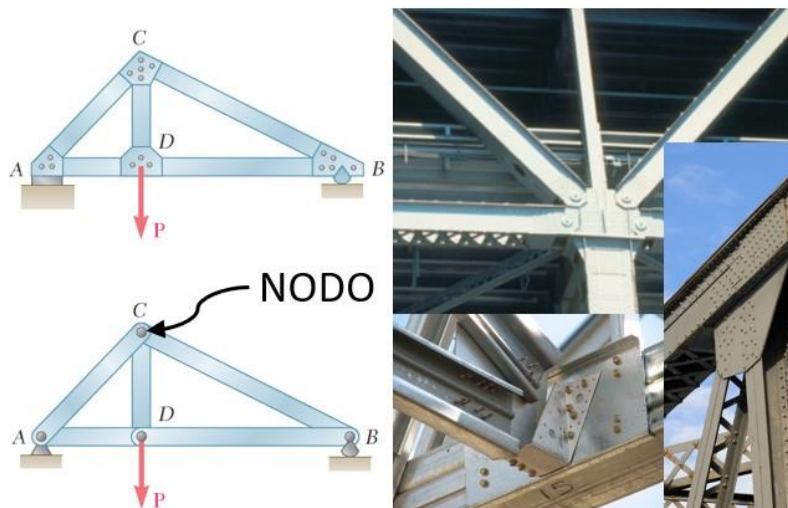
2.2.2 Armaduras

La armadura de ingeniería es un término utilizado en el área de la ingeniería estructural para referirse a los sistemas de refuerzo utilizados en estructuras de hormigón armado. Consiste en barras de acero estratégicamente colocadas y ancladas dentro del concreto para proporcionar resistencia adicional y mejorar la capacidad de carga de la estructura. Dentro de la ingeniería este tipo de elementos están diseñados para resistir las tensiones de tracción generadas en la estructura.

La adición de armadura de ingeniería ayuda a evitar la falla por tracción y mejorar la capacidad de carga y la ductilidad de una estructura, en la figura 3 se muestra un ejemplo de una armadura estructural.

Figura 3

Ejemplo de Armadura



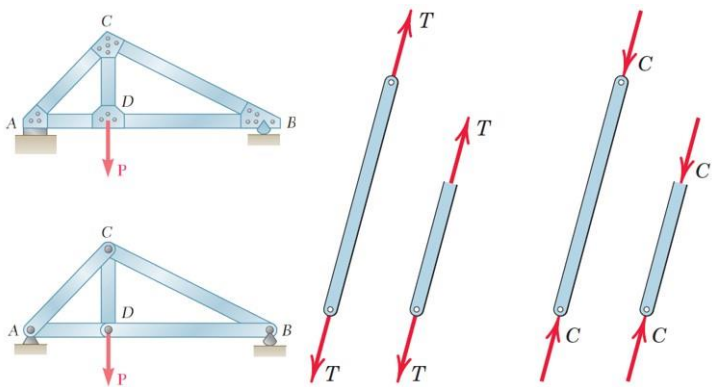
Tomado de: Clases de mecánica / análisis de estructura

El diseño de armaduras de ingeniería depende de factores como las cargas esperadas, las propiedades del suelo, las condiciones ambientales y las especificaciones del proyecto. Para ello los ingenieros utilizan software de análisis y diseño especializados para determinar la cantidad, el diámetro y la distribución de las barras de refuerzo necesarias para garantizar la seguridad y el rendimiento de la estructura.

Para el análisis de este tipo de estructura se utiliza el método conocido como “análisis por nodos donde se identifican los nodos, que son los puntos de intersección de los elementos en la armadura” (Mc. Cormac, 2011). Además, se determinan los elementos de la armadura, como las vigas y barras, y se numeran para facilitar el análisis. El cual supone que sus elementos están conectados mediante una red nodal, esto permite determinar las fuerzas internas en los elementos de la armadura, lo que es fundamental para el diseño estructural y la verificación de la resistencia y estabilidad de la estructura. tal como se muestra en la figura 4 donde se observa la unión de 4 elementos por medio de 4 nodos.

Figura 4

Unión de una Armadura por Nodos



Tomado de: Clases de mecánica / análisis de estructura

Dentro de la imagen se puede apreciar como la armadura estructural distribuye las cargas a lo largo de la estructura, evitando que se concentren en puntos débiles y minimizando los esfuerzos y las deformaciones excesivas. Es importante tener en cuenta que el análisis de armaduras por nodos es un enfoque simplificado y asume ciertas suposiciones, como elementos estructurales ideales y comportamiento lineal elástico de los materiales.

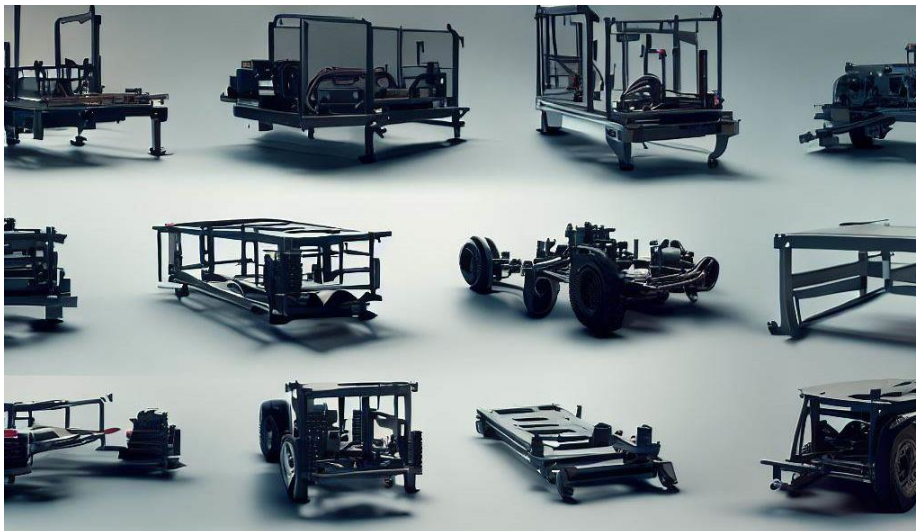
De manera simplificada, el acero se considera un sistema estructural ensamblado, cuya finalidad es aumentar su resistencia y capacidad portante y permitir la transferencia de carga a los elementos que lo componen, asegurando la estabilidad global de la estructura.

2.2.3 Bastidores

Los marcos o bastidores son estructuras que consisten en elementos rígidos interconectados para proporcionar soporte y estabilidad a diferentes tipos de construcciones. Estos elementos generalmente están hechos de materiales como madera, metal o plástico, y se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde construcciones industriales hasta muebles. Mientras que una armadura se enfoca en la resistencia estructural y distribución de cargas dentro de una estructura, “los bastidores son estructuras estacionarias diseñadas para soportar cargas, sujetas a la acción de múltiples fuerzas” (Beer & Johnston, 2017). En general como se muestra en la figura 5 su diseño y aplicación difieren en función de su propósito y contexto de uso.

Figura 5

Ejemplos de Bastidores



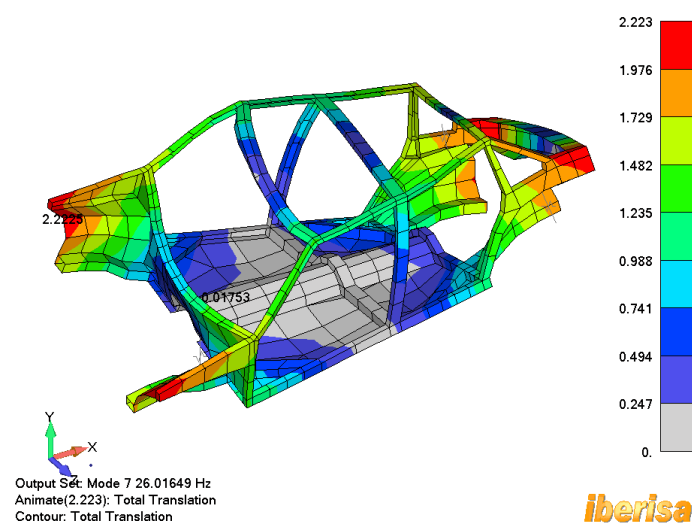
Tomado de: Generador de imágenes con tecnología de DALL·E

Las características y aplicaciones de un armazón o bastidor mecánico tienen como finalidad proporcionar soporte y mantener en su lugar componentes mecánicos específicos. Dentro de la industria automotriz se utilizan para dar soporte y estructura a carrocerías y chasis de vehículos. Estos marcos pueden ser de acero, aluminio u otros materiales resistentes y se diseñan para resistir cargas y proteger a los ocupantes en caso de colisión.

El análisis de un bastidor implica la modelación, la aplicación de las condiciones de equilibrio y la resolución del sistema de ecuaciones para determinar las fuerzas internas y las deformaciones. Normalmente se sugieren diversos métodos tales como el: análisis global, análisis por elementos, equilibrio de elementos y graficas de resultados. Esto permite verificar la seguridad y el rendimiento estructural del bastidor, “para ello es necesario suponer que sus elementos son fijos y tengan un comportamiento ideal carente desplazamientos o deformaciones de cualquier tipo” (Resendiz Cortez, 2020), la complejidad del análisis varía en función de su geometría, condiciones de cargas y materiales empleados. En algunos casos, se pueden requerir métodos numéricos más avanzados, como el método de elementos finitos que se muestra en la figura 6, estas herramientas son usadas para un análisis más preciso.

Figura 6

Análisis Estructural de un Bastidor Autoportante



Tomado de: Ingeniería y mecánica automotriz / análisis de elementos finitos fea

En resumen, una estructura bastidor se refiere a un marco o armazón que proporciona soporte, estabilidad y resistencia en diferentes campos, como la construcción, la fabricación de vehículos, donde se requiere de estructuras con un espacio interior libre su diseño y composición puede variar en función de la aplicación específica para la cual está siendo concebido.

2.3 Materiales Usados en Bastidores

Entre los materiales más comunes utilizados para este propósito se encuentra el acero al carbono, que proporciona una combinación óptima de resistencia, durabilidad y costo accesible. Por ejemplo, el acero al carbono, que es el más común y está compuesto principalmente de hierro y carbono. El acero inoxidable, por su parte, contiene cromo como elemento principal de aleación, otorgándole resistencia a la corrosión y al desgaste, y se utiliza ampliamente en aplicaciones donde se requiere esta propiedad. Como se muestra en la tabla 2 cada tipo de material presenta sus propias características y aplicaciones específicas, de igual forma las propiedades mecánicas de los metales pueden variar dependiendo de su composición química, procesamiento y tratamiento térmico.

Tabla 2

Propiedades Mecánicas de los Materiales

Material	Resistencia de deformación		Resistencia a la tensión	
	MPa	lb/in ²	MPa	lb/in ²
Aluminio, CW	105	15000	125	18000
Aleaciones de aluminios	175	25000	350	50000
Hierro colado	275	40000	275	40000
Aleaciones de magnesio	175	25000	275	40000
Níquel, templado	150	22000	450	65000
Acero, bajo C	175	25000	300	45000
Acero, alto C	400	60000	600	90000
Acero, aleaciones	500	75000	700	100000
Acero, inoxidable	275	40000	65011	95000
Hierro dúctil ASTM A536	552	80	379	55
Titanio, puro	350	50000	515	75000
Aleaciones de titanio	800	120000	900	130000

Tomado de: Fundamentos de manufactura moderna, 2008

Estas propiedades mecánicas en los metales se utilizan para evaluar su comportamiento bajo cargas y fuerzas externas, debido a que es común encontrar una relación inversa entre la resistencia a la deformación y la resistencia a la tensión, donde un material con alta resistencia a la tensión puede tener una menor resistencia a la deformación y viceversa.

Dentro de su clasificación, existen normas establecidas por organismos internacionales y nacionales que guían la identificación y caracterización de estos materiales. Estas normas se han desarrollado para garantizar la consistencia en la industria y asegurar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad y propiedades específicas para sus diversas aplicaciones.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es uno de los principales organismos que emiten normas para la clasificación del acero y aleaciones a nivel internacional. La norma ISO 4948-1:2018 "Acero y fundiciones de hierro - Nomenclatura de designación" establece un sistema de designación alfanumérica para diferentes tipos de acero. En el caso de los Estados Unidos, el American Iron and Steel Institute (AISI) y la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) también han desarrollado un sistema de clasificación ampliamente utilizado, donde cada tipo de acero y aleación recibe un número de cuatro dígitos que indica su composición química y características mecánicas.

Por ejemplo, el acero al carbono comúnmente utilizado en aplicaciones estructurales se clasifica de la siguiente manera en el sistema AISI/SAE:

- Acero al carbono simple: 10XX (donde XX representa el porcentaje de carbono)
- Acero al carbono con manganeso: 15XX (donde XX representa el porcentaje de carbono)
- Acero al carbono con níquel: 23XX (donde XX representa el porcentaje de carbono)
- Acero al carbono con níquel-cromo: 31XX (donde XX representa el porcentaje de carbono)
- Acero al carbono con níquel-cromo-molibdeno: 41XX (donde XX representa el porcentaje de carbono)
- Acero al carbono con níquel-cromo-molibdeno-vanadio: 61XX (donde XX representa el porcentaje de carbono)

Estas normas también se aplican a las aleaciones de acero, que son combinaciones de acero con otros elementos, como níquel, cromo, molibdeno, entre otros. Las aleaciones permiten mejorar las propiedades específicas del acero, como la resistencia a la corrosión, la dureza, la conductividad eléctrica, entre otras, haciéndolas ideales para aplicaciones particulares.

Existen otras normas internacionales que clasifican el acero y las aleaciones según sus propiedades y aplicaciones específicas. Algunas de estas normas son la norma europea EN, la norma alemana DIN, la norma japonesa JIS y la norma internacional ISO, dentro el ámbito comercial nacional se emplean las normas ASTM para el acero, estas son especificaciones estándar establecidas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) para diferentes tipos de acero y sus aplicaciones. Como muestra la tabla 3 las normas cubren aspectos como la composición química, propiedades mecánicas, perfiles y aplicaciones, acabado de superficie entre otras propiedades relevantes para el acero.

Tabla 3

Normas ASTM para el Acero y Aleaciones

Material	Descripción	Resistencia máxima	
		MPa	ksi
ASTM A36	Perfiles, placas y barras de acero al carbón.	400	58
ASTM A53	Perfiles, placas y barras de acero al carbón soldada y sin costura.	414	60
ASTM A108	barras de acero al carbón, aceros para forjar y aceros para moldes.	308	44
ASTM A276	barras y formas de acero inoxidable austenítico.	517	75
ASTM A500	Tubería de acero al carbono estructural soldada y sin costura.	427	62
ASTM A242	aceros bajo contenido de carbón y alta resistencia a la corrosión	434	63

Tomado de: Fundamentos de manufactura moderna, 2008

2.4 Conexiones de Unión y Soldadura

Una unión consiste en el acto de conectar dos o más componentes para formar una estructura más grande o funcional. Pueden existir diferentes tipos de uniones, como conexiones atornilladas, remachadas, encoladas, ensamblajes con pernos, entre otras. Las uniones temporales permiten la desmontabilidad, mientras que las permanentes proporcionan una unión sólida y duradera.

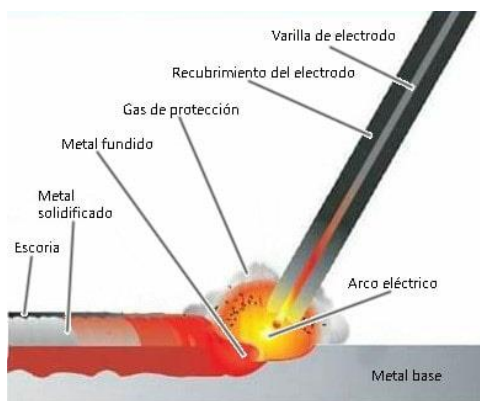
La soldadura es un proceso específico para unir dos piezas de metal fundiendo sus bordes y fusionándolos para formar una sola pieza sólida. Esto se logra mediante la aplicación de calor, a medida que la soldadura se enfría, los bordes de las piezas fundidas se unen y se forman una conexión resistente. Existen varios tipos de soldadura, cada uno con sus propias características y aplicaciones. A continuación, se mencionan los tipos de soldadura más comunes:

2.4.1 Soldadura por Arco Eléctrico

Este es uno de los métodos de soldadura más utilizados. Como muestra la figura 7 se utiliza un electrodo para crear un arco eléctrico entre el material base y el electrodo de soldadura, la energía del arco derrite los extremos de las piezas que se van a unir y forma una soldadura cuando se enfría.

Figura 7

Soldadura por Arco Eléctrico



Tomado de: Tecnologías en soldadura /soldadura de arco

El proceso de soldadura por arco eléctrico involucra la utilización de diferentes tipos de electrodos, como electrodos revestidos o alambres sólidos, dependiendo de la aplicación y el material que se va a soldar. Los electrodos revestidos, por ejemplo, tienen un revestimiento que actúa como escudo protector y suministra material de aporte adicional. El control preciso de parámetros como la corriente, la tensión y la distancia entre el electrodo y la pieza de trabajo es esencial para lograr una soldadura de alta calidad. Debido a que esta es una técnica fundamental para unir metales de manera eficiente, segura y su bajo costo de empleo se decidió emplear este método para llevar a cabo la construcción del bastidor tubular.

2.4.2 Soldadura por Resistencia

Este tipo de soldadura se basa en la generación de calor mediante la resistencia al paso de la corriente eléctrica a través de las piezas a unir. Como muestra la figura 8 se aplica en la soldadura de metales conductores, como acero y aluminio, y es común en la industria automotriz.

Figura 8

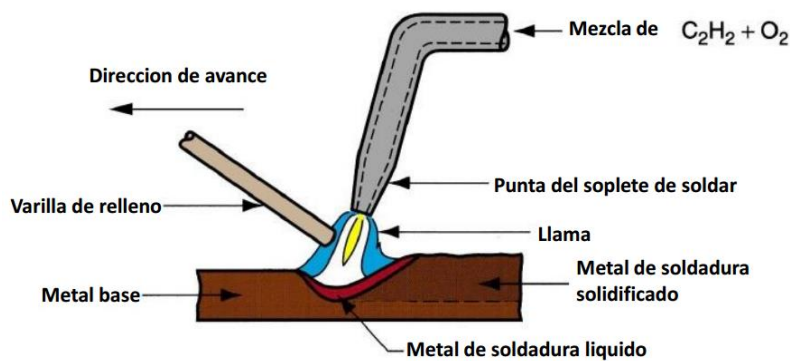
Soldadura por Resistencia



Tomado de: Soldadura por resistencia (rw,2020)

2.4.3 Soldadura por Gas

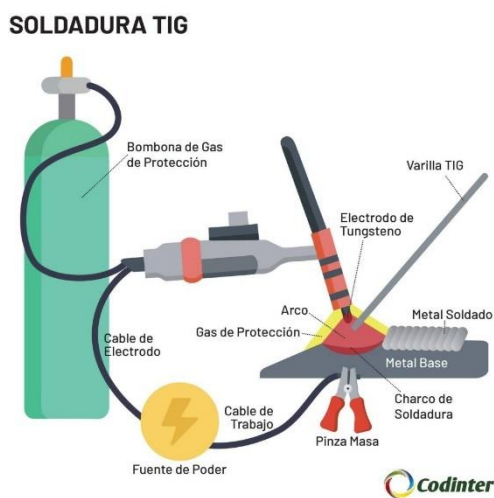
Como muestra la figura 8 la soldadura por gas utiliza una llama generada por la combustión de un gas combustible, como el acetileno, y un gas oxidante, como el oxígeno, para fundir los bordes de las piezas a unir. Como muestra la figura 9 este método es comúnmente utilizado en la soldadura de tuberías de metal.

Figura 9*Soldadura por Gas*

Tomado de: Amoviblesio /soldadura oxi-gas

2.4.4 Soldadura TIG (Tungsten Inert Gas)

En la soldadura TIG, se utiliza un electrodo de tungsteno no consumible para generar un arco eléctrico. Como muestra la figura 10 se introduce un gas inerte, como el argón, para proteger el área de soldadura de la contaminación atmosférica. Es utilizado en aplicaciones que requieren alta calidad de soldadura.

Figura 10*Soldadura TIG*

Tomado de: Máquinas y herramientas / soldadura-tig

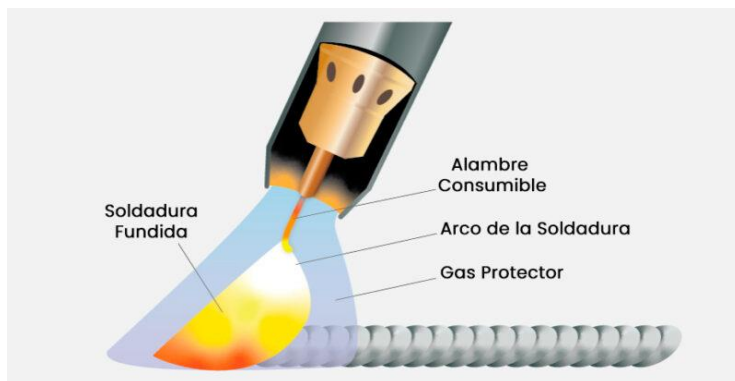
La soldadura TIG también requiere de habilidades y destreza del soldador, ya que es un proceso más lento y delicado en comparación con otros métodos de soldadura.

2.4.5 Soldadura MIG (*Metal Inert Gas*)

Como muestra la figura 11, la soldadura MIG utiliza un electrodo consumible en forma de alambre continuo que se alimenta automáticamente a través de una pistola de soldadura. Es comúnmente utilizado en la industria de fabricación y construcción.

Figura 11

Soldadura MIG



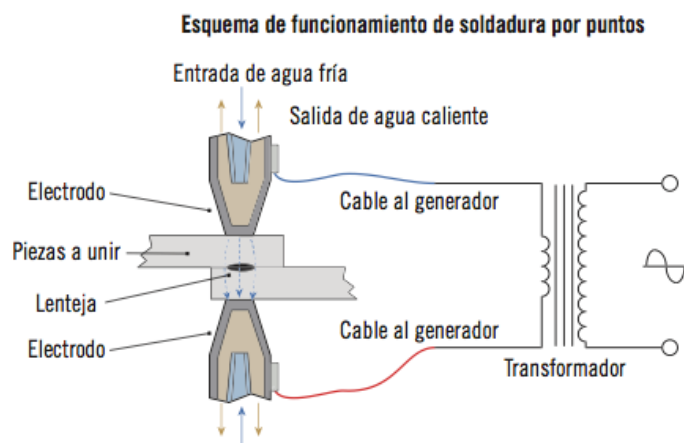
Tomado de: Codinter /soldadura mig

2.4.6 Soldadura por Puntos

Este método tal y como muestra la figura 12 utiliza para soldar metales delgados mediante la aplicación de presión y corriente eléctrica en puntos específicos. Es común en la fabricación de carrocerías de automóviles y electrodomésticos.

Figura 12

Soldadura por Puntos



Tomado de: El chapista /soldadura por puntos en las carrocerías

2.5 Parámetros de Funcionalidad y Criterios de Construcción.

Para el presente trabajo se procede a construir un bastidor tubular lo cual crea la necesidad de investigar acerca de medidas homologadas que regularicen los parámetros de diseño y funcionalidad del proyecto. La figura 13 muestra el campeonato CEAX de la RFEDA (Real Federación Española de Automovilismo) ente que dentro de su reglamento especifica los factores que afectan al chasis y los requerimientos que deben seguir dentro del campo de los autos de ruta, homologándolos para estas competiciones.

Figura 13

Formula CEAX de la Real Federación Española de Automovilismo



Tomado: Formula CEAX

Se deben cumplir con las normativas y regulaciones locales y nacionales pertinentes que rigen el diseño y la construcción de estructuras. Estas normativas proporcionan pautas y criterios de seguridad y rendimiento que deben seguirse para garantizar la conformidad con los estándares establecidos. Por ende, todos los elementos mecánicos que conforman el conjunto deben dimensionarse de manera correcta.

El diseño y construcción de estructuras pueden involucrar aspectos más específicos los cuales varían en función de la estructura y las condiciones de proyecto, las especificaciones técnicas que se toman en cuenta para la elaboración del presente estudio son las siguientes:

2.5.1 Dimensiones Máximas de los Vehículos

La estabilidad es crucial para garantizar que la estructura sea capaz de mantener su equilibrio y resistir las cargas laterales. El chasis del vehículo estará constituido por una estructura tubular que acoja los elementos mecánicos y proporcione al piloto la protección necesaria en caso de vuelco o accidente. (Reglamento Técnico Carcross, 2023), los parámetros encargados de delimitar las proporciones dentro de la carrocería serán las siguientes:

- Longitud: rango entre los 2400 y 2810 mm.
- Anchura: rango entre los 1600 y 1890 mm.
- Altura: rango entre los 1100 mm y 1400 mm.

2.5.2 Rigidez

La rigidez es una característica importante ya que facilita la distribución de peso en la estructura, mejora la estabilidad y la maniobrabilidad. Y en palabras del autor Martínez Fernández, 2017 “A su vez nos dará una mayor sensibilidad del piloto debido a la precisa transferencia de fuerzas y una deformación elástica mínima para garantizar un funcionamiento óptimo del vehículo” (pág. 29). Se debe tomar en cuenta que La rigidez de un chasis tubular se refiere a su capacidad para resistir deformaciones o flexiones bajo cargas y fuerzas aplicadas, existen dos tipos:

Rigidez a Flexión: Este tipo de flexión se refiere a la posibilidad de que la estructura se flexione a causa de su propio peso, para evitarlo se pueden tomar varias medidas, como aumentar el momento de inercia de la sección transversal evitando materiales demasiado dúctiles, dando preferencia a aquellos usando con un alto módulo de Rigidez

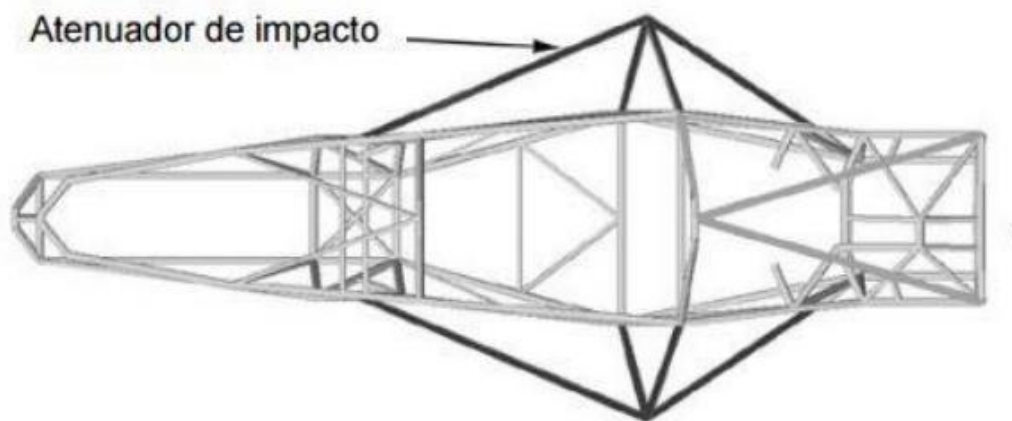
Rigidez a Torsión: Este tipo de rigidez se refiere a la capacidad una estructura para resistir la deformación angular cuando se aplica un momento de torsión o una fuerza rotativa a lo largo de su eje longitudinal. Como medidas preventivas se recomienda aumentar el diámetro de los componentes sujetos a torsión o agregar refuerzos estructurales.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado el método más utilizado para crear rigidez en estructuras tubulares es mediante refuerzos estructurales aplicando la triangulación de nodos. Empleando una correcta triangulación de componentes se logra minimizar la deformación máxima dentro del bastidor, esto considerando que deformaciones producidas por esfuerzos axiales son menos frecuentes que las causadas por momentos flectores.

Dentro de la estructura tubular del presente trabajo esto se ejemplifica en el área de los largueros laterales lugar donde, usando el método de triangulación de nodos se genera una zona dentro de la estructura con una gran rigidez, sin comprometer la deformación en la parte delantera en caso de impacto frontal. En la figura 14 se observa la triangulación de nodos dentro de un chasis tubular.

Figura 14

Vista Superior de un Chasis Tubular



Tomado de: Formula SAE Student

2.5.3 Ancho de Vía

El objetivo del diseño del ancho de vía es poder aproximarse lo mayormente posible a las dimensiones dictadas por el reglamento CEAX de RFEDA organismo que regula la fabricación de este tipo de vehículos, certificándolos para competiciones. Un mayor ancho de vías asegura proporcionar una mayor estabilidad lo cual asegura estabilidad al tomar una curva permitiendo un paso más seguro y efectivo. Sin embargo, en palabras de Martínez Fernantes,

(2017), “aumentar el ancho de vías de un vehículo, también supone que aumente las tensiones, cargas, y en definitiva los esfuerzos que deberá soportar el chasis, el conjunto de suspensiones y hasta la dirección” (pág. 25). Con tres vueltas de volante, el piloto debe ser capaz de llevar las ruedas desde un extremo hacia su giro máximo contrario para poder obtener así un cambio de dirección rápido y directo.

2.5.4 *Espacio*

Con el objetivo de cumplir con las condiciones de trabajo del chasis, se debe considerar que todos los tubos de nuestro bastidor deben trabajar siempre a compresión o extensión, evitando lo mayormente posible las cargas a flexión ya que estas pueden comprometer la estabilidad de la estructura. Al buscar hacer que la distribución de la cabina sea lo suficientemente ergonómica y segura para el piloto. Por lo tanto, se tuvieron en cuenta los diversos factores, de los cuales se destaca como el más importante “la evacuación del piloto en caso de accidente, así como la previa evaluación de su estado dentro del vehículo estableciendo la distribución de la cabina basado en el modelo ‘‘Percentil95’’, que engloba al 95% de las personas” (Martinez, 2017) de menos estatura que limita a la altura marcada por el 5% restante, datos que se detallan dentro de la tabla 4.

Tabla 4

Percentil 95” Masculino

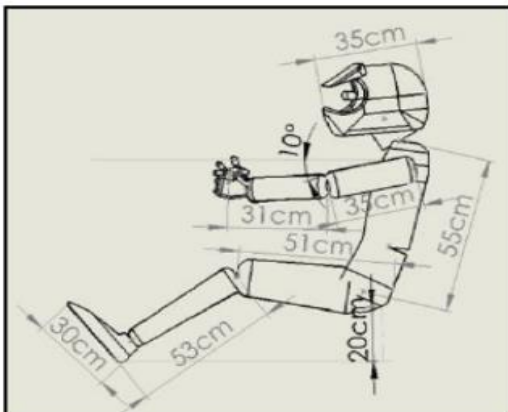
Nombre	Valor
Longitud de pie	30 cm
Angulo del pie con la pierna	90°
Longitud del muslo	53 cm
Altura del piso a la cadera	20 cm
Longitud del torso	55 cm
Longitud del antebrazo	35 cm
Inclinación del antebrazo respecto a la vertical	10°
Longitud del brazo	30 cm
Diámetro del casco	35 cm
Inclinación del torso respecto a la vertical	15°

Tomado de: Sociedad internacional de ingenieros de automoción, SAE student

A pesar de la importancia de la seguridad, es necesario el confort para rendir un mejor rendimiento. Los asientos se diseñan para adaptarse al cuerpo del piloto y brindando soporte en cada ciclo de conducción. En términos generales, estos requisitos consideran la estatura promedio y el rango de tamaños de los pilotos el espacio designado para el conductor debe está diseñado para acomodar a pilotos de estaturas que se encuentran dentro de los percentiles 5 al 95, lo que significa que la gran mayoría de los pilotos estarán cómodos en esas cabinas, con la finalidad de garantizar la seguridad y el rendimiento del conductor es necesario que los controles, como el volante y los pedales, se ajustan según las preferencias del piloto para que puedan operarlos con facilidad. Normalmente el piloto sentado y se debe “poder tener facilidad de acceso a los elementos que forman parte de los sistemas de pilotaje, así como a todos los elementos que hacen posible el corte de los circuitos eléctricos y poder detener el motor” (Vera Puebla & Peña Pinargote, 2019) tal y como se aprecia en la figura 15.

Figura 15

Esquema del Percentil Masculino



Tomado de: Formula SAE Student

El tamaño, la altura y la dirección del ángulo presente en los pedales influyen en la altura de la parte frontal y la longitud del espacio del piloto. El ángulo presente en los pies junto a las dimensiones de la contextura del piloto establece la altura de la silla. Estos aspectos deben garantizar la evacuación del conductor si hay accidente, según lo dictado por la norma SAE/Student el tiempo debe estar debajo de los 5 segundos.

2.5.5 *Peso y Distribución*

Según la RFEDA (Real federación de automovilismo española) en este tipo de vehículos la posición del conductor y del motor influyen directamente en la distribución del peso, lo cual es una de las principales desventajas de este tipo de vehículos, debido a que la ubicación de elementos esenciales como el motor, la batería, debido a su pequeño tamaño y el tanque de combustible están ubicados en la parte trasera de la estructura tubular. Como señala el autor Igor Martínez (2017) “la geometría propuesta en este proyecto se ha diseñado teniendo en cuenta la importancia de avanzar el mínimo la posición del piloto” (pág. 35) considerando también las siguientes circunstancias:

Cuanto menor sea el peso del chasis, respetando la resistencia y rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor. El hecho de tener ubicados los principales elementos pesados en una misma zona hacen que el centro de gravedad del vehículo quede desplazado a la zona posterior del vehículo, por lo que el pilotaje quedará afectado en momentos grandes de aceleraciones. En un análisis de aceleración se puede comprobar que se genera poca carga en el eje delantero, por lo que la dirección quedará limitada. (Martínez, 2017, pág. 38).

El centro de gravedad del automóvil se determina por la ubicación y distribución de los componentes pesados, como el motor, la batería, el sistema de transmisión y otros elementos estructurales. En general, el motor suele ser uno de los componentes más pesados y su ubicación influye significativamente en la posición del centro de gravedad. Para reducir el efecto anteriormente comentado es necesario reducir el centro de gravedad ubicando elementos como el motor y depósito de combustible lo más cercano al área del arco principal.

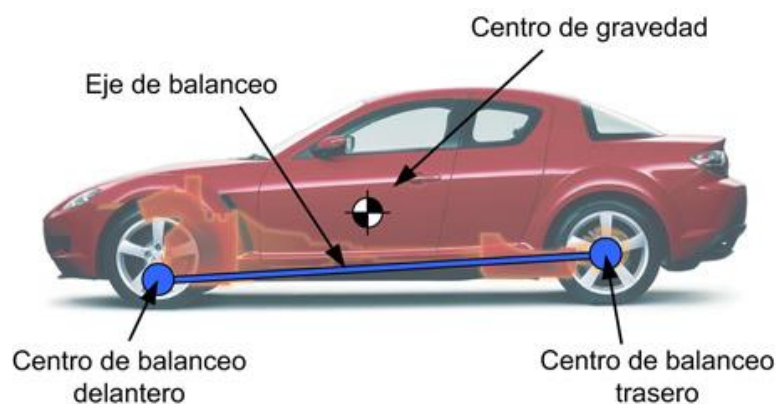
En resumen, el centro de gravedad es un factor crítico en el diseño de automóviles, ya que afecta la estabilidad, la tracción y el manejo del vehículo. Un centro de gravedad bajo es deseable para mejorar el rendimiento y la seguridad del automóvil.

2.5.6 Eje de Balanceo

Cuando un automóvil toma una curva, el peso se transfiere hacia el lado exterior de la curva, lo que provoca un balanceo lateral. El eje de balanceo está diseñado para minimizar este balanceo y mantener las ruedas en contacto con la superficie de la carretera para mejorar la tracción y el control. Cuando el vehículo se inclina hacia un lado debido a la fuerza centrífuga durante una curva, la barra de torsión aplica fuerza a las ruedas del lado opuesto. Esta acción contrarresta el balanceo, ayudando a mantener el automóvil nivelado tal como se muestra en la figura 16.

Figura 16

Eje de Balanceo



Tomado de: Km77 / técnica bastidor balanceo t01

Con la finalidad de poder disminuir el balanceo, se debe intentar conseguir un centro de gravedad lo más bajo posible, esto permite garantizar que el brazo por donde actúa la palanca de la fuerza centrífuga sea menor al entrar en una curva. Como menciona Igor Martinez, (2017) "Para conseguir esto, se aumentará en lo posible el ancho de vía (siempre que no se sobrepasen los 1400 mm que marca la normativa) y se situarán todos los anclajes de los elementos lo más bajo posible" (pág. 43).

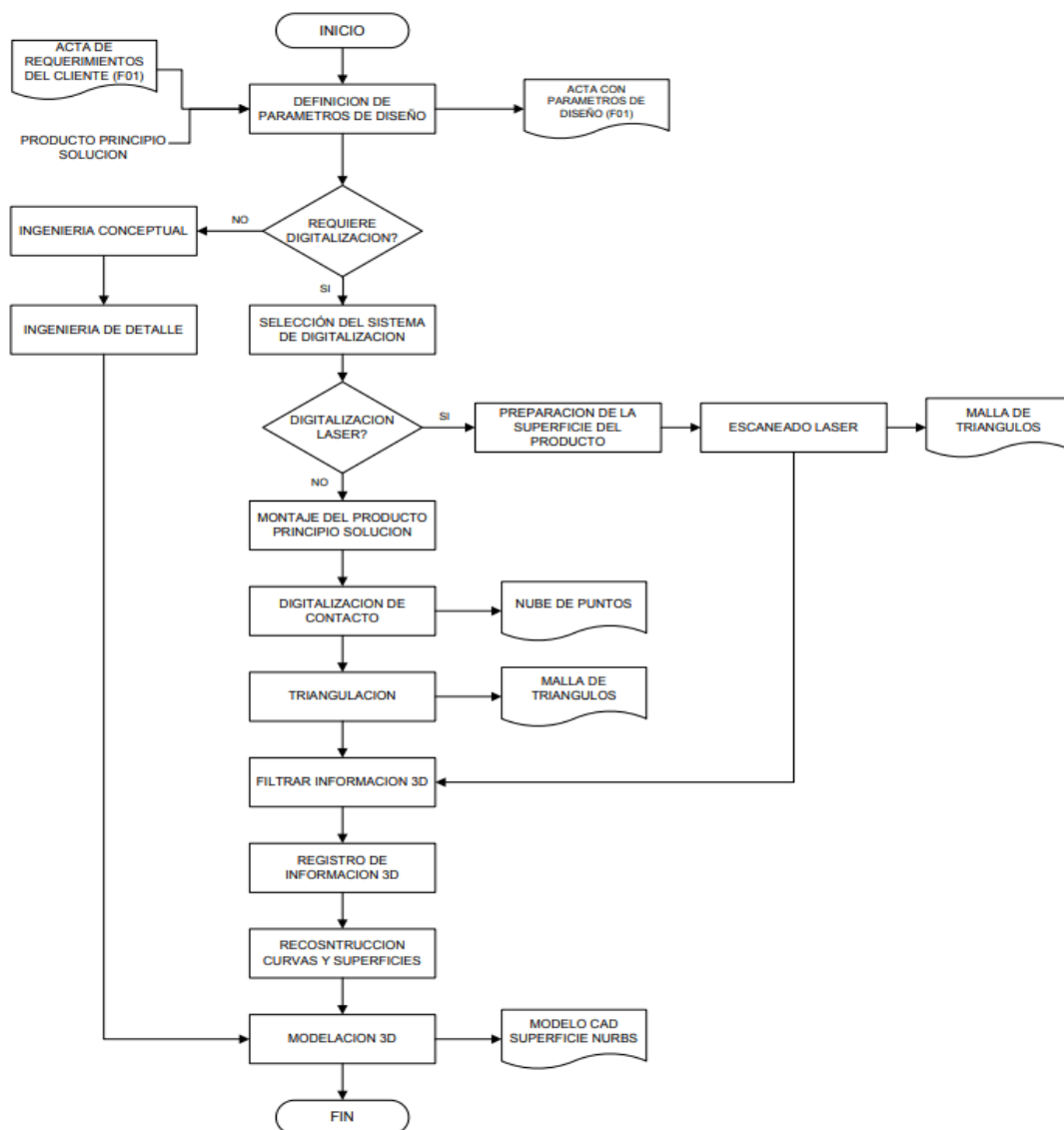
Por ende, el eje de balanceo es un componente clave en el sistema de suspensión de un automóvil que ayuda a mejorar la estabilidad y el control del vehículo durante las curvas y maniobras.

2.6 Proceso de Reingeniería Inversa

La ingeniería inversa se considera un proceso de análisis cuyo objetivo es identificar los factores presentes dentro de un sistema o mecanismo que determinan su funcionamiento, con la finalidad de llevar a cabo la construcción de un prototipo de igual o semejantes características. Como se muestra en la figura 17 este proceso es mayormente empleado para trabajar en diseños con, geometrías de un alto nivel de complejidad que requieran de alta precisión, permitiendo reducir en gran medida los tiempos de desarrollo del producto final.

Figura 17

Diagrama del Proceso de Ingeniería Inversa



Tomado de: (Valentia3D, 2020)

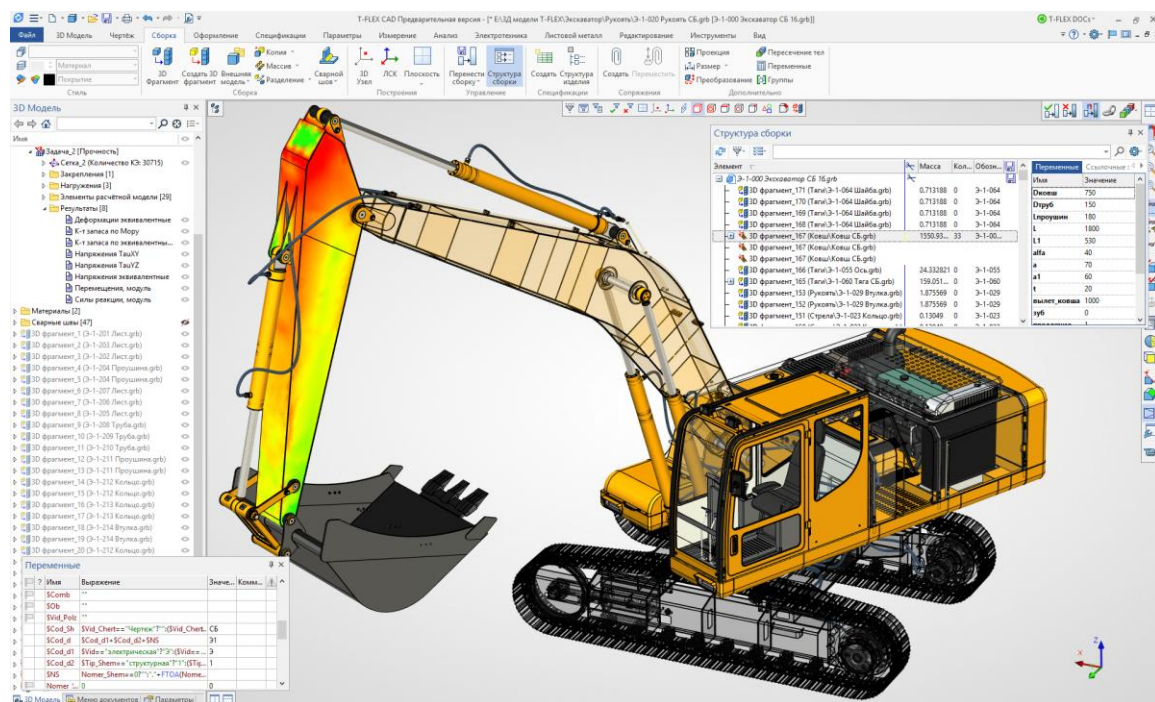
En el caso del presente proyecto la ingeniería inversa es una herramienta para concebir el diseño de un auto monoplaza en base de chasis tubular usando como modelo de partida al Ariel Atom 3s el cual es un ejemplar cuyo proceso de diseño y construcción original no se encuentra al acceso común de las personas naturales por lo tanto debido a su complejidad estos diseños no son aptos para su producción en masa.

2.7 Diseño Asistido por Computadora

El diseño asistido por computadora es una herramienta ampliamente empleada dentro de los campos de la ingeniería, la arquitectura, el diseño industrial y muchas otras disciplinas que requieren representaciones precisas y detalladas de productos, para ello se emplean software especializados en el modelado de dibujos 2D y 3D. como muestra la figura 18 el diseño de estructuras mecánicas implica el análisis de las cargas, la selección de materiales adecuados, la consideración de los factores de seguridad, la determinación de las formas y dimensiones óptimas, y la aplicación de técnicas de fabricación y montaje.

Figura 18

Diseño Asistido por Computadora



Tomado de: Hwlibre / wp-content-diseño

El uso de herramientas de análisis y software de diseño asistido por computadora contribuyan a la concepción de un modelo que se ajuste a los requerimientos mecánicos solicitados por el diseñador. Dentro del diseño y la fabricación asistidos por computadora existen tres ramas las cuales son:

2.7.1 Programas CAD (Diseño Asistido por Computadora)

Las siglas CAD Computer-Aided Design significan Diseño Asistido por Computadora y se refiere al uso de software especializado para crear dibujos y modelos en 2D y 3D de objetos y sistemas. Los programas CAD permiten a los diseñadores crear representaciones digitales precisas de productos y realizar modificaciones rápidas. Ejemplos de programas CAD son: AutoCAD, sketchUp, Catia y Solidworks.

2.7.2 Programas CAE (Ingeniería Asistida por Computadora)

Computer-Aided Engineering o en español "Ingeniería Asistida por Computadora" se refiere al uso de software de simulación y análisis para evaluar y mejorar el rendimiento de productos y sistemas. Los programas CAE permiten a los ingenieros realizar análisis de elementos finitos, simulaciones de flujo de fluidos, análisis de estructuras, análisis térmicos, análisis electromagnéticos y más. Estas herramientas ayudan a predecir el comportamiento y las características de los productos, lo que permite optimizar el diseño y reducir costos.

2.7.3 Programas CAM (Fabricación Asistida por Computadora)

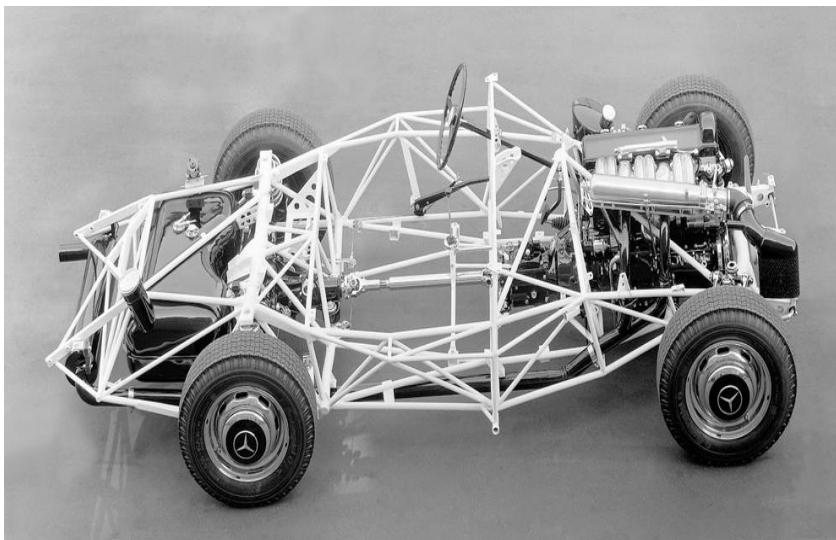
Las siglas CAM corresponden a Computer-Aided Manufacturing y se refiere al uso de software para controlar máquinas y procesos de fabricación. Los toman los modelos de diseño creados en CAD y generan automáticamente instrucciones para las máquinas herramienta, desde tornos y fresadoras; hasta máquinas de fabricación aditiva como impresoras 3D. Para producir las piezas de acuerdo con las especificaciones el software CAM optimiza la producción al calcular trayectorias de herramientas eficientes y generar códigos de control numérico (CNC) para las máquinas.

2.8 Bastidores Tubulares

Un bastidor tubular es una estructura compuesta por tubos de metal interconectados que se utiliza en una variedad de aplicaciones para proporcionar soporte y resistencia. Los bastidores tubulares en el contexto de los automóviles se refieren a la estructura principal del chasis del vehículo, también conocido como bastidor o estructura monocasco. Este tipo de bastidor está construido utilizando tubos de metal interconectados para formar una estructura resistente y rígida. En la figura 19 muestra como la estructura sirve de unión para los diferentes sistemas del vehículo, actuando conjuntamente como soporte y protección en caso de impacto.

Figura 19

Chasis Tubular del Tipo Biplaza



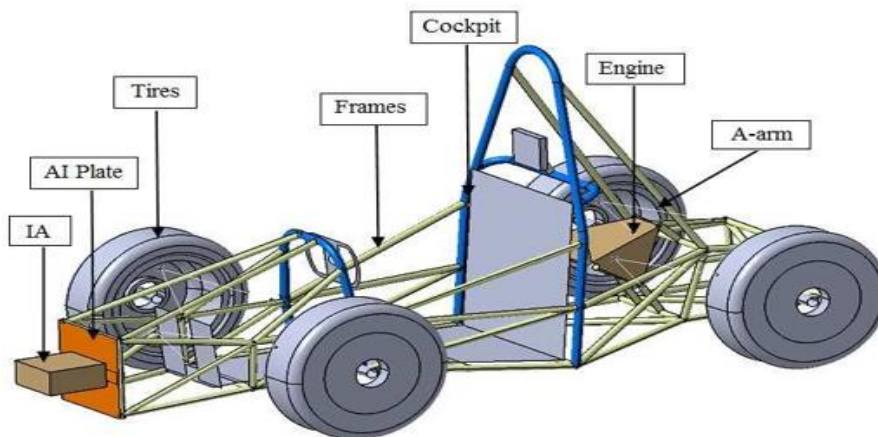
Tomado de: Análisis técnico de un chasis tubular

El uso de bastidores tubulares en la industria automotriz tiene varias ventajas. En primer lugar, los tubos proporcionan una excelente resistencia y rigidez, lo que mejora la estabilidad del vehículo. También permiten una distribución de las fuerzas del impacto de manera más efectiva, absorbiendo la energía generada durante un accidente y protegiendo a los ocupantes del vehículo. Por otro lado, la flexibilidad en el diseño es otra ventaja significativa del bastidor tubular, ya que permite adaptar su forma y dimensiones para ajustarse a las necesidades específicas de cada tipo de vehículo.

Es relevante destacar que estos bastidores son ampliamente utilizados en vehículos de alto rendimiento, como autos deportivos, coches de carreras, buggies todoterreno y vehículos todoterreno modificados. Tal y como se puede apreciar en la siguiente figura 20, al momento de construir el bastidor se debe tener presente que la estructura debe ser rígida capaz de salvaguardar la integridad del ocupante además su diseño liviano y resistente los hace ideales para numerosos usos en la industria automotriz.

Figura 20

Componentes de un Bastidor Monoplaza



Tomado de: Formula SAE Student

En comparación a otros tipos de estructuras un bastidor tubular, proporcionando una mayor eficiencia en términos de construcción. Además, ya que permite a las soldaduras o uniones adaptarse a las necesidades específicas de cada diseño. Entre las diferentes competiciones que emplean vehículos con chasis de base tubular, se encuentra Fórmula SAE (Society of Automotive Engineers) el campeonato CEAX de la RFEDA (Real Federación Española de Automovilismo). Circuitos que establecen los lineamientos para la construcción de automóviles para competencia los cuales en su mayoría son del tipo monoplaza y los aspectos más importantes a considerar a la hora de diseñarlo son el peso, la rigidez y la altura del centro de gravedad. Además, se deben contemplar las especificaciones dadas por las reglas establecidas para cada edición de la competencia.

2.8.1 Bastidor SAE Student

El chasis de Formula SAE (Society of Automotive Engineers) es una estructura fundamental y vital en la construcción de un vehículo tipo fórmula estudiantil. Este chasis debe ser diseñado con precisión para proporcionar la base sólida para el resto de los componentes del automóvil de carreras, asegurando la seguridad del conductor y la integridad estructural del vehículo. Aquí hay algunas características clave y consideraciones importantes para el diseño del chasis de Formula SAE para estudiantes. Los equipos deben cumplir con las normas establecidas por la competición Formula SAE. Estas reglas abarcan aspectos como las dimensiones del chasis, las características de seguridad, la ubicación del asiento del conductor, la disposición del motor y otras especificaciones técnicas.

En términos de distribución del peso, el diseño del chasis debe proporcionar una distribución óptima del peso del vehículo para mejorar el rendimiento y el manejo. La ubicación del motor, la caja de cambios, el tanque de combustible y otros componentes afectará significativamente la distribución del peso tal y como se muestra en la figura 21. Con esto se logra que la estructura proporcione suficiente espacio para alojar todos los sistemas mecánicos y eléctricos necesarios, además de cumplir con los estándares de seguridad establecidos por la competición.

Figura 21

Vehículo Formula SAE Student



Tomado de: Formula SAE Car

2.8.2 Bastidor Caterham 7

El Caterham 7 es un icónico automóvil deportivo diseñado para la conducción pura y sin complicaciones. Debido a su diseño simple y minimalista es uno de los modelos más populares fabricados por la empresa británica Caterham Cars. Este vehículo está basado en el Lotus Seven, un automóvil ligero y de alto rendimiento creado en la década de 1950. El Caterham 7 sigue el concepto auto de ruta deportivo y ligero. Tal como se aprecia en la figura 22 su bastidor está construido principalmente con tubos de acero, lo que le brinda una gran resistencia y al mismo tiempo mantiene el peso lo más bajo posible.

Figura 22

Bastidor Caterham 7



Tomado de: Fresh-imports / el nuevo primer peldaño de caterham

El diseño del bastidor es del tipo "tubular spaceframe" (bastidor espacial tubular), que es común en muchos automóviles deportivos y de alto rendimiento, la estructura de tubos es soldada para formar un armazón rígido pero liviano, lo que es esencial para mantener el enfoque de "coche deportivo ligero" de Caterham. Este diseño de bastidor ofrece una combinación de rigidez, ligereza y seguridad, proporcionando una base sólida para el automóvil y contribuyendo a su manejo ágil y capacidad de respuesta.

El Caterham 7 es muy popular entre los entusiastas de los deportivos y aquellos que buscan una experiencia de conducción pura y emocionante.

2.8.3 Bastidor Ariel Atom

El primer prototipo del Ariel Atom, conocido como "Atom 1", se presentó en 1996. Este vehículo concepto sentó las bases para el desarrollo de futuras versiones. El Atom 1 se destacó por su diseño minimalista y sin carrocería, que permitía ver claramente su chasis tubular y otros componentes mecánicos. Sin embargo, no fue hasta 1999 cuando Ariel Motor Company presentó oficialmente el Ariel Atom 2, el primer modelo de producción. El Atom 2 contaba con un chasis tubular y estaba propulsado por un motor Honda de 1.8 litros, que proporcionaba una potencia de alrededor de 120 a 190 caballos de fuerza, dependiendo de la versión. Tal como se muestra en la figura 23 al ser una estructura del tipo "spaceframe" su diseño implica la creación de una estructura mediante la interconexión de tubos de acero, formando un armazón altamente rígido pero liviano,

Figura 23

Ariel Atom 4



Tomado de: Ariel Atom

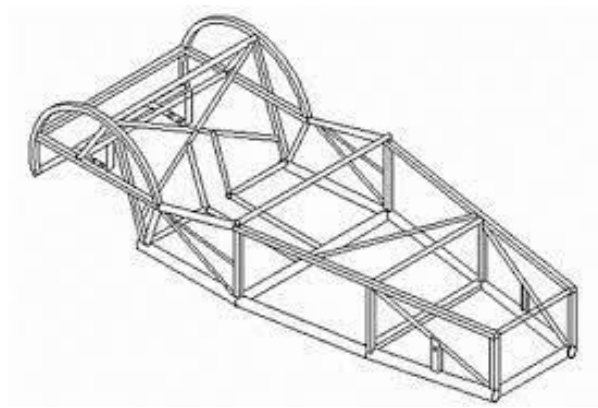
El chasis del Ariel Atom es el resultado de años de desarrollo y refinamiento, con el objetivo de ofrecer un rendimiento excepcional y una experiencia de conducción única. La combinación de su chasis tubular, ligereza y enfoque en la conducción pura ha hecho del Ariel Atom uno de los automóviles deportivos más apreciados por los entusiastas y los amantes de la conducción extrema.

2.9 Propuesta de un Prototipo

Para poder comenzar todo proceso de construcción se debe partir de una idea base la cual debe ser plasmada dentro de una representación visual de lo que se espera conseguir, de esta manera se conoce como prototipo a “el primer modelo que ayuda para la representación de un producto final permitiendo así la verificación del diseño y que cuente con las características ya planeadas” (Pacheco, 2019), tal como se muestra en la figura 24. Al llevar a cabo la construcción del prototipo se debe considerar que el mismo sea capaz de soportar los esfuerzos presentes cuando este en movimiento, tomando en cuenta las condiciones de manejo a las cuales estará sometido.

Figura 24

Boceto de Chasis



Tomado de: Chasis para vehículo FSAE

Se recomienda para su construcción recurrir a formas triangulares ya que geoméricamente son las que presentan mayor resistencia a esfuerzos cortantes, de compresión y extensión. Esto debido a que una vez aplicada la triangulación de estructuras la deformación con referencia al esfuerzo axial es menor, en magnitudes de momentos de flexión o torsión, para lograrlo se debe lograr que todos los tubos del bastidor se sometan siempre a compresión o extensión, evitando las cargas a flexión ya que estas pueden comprometer la estabilidad de la estructura. Por esta razón es recomendado aplicar en las estructuras tubulares el tipo de esfuerzo axial de tracción para evitar problemas de pandeo en la estructura.

El bastidor tubular del tipo car cross por lo general suele ser una estructura monoplaza, el cual es construido con materiales accesibles, comúnmente construidos a partir de tubos de acero estructural con perfil circular. Para el presente trabajo se consideró al Ariel atom 3s el cual es un automóvil de estructura tubular, de alto desempeño fabricado por Ariel Motor Company. Cuya forma de diseño de le permite tener un bajo peso ya que no tiene puertas y techo, así no recurre a otros factores como tener un motor de potencia elevada. De modo que “Este vehículo no busca la comodidad del ocupante sino la funcionalidad”. (Munckin, 2020) como se ve en la Figura 25 el modelo Ariel Atom se usó de referencia para la construcción del prototipo tubular.

Figura 25

Chasis Tubular del Ariel Atom 3s



Tomado de: Ariel Atom 1

Capítulo III

Construcción del Prototipo de Chasis Tubular

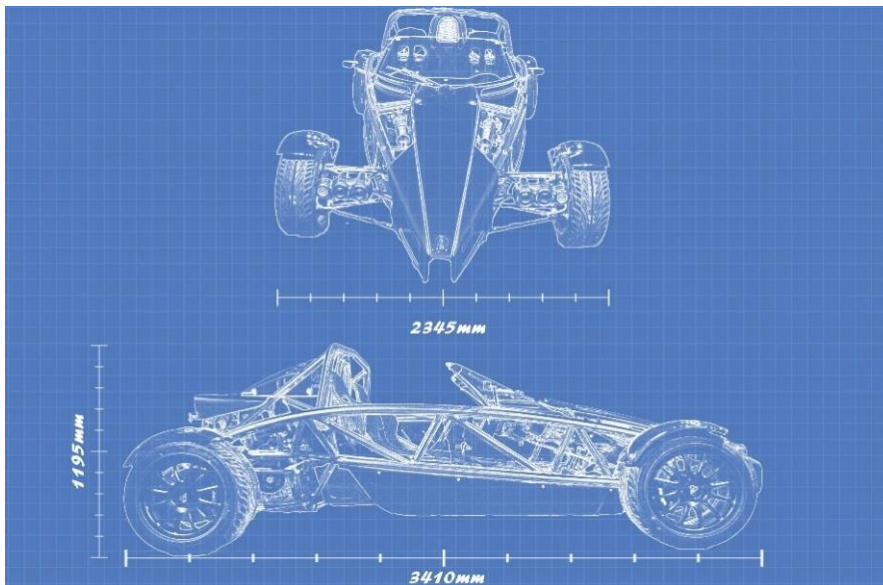
3.1 Proceso de Modelado

El modelado 3D es el proceso de crear representaciones tridimensionales utilizando software especializado, este proceso permite diseñar y visualizar objetos en tres dimensiones, lo que es esencial en diversas industrias. Para ello se comienza con la recopilación de datos relevantes sobre la estructura que se va a modelar. Esto puede incluir planos, especificaciones técnicas o cualquier otro detalle importante.

Para comenzar a diseñar un chasis tubular basado en el modelo Ariel Atom, es necesario conocer las dimensiones exactas de sus respectivas estructuras. Sin embargo, en su página web el fabricante solamente proporciona al público dimensiones generales, tales como altura, ancho, largo y distancia entre ejes, datos que se encuentran recopilados dentro de la figura 26.

Figura 26

Dimensiones del Modelo Ariel Atom



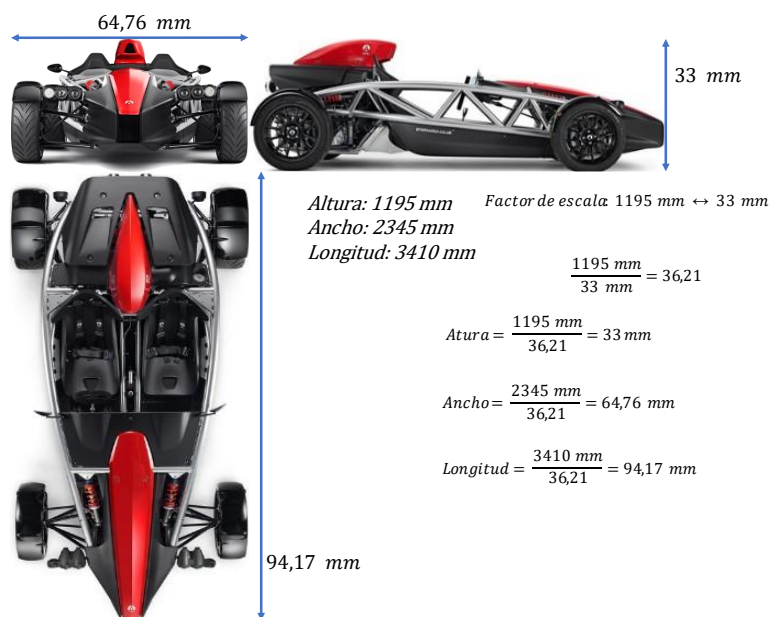
Tomado de: Ariel Atom 3s

La recopilación de datos para el modelado 3D es un paso crucial para obtener resultados precisos y detallados. La cantidad y el tipo de datos que necesitarás dependerán del objeto o escenario que desees modelar.

No obstante, el diseño requiere de todas las medidas o al menos la mayoría de estas para pasarlo al programa de Autodesk Inventor. El método empleado para obtener las medidas del chasis consiste en usar lineamientos básicos de la ingeniería inversa, donde con ayuda de los datos presentes en la figura 27 se usa una regla de tres para obtener un factor de referencia, el cual modifica el tamaño del objeto en relación con su tamaño original. Este término se conoce como factor de escala, dicho factor es una medida proporcional que se aplica al modelo completo para agrandarlo o reducirlo uniformemente en todas sus dimensiones.

Figura 27

Dimensiones y Factor de Escala

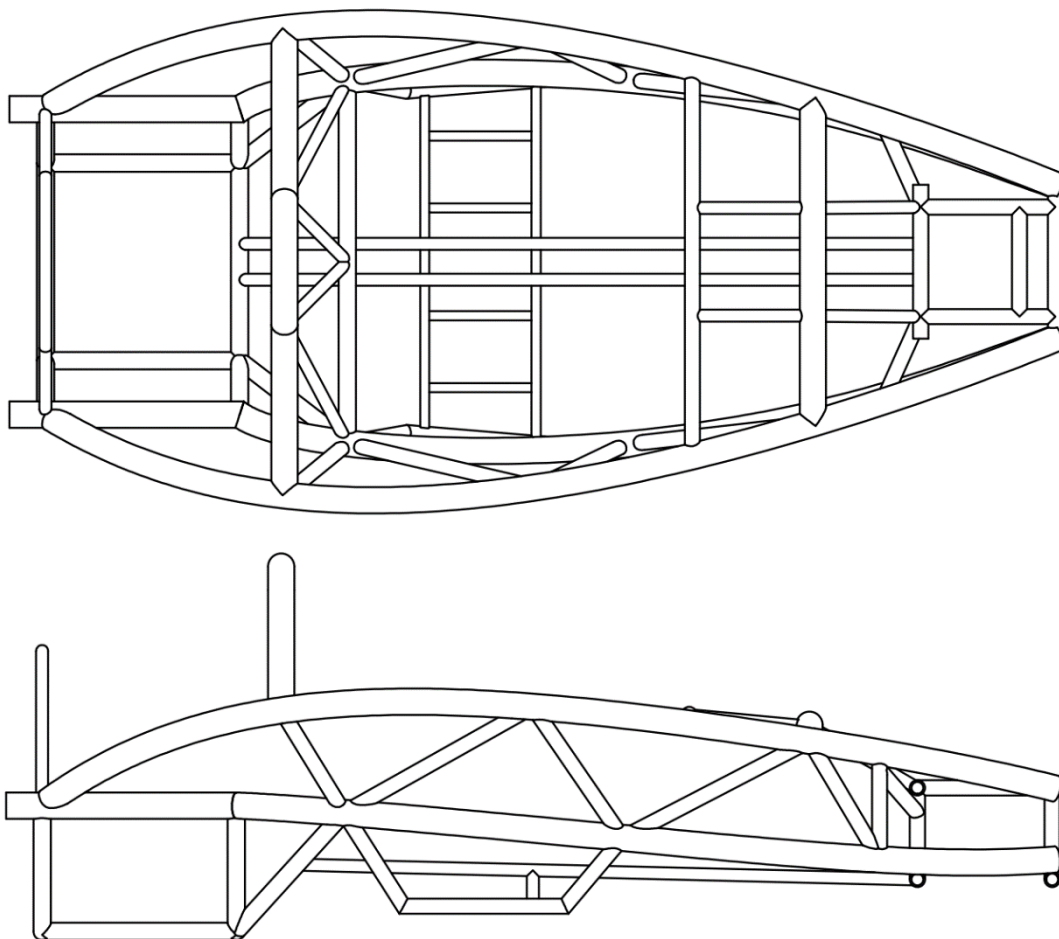


Debido a que las dimensiones del Ariel Atom pueden variar ligeramente en función del modelo, la versión específica, motorización, junto al hecho de que el vehículo ha tenido diferentes actualizaciones y configuraciones a lo largo del tiempo; solo se considera útil los lineamientos que permitan recopilar datos con precisión además tener una comprensión clara del propósito y las funciones del chasis permite crear un modelo 3D funcional, adecuado para sus necesidades específicas. Por ende, en la concepción de este modelo los métodos usados para definir la forma y la estructura del bastidor se tienen como objetivo brindar condiciones que permitan ajustar o modificar el diseño fácilmente.

Para comenzar a dibujar, se toma punto de partida parámetros tales como: la longitud, el ancho, la altura, el diámetro de los tubos, la ubicación de las conexiones y otras características relevantes, por lo tanto, como indica la figura 28 usando el factor de conversión se procede a tomar las medidas reales del chasis las cuales son anotadas dentro del boceto guía de la estructura tubular, asegurándose de mantener las proporciones correctas.

Figura 28

Estructura de Chasis



Una vez que llenados los datos en el boceto, se verifica que los mismos se ajusten a los requisitos y visión del chasis tubular. Completado todo este proceso, se puede pasar a la siguiente fase y utilizar software de modelado 3D para crear una versión más detallada y precisa antes de la fabricación.

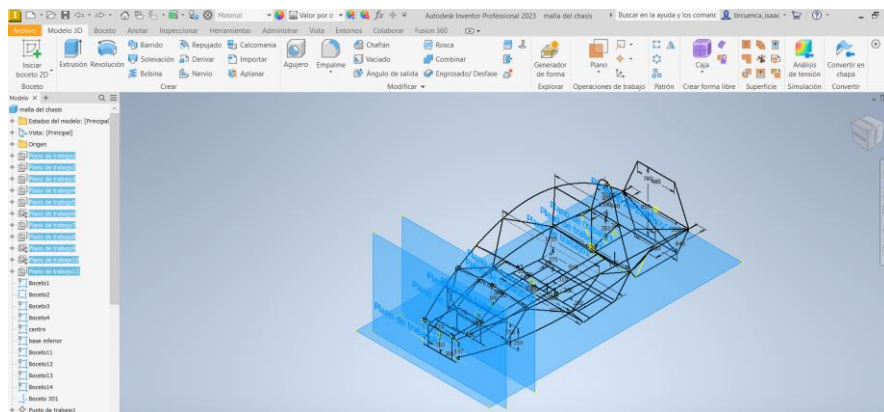
3.1.1 Modelado Cad Mediante Autodesk Inventor

Considerando las condiciones de diseño establecidas en el capítulo anterior, se procede a elaborar un boceto de la estructura utilizando el programa de Autodesk Inventor Professional es una versión avanzada del software de diseño CAD Autodesk Inventor, el cual brinda herramientas tanto de modelado 3D como de simulación, los cuales son recursos útiles para el proceso de construcción del bastidor tubular.

El primer paso dentro del proceso es activar un proyecto de trabajo, el cual almacena todos los archivos usados para la concepción del prototipo. Como muestra la figura 29, dentro del espacio de trabajo del proyecto se crea un nuevo archivo en formato IPT (Inventor Part) el cual tiene como nombre “Chasis tubular”. Bajo este formato se crean diferentes planos de trabajo cuyas distancias y medidas correspondan a las obtenidas en los bocetos del apartado anterior.

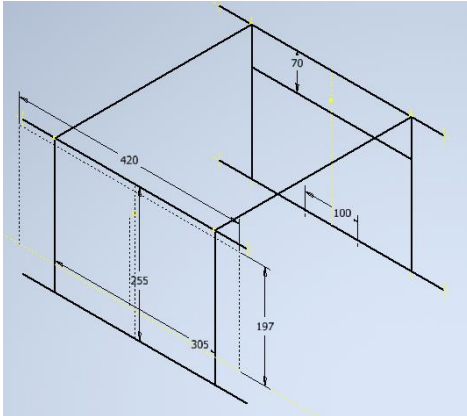
Figura 29

Malla del Chasis en Autodesk Inventor

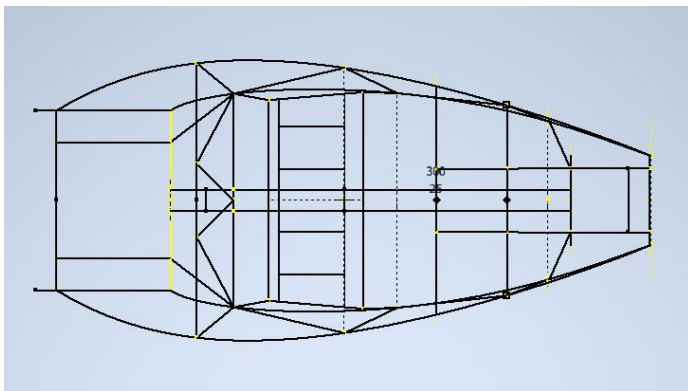


Cada plano corresponde a las diferentes secciones del chasis, el proceso de construcción de la estructura se detalla paso a paso especificando cada boceto que contiene el archivo.

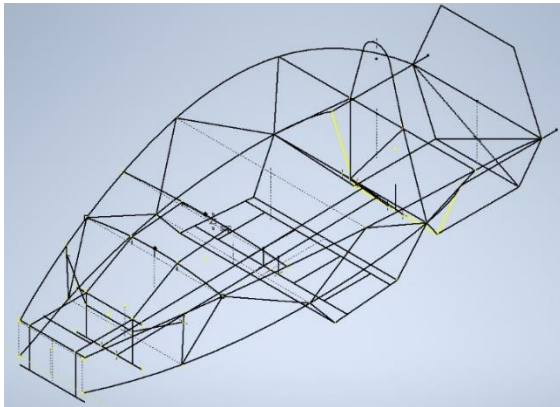
Como muestra la figura 30 para un mejor manejo del proceso se opta por comenzar por la sección trasera de la estructura lugar donde se ubica componentes como motor, depósito de combustible y transmisión del vehículo el cual posee un volumen de 700 mm x 850 mm x 780 mm.

figura 32*Sección Frontal del Chasis*

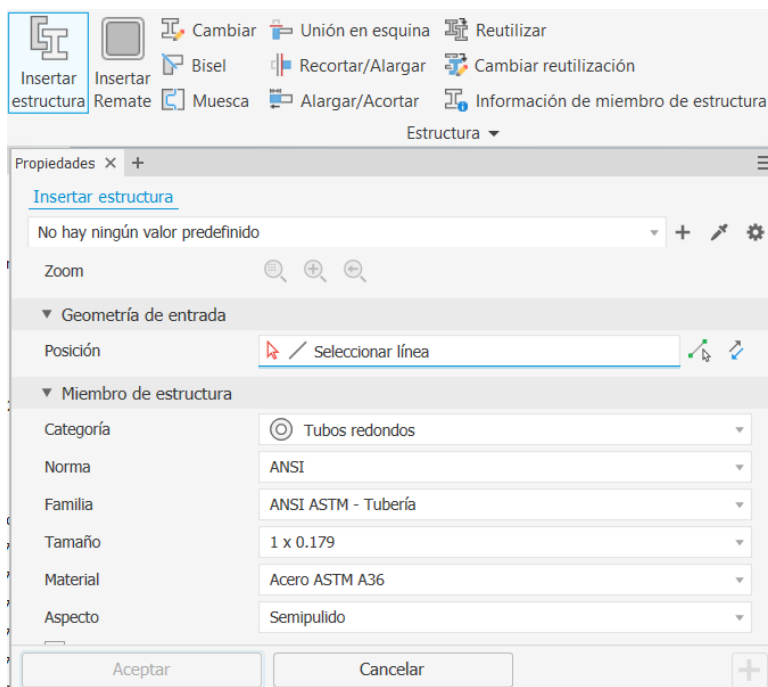
A continuación, dentro de la figura 33 se muestra como mediante la opción de boceto 3D se asignan las líneas correspondientes a los largueros laterales, se toma como referencia los puntos que dan forma a los largueros principales, de esta manera las líneas base se irán ajustando según la necesidad.

Figura 33*Unión de las Partes del Chasis*

El paso final consiste en unir todos los puntos de intersección de la estructura, una vez culminado el boceto se guarda el archivo creado y se procede a crear un nuevo archivo en formato IAM (Inventor Assembly File), ya dentro de este formato de ensamble se puede optar por un material específico y dimensiones preestablecidas por las normas ANSI o ISO, en función de si se requiere que las medidas estén en mm o pulgadas (in). Dentro de la figura 34 se muestra el bosquejo final del boceto ya completado.

Figura 34*Boceto Final del Chasis*

Finalmente, se crea un archivo con extensión IAM (Inventor Assembly File) seleccionando la plantilla estándar, donde se “inserta” el archivo IPT (Inventor Part) para ser trabajado como estructuras. Como material se escoge el acero ASTM A36, debido a su facilidad de conseguir y su amplia variedad en cuanto a los tamaños que se encuentran dentro del mercado. Dentro de la figura 35 se aprecia como mediante la herramienta de “insertar estructura” se puede elegir características de perfil, grosor, material y aspecto para la estructura.

Figura 35*Herramienta de Insertar Estructura*

Cada uno de los aspectos presentes dentro del cuadro generador de estructuras permite modificar las propiedades físicas y mecánicas que tendrá el bastidor, estos parámetros influyen de forma directa sobre los resultados de cada análisis de esfuerzo. dentro de la tabla 5 se detalla que aspecto de la estructura modifica cada parámetro del generador de estructuras.

Tabla 5

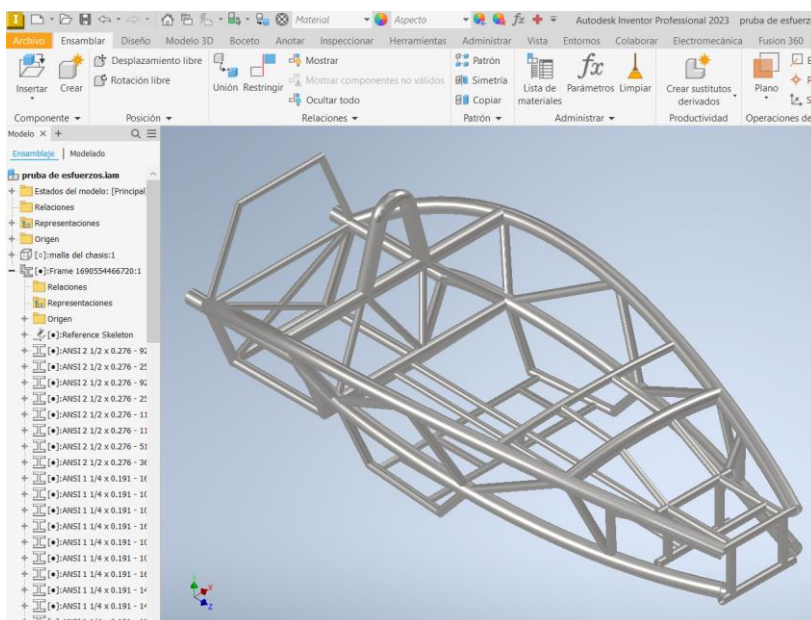
Características del Generador de Estructuras

Parámetros	Descripción
Categoría	Determina el tipo de perfil a usar en la estructura
Norma	Indica el reglamento de estandarización para medidas
Familia	Permite seleccionar que función tendrá la estructura
Tamaño	Indica las diferentes dimensiones comerciales que ofrece la Norma
Material	Asigna características físicas reales correspondientes, acero, madera y vidrio, etc.
Aspecto	Representa con más precisión el material que se utiliza en una pieza

como se muestra en la figura 36 mediante el generador de estructuras se obtiene un aspecto más realista, de igual forma si se desea es posible modificar las texturas a los componentes del chasis, lo que permitirá un mejor acabado visual.

Figura 36

Acabado Final de la Estructura Tubular



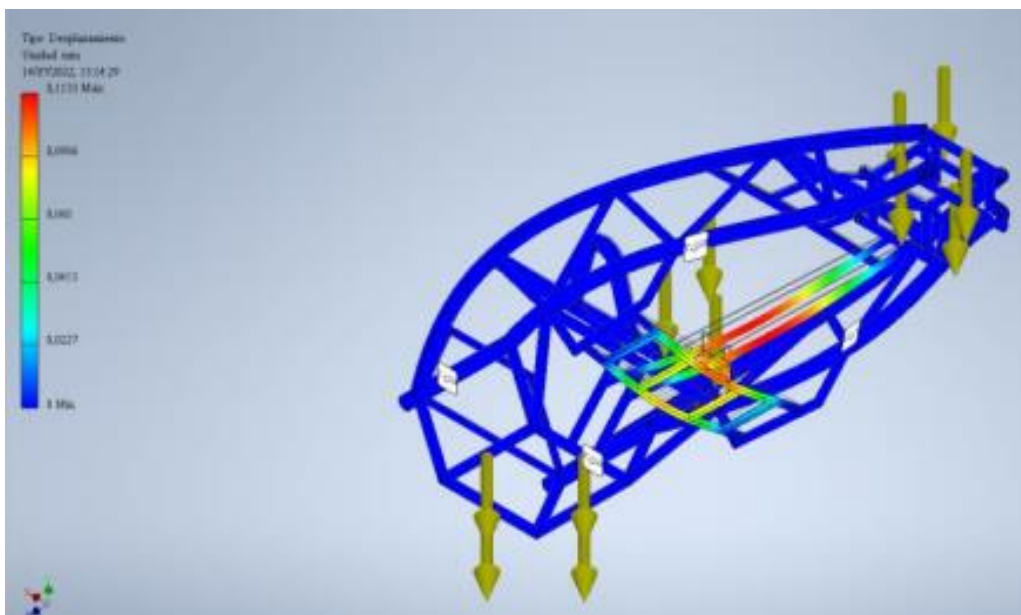
3.1.2 Ensayos de Esfuerzo y Deformación

Una vez aplicado al Boceto el material de trabajo (acero al carbono ASTM A36) se debe dar los acabados finales previo a la simulación: Pruebas de interferencias Soldadura de la estructura, creación de estudio de tensión, mallado, Aplicación de restricciones, determinación de cargas. Para comenzar con la simulación de esfuerzos y deformaciones es necesario especificar las cargas que se usarán. La Real Federación de Automovilismo español dentro del apartado 7 de su reglamento técnico CEAX indica que un motor 4 cilindros junto con su caja de cambios y transmisión ronda los 400 kg, valor que corresponde a una carga de 3922.6 N.

Respecto a donde está alojado la carga del motor, es de sección rectangular se descompondrá el peso en dos para dividirlo en dos puntos. En cuanto a los ocupantes, el valor promedió de acuerdo con el percentil 95 es de una masa de 75 kg por persona. Como se observa en la figura 37 estos valores quedan definidos dentro del estudio.

Figura 37

Simulación de Cargas Muertas y Vivas

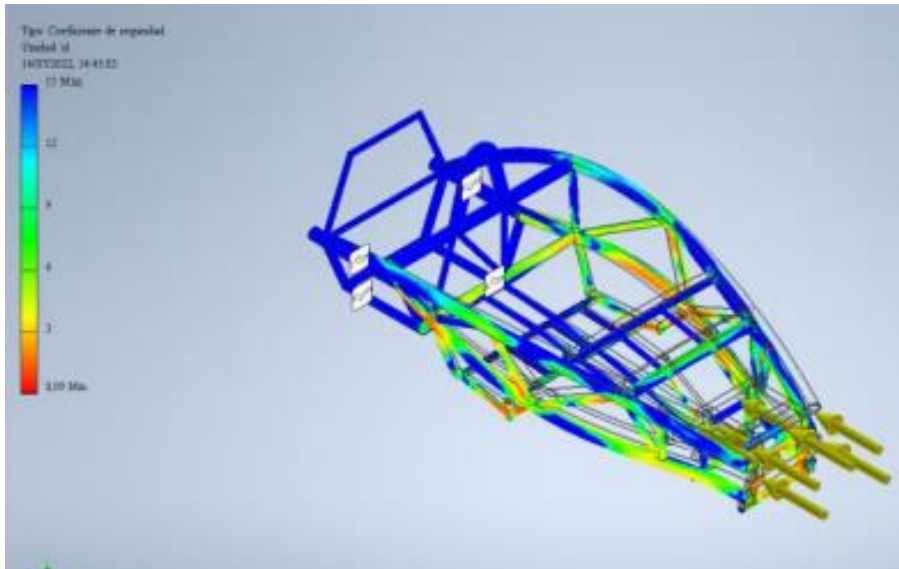


Acorde a las normas SAE International (Sociedad de Ingenieros de Automoción) La normativa brinda la posibilidad de diseñar y fabricar dos tipos de chasis: monocasco y tubular. Las pruebas para el chasis tubular deben simular un impacto frontal, posterior con cargas de

entre 150 kN a 350 kN, en la figura 3 se muestra el respectivo ensayo de las cargas de impacto frontal.

Figura 38

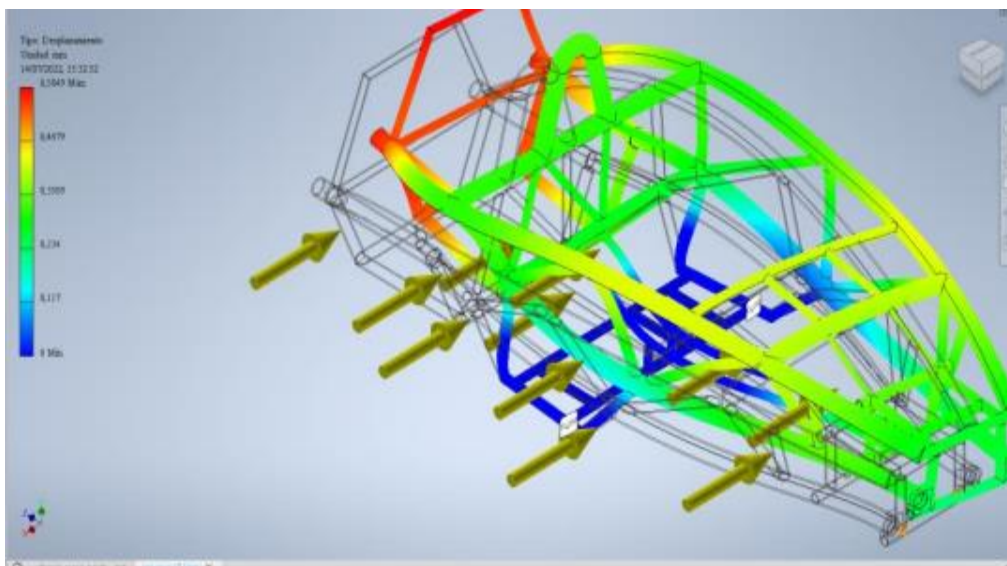
Cargas de Impacto Frontal



en la figura 39 se muestra el respectivo ensayo de las cargas de impacto lateral. La norma SAE International (Sociedad de Ingenieros de Automoción) apartado AF4.3 dicta que la estructura debe soportar cargas laterales equivalentes a dos veces su propio peso.

Figura 39

Cargas Laterales



3.2 Maqueta Mediante Impresión 3D

Los modelos a escala reducida, conocidos como maquetas, son utilizados para representar el diseño general del vehículo. Estos modelos pueden estar fabricados con diversos materiales, como arcilla, plástico o espuma, y proporcionan una representación tridimensional de la apariencia y proporciones del vehículo.

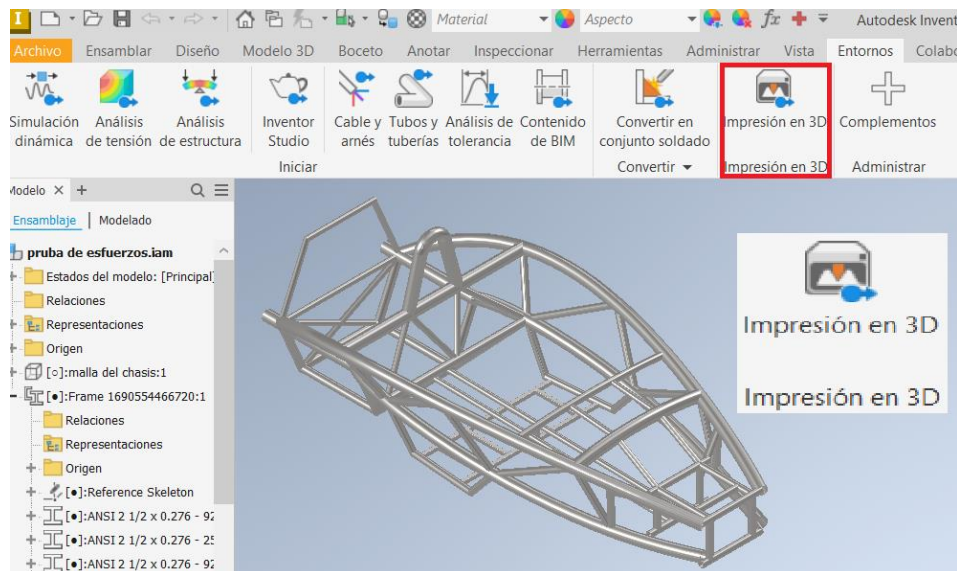
Para el proceso de impresión 3D, se emplea programas del tipo Slicer para convertir modelos 3D en instrucciones específicas de código binario que permiten construir objetos físicos.

3.2.1 Preparación del Modelo

Como indica la figura 40, cuando el modelo esté completamente diseñado y listo para la impresión en 3D, se debe exportar el archivo desde Autodesk Inventor a Ultimaker Cura para un software de preparación y rebanado de modelos 3D. Para hacerlo dentro de la cinta de entornos se selecciona la opción de "impresión 3D" el cual convierte de forma automática el modelo en un archivo del tipo "Estereolitografía (*.stl)" permitiendo a Ultimaker Cura interpretar este formato.

Figura 40

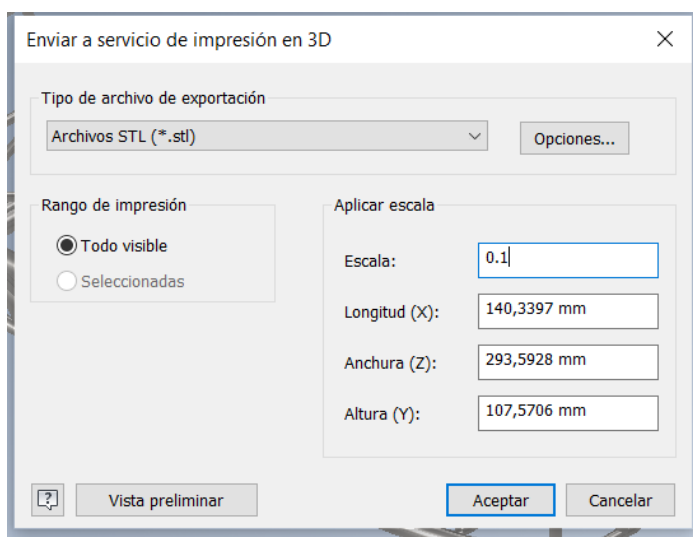
Cinta de Entornos de Autodesk Inventor



Una vez creado el Archivo STL (Standard Tessellation Language), sirve de modelo guía para que la impresora 3D determine la forma y los detalles del objeto. Teniendo en cuenta que las medidas del diseño conservan sus dimensiones reales, en la figura 41 se usa la herramienta del servicio de impresión 3D de Autodesk Inventor permite configurar el factor de escala antes de crear el formato STL (Standard Tessellation Language) del chasis.

Figura 41

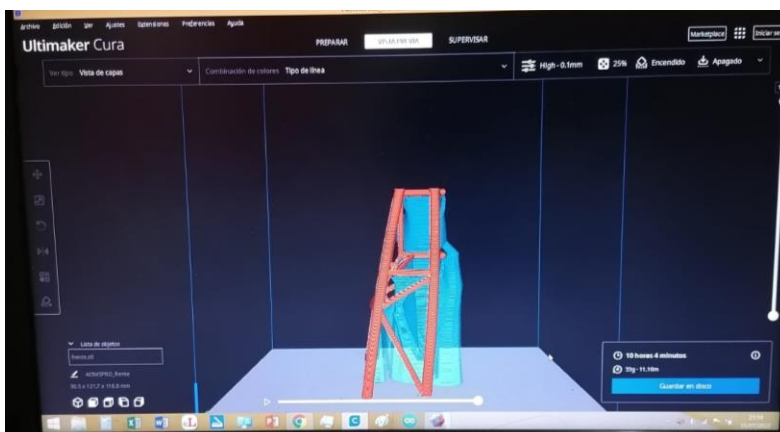
Servicio de Impresión 3D



Como se aprecia en la figura 42 el slicer de Ultimaker cura empaqueta la información de impresión específica para la impresora 3D y convierte el archivo en un código binario de extensión ".gcode".

Figura 42

Slicer Ultimaker Cura



3.2.2 Impresión SLA (Estereolitografía)

La impresora 3D SLA utiliza una resina líquida fotosensible como material de impresión. La resina se coloca en un tanque transparente que está ubicado en la parte inferior de la impresora. Un láser ultravioleta o una fuente de luz similar se dirige hacia la superficie de la resina, y donde el láser toca la resina, esta se solidifica y se forma la primera capa del objeto. La figura 43 muestra cómo se lleva a cabo la impresión 3D.

Figura 43

Impresión SLA



Después de la solidificación de la primera capa, la plataforma de construcción se mueve hacia arriba (o la impresora baja) en una pequeña distancia, y se aplica una nueva capa de resina líquida sobre la capa anterior. El láser o la fuente de luz vuelve a exponer la resina y endurece las áreas correspondientes a la siguiente capa. Este proceso se repite capa por capa hasta que se completa el objeto impreso.

Una vez que se ha impreso todo el modelo, la plataforma de construcción se retira del tanque de resina y el objeto impreso se lava para eliminar cualquier exceso de resina no solidificada.

3.2.3 *Proceso de Curado*

El curado es una etapa crítica en el proceso de impresión SLA, el curado final es necesario para asegurar que la resina esté completamente endurecida y estable, como muestra la figura 44 esto garantiza que el objeto impreso tenga la resistencia y la durabilidad adecuadas.

Figura 44

Proceso de Curado



3.2.4 *Etapa de Postprocesado*

El postprocesado de objetos impresos en resina, después de la impresión SLA, es una etapa donde se mejora la calidad y el acabado final del modelo. Se pueden añadir extensiones y otros elementos que mejoren el aspecto visual del producto final, la figura 45 muestra la maqueta ensamblada con sistemas de suspensión delantero y trasero.

Figura 45

Acabado Final del Modelo a Escala



3.3 Maqueta a Escala 1:1

La maquetaría de vehículos y prototipos tiene como objetivo validar el diseño, evaluar la estética, ergonomía y funcionalidad del vehículo antes de iniciar con el proceso de producción, estos prototipos se construyen para visualizar y evaluar físicamente el concepto del vehículo.

El primer paso consiste en seleccionar un espacio para construir la maqueta y como muestra la figura 46 con cinta de papel se bosqueja el área donde estará alineado cada uno de los componentes de la maqueta.

Figura 46

Designación de Área de Trabajo



Dentro del espacio de trabajo se asignan particiones debido a que la maqueta se divide en tres secciones: espacio para el motor, espacio para el piloto, espacio para anclaje de elementos de suspensión y dirección. Cada parte es cortada y ensamblada según los planos y diseños previos, asegurando que las líneas y las proporciones se mantengan fieles al diseño conceptual original.

Como se aprecia en la figura 47 el espacio asignado para el motor se construye con tubos de pvc con 1½” de diámetro, mediante el uso de pegamento para tubos se une los elementos de la estructura y finalmente se los une mediante cordones de alambre.

Figura 47

Construcción Sección del Motor



Para construir la sección que actúa de base para el espacio que corresponde al piloto se selecciona tubos de pvc con 1¼” de diámetro, como muestra la figura 48 con ayuda de cinta americana y cordones de alambre se fija los elementos asignados.

Figura 48

Construcción Sección del Piloto



La sección final corresponde al área frontal que sirve de anclaje para elementos de suspensión y dirección, como muestra la figura 49 los tubos pvc empleados poseen un diámetro de 1¼”.

Figura 49

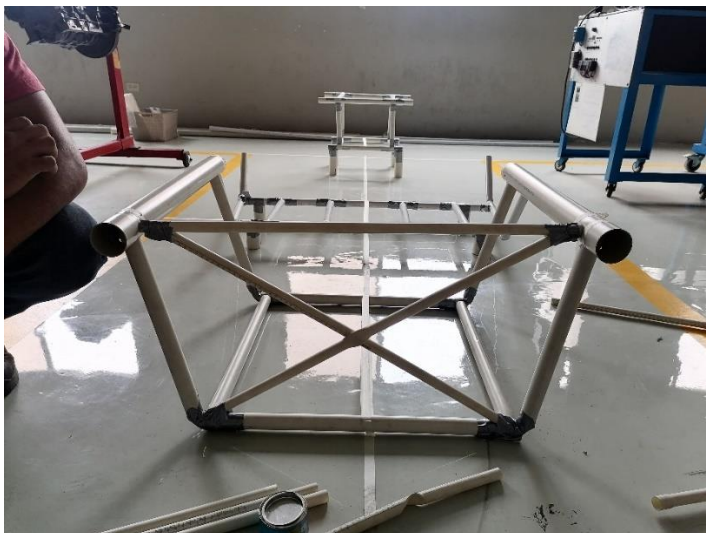
Construcción Sección Frontal



Ya construidas las tres secciones de la maqueta se procede a alinear las estructuras dentro del área marcada con la cinta de papel, la figura 50 muestra el proceso de alineación.

Figura 50

Colocación y Alineación de Elementos



Tal como muestra la figura 51 para restringir el desplazamiento de los elementos se emplea cinta americana para fijar con firmeza cada estructura dentro su área correspondiente.

Figura 51

Fijación de Elementos



El siguiente paso consiste en unir las secciones mediante tubos pvc de 2 ½” de diámetro, la figura 52 muestra los largueros que actúan como elementos de unión.

Figura 52

Unión de Soportes para la Estructura



Para asegurar la rigidez de la estructura es necesario triangular la estructura, en la figura 53 se muestra como con ayuda de un taladro se perfora las guías para cada elemento.

Figura 53

Perforación de los Puntos de Unión



La figura 54 muestra la forma en que cada inserción coincide con los puntos de referencia los cuales ayudaran a realiza la triangulación de nodos.

Figura 54

Fijación de Elementos de Unión



Con las guías listas tal como muestra la figura 55, se realiza la triangulación de nodos insertando tubos de 1¼" y fijándolos con firmeza mediante nudos de alambre.

Figura 55

Triangulación de Nodos



Por último, se sustituye las uniones que poseen cinta americana y se las reemplaza por nudos de alambre, la figura 56 muestra el acabado final de la maqueta a escala 1:1.

Figura 56

Revisión Final de Anclajes y Uniones



3.4 Construcción del Chasis Tubular

La construcción de un chasis tubular es un proceso que involucra la fabricación de la estructura principal de un vehículo o máquina utilizando tubos de acero u otros materiales tubulares. Estos chasis se utilizan comúnmente en vehículos todo terreno (como buggies, quads, motos y vehículos de competición) y en ciertos tipos de maquinaria. Antes de comenzar la construcción, se debe realizar un diseño detallado del chasis que permita asegurar la calidad, la seguridad y la durabilidad del chasis. Esto incluye establecer las dimensiones, la ubicación de los puntos de montaje para los componentes, la geometría general y otros detalles importantes.

3.4.1 Selección de Materiales

Los chasis tubulares generalmente se construyen utilizando tubos de acero de alta resistencia o aleaciones de aluminio. Para llevar a cabo la elección del material se considera factores como: el uso previsto, el peso del vehículo, la disponibilidad y el costo del material, en cuanto a la selección de los perfiles para los tubos de acero, se opta por un acero ASTM A36 el cual es un acero al carbono estructural ampliamente utilizado debido a su resistencia y versatilidad. Se eligen los perfiles adecuados según el diámetro, el espesor y las proporciones que se requieran para el diseño del chasis sin impactar negativamente en la viabilidad económica del proyecto. Dentro de la tabla 6 se describe los espesores, longitud y cantidad de tubos empleados.

Tabla 6

Tubos Estructurales ASTM A36

Tipo	Dimensiones		peso
	Diámetro	Espesor	Kg/6m
1"	25.40	1.20	4.32
1¼"	31.80	1.50	6.72
1½"	38.10	2.00	10.68
2 ½"	63.50	2.00	18.18

Tomado de: Dismetel Ec, 2023

3.4.2 *Proceso de Corte y Doblado de Tubos*

Los tubos se cortan en las longitudes necesarias según el diseño del chasis, se puede utilizar sierras, cortadoras eléctricas o herramientas similares para realizar los cortes. Las partes donde los tubos se unirán entre sí necesitarán prepararse para asegurar conexiones fuertes y precisas, esto implica cortes angulares, chaflanes o ranuras para una unión adecuada, tal y como se aprecia en la figura 57.

Figura 57

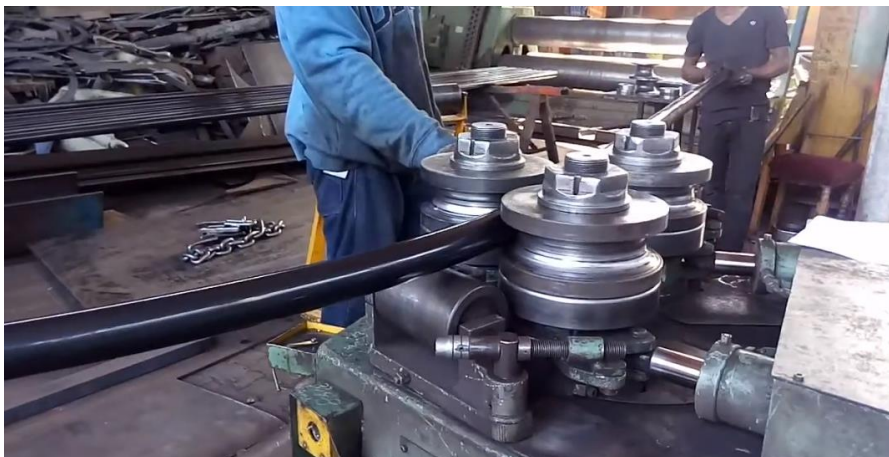
Corte de Tubos



Como muestra la figura 58 en el doblado de tubos de acero, se reconoce que ciertos materiales y espesores pueden ser más susceptibles a la formación de arrugas o fisuras. Por esto se debe considerar estos factores al seleccionar la técnica de doblado más apropiada.

Figura 58

Doblado de Tubos



3.4.3 *Proceso de Soldadura*

La mayoría de los chasis tubulares se ensamblan mediante soldadura. Como muestra la figura 59 y 60 los tubos se colocan en su posición y se sueldan para formar la estructura. Es importante al realizar las soldaduras se pueda garantizar la integridad estructural del chasis.

Figura 59

Proceso de Soldadura en Ensamble



Figura 60

Proceso de Soldadura en Estructura



Dependiendo del diseño y el uso previsto del chasis, es posible que se agreguen refuerzos y soportes adicionales para aumentar la resistencia y estabilidad. Estos pueden ser tubos adicionales o placas de refuerzo que se sueldan en puntos estratégicos del chasis.

Posteriormente se procede a soldar los largueros a las diferentes secciones de la estructura. Como muestra la figura 61 y 62 los tubos se colocan en su posición y se sueldan con cada elemento siempre salvaguardando la integridad estructural del chasis.

Figura 61

Proceso de Soldadura Integral



Figura 62

Proceso de Inspección Visual



Una vez que se completa la soldadura, se realiza una inspección visual para detectar defectos visibles como porosidad, grietas o desalineaciones. Además, se pueden realizar pruebas no destructivas, como pruebas de líquidos penetrantes o pruebas ultrasónicas, para detectar defectos internos.

Finalmente, como parte de la inspección de calidad final se lleva a cabo un monitoreo de control de calidad donde se realiza una revisión exhaustiva para detectar cualquier defecto en las soldaduras, verificar la integridad estructural y garantizar que el chasis cumpla con los estándares establecidos. La figura 65 muestra los resultados finales del proyecto de construcción del prototipo de chasis tubular del tipo auto de ruta, mientras que en la figura 66 se muestra el modelo a escala real junto con el bastidor terminado.

Figura 65

Acabado de la Estructura Tubular



Figura 66

Comparación entre la Maqueta Escala 1:1 y la Estructura Tubular



Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1 Interpretación de Resultados

Dentro del capítulo anterior se detalló la metodología donde se indican las pruebas de simulación que respaldan la construcción del prototipo de chasis tubular del tipo monoplaça, en este análisis correspondiente al proceso de diseño se debe tomar en cuenta los esfuerzos que debe soportar la estructura, las carga se designan según lo dictado por el reglamento de la RFDA, estos factores afectan combinaciones básicas, estructurales, por ende las consideraciones de diseño no deben exceder a los factores de cargas forzadas y respetando lo establecido en la normativa de la reglamentación.

El análisis correspondiente a los lugares donde fueron ubicadas cada una de las cargas sobre la estructura fija fueron las manguetas en las que permiten el alojamiento de las ruedas delanteras y en las bases de los soportes posteriores donde descansará el eje posterior, a estos cuatro puntos se los determina como puntos de anclaje. De esta manera se conjugan los valores estimados por carga muerta, carga viva junto a las cargas de impacto lateral y frontal, las mismas que fueron definidas y calculadas con anterioridad en el apartado 3.1.2 (ensayo de esfuerzo y deformación), para luego ser ejecutadas y generar de esta manera los resultados del análisis.

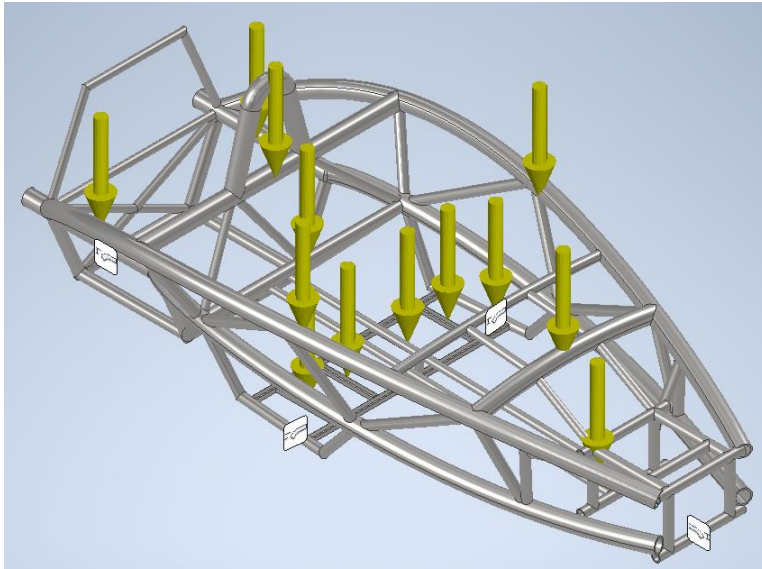
4.1.1 Descripción de Simulaciones

La descripción de combinación de factores con las cargas generadas sobre la parte estructural y aplicadas según el método de diseño de carga son seleccionadas de acuerdo con la reglamentación de la competencia basadas en la norma aplicada (reglamento CEAX de la RFEDA) que para el caso del presente estudio se determina de la siguiente manera: para carga muerta 12%, para carga viva 5% y para carga de giro 16%. Estos factores permiten saber qué parte de la estructura es más sensible a la deformación, mediante la simulación se determinan

las combinaciones individuales con menores valores de seguridad, y cuál es la parte que produce mayor deformación, como se puede observar en la figura 67 la cual corresponde a la simulación de sensibilidad de estructura.

Figura 67

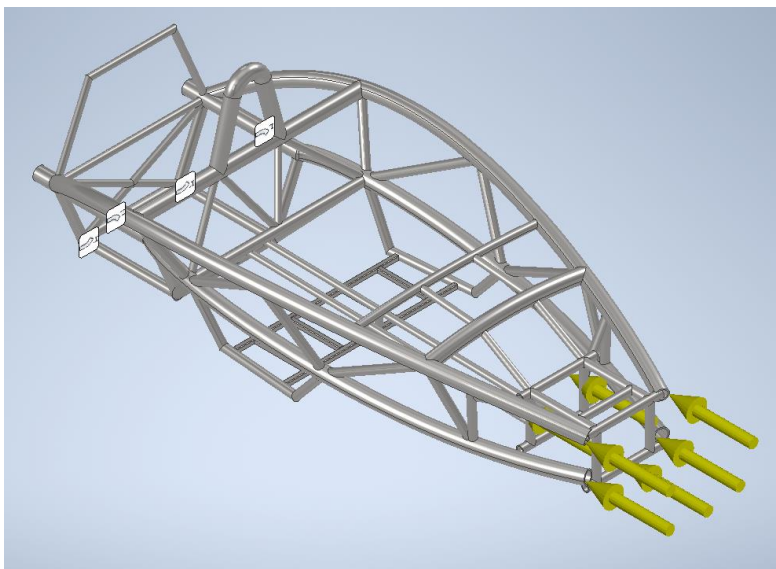
Simulación de Sensibilidad de Estructura



Cómo se puede observar en la figura 68 considerando las cargas descritas en el apartado 3.2.1 se establece las condiciones de simulación de impactos frontales sobre la estructura.

Figura 68

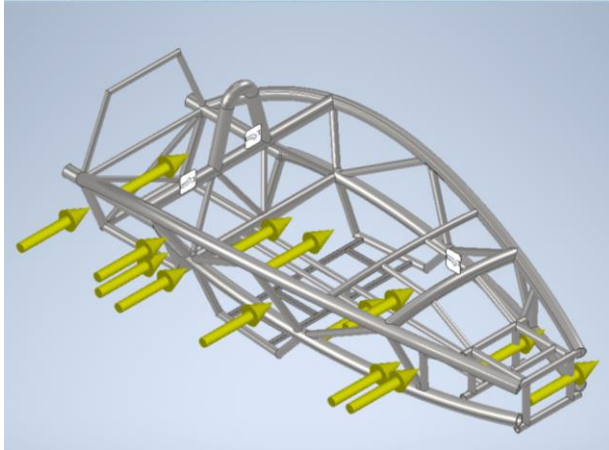
Simulación de Impacto Frontal



Cómo se puede observar en la figura 69 considerando las cargas descritas en el apartado 3.2.1 se establece las condiciones de a la simulación de impactos laterales sobre la estructura.

Figura 69

Simulación de Impacto Lateral

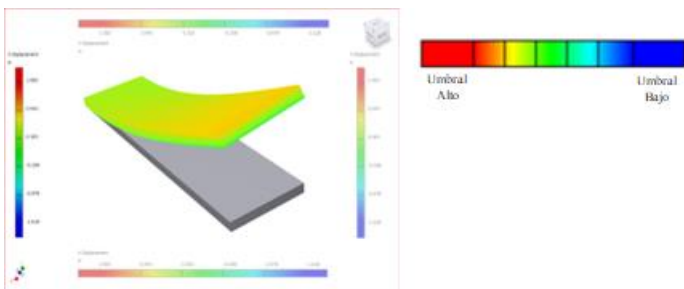


4.1.2 Resultados de Ensayos de Esfuerzo

Si el análisis revela áreas problemáticas, es posible que se requieran de ajustes al diseño antes de lograr una solución que cumpla con los requisitos de resistencia y seguridad. En la mayoría de los casos, los ensayos de esfuerzos realizados dentro de la simulación por parte del programa de Autodesk Inventor Profesional muestran en rojo tensiones o deformaciones altas, o un coeficiente de seguridad bajo. el efecto que genera las distintas cargas sobre la estructura se interpreta mediante el mapa de colores mostrado en la figura 70.

Figura 70

Mapa de Colores de Tensiones

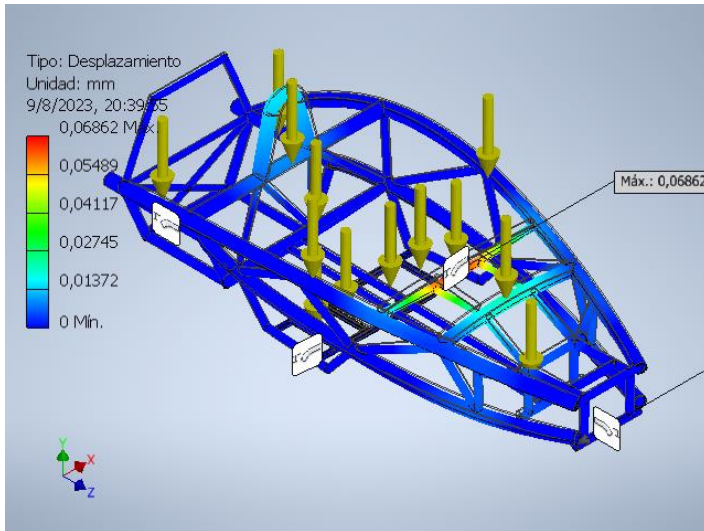


Tomado de: Autodesk Inventor

Cómo se puede observar en la figura 71 corresponde a los resultados de la simulación de cargas estáticas sobre la estructura.

Figura 71

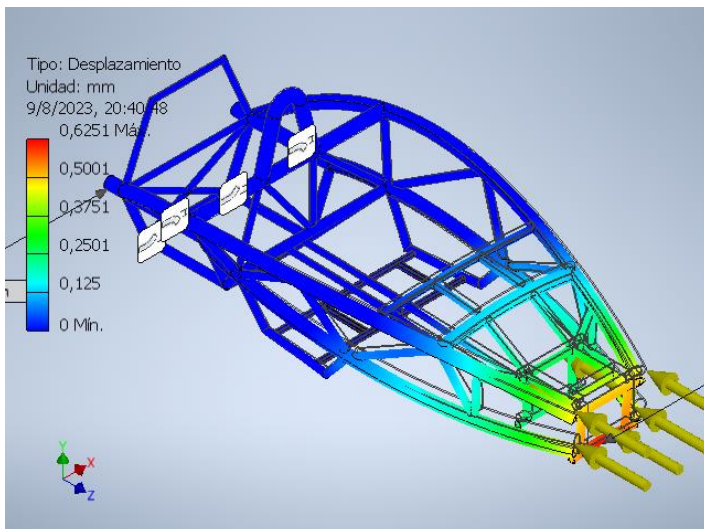
Simulación de Cargas Estáticas



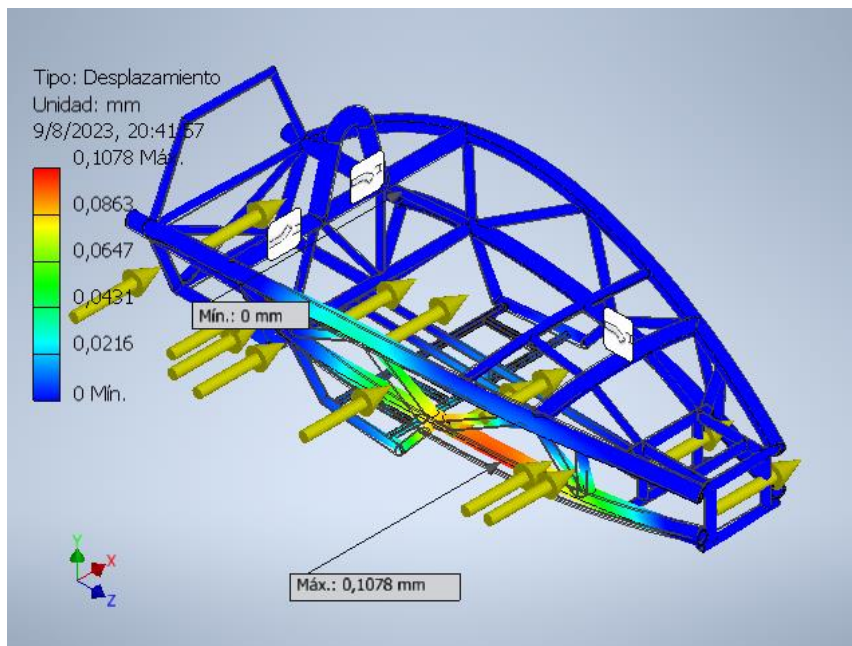
Cómo se puede observar en la figura 72 corresponde a los resultados de la simulación de impactos frontales sobre la estructura.

Figura 72

Simulación de Impacto Frontal

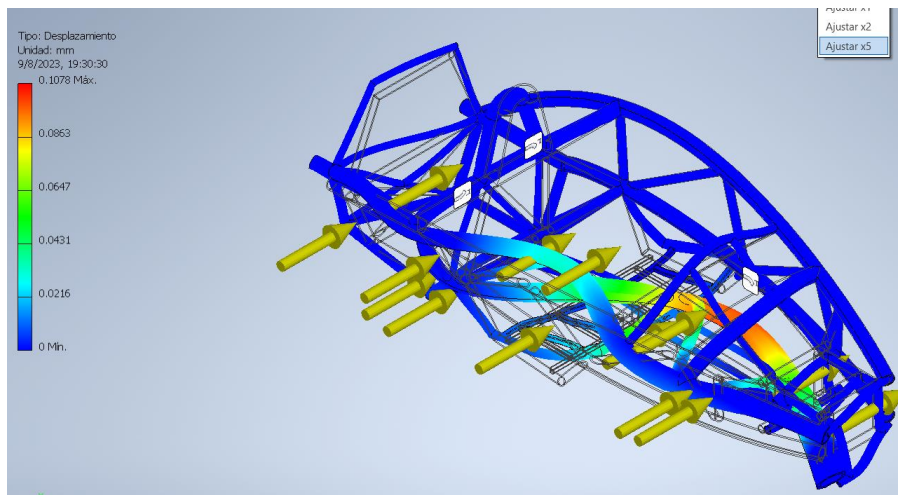


Cómo se puede observar en la figura 73 corresponde a los resultados de la simulación de impactos laterales sobre la estructura.

Figura 73*Simulación de Impacto Lateral***4.2 Observaci3n de Datos Presentes en las Pruebas Realizadas**

En última instancia, el análisis de tensi3n en Autodesk Inventor permite tomar decisiones informadas al diseñar productos o componentes, asegurándose de que cumplan con los estándares de calidad y confiabilidad necesarios para su aplicaci3n prevista. Comparando los datos de las diferentes pruebas se presenta visualmente a través de mapas de colores, donde destacan las áreas críticas que podran estar sujetas a tensiones excesivas. Se puede observar que las mayores deformaciones se producen en el caso de una colisi3n lateral, donde la secci3n con mayor carga es la parte frontal donde se albergan los sistemas de suspensi3n y direcci3n, por otro lado, las deformaciones presentes en el ancho de vía y la secci3n del piloto son relativamente menores y no comprometen el espacio de seguridad para el ocupante, por último, la secci3n donde se ubica el motor posee menos desplazamientos.

Tal como muestra la figura 74 con el objetivo de apreciar mejor estos resultados la escala de la visualizaci3n correspondiente a los desplazamientos de los elementos de la estructura se aument3 5 veces.

Figura 74*Desplazamientos en Caso de Impacto Lateral*

Una vez obtenidos los resultados se procede a verificar que los valores máximos de cada simulación no excedan los límites de fluencia (S_y) y cadencia (S_u) correspondientes al material seleccionado, acero estructural ASTM A36. También se verifica que los valores que se encuentran dentro de la tabla 7, no estén por debajo de la unidad en el caso de los coeficientes de seguridad.

Tabla 7*Resultados de Simulación de Esfuerzos*

Valores máximos	Simulaciones		
	Cargas muertas	Impacto lateral	Impacto frontal
Tensión Von Misses (Mpa)	10.11	163	100.2
Primera Tensión (Mpa)	6.5	128.3	56.72
Desplazamientos (mm)	0.068	322	72.68
Coficiente de seguridad	15	1.26	1.87

Tomado de: Informe de Ensayo de autodesk Inventor, 2023

Conclusiones

Se construyó un bastidor del tipo tubular funcional, confiable, seguro, económico, donde el proceso de diseño mecánico mantiene un equilibrio entre todas estas consideraciones técnicas, de modo que el proceso de construcción sea iterativo para permitir la adaptación y mejora continua a medida que se recolectaba más información y se comprenden mejor las necesidades y desafíos del proyecto.

Se investigó las normas necesarias que se involucran dentro la construcción de un chasis tubular en base a lo estipulado por el reglamento para autos carcass establecido por el reglamento CEAX de la Real Federación Española de Automovilismo, anexo 9 lineamiento 3 y 7. Además las cargas de simulaciones se establecen según la normativa la SAE – Students de la Society of Automotive Engineers en su apartado A9. Además, se detallan las fases de diseño, construcción y pruebas necesarias en un prototipo monoplace de tipo auto de ruta.

Se determinó que los procesos iterativos de diseño permiten adecuar una metodología de construcción funcional donde se retroalimente los datos obtenidos en las fases de diseño asistido por computadora, creación de maqueta a escala y maqueta a tamaño real; con la triangulación de nodos de la estructura dentro de su fase de construcción para garantizar un mayor grado de rigidez e integridad estructural los cuales son ventajas que se presentan durante las iteraciones del diseño.

Se verificó las condiciones de funcionamiento del prototipo mediante software de diseño tales como: Autodesk Inventor programa con herramientas CAD enfocado en el diseño digital y las herramientas CAE presentes en la versión de Autodesk Inventor Professional el cual se ocupa del análisis y la simulación para la ingeniería. Las pruebas otorgan factores de seguridad mayores a la unidad, con valores de 15 para cargas estáticas, 1.26 en caso de impacto lateral y 1.87 en caso de impacto frontales. Valores que se corroboran al poder ensamblar todos los elementos del vehículo con éxito sin comprometer la integridad del bastidor.

Recomendaciones

Con la finalidad de conseguir un Prototipo con mejores acabados se recomienda llevar a cabo un estudio con análisis estático para cada carga frontal y carga lateral, comprobando los datos del análisis de fatiga, tomando en cuenta la aerodinámica, junto a un estudio del centro de gravedad, etc.

La construcción de un chasis tubular requiere habilidades de soldadura y conocimientos en diseño y fabricación. Si no se tiene experiencia en este tipo de trabajo, es recomendable buscar la ayuda de profesionales o capacitarse adecuadamente antes de embarcarse en un proyecto de construcción de chasis tubular.

Tomar en cuenta todos los componentes importantes de un vehículo carcass, como los amortiguadores delanteros y traseros, la dirección, los frenos, el motor y la caja de cambios, para optimizar las iteraciones dentro del proceso de diseño

Identificar que componentes están directamente relacionados con el tamaño del bastidor tubular con la finalidad de trabajar conjuntamente en su construcción, para eliminar pérdidas de tiempo y costos innecesarios.

Bibliografía

- Barcelona Tech. (2020). *Diseño mediante programas de modelado 3D de un chasis tubular y posterior estudio de su comportamiento estructural*. Barcelona.
- Barros Calderón, F., & Cedeño Villamil, W. (2015). *Rehabilitación en la Carrocería del Vehículo Mazda 3 Aplicando*.
- Beer, & Jhonston . (2017). *Mecánica Vectorial: Dinámica*. Mc Graw Hill.
- Beer, F., & Johnston, R. (2017). *Mecanica Vectorial: Estatica*. Mc Graw Hill.
- Budynas Gordon, R., & Shigley , J. E. (2020). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- CEAX. (2023). *ANEXO 9: Reglamento Técnico Vehículos Car Cross*. España: Campeonato de España de Autocross.
- Chuan Yu, & Taehyun Shim. (2013). *Modeling of comprehensive electric drive system for a study of regenerative brake system*. American Control Conference, Washington, DC.
- Groover, M. (2008). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Martinez, I. (2017). *Diseño de un Bastidor Tubular para un Carcross*. E.T.S. de Ingeniería Industrial,.
- Mc. Cormac, J. C. (2011). *Análisis de Estructuras. Métodos Clásico y Matricial*. Alfaomega Grupo Editor.
- Motor en marcha*. (2019). *Mecánica Automotriz: Calculo de la Altura del Centro de Gravedad*.
<http://motorenmarcha.com/mecanica-automotriz-altura-del-centro-de-gravedad/>
- Reglamento Tecnico Carcross. (2023). *Campeonato de Autocross de la RFEDA*.
- Resendiz Cortez, H. (2020). *Mecánica del Cuerpo Rígido: Analisis de Bastidores*. Instituto Politécnico Nacional.
- Torres, V., & Carillo, K. (2021). *VALORACIÓN DE LAS DEFORMACIONES EN CARROCERÍAS DE VEHÍCULOS*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.

Velasco Manrique, J., & Ingelmo Gómez, M. (2019). *Estructura tubular de vehículo eléctrico urbano con altas.*

Vera Puebla, E., & Peña Pinargote, A. (2019). *Ergonomía para pilotos de monoplaça.*
Colloquium.

