

EDICIÓN I

DISEÑO DE ESTRUCTURAS TUBULARES

Benitez León Anderson Javier | Díaz Vivanco Angel Santiago | Granda Morocho
Luis Darío | Santin Torres Eddy Xavier

Diseño de Estructuras Tubulares

Autores

Eddy Santín

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano – Loja

Anderson Benítez

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

Santiago Díaz

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

Luis Darío Granda

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano – Loja

El presente trabajo fue realizado con el financiamiento apoyo y afiliación del Instituto
Superior Tecnológico Sudamericano

La presente obra fue revisada por 2 pares académicos externos ciegos conforme al proceso editorial del Centro de Investigación Latinoamericano para el Desarrollo e Innovación CILADI.

Los rigurosos procedimientos editoriales de CILADI garantizan la selección de manuscritos por sus aportes significativos al conocimiento y cualidades científicas. Todas las obras publicadas por CILADI cuentan con ISBN y se encuentran disponibles en la web (www.ciladi.org)



Centro de Investigación Latinoamericano
para el Desarrollo e Innovación

Guayaquil- Ecuador

<https://ciladi.org/>

AÑO 2024

Copyright © 2024

Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9942-7217-8-5

Prólogo

La importancia de este libro radica en su enfoque integral y multidisciplinario, que abarca desde los fundamentos históricos y teóricos hasta las aplicaciones prácticas más avanzadas. Comprender y aplicar correctamente los principios de diseño y fabricación de bastidores automotrices es una competencia esencial para ingenieros y profesionales del sector y uno de los impactos más significativos de esta obra es su capacidad para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica. Al proporcionar una guía detallada y metodológica, este libro no solo educa sobre los principios fundamentales, sino que también equipa a sus lectores con las herramientas necesarias para aplicar estos conocimientos en situaciones reales. Esto es particularmente relevante en el contexto de la industria automotriz moderna, donde la capacidad de innovar y mejorar continuamente es vital para mantenerse competitivo.

Como recurso académico, este libro tiene el potencial de convertirse en una referencia indispensable en programas de ingeniería mecánica y automotriz. Su enfoque detallado y didáctico facilita la comprensión de conceptos complejos y fomenta un aprendizaje activo y aplicado, preparando a las nuevas generaciones de ingenieros para enfrentar los desafíos futuros de la industria.

En términos de impacto práctico, "Diseño, Cálculo y Fabricación de Bastidores Automotrices" también ofrece una guía valiosa para profesionales que buscan optimizar sus procesos de fabricación y diseño. Al detallar cada etapa del proceso, desde la adquisición de materiales hasta los controles de calidad, la obra proporciona un marco de referencia completo para garantizar que los bastidores producidos cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad.

PhD. Antonio Poveda

Editor

Índice de Contenidos

Índice de Contenidos	6
Índice de Figuras	9
Índice de Tablas.....	14
CAPÍTULO I.....	17
INTRODUCCIÓN A LOS BASTIDORES	18
Antecedentes	18
Evolución del Bastidor	20
Avances Tecnológicos.....	24
Tipos de Bastidores	25
Bastidor Independiente	25
Bastidor de Plataforma	30
Carrocería Autoportante o Monocasco	31
Bastidor Tubular	34
Materiales	35
Normativas Referentes al Diseño de Bastidores	37
Disposiciones Generales	38
La Estabilidad	39
El Confort	39
El Mantenimiento	39
La Seguridad.....	39
Método de Anclaje y Montaje	40
Estructura	40
CAPÍTULO II.....	41
CÁLCULO BÁSICO DE ESTRUCTURAS	41
Objetivos del Capítulo.....	41
Introducción a la Estática	41
Conceptos Fundamentales.....	42
Longitud.....	42
Espacio.....	42
Tiempo.....	43
Masa.....	43
Fuerza	43
Las Tres Leyes del Movimiento de Newton	43
Primera Ley	43

Segunda Ley	44
Tercera Ley	44
La Ley de Gravitación de Newton.....	45
Sistema de Unidades	46
Sistema Internacional de Unidades.....	46
Unidades de Conversión.....	47
Escalar y Vectores	47
Escalar	47
Vectores	47
Operaciones con Vectores	48
Suma de un Sistema de Fuerzas	50
Resultante de Fuerzas	51
Momento de una Fuerza con Respecto a un Punto	53
Criterios Para el Diseño de un Bastidor Automotriz.....	55
Normativas Para el Diseño de Buggies	57
Cargas Presentes en un Bastidor de un Buggy.....	57
Dimensiones Base para el Chasis de un Buggy	58
Especificaciones F.I.A para el Diseño del Bastidor.	59
Principales Esfuerzos y Cargas Soportados por el Chasis	62
Flexión Vertical	62
Flexión Lateral.....	63
Torsión Longitudinal	64
CAPÍTULO III	65
DISEÑO CAD Y ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS.....	65
Selección de Programas de CAD y Simulación	66
SolidWorks®, CATIA®, Inventor® y AutoCAD®.....	66
Ventajas y Desventajas de Usar SolidWorks®, CATIA®, Inventor® y AutoCAD ®	67
Consideraciones Preliminares al Diseño CAD.....	69
Definición de Objetivos de Diseño.....	69
Requisitos Reglamentarios y de Competencia	69
Benchmarking y Análisis de Diseños Previos	69
Selección de Materiales y Procesos de Fabricación en el Diseño de Buggies de Competencia	70
Análisis de Cargas y Escenarios de Uso.....	72
Consideraciones de Seguridad y Ergonomía	72
Creación de Prototipos y Pruebas Iniciales	73

Consideraciones Avanzadas en el Diseño CAD y FEA.....	73
Optimización Topológica	73
Fatiga y Durabilidad	74
Validación Experimental	74
Innovación en Materiales.....	75
Integración de Diseño y Fabricación	75
Simulaciones de Elementos Finitos para Estructuras Tubulares.....	76
Miembro Estructural.....	76
Proceso de Simulaciones de Elementos Finitos (FEA) y Su Aplicación	79
Modelado Geométrico Preciso	79
Definición de Condiciones de Frontera y Cargas	80
Propiedades de los Materiales y su Impacto en la Simulación FEA	80
Análisis Estructural.....	80
Limitaciones y Desafíos	85
Análisis de Simulación	86
Simulación en un Sistema Ideal Para Buggy	89
CAPÍTULO IV.....	95
PROCESOS DE MANUFACTURA DE BASTIDORES TUBULARES	95
Fabricación	95
Adquisición de Materia Prima.....	95
Proceso de Manufactura - Cortes.....	100
Proceso de Manufactura Doblado.....	105
Preparación De Los Tubos	105
Corte de Bocas de Pescado.....	111
Desarrollo de Estructuras Auxiliares	116
Proceso de Unión de los Tubos Cortados	122
Control de Calidad de la Soldadura	127
Preparación del Proceso de Control de Calidad	128
Ensayos no Destructivos NDT	128
Protección de la Estructura.....	131
Preparación de la Superficie	131
Protección Contra Impactos y Vibraciones	135
Conclusiones	137
Trabajos Futuros.....	139
Bibliografía	141

Índice de Figuras

Figura 1.....	20
Chasis con bastidor en escalera de 1920	20
Figura 2.....	21
Carrocería de madera 1928	21
Figura 3.....	22
Chasis con travesaños en forma de cruz.....	22
Figura 4.....	23
Bastidor de vehículos modernos	23
Figura 5.....	26
Bastidor independiente	26
Figura 6.....	27
Bastidor en columna.....	27
Figura 7.....	28
Bastidor perimétrico o perimetral	28
Figura 8.....	29
Ejemplo de bastidor independiente	29
Figura 9.....	31
Bastidor de plataforma	31
Figura 10.....	32
Carrocería autoportante	32
Figura 11.....	33
Ejemplo de carrocería.....	33
Figura 12.....	34
Bastidor tubular	34
Figura 13.....	42
Representación gráfica de distancia entre dos puntos	42
Figura 14.....	44

Equilibrio de una partícula.....	44
Figura 15.....	44
Representación de la segunda ley del movimiento de Newton.....	44
Figura 16.....	45
Representación de la tercera ley del movimiento de Newton.....	45
Figura 17.....	45
Representación de la ley de gravitación de Newton.....	45
Figura 18.....	48
Representación de un vector.....	48
Figura 19.....	49
Representación del método del paralelogramo para la suma de vectores.....	49
Figura 20.....	49
Representación del método del paralelogramo para la resta de vectores.....	49
Figura 21.....	50
Componentes de fuerza en el eje X y de dos dimensiones.....	50
Figura 22.....	51
Componentes de fuerza en el eje X, Y Z de tres dimensiones.....	51
Figura 23.....	52
Representación de tres vectores de fuerza en el espacio.....	52
Figura 24.....	52
Descomposición de los vectores en sus componentes rectangulares.....	52
Figura 25.....	54
Momento de una fuerza con respecto a un punto.....	54
Figura 26.....	56
Diseño base de un bastidor de un Buggy.....	56
Figura 27.....	59
Barra antivuelco principal del chasis.....	59
Figura 28.....	60
Barra antivuelco delantera del chasis.....	60
Figura 29.....	60

Largueros de unión superior del chasis.	60
Figura 30.....	61
Largueros de unión de barras antivuelco principal y frontal.....	61
Figura 31.....	62
Miembros transversales de unión.....	62
Figura 32.....	62
Flexión vertical de un chasis automotriz.....	62
Figura 33.....	63
Flexión lateral de un chasis vehicular.....	63
Figura 34.....	64
Torsión longitudinal de un chasis vehicular.....	64
Figura 35.....	64
Momentos de torsión aplicados en el chasis de buggy.....	64
Figura 36.....	65
Introducción a los diseños CAD monocasco tipo buggy	65
Figura 37.....	70
Benchmarking y Análisis de Diseños Previos	70
Figura 38.....	77
Mallado de un múltiple de escape de un automóvil	77
Figura 39.....	78
Etapas en el análisis de validación de comportamientos mecánicos.....	78
Figura 40.....	81
Selección del material desde el gestor de diseño	81
Figura 41.....	82
Jaula antivuelco de un vehículo Tesla Model3	82
Figura 42.....	87
Análisis de impacto frontal mediante elementos finitos	87
Figura 43.....	88
Análisis de estático de esfuerzos en un chasis monocasco de F1	88
Figura 44.....	89

Análisis de esfuerzos en un chasis monocasco de F1	89
Figura 45.....	91
Análisis de temperatura aplicado a un buggy.....	91
Figura 46.....	95
Proceso de fabricación del chasis.....	95
Figura 47.....	99
Secciones principales del chasis.....	99
Figura 48.....	99
Costura en el tubo de acero	99
Figura 49.....	101
Designación de los elementos tubulares del chasis	101
Figura 50.....	102
Proceso de corte con disco	102
Figura 51.....	103
Proceso de corte laser.....	103
Figura 52.....	104
Clasificación de los elementos tubulares	104
Figura 53.....	105
Coquizado y diseño 3D	105
Figura 54.....	106
Dobladora manual	106
Figura 55.....	106
Dobladora manual	106
Figura 56.....	107
Dobladoras eléctricas CNC.....	107
Figura 57.....	108
Dobladora hidráulica puntual.....	108
Figura 58.....	108
Matrices de doblado	108
Figura 59.....	109

Extracción de matrices guía	109
Figura 60.....	110
Barra doblada	110
Figura 61.....	111
Uniones de tubo.....	111
Figura 62.....	112
Uniones complejas	112
Figura 63.....	113
Matrices generadas en software CAD	113
Figura 64.....	114
Matrices individual.....	114
Figura 65.....	114
Inspección de cortes	114
Figura 66.....	115
Cortadora de tubo	115
Figura 67.....	116
Proceso de la cortadora de tubo.....	116
Figura 68.....	117
Estructuras tubulares	117
Figura 69.....	118
Diseño de estructura auxiliar	118
Figura 70.....	119
Plantillas de ubicación del chasis	119
Figura 71.....	120
Metrología de precisión para elementos simétricos	120
Figura 72.....	121
Estructuras auxiliares	121
Figura 73.....	123
Proceso de soldadura.....	123
Figura 74.....	124

Proceso Brazing.....	124
Figura 75.....	125
Abrazaderas de tubo	125
Figura 76.....	125
Perfiles de refuerzo.....	125
Figura 77.....	126
Elementos adicionales de la estructura.....	126
Figura 78.....	130
Prueba de penetrantes fluorescentes.....	130
Figura 79.....	134
Aplicación de fondo	134

Índice de Tablas

Tabla 1	47
Sistema de unidades	47
Tabla 2	47
Factores de conversión	47
Tabla 3	58
Peso estimado de los elementos que componen un buggy.....	58
Tabla 4	59
Dimensiones base para un buggy.....	59
Tabla 5	68
Ventajas y desventajas de usar los programas para CAD	68
Tabla 6	83
Subdivisión de materiales.....	83
Tabla 7	89
Tensión axial y de flexión en el límite superior.....	89
Tabla 8	90
Desplazamiento generado en un buggy.....	90

Tabla 9	93
Estudios Comparativos y Análisis de Diseños Anteriores	93
Tabla 10	96
Medidas de tubos de acuerdo a la sección del vehículo	96
Tabla 11	97
Especificaciones de materiales de acuerdo a la Norma FSAE 2023	97
Tabla 12	97
Medidas de tubos de acuerdo al tipo de material utilizado.	97
Tabla 13	122
Tipos y características de la soldadura	122
Tabla 14	135
Proporciones de elementos en la pintura	135

Resumen

El contenido del libro aborda de manera integral el proceso de diseño, cálculo, análisis y fabricación de los bastidores automotrices, fundamentales para la estructura y seguridad de los vehículos tubulares. En el Capítulo I, se proporciona una introducción detallada que abarca desde los antecedentes históricos hasta los avances tecnológicos más recientes en la evolución de los bastidores. Se exploran los diversos tipos de bastidores, desde los tradicionales independientes hasta los más modernos y livianos, como los bastidores tubulares, junto con las normativas y consideraciones de diseño esenciales como estabilidad, confort y seguridad.

El Capítulo II se sumerge en el cálculo básico de estructuras, partiendo desde los conceptos fundamentales de la estática hasta las leyes de Newton aplicadas al diseño de bastidores. Se destacan los criterios específicos para el diseño de buggies, detallando las cargas y esfuerzos que enfrentan, como la flexión y torsión, así como las dimensiones base para el chasis de estos vehículos.

Siguiendo con el Capítulo III, el enfoque se traslada al diseño asistido por computadora (CAD) y el análisis de elementos finitos (FEA), utilizando software de vanguardia como SolidWorks y CATIA. Se abordan las etapas desde la definición de objetivos de diseño hasta la validación experimental, incluyendo aspectos avanzados como la optimización topológica y las simulaciones de elementos finitos específicas para estructuras tubulares.

En el Capítulo final IV, cubre los procesos de fabricación de bastidores tubulares, desde la adquisición de materia prima hasta la protección final de la estructura. Se detallan los pasos de fabricación, incluyendo cortes, doblado y unión de tubos, así como los controles de calidad necesarios, como ensayos no destructivos. Este texto ofrece una guía exhaustiva para el diseño y la fabricación de bastidores automotrices, destacando la importancia crítica de la ingeniería estructural y la aplicación de tecnología avanzada en la industria automotriz moderna.

Abstract

The content of the book comprehensively addresses the process of design, calculation, analysis, and manufacturing of automotive frames, which are fundamental for the structure and safety of tubular vehicles. In Chapter I, a detailed introduction is provided, covering everything from historical backgrounds to the latest technological advancements in the evolution of frames. Various types of frames are explored, from traditional independent frames to more modern and lightweight ones such as tubular frames, along with essential design considerations like stability, comfort, and safety.

Chapter II delves into the basic calculation of structures, starting from fundamental concepts of statics to Newton's laws applied to frame design. Specific design criteria for buggies are highlighted, detailing the loads and stresses they encounter, such as bending and torsion, as well as the basic dimensions for the chassis of these vehicles.

Following this, Chapter III shifts the focus to computer-aided design (CAD) and finite element analysis (FEA), using cutting-edge software like SolidWorks and CATIA. The stages from defining design objectives to experimental validation are addressed, including advanced aspects such as topological optimization and finite element simulations specific to tubular structures.

In the final Chapter IV, the manufacturing processes of tubular frames are covered, from raw material acquisition to the final protection of the structure. The manufacturing steps, including cutting, bending, and joining of tubes, as well as the necessary quality controls, such as non-destructive testing, are detailed. This text offers a comprehensive guide for the design and manufacturing of automotive frames, highlighting the critical importance of structural engineering and the application of advanced technology in the modern automotive industry.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LOS BASTIDORES

Antecedentes

En el transcurso de los años se han utilizado muchos diseños de bastidor; dos de los más comunes son el de escalera y el perimetral. El tipo de escalera se ha utilizado siempre en camiones pesados. El tipo perimetral se utiliza en algunos automóviles grandes y la mayoría de las camionetas, pues su perímetro ofrece máxima protección para los ocupantes y la carrocería en caso de choque de costado. Con este bastidor, que es un poco más ancho, se logra una estabilidad un poco mayor para el vehículo.

Un bastidor o chasis (que es parte de un chasis, pero es más conocido como tal por su importancia en el chasis), es una estructura compuesta por largueros (vigas longitudinales) y travesaños (vigas transversales) a la que de una forma u otra se deben fijar todos los elementos y grupos mecánicos que conforman un automóvil, como el motor, los grupos de transmisiones, los ejes de carrocerías, etc. (Rodríguez, 2018)

Se llama bastidor en los vehículos a aquella estructura rígida donde se fijan de una u otra forma, tanto la carrocería como los distintos elementos y grupos mecánicos que componen un vehículo (motor, elementos del sistema de transmisión, suspensión, etc.).

El bastidor de los vehículos, además de soportar el peso de todos estos elementos y partes que componen a un vehículo automóvil, también deberá soportar las sobrecargas de uso que incluyen, además del peso propio de la carga que transporte y de los ocupantes del vehículo, las cargas dinámicas e inerciales originadas por el funcionamiento de los distintos elementos y por el propio movimiento del vehículo.

En su forma más elemental, tal como se muestra en la figura adjunta, el bastidor de un vehículo lo puede constituir un conjunto formado por dos elementos longitudinales situados simétricamente a ambos lados del eje longitudinal del vehículo, llamados largueros, que están unidos transversalmente por medio de otras estructuras más cortas, en número variable, denominadas travesaños. (Rodríguez, 2018)

Los vehículos convencionales son de construcción muy pesada y costosa. Por tanto, el empleo de bastidor convencional se limita a vehículos como automóviles todoterreno, vehículos deportivos utilitarios, camiones y en la mayoría de las camionetas grandes y algunas de las camionetas livianas, así como varios automóviles estadounidenses.

Como el bastidor es el elemento estructural del vehículo, debe soportar el peso y los esfuerzos de cada componente y el de la carga que soporta. El diseño de carrocería con bastidor convencional o independiente permite que el bastidor se flexione o se tuerza con la carga. Por ejemplo, un camión puede llevar una carga pesada cuando transita en suelo disparejo en una obra de construcción.

Todos los bastidores, convencionales o unitarios, son más estrechos en la parte delantera a fin de permitir que las ruedas puedan girar a los lados con el vehículo en marcha y, de todos modos, mantener la misma rodada (distancia entre ruedas) que en las ruedas traseras. La mayor anchura del bastidor en la parte trasera distribuye el peso de la carrocería y la carga más cerca de las ruedas traseras para dar mayor estabilidad.

En efecto, el hacer la carrocería independiente del bastidor facilita el montaje y la construcción de los distintos órganos mecánicos, y posibilita el cambio frecuente del tipo de carrocería. Como es sabido, los fabricantes norteamericanos ofrecen cada año nuevos modelos

de carrocerías de todos sus fabricados, que normalmente conservan el bastidor y adoptan una nueva carrocería. Esta facilidad de reacción no sería posible con carrocerías autoportantes, en las que las modificaciones importantes de la misma pueden afectar a la resistencia estructural del conjunto. (Rodríguez, 2018)

Evolución del Bastidor

La configuración estándar se estableció en construir el vehículo separando la carrocería sobre el chasis que incorpora todos los componentes mecánicos, cuya principal ventaja era la de adaptar nuevos estilos de carrocería mucho más fácilmente. El bastidor del chasis consistía en un marco en escalera plana como se muestra en la figura 1, que incorporaba dos secciones abiertas que son las vigas laterales del bastidor que recorre la longitud total del vehículo, conectado entre sí por miembros de sección transversal y remachados a 90° de las vigas laterales, todo esto fue considerado la estructura del coche.

Figura 1

Chasis con bastidor en escalera de 1920



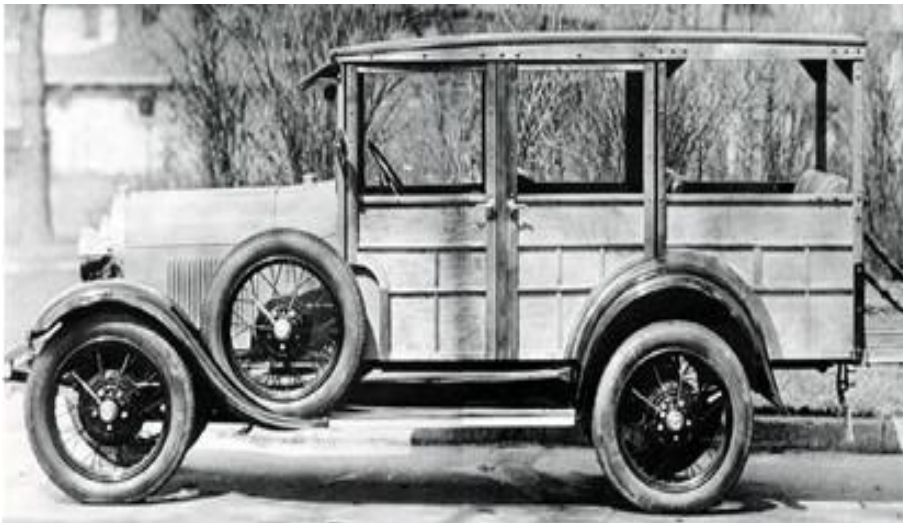
Nota. La figura representa un chasis de 1920 con bastidor en escalera y miembros de sección abierta. Adaptado de El Chasis: La importancia de lo que no se ve [Fotografía], por Actualidad Motor, 2021.

El bastidor del chasis de la época era particularmente flexible a la torsión, fue quizás debido a que las carrocerías en la década de 1920 eran construidas de madera por carpinteros una muestra de esta carrocería se muestra en la figura 2. Tener un buen diseño de torsión es importante para asegurar la maniobra adecuada del vehículo, evita vibraciones no deseadas y

problemas de incompatibilidad entre la carrocería y el bastidor. En ese momento, se creía que la carrocería no soportaba ninguna de las cargas de carretera, únicamente se consideraba el peso propio del cuerpo, los pasajeros y la carga útil, por lo tanto, no eran diseñadas para ser soporte de carga.

Figura 2

Carrocería de madera 1928

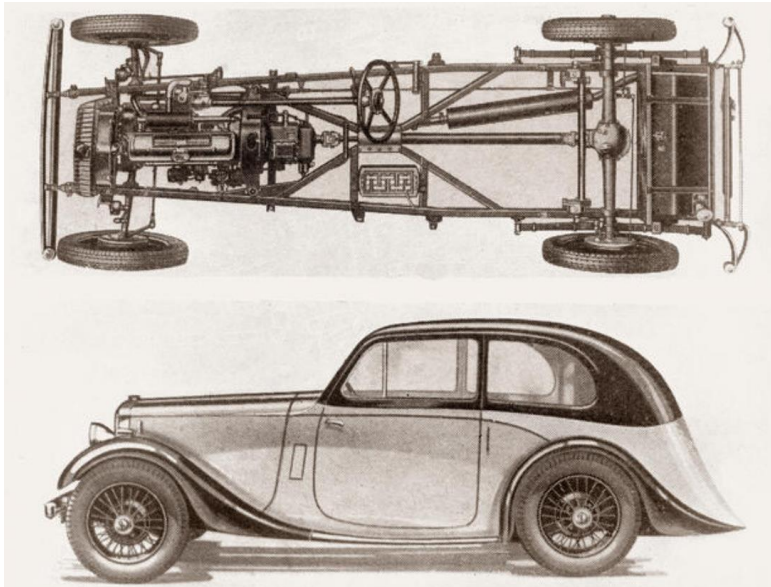


Nota. La figura representa la carrocería de madera típica de los años 20. Adaptado de Camionetas Station Wagon en madera 1928 - 1953 [Fotografía], por Carros y Clásicos, 2021.

En 1929 la estructura del chasis aún se realizaba con elementos de perfiles abiertos, y todavía era considerada como la estructura del vehículo. Sin embargo, una proporción mayor de la carga fue tomada a través de la carrocería lo que dio como resultado problemas de contacto entre la carrocería y el bastidor. Para minimizar este problema se añadieron soportes flexibles (elastómero) entre el chasis y la carrocería, los cuales actuaban como resortes de torsión alrededor del eje longitudinal del vehículo. Además, para mejorar la rigidez torsional se usaron refuerzos en el chasis con travesaños en forma de cruz tal como se muestra en la figura 3. (Scharff, 1999)

Figura 3

Chasis con travesaños en forma de cruz



Nota. La figura representa un chasis con travesaños en forma de cruz de un modelo Lagonda Daimler. Adaptado de Un coche y el chasis. [Fotografía], por Alamy Stock, 2019.

En el año de 1938 se demostró que la unificación de la estructura del vehículo, chasis y carrocería dio nacimiento a la fabricación de vehículos más ligeros y con mucha mayor resistencia a la torsión. Actualmente, la estructura moderna es integral y es soldada por puntos presionados de chapa metálica. La rigidez de torsión subió de 934 Nm/grado para vehículos con chasis y carrocería separados y 3390 Nm/grado para el cuerpo integral. (Scharff, 1999)

En los años desde 1950 a 1980 se ve una evolución fija en el diseño de los automóviles, pero orientándose a vehículos ya de competencia, el modelo integrado de chasis y carrocería es notable. En 1965 se inició una revolución ya que en las carrocerías incluyen un portón posterior que permite crear automóviles con ventajas para el turismo y la practicidad de carga de una furgoneta.

Desde la crisis energética del año 1973 y la subida continua del combustible, el automóvil empieza a diseñarse únicamente pensando en la practicidad de este, primando dicha característica hasta los años 80. Una década más tarde en los 90 el diseño vuelve a estar en

moda, y la carrocería y el chasis empiezan a construirse empleando materiales como el acero y el aluminio.

Figura 4

Bastidor de vehículos modernos



Nota. La figura representa la estructura integral de vehículos modernos, compuesto por derivados de acero y aluminio. Adaptado de Bastidor de los vehículos. [Fotografía], por Central de Repuestos TR, 2022.

En la actualidad, se realizan estructuras integrales modernas ligeras, ello como resultado de cambiar el material de fabricación (acero) por otros más livianos como el aluminio o compuestos de plástico. El diseño y construcción de una estructura integral realizado correctamente es capaz de soportar la torsión, flexión y otras cargas sin generar problemas. Los valores típicos de torsión en automóviles modernos integrales son de 8000 – 10000 Nm/grado para sedanes y más alto alrededor de 12000 a 15000 Nm/grado para los vehículos de lujo. (Scharff, 1999)

Avances Tecnológicos

Las pruebas de robotización de la conducción están teniendo éxito. Las marcas más punteras están haciendo pruebas de conducción autónoma y todo parece apuntar a que el futuro deparará sistemas de conducción en el que los ocupantes de los autos serán más ocupantes que conductores. (Blume, 2019)

En el futuro será posible aparcar a distancia mediante un mando. Los vehículos llevan un parachoques casi de adorno y cada vez más integrado en la carrocería. La posición del conductor raramente permite ver y calcular de manera fácil la distancia a otros vehículos a la hora de aparcar.

Cuando se trata de las principales tendencias que actualmente ocupan la industria de la automoción, la atención se centra normalmente en los sistemas de accionamiento, el software y los sensores. Con toda la razón, ya que estos componentes son esenciales para lograr soluciones de movilidad innovadoras, interconectadas y sustentables. Sin embargo, a menudo no se menciona otro factor decisivo: los desarrollos actuales y los requisitos establecidos convergen en el chasis. (Scharff, 1999)

El chasis determina, sobre todo, la sensación de conducción, la dinámica de conducción y también la seguridad. "ZF se encuentra en una situación única en la industria: somos el único proveedor con los actuadores para controlar exhaustivamente todas las dimensiones de la dinámica del vehículo. (Blume, 2019)

Actualmente los bastidores tradicionales están prácticamente en desuso salvo contadas excepciones como, por ejemplo, algunos vehículos todo terreno puro, que suelen utilizar un bastidor en forma de escalera. El cálculo de las secciones necesarias debe hacerse con prudencia, reduciendo las cargas de seguridad a 1/20 de las resistencias normales a la tracción

estática. Con estas características y perfiles se consiguen los objetivos de buena resistencia a las solicitaciones y poco peso, así como facilidad de anclaje de los diversos órganos.

En su forma más clásica el bastidor está formado por dos largas piezas paralelas, denominadas largueros, unidas entre sí por una serie de travesaños dispuestos separadamente o en forma de cruz para ganar en robustez (es la denominada forma de escalera). Tanto los largueros como los travesaños van provistos de los anclajes de los diversos órganos (motor, suspensión carrocería, etc.).

Tipos de Bastidores

Bastidor Independiente

Los primeros diseños de bastidores se basaban en el conjunto formado por dos largueros longitudinales laterales, fabricados de chapa laminada con perfil cajado o en "C", enlazados entre sí mediante travesaños, constituyendo una base sobre la que se montan los órganos mecánicos y la carrocería del vehículo. Este tipo de bastidor presenta una gran rigidez, por lo que hoy en día todavía son ampliamente utilizados en camiones de carga, furgones ligeros y en vehículos todo terreno. (Rodríguez, 2018)

Figura 5

Bastidor independiente



Nota. La figura representa un ejemplo de bastidor independiente, Rodríguez, 2018.

Cuando sobre el bastidor se han montado todos los elementos mecánicos del vehículo (motor, elementos del sistema de transmisión, suspensión, etc.), entonces a este conjunto se le denomina "chasis". Por otro lado, se llama "carrocería" o latonería a aquella otra parte del vehículo sobre la que reposan los pasajeros o la carga, constituyendo la parte exterior vista del vehículo. Es decir, la carrocería constituye la envoltura externa del vehículo, careciendo normalmente de funciones estructurales y de resistencia.

El tipo de bastidor independiente está constituido por una estructura o armazón de acero compuesta por dos largueros longitudinales unidos mediante travesaños soldados, atornillados o remachados, dispuestos transversal o diagonalmente. (Rodríguez, 2018)

Los bastidores suelen diseñarse con diferentes formas y geometría, con objeto de poder adaptarse a los diversos requerimientos (resistencia, distribución especial de carga, flexiones y torsiones elevadas...) en función de la tipología y uso del vehículo donde van a ser montados.

En este sentido y para mayor información, caben destacar los siguientes modelos de bastidores de tipo independiente:

Bastidor en Columna (o en "X")

Bastidor en columna o en "X" que recibe su nombre por la geometría que presenta en forma de X, como se puede ver en la figura adjunta. (Rodríguez, 2018)

Este tipo de bastidor se estrecha por el centro, proporcionando al vehículo una estructura más rígida, que está diseñada para contrarrestar los puntos de torsión elevada.

Figura 6

Bastidor en columna



Nota. La figura representa un ejemplo de bastidor en columna o en "X", Rodríguez, 2018.

El travesaño delantero en este tipo de bastidor suele ser muy robusto, con objeto de poder servir para la fijación a los anclajes de las suspensiones delanteras y elementos del motor.

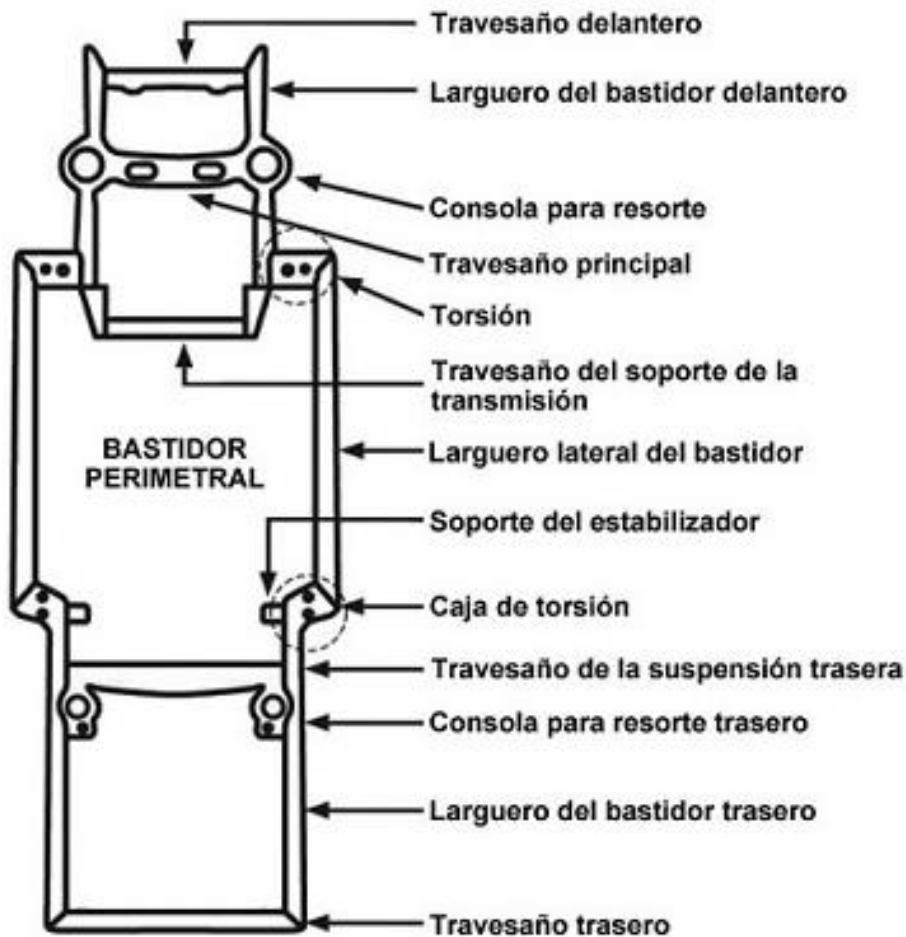
Bastidor Perimétrico o Bastidor Perimetral

El bastidor perimétrico o de tipo perimetral se utiliza en ciertos modelos de automóviles y en algunas camionetas.

En este tipo de bastidor, los largueros soportan la carrocería del vehículo en su parte más ancha, ofreciendo así una mayor protección en caso de impacto lateral. (Rodríguez, 2018).

Figura 7

Bastidor perimétrico o perimetral



Nota. La figura representa un ejemplo de bastidor perimétrico o perimetral, Rodríguez, 2018.

Con esta configuración, el bastidor permite formar una estructura de caja de torsión, que en caso de impacto frontal permite absorber gran parte de la energía generada durante la colisión. Además, con este tipo de bastidor, que es un poco más ancho, se consigue dotar al vehículo de una mayor estabilidad.

La sección central de este tipo de bastidor cuando se usa en automóviles y camionetas ligeras está deprimida, a fin de conseguir un centro de gravedad más bajo y una menor altura total del vehículo, con lo que se consigue también una mayor estabilidad.

Por otro lado, los largueros suelen presentar una curvatura hacia arriba a fin de ofrecer mayor espacio para las suspensiones. (Rodríguez, 2018)

El uso de los sistemas de bastidor independiente de la carrocería presenta una serie de ventajas, entre las que destacan las siguientes:

- ✓ Ofrecer una gran resistencia, permitiendo transportar cargas elevadas.
- ✓ Elevada rigidez para poder soportar grandes cargas estáticas y dinámicas sin sufrir grandes deformaciones.

Figura 8

Ejemplo de bastidor independiente



Nota. La figura representa un ejemplo de bastidor independiente, Rodríguez, 2018.

En vehículos ligeros y turismos, donde actualmente se utilizan sobre todo las carrocerías autoportantes, este sistema de chasis independiente no se emplea debido principalmente a los siguientes factores:

- ✓ Elevado peso en el diseño del vehículo (mayor consumo y menor versatilidad del vehículo)
- ✓ Presenta un centro de gravedad más alto, lo que disminuye la estabilidad y aumenta el coeficiente aerodinámico (mayor consumo)
- ✓ Mayor coste de fabricación.

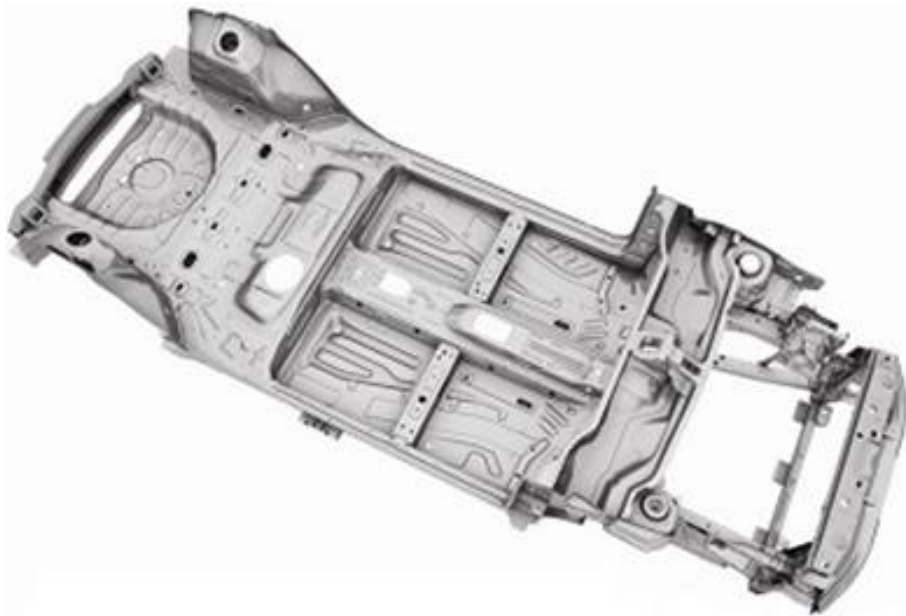
Bastidor de Plataforma

El tipo de bastidor de plataforma realiza la función, como su propio nombre indica, de una plataforma portante y resistente.

Está constituido por un chasis aligerado formado por la unión de varias chapas soldadas, generalmente mediante soldadura por puntos, formando el conjunto una base de rigidez suficiente como para poder soportar los órganos mecánicos y posteriormente también la carrocería del vehículo. (Rodríguez, 2018).

Figura 9

Bastidor de plataforma



Nota. La figura representa un ejemplo de bastidor de plataforma, Rodríguez, 2018.

En este caso, la carrocería del vehículo podrá unirse al bastidor o plataforma mediante el empleo de dos técnicas posibles:

- ✓ Uniones atornilladas a la plataforma, o bien,
- ✓ Soldadura por puntos o uniones por remaches.

Debido a la elevada rigidez que proporciona la plataforma en este tipo de bastidor, la carrocería puede ser más ligera, además de poder ser compuesta de numerosos elementos desmontables que facilitan las labores de recambios y sustituciones en caso de desperfectos en alguna parte de la carrocería.

Carrocería Autoportante o Monocasco

El sistema de carrocería autoportante, o también llamada carrocería monocasco, es la opción más empleada actualmente en la fabricación de automóviles, sobre todo en vehículos

ligeros y turismos, debido a que supone una reducción importante en el peso del vehículo, le dota de mayor flexibilidad y es mucho más barato su producción en serie. (Rodríguez, 2018).

Figura 10

Carrocería autoportante



Nota. La figura representa la carrocería autoportante o monocasco, Rodríguez, 2018.

Como su propio nombre indica, es un tipo de carrocería con función resistente por sí misma, es decir, no necesita de estructuras auxiliares para dotar de más resistencia al vehículo. Con ello se consigue reducir el peso del conjunto, lo que supone un ahorro en combustible en la marcha del vehículo.

Las carrocerías autoportantes o monocasco parten del concepto de conformar una estructura metálica envolvente constituida por la unión de elementos de chapa de diferentes formas y espesores, de manera que se consigue formar una caja resistente que se soporta a sí misma y a los elementos mecánicos que se fijan sobre ella. (Rodríguez, 2018).

El diseño inicial de las carrocerías monocasco implica la realización de multitud de pruebas y ensayos previos antes de su comercialización del diseño definitivo, con objeto de

comprobar su comportamiento ante las diferentes sollicitaciones a que va a estar sometida la carrocería cuando el vehículo se encuentre en movimiento.

Este sistema constructivo tiene una serie de ventajas frente a lo demás tipos de carrocerías, entre las que destacan las siguientes:

- ✓ Proporciona al vehículo de una gran ligereza, estabilidad y rigidez
- ✓ Una vez definido el diseño de la carrocería, facilita su fabricación en serie, por lo que resultan más económicas
- ✓ Presentan una posición del centro de gravedad más bajo, por lo que mejora la estabilidad del vehículo durante la marcha
- ✓ Contribuyen a disminuir la generación de vibraciones y ruidos durante la marcha del vehículo, proporcionando una mayor sensación de confort a los ocupantes.

Figura 11

Ejemplo de carrocería



Nota. La figura representa un ejemplo de carrocería, Rodríguez, 2018.

Como se ha dicho anteriormente, esta es la opción más utilizada en la fabricación de vehículos automóviles de los modelos más ligeros y turismos.

Bastidor Tubular

El bastidor tubular forma una estructura en forma de celosía o perimetral a partir de elementos o barras tubulares que pueden tener secciones circulares, ovaladas o cuadradas. Este tipo de bastidor nace de la necesidad de obtener estructuras más ligeras y esbeltas. Son estructuras de tipo celosía principalmente, dando lugar a un conjunto muy rígido y ligero. (Rodríguez, 2018).

Como se aprecia en la figura adjunta, el bastidor tubular se constituye por un armazón de tubos soldados entre sí que adopta la forma de una especie de jaula. A este entramado se anclan, directamente o a través de un sub bastidor, el resto de elementos del automóvil. El elevado costo para la fabricación de este tipo de bastidor hace que su uso se limite a pequeños vehículos de competición o algunos prototipos de automóviles que por alguna circunstancia requieran una gran reducción de peso.

Figura 12

Bastidor tubular



Nota. La figura representa un ejemplo de bastidor tubular, Rodríguez, 2018.

Materiales

Para el bastidor auxiliar se deberán utilizar siempre materiales con características mecánicas que sean iguales o superiores a los materiales empleados en la fabricación del bastidor del vehículo.

De hecho, en aquellos casos donde se tengan esfuerzos muy elevados, o cuando se desee evitar secciones de gran altura para el perfil del bastidor auxiliar, entonces se deberán utilizar obligatoriamente materiales de características mecánicas superiores a los empleados en el bastidor del vehículo. (Rodríguez, 2018).

El material que se emplee para la fabricación de los largueros y travesaños que conformen al bastidor auxiliar deberá cumplir, al menos, los siguientes requisitos:

- ✓ Buena ductilidad
- ✓ Módulo de elasticidad alto
- ✓ Buena soldabilidad
- ✓ Bajo coste
- ✓ Facilidad de suministro
- ✓

En el mercado existen muchos y variados tipos de aceros. De entre ellos, son los aceros estructurales los que mejor se adaptan para aplicaciones para la fabricación de carrocerías y superestructuras en vehículos industriales.

Los tipos de aceros corresponden a los perfiles estructurales laminados en caliente, así como para los conformados en frío. Generalmente, para los trabajos de carrozado de camiones se suele emplear un tipo de acero que presente un equilibrio razonable entre las propiedades

mecánicas que ofrezca el acero y su coste de compra. Dicho equilibrio lo encontramos en el acero S 275 JR. (Rodríguez, 2018).

Un parámetro útil para evaluar la soldabilidad de los aceros es el concepto de CARBONO EQUIVALENTE (CEV), que equipara la soldabilidad relativa de diferentes aleaciones de acero y las compara con las propiedades de un acero al carbono simple. (Rodríguez, 2018)

El CEV, en cierto modo, mide la susceptibilidad para que se produzca una rotura en frío en la zona de la pieza de acero afectada térmicamente (ZAT) por la soldadura.

Para barras de acero con espesores de pared inferiores a 16 mm, generalmente se acepta que si $CEV \leq 0,4\%$ no aparecen grietas con la soldadura. Para $0,4 \leq CEV \leq 0,45$ hay que tomar algunas precauciones dependiendo del proceso de soldadura. Para un CEV mayor que 0,45%, normalmente se necesita un precalentamiento previo de la pieza antes de soldar.

Para el caso concreto que se utilice un acero S 275 JR para la fabricación del bastidor auxiliar, al presentar este tipo de acero un $CEV = 0,47$ se requerirá un calentamiento previo de las barras a soldar, con objeto de evitar que aparezcan grietas y otros efectos no deseados en las zonas afectadas por las soldaduras. (Rodríguez, 2018)

Normativas Referentes al Diseño de Bastidores

Para los efectos de la presente NTE INEN se adoptan las definiciones establecidas en las NTE. INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1 155 vigente, y las que a continuación se detallan:

Carga de aceleración brusca (A_b). Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo. (NTE, INEN, 2015)

- ✓ Carga de frenado (F). Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo.
- ✓ Carga de giro (G). Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo.
- ✓ Carga por Resistencia del Aire frontal (R_{af}). Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal.
- ✓ Carga muerta (M). Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios. (NTE, INEN, 2015).
- ✓ Carga viva (V). Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería.
- ✓ Carrocería. Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas.

- ✓ Carrocería autoportante. Aquella que en su diseño conforma el bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico. (NTE, INEN, 2015)
- ✓ Bastidor o chasis. Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).
- ✓ Espacio de supervivencia. Es el volumen que se obtiene en el compartimento de ocupantes, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal, de manera que pase el punto SR desde el punto SR del último asiento exterior a través del punto SR de cada asiento exterior intermedio hasta el punto SR del primer asiento exterior del ocupante.
- ✓ Peso máximo admisible para el chasis. Conocida también como capacidad de carga. Es la carga útil máxima emitida para la cual fue diseñado el vehículo. Este valor es proporcionado por el fabricante del chasis. (NTE, INEN, 2015)

Disposiciones Generales

Consideraciones de diseño de la carrocería. Se debe considerar lo siguiente: Las especificaciones del chasis, lo cual incluye:

- ✓ Tipo de Servicio de la carrocería
- ✓ Peso bruto vehicular (PBV)
- ✓ Capacidad de carga de los ejes
- ✓ Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes
- ✓ Relación peso/potencia

La Estabilidad

Incluye:

- ✓ Distribución de masa
- ✓ Altura del centro de gravedad
- ✓ Dimensiones de la carrocería
- ✓ Rigidez de suspensión.
- ✓ Capacidad de inclinación (rolido)

El Confort

Incluye:

- ✓ Aislamiento acústico y térmico.
- ✓ Ventilación
- ✓ Hermeticidad
- ✓ Ergonomía

El Mantenimiento

Incluye:

- ✓ Accesibilidad a los elementos del vehículo

La Seguridad

Incluye:

- ✓ Seguridad activa y pasiva.

Método de Anclaje y Montaje

Incluye:

- ✓ Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis (manual de carrozado)

Estructura

Incluye:

- ✓ Materiales metálicos y no metálicos
- ✓ Uniones y juntas
- ✓ Tratamientos de materiales
- ✓ Geometría
- ✓ Resistencia estructural

CAPÍTULO II

CÁLCULO BÁSICO DE ESTRUCTURAS

Objetivos del Capítulo

Establecer conocimientos básicos propios de la física estática a través de la selección bibliográfica comprensible con el propósito de instituir una plataforma de preparación teórica útil para el análisis del capítulo.

Identificar una serie de criterios normalizados bajo pruebas técnicas en patrones de regulación teniendo como norte examinar modelos estándar en bastidores ensayados.

Estudiar los efectos de cargas y esfuerzos presentes en el análisis de torsión y flexión de barras y miembros estructurales enfocados a definir los efectos sobre el bastidor.

Introducción a la Estática

La mecánica es una rama de la ciencia que se encarga de analizar los cuerpos en reposo y movimiento bajo la acción de fuerzas. Para esta parte del estudio se asume que los cuerpos estructurales son completamente rígidos, sin embargo, en la realidad las estructuras siempre presentan deformaciones debido a las cargas a las que están sometidas, estas deformaciones no presentan ninguna afectación a las condiciones de equilibrio. (Beer et al., 2007)

La importancia de los cálculos de estructuras reside en que una vez trazados los diagramas y obtenidas sus ecuaciones, se puede decidir el material con el que se construirá, las dimensiones que deberá tener, límites para un uso seguro mediante un análisis de materiales. Por tanto, resulta de aplicación en ingeniería estructural, ingeniería mecánica, construcción, siempre que se quiera construir una estructura fija. (Hibbeler, 2010)

Los bastidores automotrices son estructuras expuestas a diferentes cargas estáticas y dinámicas durante su funcionamiento, en este capítulo se presentan los conceptos básicos para poder realizar un cálculo de este tipo de estructura.

Conceptos Fundamentales

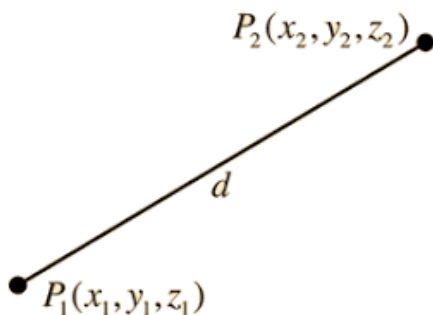
Para lograr incursionar en el cálculo de una estructura es necesario entender el significado de algunos conceptos y principios fundamentales.

Longitud

Es una magnitud utilizada para localizar la posición de un punto en el espacio, es decir permite marcar la distancia que separa a dos puntos, así como definir las propiedades geométricas de un cuerpo como se observa en la Figura 13.(Beer et al., 2007)

Figura 13

Representación gráfica de distancia entre dos puntos



Nota. El gráfico representa la longitud comprendida entre dos puntos en el espacio. Tomado de: (DisfrutaLasMatemáticas, 2020)

Espacio

El concepto de espacio está relacionado con el concepto de posición de un punto P. Su ubicación se puede definir por tres longitudes medidas desde un punto referencial, en tres direcciones dadas. Estas longitudes se identifican como coordenadas de P. (Beer et al., 2007)

Tiempo

Los principios de la estática son independientes del tiempo, sin embargo, esta magnitud es fundamental para el análisis de la dinámica, ciencia que estudia los cuerpos en movimiento.(Hibbeler, 2010)

Masa

La masa es una medida de la cantidad de materia contenida en un cuerpo.(Beer et al., 2007)

Fuerza

Es el fenómeno que modifica el movimiento de un cuerpo, lo puede acelerar, frenar, cambiar de sentido, etc. Generalmente se la conoce como como un “empujón” o “jalón” ejercido sobre un cuerpo. (Hibbeler, 2010)

Las Tres Leyes del Movimiento de Newton

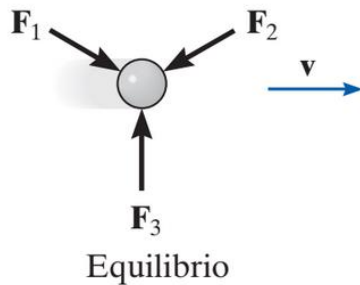
La mecánica y el diseño de estructuras están formuladas en base a las tres leyes del movimiento de Newton. Las leyes se aplican al movimiento de un cuerpo cuando se mide a partir de un estado de reposo.(Beer et al., 2007)

Primera Ley

Ley relacionada sobre el reposo de un cuerpo. Si una fuerza resultante sobre un cuerpo es cero, el cuerpo permanecerá en reposo o este se mueve en línea recta con velocidad constante como se puede observar en la Figura 14. (Hibbeler, 2010)

Figura 14

Equilibrio de una partícula.



Nota. El gráfico representa el equilibrio de una partícula mantenida en reposo o moviéndose en línea recta con velocidad constante. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

Segunda Ley

Si una fuerza no balanceada actúa sobre un cuerpo, este va a experimentar una aceleración que posee la misma dirección que la fuerza y una magnitud directamente proporcional a esta. Esta ley se puede expresar como se muestra en la Figura 15. (Hibbeler, 2010)

Figura 15

Representación de la segunda ley del movimiento de Newton.

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$



Movimiento acelerado

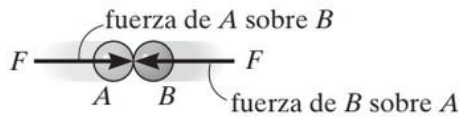
Nota. El gráfico representa la aceleración que experimenta una partícula a la que se le aplica una fuerza no balanceada. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

Tercera Ley

Las fuerzas de acción y reacción de cuerpos en contacto tienen la misma magnitud, la misma línea de acción y sentidos opuestos. (Hibbeler, 2010)

Figura 16

Representación de la tercera ley del movimiento de Newton



Acción-reacción

Nota: El gráfico representa la reacción que presentan dos cuerpos al estar en contacto. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

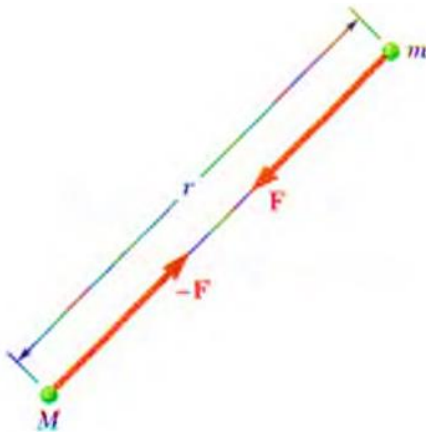
Ampliando la aplicabilidad de la tercera ley, la ley de gravitación de Newton incorpora el concepto de acción a distancia.

La Ley de Gravitación de Newton.

Esta ley establece que dos partículas de diferentes masas se atraen con una fuerza igual pero opuesta de magnitud F , como se muestra en la Figura 17. (Beer et al., 2007)

Figura 17

Representación de la ley de gravitación de Newton



Nota. El gráfico representa la atracción mutua con fuerzas iguales y opuestas entre dos partículas. Tomado de: (Beer et. al, 2007)

Esta dada por la fórmula (1):

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1)$$

Donde: r = es la distancia entre las dos partículas y

G = determina la constante universal llamada constante de gravitación

La acción F y la reacción $-F$ son iguales y opuestas y comparten la misma línea de acción. Un ejemplo muy importante es la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre los cuerpos de su superficie.

La fuerza F que ejerce la tierra sobre una partícula se define como el peso W de la partícula. Tomando M igual a la masa de la Tierra, m igual a la masa de la partícula, y r igual al radio R de la Tierra e introduciendo la constante g se tiene:

$$g = \frac{Gm}{R^2} \quad (2)$$

La magnitud del peso de una partícula de masa m se puede formular como W . (Beer et al., 2007)

$$W = mg \quad (3)$$

Sistema de Unidades

Las magnitudes presentadas en la sección anterior están directamente relacionadas por la segunda ley de Newton, donde $F = ma$. Por este motivo es de vital importancia seleccionar las unidades de medida adecuadas. Existen diversos sistemas de unidades que se pueden utilizar para la realización de cálculos de estructuras, sin embargo, en este libro se basará únicamente en el sistema internacional de unidades. (Hibbeler, 2010)

Sistema Internacional de Unidades

Este sistema es una versión moderna del sistema métrico reconocido en todo el mundo. Las magnitudes básicas son, longitud, masa, tiempo y fuerza, sus unidades respectivamente son metro (m), kilogramo (kg), segundos (s) y newton $\left(N = \left(\frac{kg*m}{s^2}\right)\right)$. (Beer et al., 2007)

Un resumen del sistema de unidades se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Sistema de unidades

SISTEMA DE UNIDADES				
Nombre	Longitud	Tiempo	Masa	Fuerza
Sistema internacional de unidades	Metro	Segundo	Kilogramo	Newton
	m	s	kg	N
Sistema ingles	Pie	Segundo	slug	Libra
	lb	s	$\frac{lb * s^2}{ft}$	lb

Nota. La tabla muestra un resumen de los sistemas de unidades más utilizados en los cálculos de estructuras.

Unidades de Conversión

En la Tabla 2 se presenta la equivalencia de la conversión de las diferentes unidades del sistema internacional y sistema inglés. (Beer et al., 2007)

Tabla 2

Factores de conversión

FACTOR DE CONVERSION		
Magnitud	Sistema ingles	Sistema internacional
Fuerza	1 lb	4.448 N
Masa	1 slug	14.59 kg
Longitud	1 ft	0.304 m

Nota. La tabla muestra un resumen de los sistemas de unidades más utilizados en los cálculos de estructuras.

Escalar y Vectores

Escalar

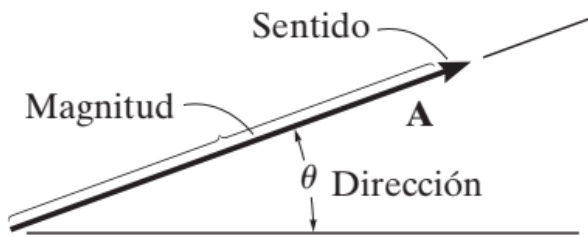
Es una cantidad física que puede ser negativa como positiva, se puede utilizar para definir el tamaño de una magnitud, por ejemplo, longitud, masa y volumen. (Hibbeler, 2010)

Vectores

Es una cantidad física que además de tener magnitud también cuenta con dirección y sentido, como se observa en la Figura 18. (Hibbeler, 2010)

Figura 18

Representación de un vector.



Nota. La flecha indica el sentido del vector, el ángulo θ la dirección o inclinación respecto al eje horizontal y el tamaño del vector su magnitud. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

Dentro del cálculo de bastidores automotrices se tienen fuerzas que deben ser representadas como un vector, algunos ejemplos son: el peso de la estructura como tal, el peso del motor, el peso de los diferentes accesorios que conforman al vehículo, todas estas fuerzas se representan como vectores debido a que tienen sentido, magnitud y dirección. (Singh, 2010)

Operaciones con Vectores

Adición o Resta de Vectores

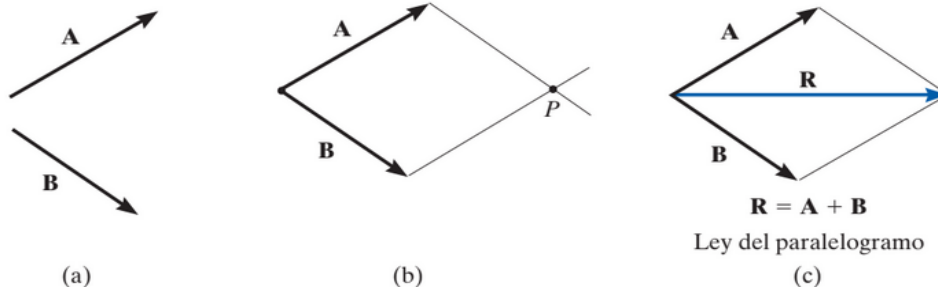
Todos los vectores están ligados a la ley del paralelogramo, el cual es un método gráfico que permite obtener el vector resultante de la suma entre dos vectores. Los pasos a seguir para la suma de vectores por el método del paralelogramo son los siguientes: (Hibbeler, 2010)

1. Se unen las colas de los vectores en un solo punto, se debe respetar el sentido, magnitud y dirección de cada vector.
2. Desde la flecha de un vector, se debe copiar el vector opuesto respetando su sentido dirección y magnitud. Así mismo se procede con el otro vector, logrando así formar un paralelogramo, y de esta manera se encuentra un punto de contacto P.

3. Se traza una línea desde el punto de inicio de los vectores hasta el punto de cruce opuesto. Este será el vector resultante de la suma. Los pasos pueden observarse en la Figura 19.

Figura 19

Representación del método del paralelogramo para la suma de vectores.

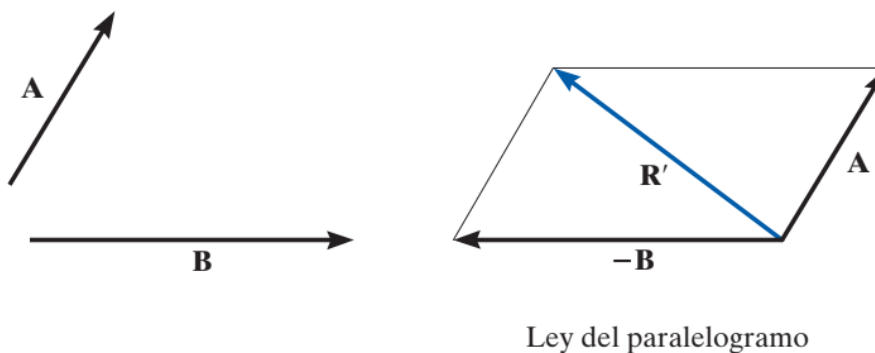


Nota. El grafico representa de manera gráfica como se debe realizar la suma de dos vectores mediante el método del paralelogramo, en (a) se presentan los vectores, en (b) se unen en un mismo punto de inicio respetando su dirección, magnitud y sentido, y (c) se obtiene el vector resultante. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

Para la resta de vectores se puede utilizar de igual manera el método del paralelogramo, con la única consideración que el vector que se esté restando debe cambiar su dirección $R = A - B = A + (-B)$, como se observa en la Figura 20.

Figura 20

Representación del método del paralelogramo para la resta de vectores



Resta vectorial

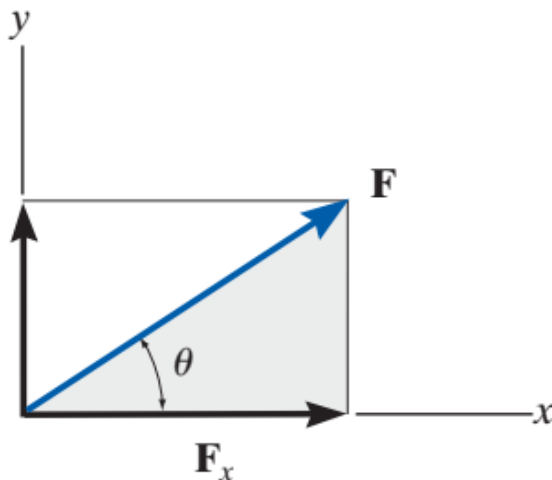
Nota. El grafico representa de manera gráfica como se debe realizar la resta de dos vectores mediante el método del paralelogramo, invirtiendo el sentido del vector a restar. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

Suma de un Sistema de Fuerzas

Las fuerzas que actúan sobre una estructura poseen un sentido, dirección y magnitud como se observó en la sección de vectores. Estas fuerzas se pueden analizar en componentes a lo largo de los ejes coordenados X y Y , o X, Y y Z , esto dependerá si se trata una estructura en 2 dimensiones o 3 dimensiones, como se observa en las Figuras 21. (Hibbeler, 2010)

Figura 21

Componentes de fuerza en el eje X y de dos dimensiones.



Nota. El grafico representa la descomposición de un vector F en los componentes F_x y F_y . Tomado de: (Hibbeler, 2010)

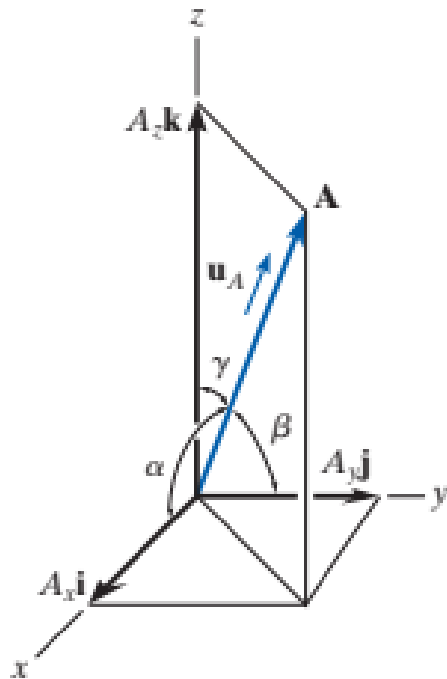
Para la obtención de F_x y F_y se aplicarán las ecuaciones (4) y (5), θ es el ángulo de dirección de vector, el cual puede estar en unidades de radianes o grados. Es importante aclarar que, si se cambia la posición del ángulo θ , las ecuaciones presentadas pueden variar. (Beer et al., 2007)

$$F_x = F * \cos \theta \quad (4)$$

$$F_y = F * \sin \theta \quad (5)$$

Figura 22

Componentes de fuerza en el eje X, Y Z de tres dimensiones



Nota. El grafico representa la descomposición de la fuerza A en sus componentes coordenadas A_x , A_y y A_z . Tomado de: (Hibbeler, 2010)

Donde α , β y γ representa los ángulos de dirección del vector, con respecto a los ejes coordenados X, Y y Z respectivamente. Para la obtención de A_x , A_y y A_z se aplican las ecuaciones (6), (7) y (8).

$$A_x = A * \cos \alpha \quad (6) \quad A_y = A * \cos \beta \quad (7) \quad A_z = A * \cos \gamma \quad (8)$$

Las componentes obtenidas para cada eje coordenado se denominan componentes rectangulares. Se debe recordar que el análisis estático es el estudio de los cuerpos en reposo esto hace mención que se debe analizar todas las fuerzas presentes en cada eje coordenado de la estructura.

Resultante de Fuerzas

La descomposición de un vector en sus ejes coordenados facilita la obtención de las fuerzas resultantes en cada eje. Una vez que se han descompuesto las fuerzas se suman con algebra escalar, es decir se suman y se restan dependiendo su sentido, puesto que son colineales.

La fuerza resultante se obtiene al sumar las componentes de cada fuerza con respecto a cada eje cartesiano con las ecuaciones (9) y (10). (Hibbeler, 2010)

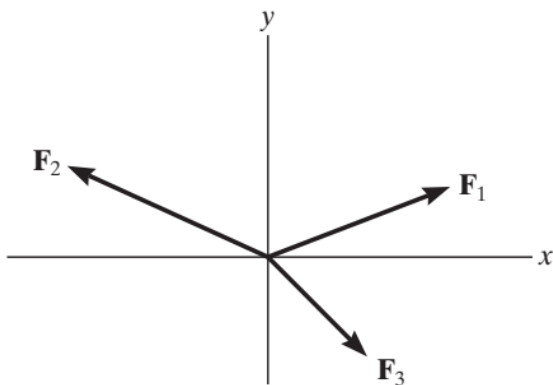
$$\sum F_x = F_{Rx} \quad (9)$$

$$\sum F_y = F_{Ry} \quad (10)$$

Para entender de mejor manera este procedimiento se presenta el siguiente ejemplo, donde se requiere obtener la fuerza resultante de la suma de las distintas fuerzas mostradas en la Figura 23.

Figura 23

Representación de tres vectores de fuerza en el espacio.

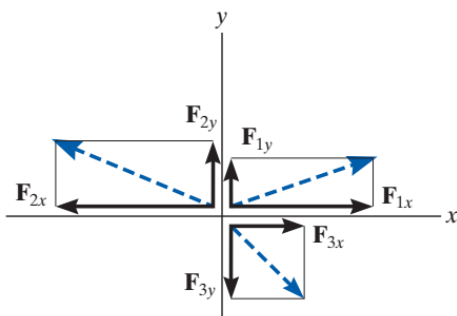


Nota. El grafico representa la posición de 3 fuerzas F_1, F_2 y F_3 que tienen el mismo origen. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

Como siguiente paso es necesario obtener las componentes de las fuerzas, hasta lograr obtener un resultado igual a la Figura 24.

Figura 24

Descomposición de los vectores en sus componentes rectangulares.



Nota. El grafico representa las componentes de X y de cada una de las fuerzas analizadas. Tomado de: (Hibbeler, 2010)

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_{1x} + F_{1y} \\
 F_2 &= -F_{2x} + F_{2y} \\
 F_3 &= F_{3x} - F_{3y}
 \end{aligned}$$

Con la obtención de las componentes de cada fuerza, es posible obtener la fuerza resultante para cada eje coordenado, mediante la sumatoria de cada fuerza para cada componente, respetando el sentido de cada vector.

$$\begin{aligned}
 F_{Rx} &= F_{1x} - F_{2x} + F_{3x} \\
 F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} - F_{3y}
 \end{aligned}$$

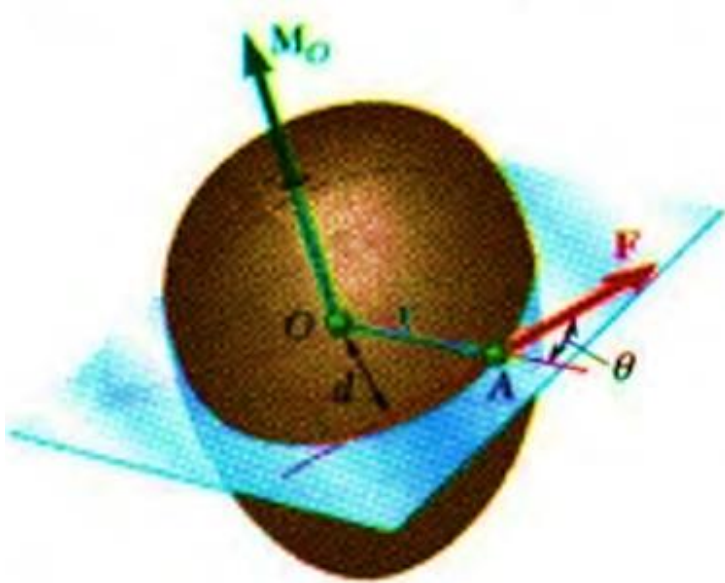
Con este resultado se puede obtener la fuerza total que actúa sobre cada eje coordenado. Este ejercicio demostrativo es de interés para el lector dado que a partir de este principio sobre vectores y sumatoria de fuerzas se puede analizar todas las fuerzas que están presentes en el bastidor de un vehículo. Como se realiza un análisis estático al bastidor, la mayoría de las fuerzas presentes en la estructura solo estarán alineadas al eje Y, es decir en la mayoría de fuerzas no será necesario realizar una descomposición de fuerzas, sin embargo, esto dependerá directamente del modelado de estructura que se realice, y de la posición de las cargas que se analizaran. (Hibbeler, 2010)

Momento de una Fuerza con Respecto a un Punto

Estimando F como una fuerza aplicada sobre un cuerpo rígido como se observa en la figura.

Figura 25

Momento de una fuerza con respecto a un punto



Nota. El gráfico representa el momento de una fuerza aplicada sobre un cuerpo rígido en un punto. Tomado de: (Beer et. al, 2007)

Entendido que, la fuerza F está representada por un vector que determina su magnitud y dirección. No obstante, el efecto de una fuerza sobre un cuerpo rígido también depende del punto A en donde esta aplicada. La posición de A se puede definir convenientemente mediante el vector r que conecta los puntos de referencia fijos O y A , denominado vector de posición de A . El vector de posición r y la fuerza F precisan el plano mostrado en la figura.(Beer et al., 2007)

Precisando de esta manera que el momento de F con respecto a O se determina por el producto vectorial de r y F .

$$M_o = r \times F \quad (11)$$

Adicional, figurando con θ el ángulo entre las líneas de acción del vector de posición r y la fuerza F , se encuentra que la magnitud del momento de F con respecto a O , se representa por la ecuación (12).

$$M_o = rF \text{ sen } \theta = Fd \text{ (12)}$$

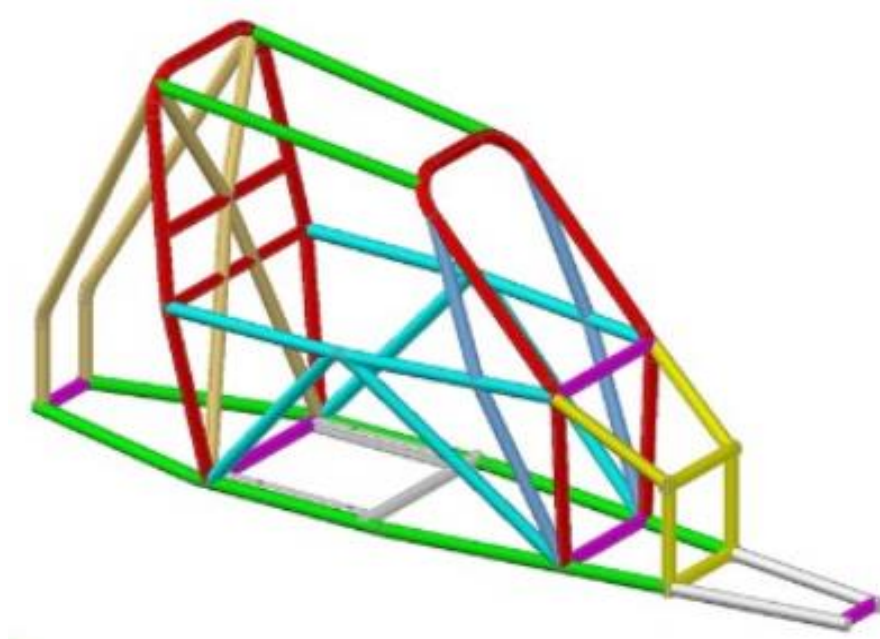
Donde d es la distancia perpendicular desde la línea de acción de F hasta O . (Beer et. al, 2007, p. 81)

Criterios Para el Diseño de un Bastidor Automotriz

Para diseñar un bastidor automotriz, es muy importante identificar la finalidad para la cual se va a ocupar el bastidor, existen diferentes aplicaciones, desde vehículos de uso de urbano, uso rural, uso comercial, uso particular, distintos tipos de trabajo a realizar, numero de ocupantes, entre otros. Estas consideraciones son primordiales a la hora de diseñar un bastidor automotriz ya que, si se desea realizar un bastidor para el uso urbano, se debe respetar la normativa nacional para que el vehículo sea autorizado para funcionar en una ciudad. Si por otro lado se desea realizar un chasis para un Buggy monoplaza, el cual está diseñado con la finalidad de uso rural y de fines recreativos, no será necesario cumplir con la normativa nacional para vehículos urbanos, sino que será necesario utilizar una normativa específica para poder homologar el chasis y poder garantizar la seguridad de los ocupantes como se observa en la Figura. (Alvarado & Montalván, 2019)

Figura 26

Diseño base de un bastidor de un Buggy.



Nota. El gráfico representa el diseño base para un Buggy según la F.I.A. Tomado de: (F.I.A, 2019)

El objetivo de este libro es guiar al lector en el proceso del diseño de un chasis para un Buggy, el cual es un vehículo diseñado para ser utilizado en carreteras rurales, llevar un ocupante únicamente, y tener un elevado grado de protección al conductor en caso de choques o volcamientos. Para poder garantizar el correcto desarrollo de este tipo de chasis es fundamental tomar como guía, una normativa que permita homologar el chasis.

Utilizar una normativa para la homologación del chasis es requerido cuando se pretende ingresar el vehículo a una competencia oficial, en esas condiciones se debe homologar el chasis bajo la inspección por parte de una entidad oficial, sin embargo, si el vehículo se utilizara con fines recreativos se pueden utilizar las normativas como guía únicamente y se aceptan ciertas modificaciones al chasis. (Pauta & Villacís, 2012)

Normativas Para el Diseño de Buggies

Como ya se mencionó en apartados anteriores, una normativa se puede utilizar como guía para desarrollar el chasis de un vehículo. Existen diversas normativas para homologar y construir estructuras de Buggies, dentro de las más reconocidas se encuentran: Reglamento UE N° 168/2013 y ANSI / ROHVA 1-2010, es importante mencionar que estas normativas son implementadas en Europa (UE N° 168/2013) y en Estados Unidos (ANSI 1-2010), pero cada país puede tener departamentos encargados de regularizar la producción y funcionamiento de Buggies.(Alvarado & Montalván, 2019)

La federación internacional del automóvil (FIA) es la principal entidad que homologa estructuras vehiculares en el mundo para competencias, esta entidad cuenta con la Normativa Aplicable RFEDA/FIA, la cual indica los requisitos mínimos para el chasis del Buggy, con respecto a pesos, dimensiones, estructura base, tubería, seguridad, entre otros. Toda la información requerida para el diseño del chasis de un buggy se encuentra en la página oficial de la F.I.A en el apartado de regulaciones, específicamente en el apéndice J, el artículo 279B.(F.I.A, 2019)

Cargas Presentes en un Bastidor de un Buggy

Como ya se indicó en secciones anteriores, el análisis estático del chasis se realiza en reposo es decir que las cargas presentes en el bastidor están directamente alineadas al eje Y, y su ubicación dependerá del diseño del bastidor, sin embargo, al final al ser una estructura completamente unida, se puede determinar que el total de cargas presentes en el buggy se posicionan el centro de gravedad del chasis.(Singh, 2010)

En la Tabla 3 se presentan todas las cargas presentes en el chasis de un buggy analizadas en (Pauta & Villacís, 2012).

Tabla 3

Peso estimado de los elementos que componen un buggy.

PESO ESTIMADO DEL VEHÍCULO CON ACOMPAÑANTE	
Peso total de la estructura	65 Kg
Peso total del motor	60 Kg
Peso total de ruedas	25 Kg
Peso total depósito de combustible lleno	10 Kg
Peso de amortiguadores	20 Kg
Peso total de platos de suspensión	20 Kg
Peso total de sistema de dirección	20 Kg
Peso total de los demás elementos mecánicos (frenos, pedales, cañerías, cableado)	40 Kg
Peso del asiento	10 Kg
Peso estimado del ocupante	75 Kg
Peso total del buggy	345 Kg
Peso límite según normativa F.I.A	425 Kg
Peso mínimo según normativa F.I.A	345 Kg

Nota. La tabla presenta las principales cargas que tiene un buggy monoplaza

Como se puede observar el peso estimado del buggy está por debajo del peso límite establecido por la normativa de la F.I.A, sin embargo, el peso puede sufrir una gran variación dependiendo del tipo de material utilizado para la fabricación. No existe un material en específico, solo se sugiere un acero aleado que presente 1.7% de manganeso y 0.6% de otros elementos y que tengan buenas propiedades de elongación y adecuada soldabilidad. (F.I.A, 2019)

Dimensiones Base para el Chasis de un Buggy

La seguridad del conductor es el principal punto a considerar para la fabricación de un chasis de un buggy, es por eso que hace tanto énfasis en la utilización de una normativa como guía para su elaboración. En la Tabla se presentan las dimensiones máximas que puede tener el bastidor del buggy establecidas por la normativa de la F.I.A.

Tabla 4

Dimensiones base para un buggy.

DIMENSIONES BASE DEL CHASIS DE UN BUGGY	
Ancho	1600 mm (excluyendo guardabarros)
Longitud	2600 mm
Altura	1400 mm

Nota. La tabla presenta el diseño base para un Buggy según la F.I.A. Tomado de: (F.I.A, 2019)

La normativa de la F.I.A no establece las medidas exactas de cada elemento de la estructura, esto queda a criterio del diseñador del chasis, sin embargo, la normativa si establece una serie de principios a seguir a la hora de diseñar el bastidor, se pueden seguir dos procedimientos que son muy similares, a continuación, se detallara el primero.(Alvarado & Montalván, 2019)

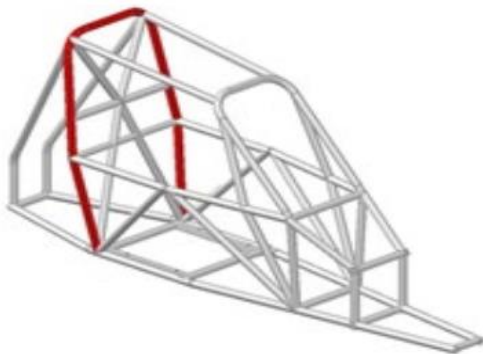
Especificaciones F.I.A para el Diseño del Bastidor.

El chasis debe cumplir con ciertas especificaciones para poder ser homologado, si no es diseñado para competencias oficiales, se pueden tomar las especificaciones brindadas por el manual como guías para poder realizar la estructura y garantizar la seguridad del piloto ante cualquier circunstancia. (F.I.A, 2019)

1. El chasis debe contar con una barra antivuelco principal como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Barra antivuelco principal del chasis.

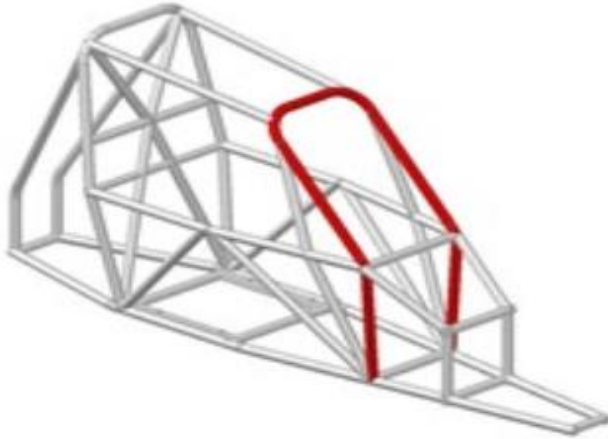


Nota. El grafico representa la barra antivuelco principal según la F.I.A. Tomado de: (F.I.A, 2019)

2. El chasis debe contar con una barra antivuelco delantera como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Barra antivuelco delantera del chasis.

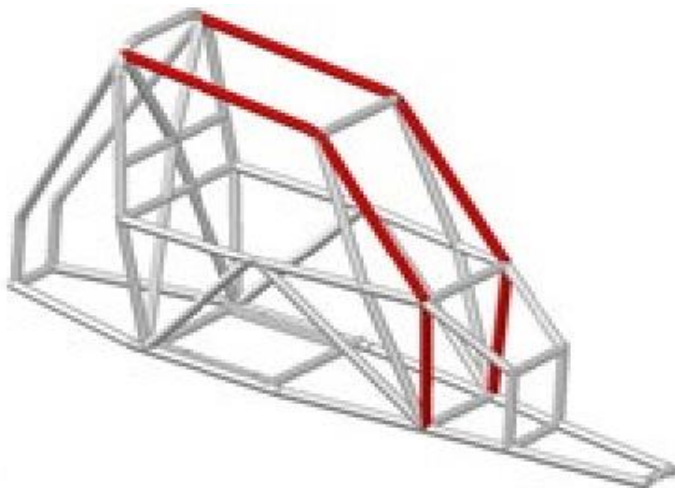


Nota. El grafico representa la barra antivuelco frontal según la F.I.A. Tomado de: (F.I.A, 2019)

3. El chasis debe contar con 2 largueros que unen la parte superior de la principal y barras antivuelco delantera como se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Largueros de unión superior del chasis.

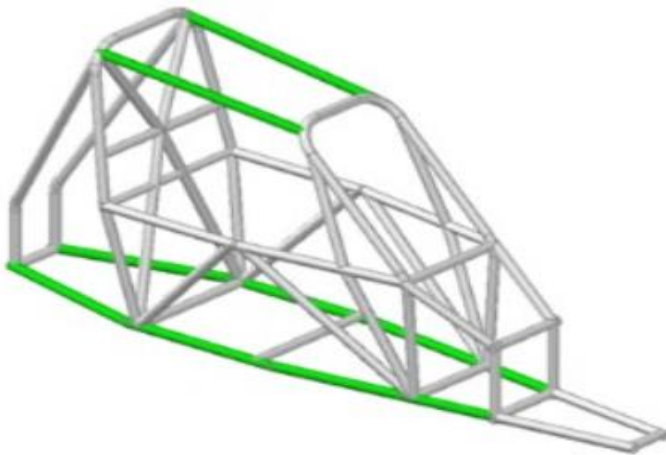


Nota. El grafico representa los largueros de unión superior según la F.I.A. Tomado de: (F.I.A, 2019)

4. El chasis debe contar con largueros longitudinales que unen las extensiones verticales al soporte, a la barra antivuelco principal y la barra antivuelco delantera, terminando en frente del marco de la caja de pedales como se muestra en la Figura 30.

Figura 30

Largueros de unión de barras antivuelco principal y frontal.

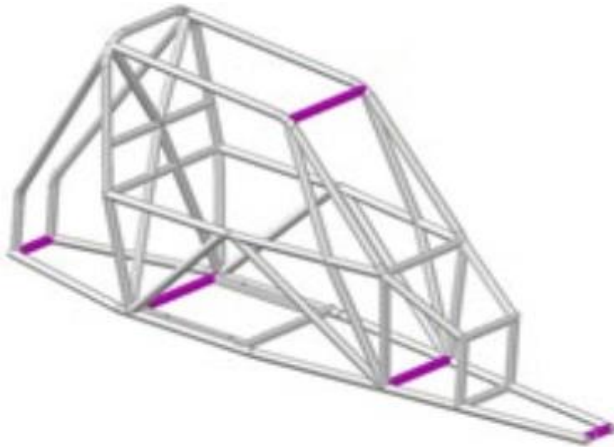


Nota. El grafico representa los largueros de unión de barras antivuelco principal y frontal según la F.I.A. Tomado de: (F.I.A, 2019)

5. El chasis debe contar con 4 miembros transversales que conectan las extensiones verticales de las dos barras antivuelco principal y delantera y los extremos delanteros de los dos largueros longitudinales inferiores como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Miembros transversales de unión.



Nota. El grafico representa las secciones transversales según la F.I.A. Tomado de: (F.I.A, 2019)

Los demás componentes estructurales del chasis como las barras de puerta, miembros diagonales y refuerzo de parabrisas, se los puede diseñar como miembros desmontables.

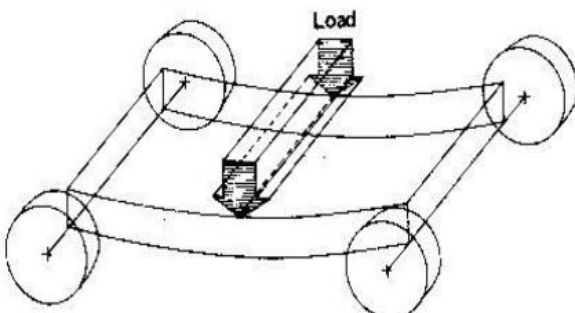
Principales Esfuerzos y Cargas Soportados por el Chasis

Flexión Vertical

El peso de los distintos componentes como el motor, tren de transmisión y demás accesorios, así como el peso del conductor producen un efecto sobre el chasis llamado pandeo, el cual llega deformar al chasis principalmente en su centro de gravedad como se observa en la Figura 32. (Singh, 2010)

Figura 32

Flexión vertical de un chasis automotriz.



Nota. El grafico representa la flexión vertical que produce las cargas al bastidor. Tomado de: (Singh, 2010)

Para el chasis de un buggy la carga vertical que ocasiona esta flexión está dada por la ecuación (13), la cual será aplicada en la cabina del conductor, en el compartimiento del motor y transmisión de manera equitativa.

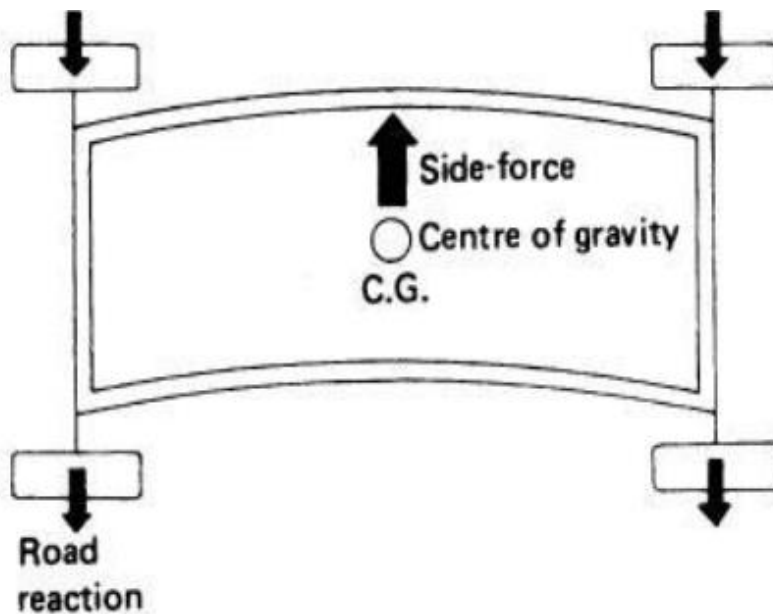
$$Fv_{(Fuerza\ vertical)} = 7.5 * 9.81 * P_{(peso\ del\ chasis)} [N] \quad (13)$$

Flexión Lateral

La flexión lateral ocurre debido a la fuerza centrífuga causada durante las curvas. Esta fuerza actúa a lo largo de la estructura y al igual que la flexión vertical la mayor deformación se presenta en el centro de gravedad del chasis como se observa en la Figura 33. (Singh, 2010)

Figura 33

Flexión lateral de un chasis vehicular.



Nota. El grafico representa la flexión lateral que sufre el bastidor específicamente en su centro de gravedad. Tomado de: (Singh, 2010)

La carga debe estar uniformemente distribuida sobre la zona lateral del chasis, específicamente en las barras laterales, alineada al eje horizontal y se calcula con la ecuación (14).

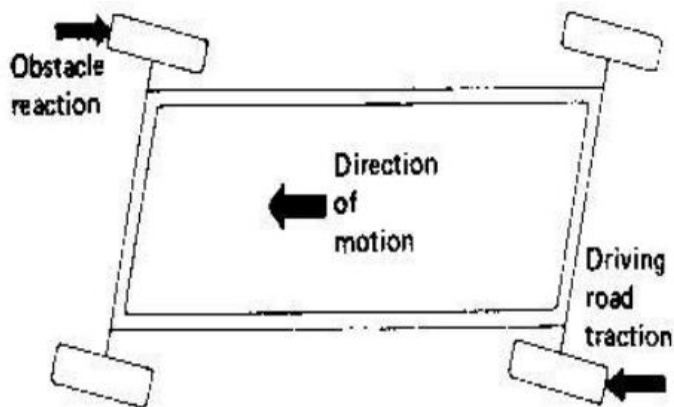
$$Fla_{(Fuerza\ lateral)} = 3.5 * 9.81 * P_{(peso\ del\ chasis)} [N] \quad (14)$$

Torsión Longitudinal

El chasis del vehículo genera fuerzas en diferentes direcciones en la parte frontal y trasera, lo que provoca que el cuerpo del chasis gire sobre sí mismo como se observa en la Figura 34, estos esfuerzos limitan el rendimiento y el control del bastidor. (Singh, 2010)

Figura 34

Torsión longitudinal de un chasis vehicular.

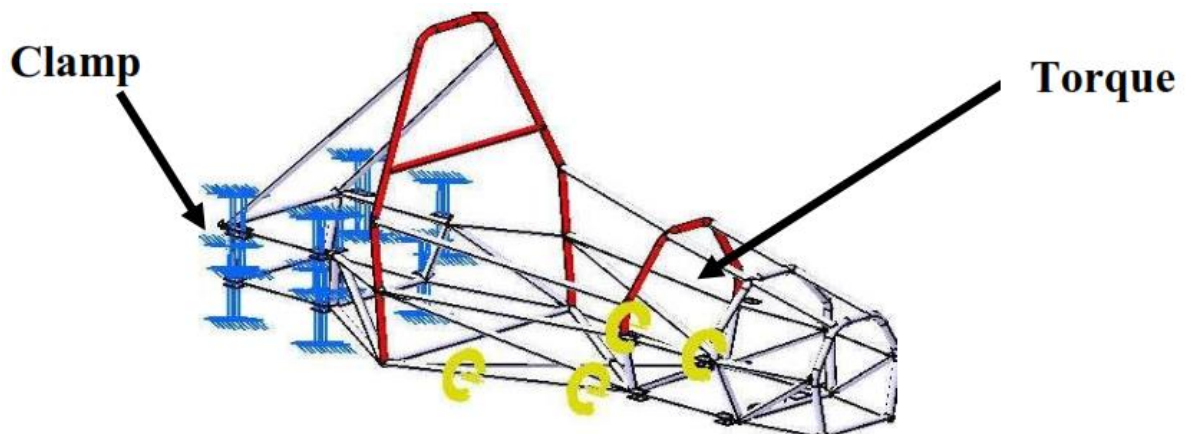


Nota. El grafico representa la torsión longitudinal que sufre el bastidor. Tomado de: (Singh, 2010)

Para su aplicación en el chasis del buggy se colocan momentos de torsión entre 1000 - 2000 Nm, en los puntos de conexión de la suspensión como se observa en la Figura 35.

Figura 35

Momentos de torsión aplicados en el chasis de buggy.



Nota. El grafico representa la ubicación de los momentos de torsión aplicados al chasis del buggy. Tomado de: (Singh, 2010)

CAPÍTULO III

DISEÑO CAD Y ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

En este tercer capítulo se analizan en detalle los procedimientos de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Análisis de Elementos Finitos (FEA) aplicados al diseño de estructuras tubulares aplicado a un buggy. Esta sección es un pilar imprescindible para los profesionales del campo de la ingeniería estructural y de materiales, ya que entrena la conversión de conceptos teóricos y cálculos estructurales en diseños concretos y viables, y confirma su desempeño mediante simulaciones rigurosas.

Figura 36

Introducción a los diseños CAD monocasco tipo buggy



Nota. Introducción a los diseños CAD monocasco tipo buggy. Benítez, 2023.

Selección de Programas de CAD y Simulación

En esta sección, se sopesa la importancia crucial de la elección adecuada de programas de CAD y simulación en el proceso de diseño. Herramientas líderes de la industria como SolidWorks®, Inventor®, CATIA® y AutoCAD® se presentan como recursos indispensables que permiten la generación de geometrías intrincadas, el diseño paramétrico y la colaboración interdisciplinaria. A través de un análisis detallado, se demuestra cómo cada programa puede ser adaptado para enfrentar los desafíos particulares en el diseño de buggies y cómo se pueden aprovechar sus funcionalidades al máximo.

Asimismo, se analiza en detalle la relevancia de seleccionar programas CAD y de simulación adecuados para el diseño de estructuras tubulares para carros de competición. Se analizan específicamente las tres herramientas de software líderes en la industria: SolidWorks®, CATIA®, Inventor® y AutoCAD®.

SolidWorks®, CATIA®, Inventor® y AutoCAD®

SolidWorks®. Este programa es famoso por su capacidad para manejar diseños 3D complejos. Proporciona una interfaz fácil de usar que permite a los usuarios modelar geometría detallada y realizar simulaciones integradas de elementos finitos. SolidWorks es especialmente útil para diseñadores que buscan combinar modelado preciso y análisis estructural en una plataforma cohesiva.

CATIA ©. Dedicada a la ingeniería avanzada y el diseño industrial, CATIA© se distingue por su énfasis en el diseño paramétrico y la colaboración en equipo. Los usuarios pueden crear geometrías paramétricas que respondan eficientemente a cambios y ajustes. Su enfoque multidisciplinario facilita la colaboración entre los diferentes grupos involucrados en el diseño y análisis del carro.

AutoCAD©. Ampliamente utilizado en documentos y dibujos técnicos, AutoCAD© es esencial para transformar diseños conceptuales en representaciones técnicas precisas. Además, se puede integrar con otras herramientas de simulación, lo que lo hace útil para modelar geometrías y prepararlas para análisis estructurales más avanzados en plataformas especializadas.

Autodesk Inventor©. Autodesk Inventor©, por su parte, ofrece un enfoque paramétrico similar y se destaca por su integración con herramientas avanzadas de simulación. Su conjunto de funciones permite a los usuarios modelar estructuras tubulares con precisión y eficiencia. La función de optimización en Inventor es especialmente útil al explorar diferentes diseños y evaluar su rendimiento bajo diversas condiciones. La capacidad de simulación integrada de Inventor, junto con su enfoque en la colaboración y documentación, lo convierte en una opción valiosa para diseñadores y equipos de ingeniería que buscan una solución completa para el diseño y análisis de estructuras tubulares.

Ventajas y Desventajas de Usar SolidWorks©, CATIA©, Inventor© y AutoCAD ©

Es importante recordar que la elección del software dependerá de las necesidades específicas del proyecto y de las preferencias del equipo de diseño.

Cada programa tiene sus fortalezas y debilidades, y la decisión debe basarse en qué herramienta se ajusta mejor a los objetivos de diseño, el flujo de trabajo y los recursos disponibles.

En la tabla 5 se hace la comparativa en los programas previamente mencionados.

Tabla 5

Ventajas y desventajas de usar los programas para CAD

Aspecto	SolidWorks©	CATIA©	AutoCAD©	Inventor©
Ventajas	- Interfaz intuitiva para modelado 3D	- Diseño paramétrico avanzado	- Herramienta estándar en dibujo técnico	- Enfoque en la optimización y simulación de diseño.
	- Integración con simulaciones FEA	- Colaboración multidisciplinaria	- Amplia biblioteca de objetos y bloques	- Integración con herramientas avanzadas de simulación.
	- Amplia biblioteca de componentes	- Modelado paramétrico eficiente	- Integración con software de simulación	- Función de optimización para explorar diseños.
	- Potente conjunto de herramientas	- Herramientas avanzadas de superficies	- Funcionalidad extendida con complementos	- Integración con otras herramientas de Autodesk.
	- Análisis de esfuerzos y deformaciones	- Adaptabilidad a diversas industrias	- Compatibilidad con otros programas CAD	- Más amplio de software de Autodesk, lo que facilita la colaboración y la integración de flujos de trabajo.
	- Fácil de aprender y utilizar	- Modelado conceptual y detallado	- Escalabilidad para proyectos más grandes	- Más foros y grupos de usuarios hasta tutoriales y documentación
Desventajas	- Puede ser costoso para licencias individuales	- Curva de aprendizaje más pronunciada	- No es tan especializado en simulaciones	- Limitaciones en simulación y optimización.
	- Algunas limitaciones en superficies complejas	- Requiere hardware potente para rendimiento	- Limitaciones en análisis estructural	- No está centrado en el diseño 3D paramétrico.
	- Más enfocado en modelado que en dibujo técnico	- Licencias pueden ser costosas	- No tan adecuado para modelado avanzado	- Carece de capacidades avanzadas de simulación.

Nota. Ventajas y desventajas de usar los programas para CAD. Benítez, 2023.

Consideraciones Preliminares al Diseño CAD

Antes de sumergirse en el proceso de diseño asistido por computadora (CAD) para crear estructuras tubulares destinadas a buggies de competencia, es crucial abordar una serie de consideraciones preliminares. Estas consideraciones establecen las bases para un diseño sólido y eficiente, garantizando que se alcancen los objetivos de rendimiento, seguridad y funcionalidad deseados desde las primeras etapas del proceso.

Definición de Objetivos de Diseño

El primer paso en cualquier proceso de diseño es establecer objetivos claros y bien definidos. Los usuarios deben comprender las metas específicas que desean lograr con el diseño del buggy, ya sea maximizar la velocidad, optimizar la resistencia o mejorar la maniobrabilidad. Estos objetivos servirán como guía durante todo el proceso de diseño, asegurando que las decisiones tomadas estén alineadas con las expectativas finales. Se recomienda empezar por un boceto previo al diseño final con el objeto de tener una guía para diseñarlo en los programas CAD

Requisitos Reglamentarios y de Competencia

Los buggies de competencia están sujetos a regulaciones y requisitos específicos según la competición en la que participen. Es fundamental que los usuarios comprendan y cumplan con estas regulaciones desde el principio del proceso de diseño. Estos requisitos pueden incluir limitaciones de peso, dimensiones, seguridad y otros aspectos que deben tenerse en cuenta en todas las etapas del diseño.

Benchmarking y Análisis de Diseños Previos

El benchmarking y el análisis de diseños previos son herramientas valiosas para inspirar la innovación y mejorar el diseño. Al estudiar diseños anteriores de buggies de competencia,

los usuarios pueden identificar enfoques exitosos, soluciones creativas y posibles áreas de mejora. Este análisis permite a los diseñadores aprender de la experiencia acumulada y aplicar mejores prácticas para desarrollar soluciones avanzadas y competitivas.

Figura 37

Benchmarking y Análisis de Diseños Previos



Nota. Benchmarking y análisis de diseños previos a considerar en un Buggy. Benítez, 2023.

Selección de Materiales y Procesos de Fabricación en el Diseño de Buggies de Competencia

La selección de materiales y procesos de fabricación representa una etapa crucial en el proceso de diseño de buggies de competencia. Esta decisión estratégica influye directamente en la performance, la durabilidad y la seguridad de los vehículos diseñados. A continuación, se presentan algunos de los materiales más adecuados y procesos de fabricación comunes, junto con un ejemplo ilustrativo de su implementación en el software de diseño SolidWorks®.

Materiales Recomendados

Aleaciones de Aluminio. Las aleaciones de aluminio, como la serie 6061 y 7075, se consideran altamente apropiadas para su empleo en buggies de competencia debido a su combinación de resistencia y peso ligero. Estos materiales son ideales para la manufactura de componentes estructurales como chasis, brazos de suspensión y bastidores de motor.

Acero de Alta Resistencia. Los aceros de alta resistencia, como el acero al carbono 4130 o el acero de ultra alta resistencia (UHSS), ofrecen una excelente combinación de resistencia y tenacidad. Estas variantes de acero resultan idóneas para componentes que están expuestos a cargas elevadas, tales como los puntos de anclaje de la suspensión y estructuras sujetas a impactos.

Materiales Compuestos. Los materiales compuestos, entre los que se incluyen la fibra de carbono y la fibra de vidrio impregnadas en resina epoxi, son ampliamente reconocidos por su alta relación resistencia-peso. Estos materiales encuentran su aplicación en paneles de carrocería, elementos generadores de carga aerodinámica y componentes estructurales que requieren rigidez junto con un diseño personalizado.

Ejemplo Ilustrativo en SolidWorks©

En el escenario ilustrativo, se asume la tarea de diseñar un brazo de suspensión trasero para un buggy de competencia utilizando SolidWorks©. Se opta por emplear una aleación de aluminio de la serie 6061 debido a su equilibrado desempeño en términos de resistencia y peso. En SolidWorks, se procede a la selección del material 6061 dentro de la biblioteca de materiales y se aplica esta propiedad al modelo del brazo de suspensión.

A continuación, se decide aplicar un proceso de fabricación de forja en caliente para producir el brazo de suspensión. En SolidWorks, el ingeniero utiliza funcionalidades avanzadas de modelado para configurar la geometría específica requerida por el proceso de forja. Esto podría involucrar la creación de geometrías que permitan el flujo del material durante la manufactura.

Finalmente, se emplea la herramienta de simulación estructural en SolidWorks para evaluar cómo el brazo de suspensión responderá bajo las cargas anticipadas durante la competencia. A través del análisis de elementos finitos, se prevé cómo el material 6061 se comportará en términos de tensiones y deformaciones. Esto asegura que el brazo de suspensión cumple con los estándares requeridos en términos de seguridad y desempeño.

Análisis de Cargas y Escenarios de Uso

Entender las cargas y escenarios de uso a los que se someterá el buggy es esencial para crear una estructura que pueda resistir condiciones extremas. Los usuarios deben analizar las fuerzas que actuarán sobre el vehículo durante la competición, como las aceleraciones, frenadas e impactos. Esto permite dimensionar adecuadamente los componentes y prever áreas de concentración de tensiones.

Consideraciones de Seguridad y Ergonomía

La seguridad del conductor y la ergonomía son factores que no deben pasarse por alto. El diseño debe tener en cuenta la protección del conductor en caso de accidentes y asegurar una disposición ergonómica de los controles y asientos para maximizar la comodidad y el control del piloto durante la competencia.

Creación de Prototipos y Pruebas Iniciales

Antes de comprometerse con un diseño final, es recomendable crear prototipos y realizar pruebas iniciales. Estas pruebas proporcionan información valiosa sobre el comportamiento real de la estructura y permiten ajustes y mejoras antes de avanzar en el proceso de diseño.

En conjunto, estas consideraciones preliminares al diseño CAD establecen los cimientos para un proceso de diseño exitoso y eficiente. Al abordar estos aspectos desde el principio, los usuarios pueden asegurarse de que su enfoque esté en línea con los objetivos de diseño, cumplir con las regulaciones y requisitos de competencia, y crear estructuras tubulares que destaquen en términos de rendimiento, seguridad y competitividad.

Consideraciones Avanzadas en el Diseño CAD y FEA

Dentro de este capítulo, se profundizará en las consideraciones avanzadas que enriquecen el proceso de diseño de buggies de competencia mediante el uso de herramientas CAD y simulaciones de elementos finitos (FEA). Estas consideraciones van más allá de los conceptos básicos y abordan aspectos esenciales para lograr un diseño óptimo y competitivo en el mundo de las carreras de buggies.

Optimización Topológica

La optimización topológica es una estrategia avanzada que permite a los usuarios explorar geometrías óptimas al distribuir el material de manera eficiente. Utilizando algoritmos sofisticados, el software busca configuraciones que minimicen el peso sin comprometer la integridad estructural. Esta herramienta abre la puerta a diseños innovadores y eficientes que podrían no ser evidentes mediante enfoques tradicionales (Bendsøe y Sigmund, 2004).

Fatiga y Durabilidad

En el contexto de buggies de competencia, donde las estructuras están sometidas a cargas repetidas y vibraciones intensas, la consideración de la fatiga y la durabilidad es de vital importancia. La fatiga se refiere al debilitamiento progresivo de un material sometido a cargas cíclicas, y la durabilidad implica la capacidad de la estructura para resistir dichas cargas a lo largo del tiempo.

En el ámbito de la fatiga, es esencial anticipar cómo las cargas cíclicas pueden afectar la integridad del material con el tiempo. Esto implica una cuidadosa selección de materiales que puedan soportar estas condiciones y la optimización de las uniones entre componentes para minimizar los puntos de concentración de tensiones, que son propensos a la propagación de grietas por fatiga.

La durabilidad, por otro lado, va más allá de simplemente evitar la fractura inmediata. Se refiere a la capacidad de la estructura para mantener su rendimiento y resistencia a lo largo del tiempo, incluso después de numerosos ciclos de carga. En este sentido, la ingeniería debe abordar la resistencia del material a la fatiga, pero también considerar aspectos como la corrosión, el desgaste y otros factores ambientales que podrían afectar la vida útil del buggy.

Cabe recalcar que los respectivos análisis simulados se representaran en el apartado de simulaciones de elementos finitos para estructuras tubulares.

Validación Experimental

A pesar de las capacidades avanzadas de simulación, la validación experimental sigue siendo crucial. Las pruebas físicas en prototipos reales permiten verificar y ajustar los resultados simulados. Esto proporciona un enfoque equilibrado y confiable para garantizar que

las simulaciones reflejen con precisión el comportamiento estructural en condiciones reales de competición.

Innovación en Materiales

La búsqueda de materiales innovadores es un factor determinante en la mejora del rendimiento de los buggies. La adopción de materiales compuestos, aleaciones avanzadas y tecnologías de fabricación emergentes puede resultar en un peso reducido y una mayor resistencia, contribuyendo directamente a la eficiencia y competitividad del buggy.

Integración de Diseño y Fabricación

La colaboración fluida entre los equipos de diseño y fabricación es esencial. El diseño CAD debe considerar los aspectos prácticos de la fabricación desde las primeras etapas. Integrar el diseño con la fabricación asegura que las soluciones propuestas sean factibles de producir y permite identificar posibles problemas antes de que se conviertan en obstáculos en la etapa de producción.

Estas consideraciones avanzadas representan el nivel más alto de enfoque técnico y estratégico en el diseño de buggies de competencia. Al abordar estos aspectos con atención y cuidado, los usuarios pueden crear estructuras que no solo superen los desafíos de la competición, sino que también promuevan la innovación y la excelencia en la industria de los vehículos todoterreno.

Simulaciones de Elementos Finitos para Estructuras Tubulares

Miembro Estructural

Introducción. El método de Análisis por Elementos Finitos, comúnmente abreviado como FEA, se utiliza para predecir el comportamiento mecánico de una pieza mediante simulaciones que analizan sus esfuerzos y deformaciones. Este enfoque técnico permite comprender principalmente los efectos de las fuerzas aplicadas sobre el elemento bajo análisis, permitiendo así evaluar si la pieza experimentará deformaciones o fracturas.

El método de Análisis por Elementos Finitos (FEA, por sus siglas en inglés) ofrece el beneficio principal de optimizar los tiempos y mejorar la seguridad en el proceso de fabricación (Cook, et al., 2007).

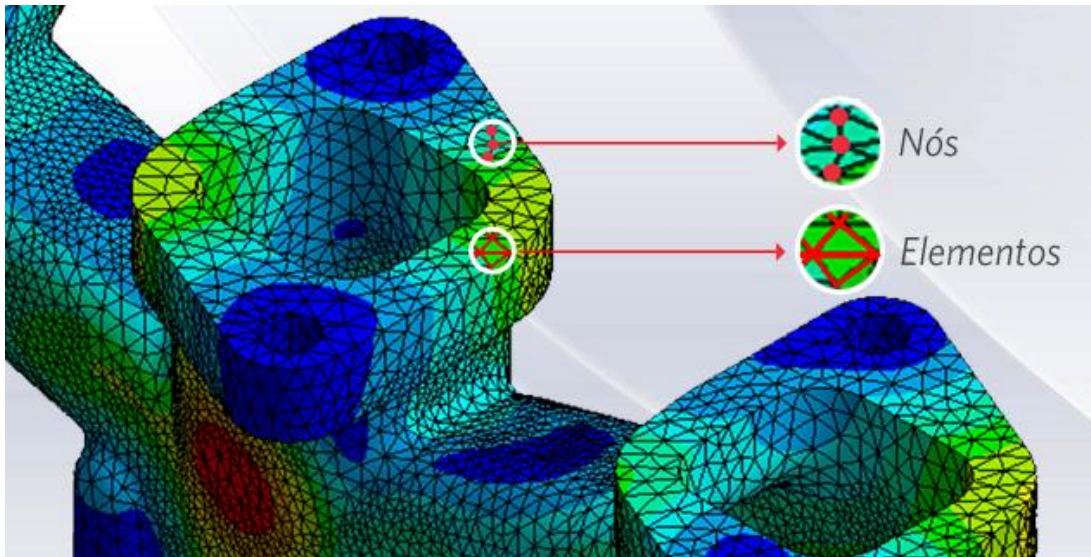
Esto se logra mediante la capacidad de desarrollar prototipos virtuales utilizando un simulador en lugar de recurrir a la fabricación física. De esta manera, se pueden identificar y resolver posibles problemas de diseño y rendimiento de manera anticipada, lo que contribuye a un proceso de producción más eficiente y a la reducción de costos asociados a pruebas físicas y ajustes posteriores.

Método de Elementos Finitos. El Método de Elementos Finitos (MEF), también conocido como método numérico, se utiliza para resolver ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de materiales y estructuras.

Este método se centra en la subdivisión de la geometría a analizar en partes más pequeñas llamadas elementos. Estos elementos pueden tener formas triangulares o cuadradas, y su tamaño puede variar, permitiendo la elección entre una malla fina o gruesa. La interconexión de estos elementos da lugar a puntos de intersección conocidos como nodos, como se ilustra en la Figura 38.

Figura 38

Mallado de un múltiple de escape de un automóvil



Nota. Imagen que indica los elementos y nodos en un mallado de un múltiple de escape, obtenida de ESSS, 2016

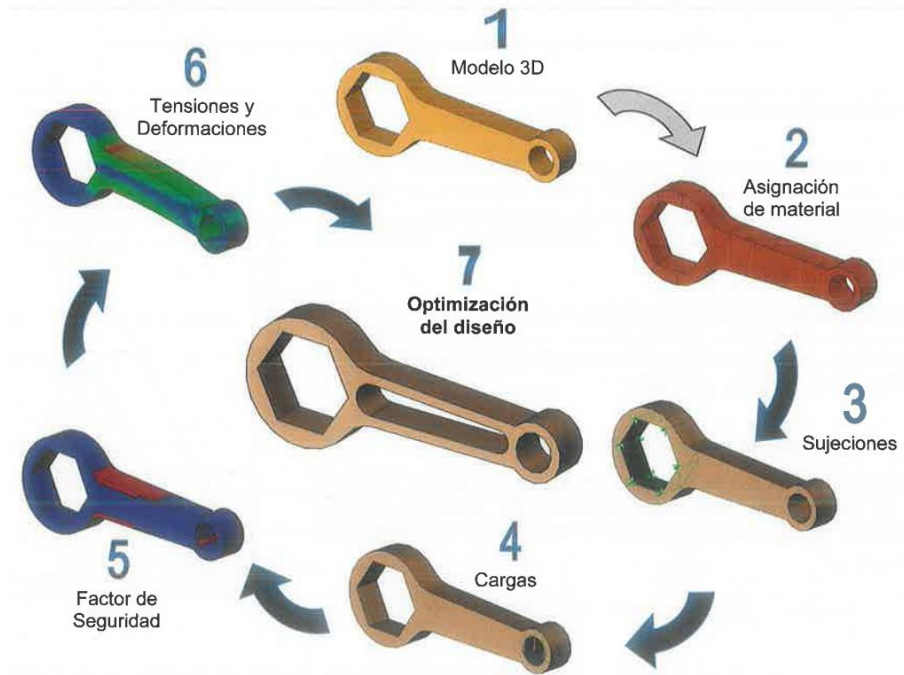
En los análisis mediante el MEF, se formulan ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de cada elemento en la malla. Estas ecuaciones son esenciales para entender la interacción y acoplamiento de los elementos en la estructura global. Fundamentalmente, estas ecuaciones relacionan los desplazamientos de los nodos en las direcciones X, Y Z con las cargas aplicadas, estableciendo así una relación matemática entre la deformación de los elementos y las fuerzas aplicadas.

En el análisis MEF, es crucial considerar los puntos de sujeción o restricciones en la estructura, indicando dónde la estructura está conectada o restringida en su movimiento. Estos puntos son clave para comprender el comportamiento global de la estructura. Una vez formuladas las ecuaciones y consideradas las condiciones de sujeción, el análisis MEF permite calcular las tensiones y deformaciones en todo el objeto o componente analizado. Esta información es esencial para garantizar la seguridad y el rendimiento de la estructura o componente en su rango de análisis.

La Figura 39 ilustra los procesos que implica un análisis MEF, desde el modelado 3D hasta la optimización del diseño en una simulación.

Figura 39

Etapas en el análisis de validación de comportamientos mecánicos



Nota. Imagen que interpreta las etapas de un proceso de análisis de un elemento. Obtenido del Gran Libro, p. 784, 1995.

K. J. Bathe (1995) indica lo siguiente:

El programador puede insertar numerosos algoritmos o funciones que pueden hacer al sistema comportarse de manera lineal o no lineal. Los sistemas lineales son menos complejos y normalmente no tienen en cuenta deformaciones plásticas. Los sistemas no lineales toman en cuenta las deformaciones plásticas, y algunos incluso son capaces de verificar si se presentasen fracturas en el material. (p. 12)

La mayoría de los usuarios encargados del diseño y análisis desarrollan diversos elementos para observar su comportamiento utilizando métodos de elementos finitos, los análisis más usados se pueden evidenciar a continuación:

- ✓ Análisis estático: se emplea en el caso de que una estructura se somete acciones estáticas, es decir no dependientes del tiempo
- ✓ Análisis vibracional: principalmente se usa para analizar la estructura sometido a vibraciones de elementos, impactos en una estructura rígida.
- ✓ Análisis de fatiga: utilizado para predecir la vida del material en funciones de uso, para lo cual anticipa el efecto de ciclos de carga, este análisis puede indicar puntos donde principalmente se puede generar una grieta y tolerancia al fallo.

También K. J. Bathe (1995) indica que; “los modelos de análisis de transferencia de calor por conductividad o por dinámicas térmicas de flujo del material o la estructura. El estado continuo de transferencia se refiere a las propiedades térmicas en el material que tiene una difusión lineal de calor” (p. 12).

Proceso de Simulaciones de Elementos Finitos (FEA) y Su Aplicación

La adecuada definición de las propiedades de los materiales desempeña un papel crítico en el proceso de simulación por elementos finitos (FEA) utilizado en el diseño de estructuras tubulares para buggies de competencia. Estas propiedades constituyen el fundamento sobre el cual se modela la respuesta estructural ante distintas condiciones de carga y estrés. La comprensión de la interacción entre los materiales y las fuerzas aplicadas resulta esencial para anticipar el comportamiento real de la estructura en situaciones de competición (Reddy, 2018).

Modelado Geométrico Preciso

El proceso de simulación FEA comienza con la creación de un modelo geométrico preciso de la estructura tubular del buggy. Cada componente y detalle debe ser modelado con exactitud para que el análisis refleje la realidad de manera adecuada. La calidad del modelado influirá directamente en la confiabilidad y precisión de los resultados de la simulación.

Definición de Condiciones de Frontera y Cargas

Una vez que el modelo geométrico está en su lugar, se definen las condiciones de frontera y las cargas que la estructura experimentará en su entorno operativo. Estas condiciones incluyen restricciones en puntos específicos y las fuerzas o presiones aplicadas a la estructura. La precisión en la definición de estas condiciones es esencial para que los resultados de la simulación sean representativos de las condiciones reales.

Propiedades de los Materiales y su Impacto en la Simulación FEA

La correcta definición de las propiedades de los materiales es un factor crítico en el proceso de simulación de elementos finitos (FEA) aplicado al diseño de estructuras tubulares para buggies de competencia. Estas propiedades forman la base sobre la cual se modela la respuesta estructural ante diversas condiciones de carga y estrés. Comprender cómo los materiales interactúan con las fuerzas aplicadas es esencial para prever el comportamiento real de la estructura en condiciones de competición.

Análisis Estructural

Durante el proceso de selección de materiales, se inicia primordialmente con las especificaciones proporcionadas por cada tipo de material para el elemento en consideración. En el mercado se encuentra una diversidad de opciones, cada una con sus características técnicas distintivas, como su nombre técnico, composición, módulo de Young, límite elástico, entre otros aspectos que serán abordados posteriormente (Callister y Rethwish, 2018).

Asimismo, se ofrece la posibilidad de crear un material personalizado, lo que permite definir las especificaciones deseadas para adaptarse a las necesidades específicas de la aplicación. Esta opción proporciona una flexibilidad significativa en la elección del material y la capacidad de ajustar las propiedades de acuerdo con los requisitos del diseño.

En la Figura 40, se muestra la biblioteca de materiales, donde los usuarios pueden seleccionar el modelo de material específico que se ajuste a las propiedades requeridas para la aplicación del elemento. Esta biblioteca proporciona una vista rápida y accesible de las opciones de materiales disponibles, facilitando así la elección adecuada del material para garantizar un rendimiento óptimo en la aplicación deseada.

Figura 40

Selección del material desde el gestor de diseño

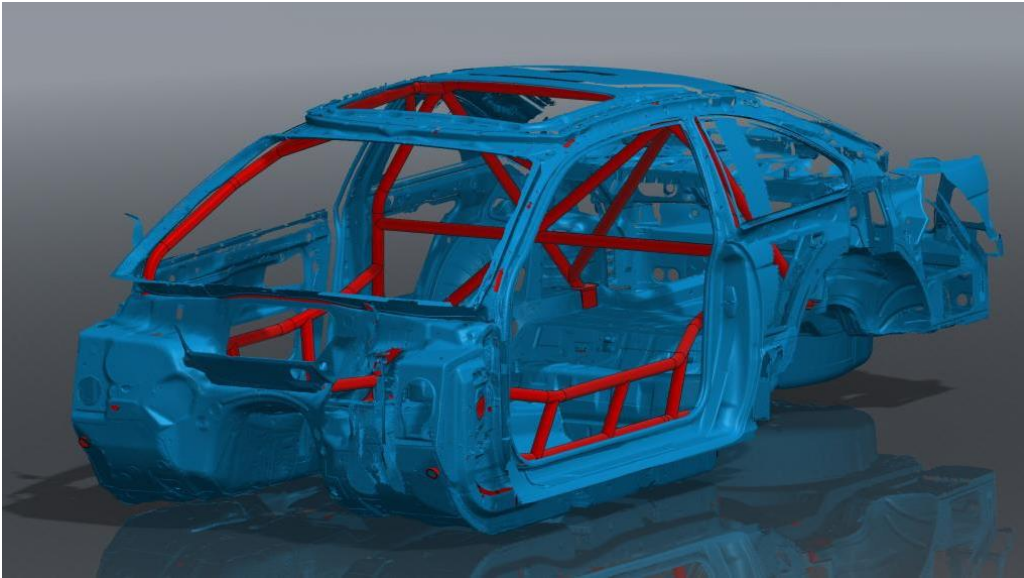
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	7.93e+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	250000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Nota. Imagen que indica las propiedades de un material en CAD. Benítez A, 2023.

Para el caso del diseño de una estructura rígida aplicada a un vehículo de competencia es utilizado el acero con aleación cromo molibdeno o el acero A36 como se observa en la Figura 41, este material es esencial por sus propiedades a resistir impactos y deformaciones de gran tamaño, adicional se lo utiliza en el campo automotriz para creación de jaulas articulaciones o principalmente una estructura entera.

Figura 41

Jaula antivuelco de un vehículo Tesla Model3



Nota. Imagen que indica una jaula antivuelco en un vehículo. Creaform3d, 2022.

Una biblioteca de materiales incluye aproximadamente una lista de 10 tipos de materiales los cuales se desglosan en variantes de cada material, en un software CAD se puede incorporar varios materiales en un elemento de tal manera que por cada pieza se asignaría un material distinto si es posible, así como se observa en la tabla 6.

Tabla 6*Subdivisión de materiales*

Material	Tipos
Acero	AISI 305, AISE 1020, acero aleado fundido, acero al carbono fundido, acero inoxidable fundido, acero inoxidable al cromo, acero galvanizado al carbono no aleado y acero inoxidable forjado
Hierro	Dúctil, fundición gris y fundición maleable
Aleaciones de aluminio	Aleación 1060, aleación 1345, aleación 1350, aleación 2014, aleación 2018, aleación 2024, aleación 3003, aleación 6061 y aleación 7079
Otras aleaciones	Duranickel ® 301, aleación de magnesio y monel ® 400
Cobre y sus aleaciones	Bronce de aluminio, latón, cobre, bronce comercial al plomo, bronce al manganeso, bronce al estaño y cobre forjado
Plásticos	ABS, ABS PC, acrílico (impacto medio-alto), nylon 6/10, PA 6, PBT, PC elevada viscosidad, PE elevada densidad, PE densidad baja/media, POM acetal copolímero, PP copolímero, PS flujo medio/alto, PVC plastificado, PVC rígido y PTFE perspex TOM GS acrílico
Otros metales	Cobalto, molibdeno, níquel, oro, plata, plomo, titanio, tungsteno, vanadio, zirconio
Fibras de vidrio	Fibras de vidrio-A, fibras de vidrio-C, fibras de vidrio-E y fibras de vidrio-S
Fibras de carbono	Zoltek panex 33, Excel AS4C (3000 filamentos), thornel Mat VMA y Thornel VCB-20 carbon cloth
Silicios	Silicio y dióxido de silicio
Otros no metales	Aire, porcelana, vidrio, caucho y agua
Madera	Haya, cedro, arce, roble, pino, teca y caoba

Nota. Tabla que indica los tipos de materiales en un software CAD, Benítez, 2023.

Resistencia a la Tracción y Compresión. La resistencia a la tracción y a la compresión son propiedades esenciales de los materiales que definen su capacidad para resistir cargas de tracción y compresión, respectivamente (Askeland y Phulé, 2016).

Estas propiedades son vitales en la simulación FEA, ya que definen la capacidad de un material para resistir esfuerzos de estiramiento o compresión sin deformarse permanentemente o fallar. Los usuarios deben proporcionar datos precisos sobre estas resistencias para garantizar que la simulación represente fielmente cómo el material se comportará bajo cargas específicas.

Módulo de Elasticidad y Deformación Elástica. El módulo de elasticidad, comúnmente referido como módulo de Young, representa una propiedad que caracteriza la rigidez de un material. Este parámetro señala cómo un material experimenta una deformación elástica al ser sometido a una fuerza, así como su capacidad para recuperar su forma original una vez que se retira la carga aplicada (Ashby y Cebon, 2019).

En la simulación FEA, el módulo de elasticidad se utiliza para calcular deformaciones elásticas temporales. Proporcionar el valor correcto de esta propiedad es esencial para lograr resultados precisos.

Densidad y Peso del Material. La densidad de un material ejerce una influencia directa en su peso y, consecuentemente, en la carga total que puede soportar una estructura (Callister y Rethwish, 2018).

En las simulaciones FEA, la densidad se utiliza para determinar la masa de los componentes y cómo interactúan con las fuerzas aplicadas. Un cálculo incorrecto de la densidad puede llevar a resultados inexactos en términos de deformación y esfuerzos. Por lo tanto, es imperativo que los usuarios suministren datos precisos sobre la densidad del material.

Coefficiente de Poisson y Modo de Deformación. El coeficiente de Poisson es una característica que describe la manera en que un material se deforma lateralmente en respuesta a una carga aplicada axialmente. Esta propiedad resulta especialmente relevante al modelar conexiones y uniones en estructuras tubulares, dado que influye en la distribución de esfuerzos dentro de la estructura (Beer, et al., 2014).

Además, el coeficiente de Poisson afecta la forma en que la estructura responde a cargas combinadas y puede influir en la presencia de puntos de concentración de tensiones.

Una vez que se ha realizado la simulación, los usuarios analizan y visualizan los resultados. Estos resultados incluyen información sobre tensiones, deformaciones, desplazamientos y otros parámetros relevantes. La visualización de los resultados a través de gráficos y mapas de colores ayuda a identificar áreas críticas de estrés y puntos de preocupación en la estructura.

Limitaciones y Desafíos

A pesar de su utilidad, las simulaciones FEA tienen limitaciones. Los modelos simplificados pueden no capturar todos los aspectos de la realidad, y los resultados pueden variar según las suposiciones y datos de entrada. Además, las simulaciones son solo representaciones de la realidad y puede haber factores imprevistos que no se contemplan en el modelo.

Análisis de Simulación

En este punto del proceso, se incorporan todos los requisitos pertinentes del elemento, como sujeciones, fuerzas, cargas y otros factores importantes. Se identifican los puntos críticos en los que un elemento puede recibir apoyo para aplicar fuerzas, torsiones o cargas. Es importante considerar que, al analizar una estructura rígida, se deben tener en cuenta los puntos donde se llevará a cabo un análisis detallado.

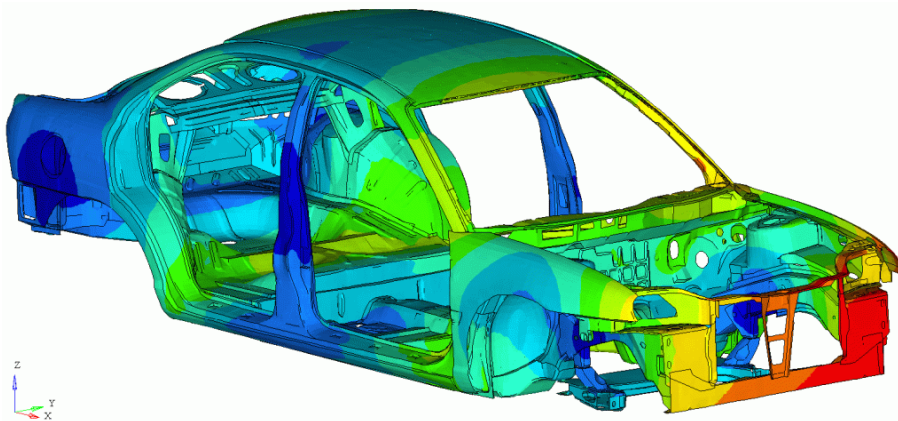
En el contexto de un impacto frontal, es esencial tener en consideración los puntos de unión o bujes entre el componente y las mesas de cada rueda. Esto se debe a que estas uniones están conectadas al piso, lo que crea puntos de apoyo fijos con la carrocería. Estos puntos juegan un papel crucial en la transmisión de fuerzas y cargas a través de la estructura durante un impacto frontal, lo que afecta significativamente el comportamiento del elemento.

Además de los puntos de sujeción y apoyo, es importante tener en cuenta el plano de la estructura. Esto implica considerar la orientación y disposición de los componentes en relación con un plano de referencia. La configuración en el plano puede influir en la distribución de fuerzas y deformaciones a lo largo de la estructura, lo que es fundamental para un análisis preciso y completo.

En conjunto, la identificación y consideración adecuada de los puntos de sujeción, puntos de apoyo y plano de la estructura son aspectos esenciales para comprender y modelar adecuadamente el comportamiento del elemento en una variedad de situaciones, incluido un impacto frontal.

Figura 42

Análisis de impacto frontal mediante elementos finitos



Nota. Figura que indica el impacto frontal en un vehículo de competición. Obtenido de ingeniería y mecánica, 2019.

Como comenta. Ingeniería y Mecánica Automotriz, (2019) que:

Las escuderías de Fórmula 1 se sirven principalmente de software comercial comprado, que cuestan alrededor de entre 1.000 y 5.000 dólares. Estos programas ofrecen amplias capacidades, como deformación plástica o el estudio de estructuras de impacto. Los paquetes de elementos finitos pueden incluir previos procesadores que se emplean para originar geometrías, o la posibilidad de importar archivos de CAD producidos por otro tipo de software (p.1).

Mediante estudios realizados a las estructuras de vehículos de fórmula 1 se requiere un análisis preciso de las características estructurales y sus restricciones. Hoy en día, los materiales compuestos de fibra de carbono son un factor significativo en el diseño de Fórmula Uno. La fibra de carbono sólo representa el 20% del peso del coche, pero el 80% en volumen estructural del mismo.

El chasis monocasco de un monoplaza de Fórmula 1 es una estructura especializada que adopta una forma similar a la de un sándwich. En términos más simples, está construido utilizando materiales avanzados, en particular, fibra de carbono reforzada con polímero. Este

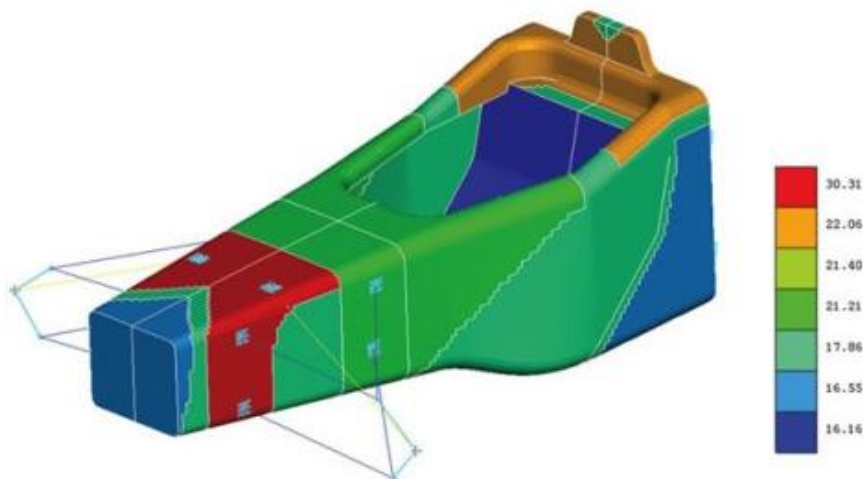
compuesto está compuesto por láminas de alto rendimiento y cuenta con un núcleo interno fabricado con material tipo nido de abeja llamado Nomex.

Estos compuestos son conocidos por su impresionante resistencia y durabilidad, y se fabrican utilizando resinas endurecidas de alta calidad que cumplen con estándares aeroespaciales. La elección de estos materiales es fundamental para lograr una relación óptima entre seguridad y rendimiento, manteniendo un peso reducido.

Todos los puntos de anclaje destinados para elementos como el propulsor, las suspensiones, las entradas de aire, entre otros, se fabrican mediante la inserción de piezas especiales empotradas en una estructura laminada durante la fase de producción. Esta técnica garantiza una fuerte sujeción de estos componentes clave en la estructura del chasis, lo que es fundamental para el funcionamiento seguro y eficiente de un monoplaza de Fórmula 1 en las condiciones extremas de las carreras.

Figura 43

Análisis de estático de esfuerzos en un chasis monocasco de F1



Nota. Puntos críticos de impacto en un chasis de F1. Imagen obtenida de Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2019.

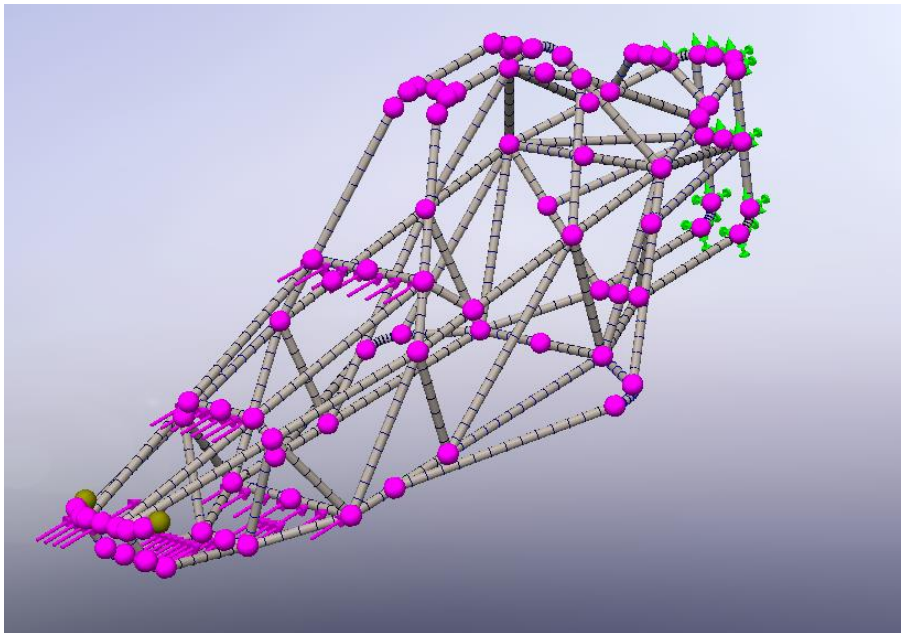
Simulación en un Sistema Ideal Para Buggy

Análisis Estático. Considerando los aspectos previamente mencionados en relación con el análisis estructural, se procede a simular un buggy con estructura tubular para evaluar su comportamiento.

Para ello, el material simulado es un ASTM A36 acero y la soldadura aplicada es un AISI 1035 acero, aplicando sus respectivos nodos, mallados y cargas presentado en la figura 44 se obtiene un análisis estático presentado en las tablas 7 y 8.

Figura 44

Análisis de esfuerzos en un chasis monocasco de F1

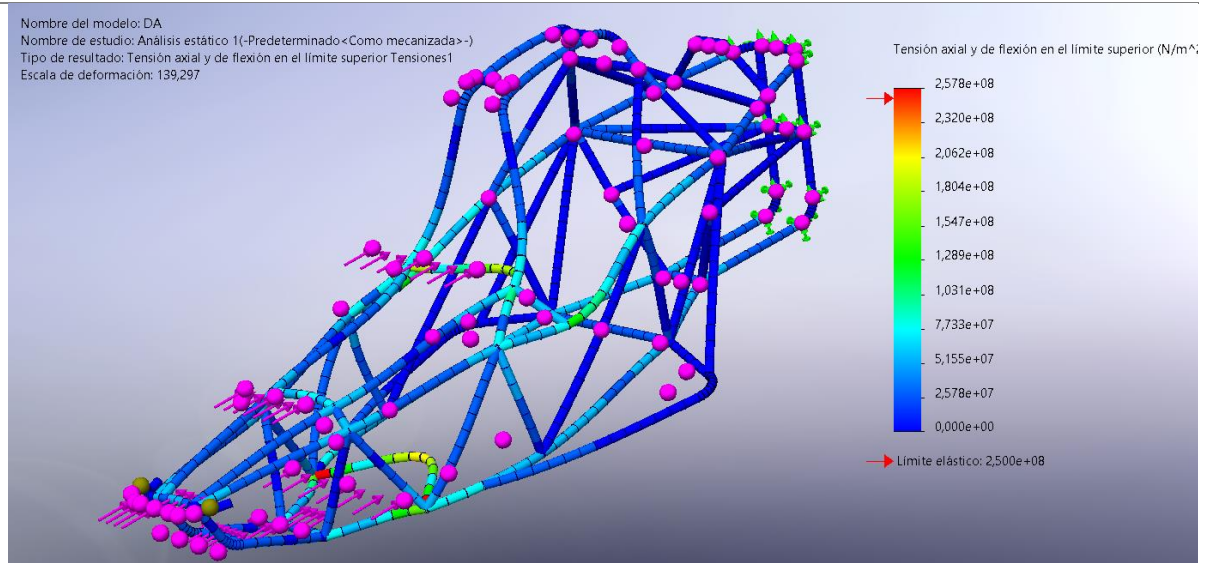


Nota. Nodos aplicados en una estructura tubular, Benítez A. 2024.

Tabla 7

Tensión axial y de flexión en el límite superior

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones 1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0,000e+00N/m ² Elemento: 81	2,578e+08N/m ² Elemento: 649

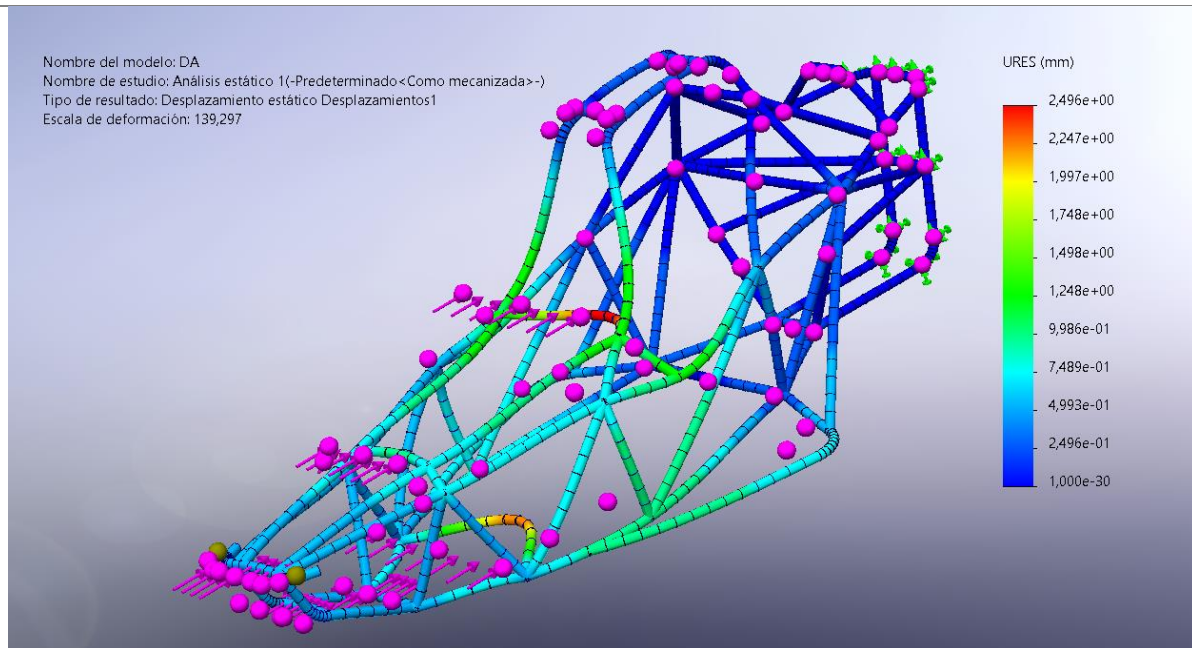


Nota. Tensión aplicada a un buggy, Benítez A. 2024.

Tabla 8

Desplazamiento generado en un buggy

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 26	2,496e+00mm Nodo: 1



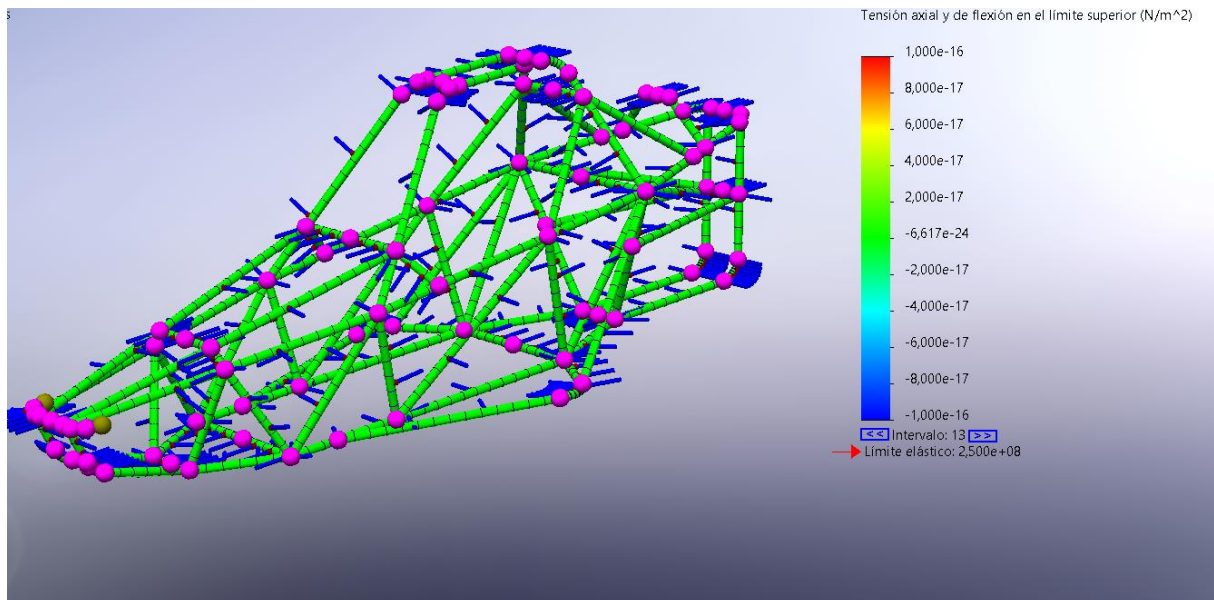
Nota. Desplazamientos generados a un buggy, Benítez A. 2024.

Las simulaciones revelan un ligero desplazamiento en los componentes, los cuales actuarían como salvaguarda en caso de un impacto frontal, considerado como el más crítico, ya que un vuelco no generaría una carga significativa capaz de dañar la estructura. Al aplicar

el mismo análisis para evaluar su respuesta ante cambios de temperatura, los resultados se reflejan en la figura 45 donde indican que la temperatura simulada de 500 grados Celsius no represente un valor de deformación en la estructura y esto es natural puesto que el acero ASTM A36 soporta grados cercados a los 1000 grados Celsius sin embargo a la mitad empieza a tener deformaciones. Por lo tanto, la deformación presentada por la temperatura en el análisis no afecta en gran medida la estructura tubular como para descartar dicho material.

Figura 45

Análisis de temperatura aplicado a un buggy



Nota. Temperatura de 500 grados Celsius a un buggy, Benítez A. 2024.

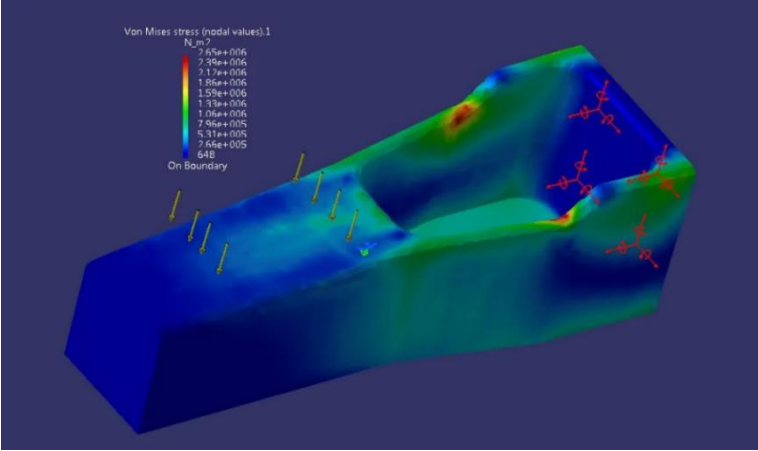
Análisis de Fatiga y Durabilidad. La simulación por elementos finitos (FEA) desempeña un papel crucial al modelar y analizar cómo las tensiones fluctúan a lo largo del tiempo, permitiendo identificar áreas propensas a la fatiga y optimizar el diseño para mejorar la resistencia y la longevidad del buggy en condiciones de competencia. Este enfoque proactivo garantiza que el diseño no solo cumpla con los requisitos de rendimiento iniciales, sino que también perdure en un entorno competitivo exigente.

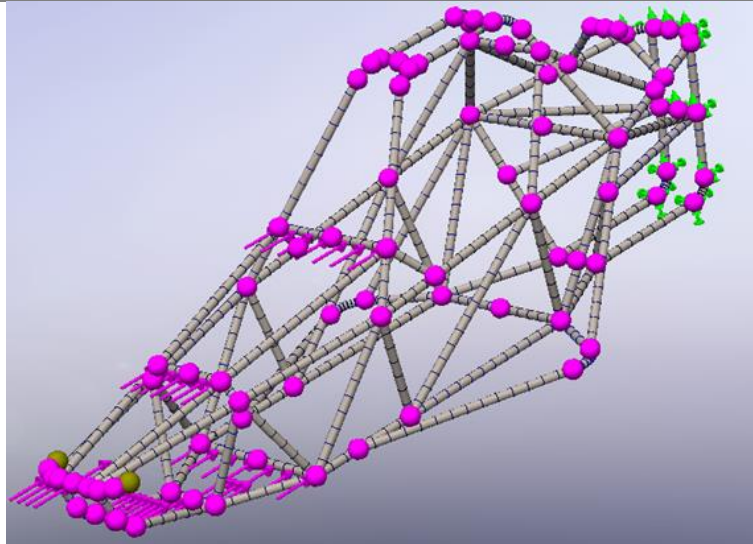
Sin embargo, basta con un análisis del material empleado en el buggy, por ejemplo, con el ASTM A36 bastaría con saber que la durabilidad El ASTM A36 no es un acero inoxidable, por lo que su resistencia a la corrosión puede ser limitada en ambientes corrosivos. Se pueden aplicar recubrimientos protectores o se puede optar por aceros inoxidables si la resistencia a la corrosión es una consideración crítica por otra parte frente a cargas cíclicas o impactos repetidos puede ser un factor importante sin embargo al ser una estructura tubular la durabilidad dependerá directamente del uso y no tanto por su composición puesto que la carga cíclica afecta a componentes exceptuando estructuras solidas como lo es un chasis tubular. Se estima que su ciclo de vida es de aproximadamente diez años, considerando que estas estructuras son utilizadas en competiciones y no en aplicaciones diarias. Este cálculo toma en cuenta la eficacia del mantenimiento y los cuidados respectivos para estimar la duración del uso.

Estudios Comparativos y Análisis de Diseños Anteriores. En última instancia, se llevará a cabo una comparación entre las dos estructuras simuladas. Este análisis se fundamenta en la amplia utilización de los materiales en competiciones, como es el caso del monocasco de Fórmula 1 con su revestimiento y estructura compuesta de Kevlar y fibra de carbono, en contraste con la estructura tubular de un Buggy, caracterizada por su construcción en acero ASTM A36.

Tabla 9

Estudios Comparativos y Análisis de Diseños Anteriores

Monocasco de Fórmula 1	Comparaciones
	<p>Propiedades Mecánicas:</p> <p>Extremadamente alta resistencia a la tracción y rigidez. Ligero y rígido, proporcionando una relación resistencia-peso excepcional. Peso y Densidad:</p> <p>Liviano, contribuyendo significativamente a la eficiencia del rendimiento del vehículo. Durabilidad:</p> <p>Mayor durabilidad debido a la resistencia a la corrosión y la capacidad para absorber energía de impactos.</p>
Estructura tubular de Buggy	Características



Propiedades Mecánicas:

Buena resistencia a la tracción y compresión. Ductilidad moderada, que puede absorber ciertos impactos sin fracturarse.

Peso y Densidad:

Más pesado en comparación con materiales compuestos, lo que puede afectar al rendimiento del buggy en términos de velocidad y maniobrabilidad.

Durabilidad:

Adecuado para aplicaciones estructurales, con mantenimiento y cuidado eficaces que pueden prolongar su vida útil.

Conclusiones: El acero ASTM A36 es adecuado para la estructura tubular de un buggy, mientras que la fibra de carbono con Kevlar es esencial para cumplir con los rigurosos requisitos de rendimiento y seguridad en un monocasco de Fórmula 1. La elección entre ellos dependerá de los objetivos específicos de diseño y rendimiento para cada aplicación.

Nota. Estudios Comparativos y Análisis de Diseños Anteriores, Benítez A. 2024.

CAPÍTULO IV

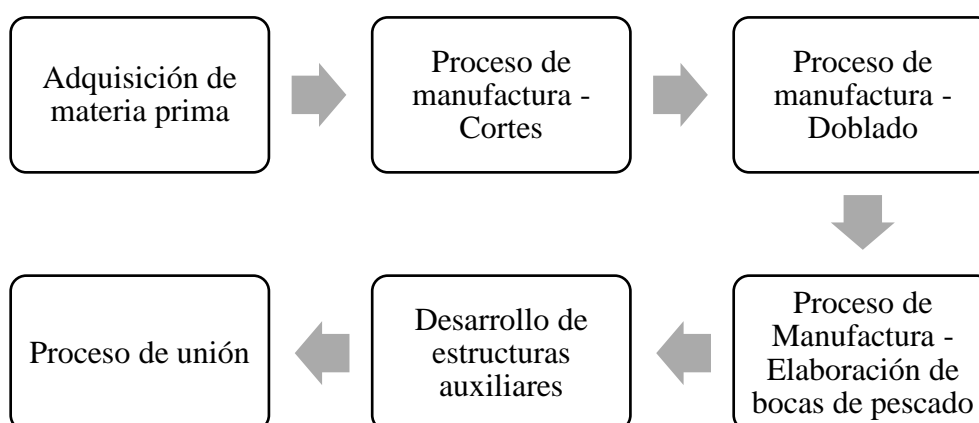
PROCESOS DE MANUFACTURA DE BASTIDORES TUBULARES

Fabricación

La fabricación del chasis tubular es un proceso fundamental en la construcción de vehículos de tipo Car Cross, Autocross o Buggy. En esta sección, se describirá las consideraciones más importantes del paso a paso del proceso de fabricación del chasis, desde la adquisición de la materia prima hasta la finalización de la estructura lista para que se monten en ella los distintos sistemas de un vehículo.

Figura 46

Proceso de fabricación del chasis



Nota. Flujograma de proceso de fabricación del chasis

Adquisición de Materia Prima

El primer paso en el proceso de fabricación del chasis tubular es la selección y adquisición de la materia prima, es decir todos los materiales a requerir para el proceso de manufactura, siendo el elemento más importante los tubos adecuados. La elección de los tubos dependerá de factores como el material, las especificaciones de diseño y las características de resistencia necesarias para el vehículo. Se deben considerar tubos de alta calidad y resistencia, como tubos de acero al carbono, acero inoxidable u otros materiales apropiados.

Es importante asegurarse de que los tubos cumplan con las normas y estándares de calidad, verificando su composición, propiedades mecánicas y acabado superficial. Además, se deben adquirir los tubos en las dimensiones y cantidades adecuadas, teniendo en cuenta los planos y el modelo 3D en software CAD del chasis.

A continuación, se muestra detalle de los materiales que exigen distintas competencias de acuerdo a su normativa. (FORMULA SAE, 2023)

Normativa FSAE 2023

Tabla 10

Medidas de tubos de acuerdo a la sección del vehículo

Uso del Tubo	Material Mínimo	Diámetro Exterior Mínimo	Espesor Mínimo de Pared
Front Bulkhead	Acero, Sección Cerrada, Tamaño B	25 mm	1.2 mm
Front Bulkhead Support	Acero, Sección Cerrada, Tamaño C	25 mm	1.2 mm
Front Hoop	Acero, Sección Cerrada, Tamaño A	25 mm	2.0 mm
Front Hoop Bracing	Acero, Sección Cerrada, Tamaño B	25 mm	1.2 mm
Side Impact Structure	Acero, Sección Cerrada, Tamaño B	25 mm	1.2 mm
Upper Side Impact Member	Acero o Alternativo, Sección Cerrada, Tamaño D	35 mm	1.2 mm
Main Hoop	Acero, Sección Cerrada, Tamaño A	25 mm	2.0 mm
Main Hoop Bracing	Acero, Sección Cerrada, Tamaño B	25 mm	1.2 mm
Main Hoop Bracing Supports	Acero o Alternativo, Sección Cerrada, Tamaño C	25 mm	1.2 mm
Harness Attachment	Acero o Alternativo, Sección Cerrada, Tamaño B	25 mm	1.2 mm
Shoulder Harness Mounting Bar	Acero, Sección Cerrada, Tamaño A	25 mm	2.0 mm
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	Acero o Alternativo, Sección Cerrada, Tamaño C	25 mm	1.2 mm
Other Structural Tubing	Acero o Alternativo, Sección Cerrada, Tamaño C	25 mm	1.2 mm

Nota. en la tabla se muestra la medida de diámetros y espesores que se normaliza utilizar en la normativa FSAE 2023 de acuerdo a cada sección del chasis tubular del vehículo.

Tabla 11*Especificaciones de materiales de acuerdo a la Norma FSAE 2023*

Material	Resistencia a la Fluencia Mínima	Resistencia a la Tracción Mínima	Módulo de Elasticidad	Composición
Acero (no soldado)	305 MPa (44.2 ksi)	365 MPa (52.9 ksi)	200 GPa (29,000 ksi)	-
Acero (soldado)	180 MPa (26 ksi)	300 MPa (43.5 ksi)	200 GPa (29,000 ksi)	-
Aluminio 6061-T6 (no soldado)	240 MPa (34.8 ksi)	290 MPa (42.1 ksi)	69 GPa (10,000 ksi)	-
Aluminio 6061-T6 (soldado)	115 MPa (16.7 ksi)	175 MPa (25.4 ksi)	69 GPa (10,000 ksi)	-
Titanio	-	-	-	Grado de titanio comercial
Magnesio	-	-	-	Aleación de magnesio comercial

Nota. en la tabla se muestra la resistencia de los materiales que deben cumplir de acuerdo al tipo de material a utilizar según la normativa FSAE 2023.

Para el caso de las especificaciones de la normativa de la FIA categoría autocross 2023, se detalla los siguientes materiales. (FIA, 2023)

Tabla 12*Medidas de tubos de acuerdo al tipo de material utilizado.*

Material	Norma	Diámetro exterior mínimo (mm)	Espesor de pared mínimo (mm)
Acero al carbono no aleado	SAE/AISI 4130N	45	2.5
Acero al carbono no aleado	SAE/AISI 1020	45	2.5
Aluminio aleado	6061-T6	45	2.5
Titanio aleado	Ti-6Al-4V	45	2.5

Nota. en la tabla se muestra la medida de diámetros y espesores que se normaliza utilizar en la normativa FIA categoría autocross 2023 de acuerdo al tipo de material a utilizar

De acuerdo a la normativa, los materiales más comunes para el chasis tubular en la categoría autocross son acero 4130, aluminio 6061 y titanio Ti-6Al-4V, con un diámetro mínimo de 45mm y espesor mínimo de pared de 2.5mm. El material debe cumplir con las normas indicadas y las soldaduras deben tener penetración total

La selección adecuada de los tubos es crítica para el proceso de fabricación de chasis tubulares. El tipo de material, dimensiones y espesor del tubo determinarán en gran medida la facilidad de soldadura, resistencia y rigidez del chasis final. Los tubos más utilizados son de acero, aluminio y titanio, cada uno con ventajas y desventajas.

El proceso de soldadura elegido debe ser compatible con el material del tubo para lograr uniones fuertes y confiables. Por ejemplo, los tubos de acero se sueldan típicamente con procesos como MIG/MAG, mientras que los tubos de aluminio y titanio requieren TIG debido a sus propiedades. La preparación adecuada de los bordes y el uso de la técnica correcta son esenciales

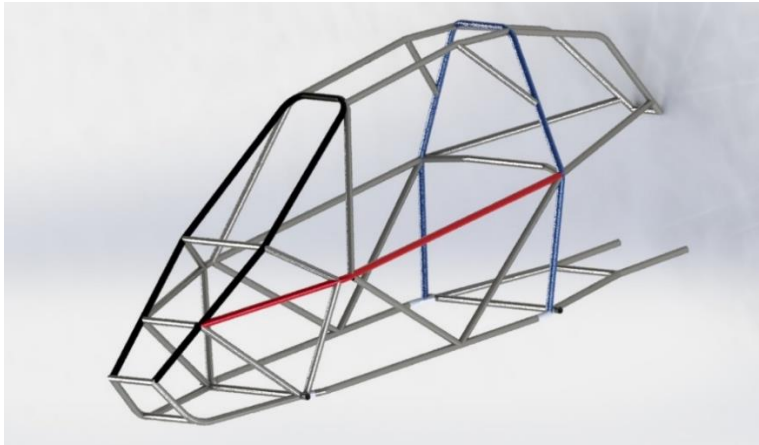
Para tubos de acero, el proceso MIG/MAG es el más común por su versatilidad, facilidad de uso y alta velocidad. Permite soldar incluso tubos de paredes delgadas. El TIG se usa a veces cuando se necesitan soldaduras de alta calidad. Los tubos de aluminio y titanio no se pueden soldar bien con MIG/MAG, por lo que casi siempre se suelda TIG para unirlos.

En resumen, elegir cuidadosamente el material y dimensiones del tubo, junto con un proceso de soldadura compatible, son claves para fabricar chasis tubulares fuertes, rígidos y confiables. La preparación y técnica de soldadura también son esenciales para uniones de alta calidad

La cantidad de material a requerir dependerá del modelo a fabricar, en el capítulo 3 se habló de las consideraciones de diseño en donde se establece y define un diseño estructural previo a su construcción. En la figura 45 a continuación se puede observar definidos por color tres secciones principales del chasis de un vehículo tubular.

Figura 47

Secciones principales del chasis



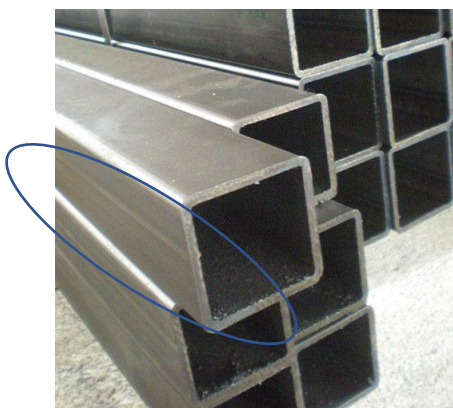
Nota. Vista de las principales secciones que conforman el chasis

Las tres secciones correspondientes a: arco de refuerzo (negro), soporte lateral (rojo) y arco de seguridad posterior (azul), se consideran en esta sección debido a que representan secciones continuas, que para su fabricación se realizarán únicamente a partir de un solo tubo. Para definir la cantidad de material se deberá considerar que la continuidad de los tubos sea la misma establecida en la sección de diseño, esto con el fin de evitar secciones débiles a causa de uniones irregulares.

Un factor que no suele ser tomado a consideración muchas de las veces es la presencia o no de la costura en el tubo de acero producto de su proceso de fabricación.

Figura 48

Costura en el tubo de acero



Nota. Vista en el ovalo de la costura en el tubo de acero

Octalacero (2018) Establece que:

Uno de los motivos por el cual se prefiere la tubería sin costura en lugar de la tubería con soldadura (con costura) es porque estas pueden soportar presiones muy altas sin agrietarse. Los tubos con costura o soldadura no pueden hacer lo mismo, ya que la costura, es decir, el punto donde la lámina se ha soldado (ver figura 48), es muy vulnerable a las grietas en condiciones de alta presión.

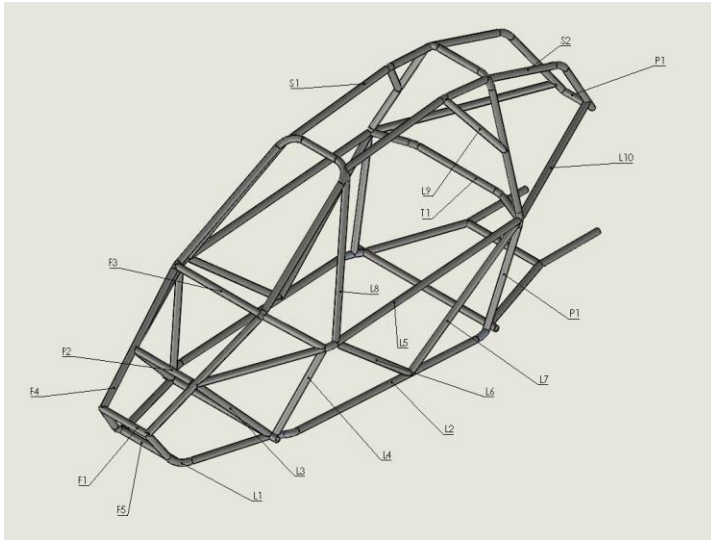
Proceso de Manufactura - Cortes

La etapa de cortes es fundamental en la fabricación del chasis tubular, ya que define la forma y la geometría de los tubos que conformarán la estructura del vehículo. En esta fase, se puede utilizar diversas técnicas y herramientas para realizar los cortes precisos y limpios en los tubos, asegurando una unión adecuada y una resistencia estructural óptima.

Inicialmente es recomendable contar con los planos y el modelo 3D del chasis tubular, los cuales proporcionan las medidas exactas y la ubicación de los cortes en los tubos. Estos planos y modelos sirven como guía durante todo el proceso de fabricación. Además de contar con las medidas se debe considerar dar una designación a cada tubo o sección del chasis tubular, esto con el fin de tener la guía correcta, a continuación, en la figura 49 se indica como ejemplo lo antes descrito.

Figura 49

Designación de los elementos tubulares del chasis



Nota. Vista de la designación para cada elemento tubular en el chasis

Antes de iniciar con cualquier corte se debe considerar si el corte será el final para ensamblaje, es decir con sus acoples o bocas de pescado para unión con proceso de soldadura, caso contrario de no ser el corte final para ensamblaje se recomienda que los cortes a realizar tengan una sobre medida de:

- ✓ Mínimo 30 mm, tomando en consideración si posteriormente se realizará un corte de boca de pescado.

- ✓ Mínimo 200 mm, si el tubo luego tendrá un proceso de doblaje y manufactura de boca de pescado.

Uno de los métodos comunes para realizar los cortes en los tubos es el uso de una sierra para metales. Esta herramienta permite cortar los tubos con precisión y facilidad. Se debe seleccionar una sierra con una hoja adecuada para el tipo de tubo y el material utilizado, garantizando un corte limpio y sin deformaciones. Es importante tener en cuenta la velocidad

de corte y aplicar una presión constante para evitar vibraciones y deformaciones en los tubos.

Las herramientas de sierra más comunes para el corte son:

- ✓ Sierra manual.
- ✓ Sierra eléctrica manual.
- ✓ Sierra eléctrica de banco.

Figura 50

Proceso de corte con disco



Nota. Proceso de corte del elemento tubular con disco de corte

Otra opción para realizar los cortes es el uso de una máquina de corte por plasma o láser tal como se muestra en la figura 51. Estas máquinas permiten realizar cortes precisos y rápidos en los tubos, especialmente en casos donde se requieren formas complejas o cortes angulares. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas máquinas pueden ser costosas y requerir un entrenamiento especializado para su uso adecuado.

Figura 51

Proceso de corte laser



Nota. Proceso de corte laser tomada de: <https://www.sohocutting.com/es/cortador-de-tubos-de-plasma/>

Además de las técnicas de corte mencionadas, es posible emplear otras herramientas y técnicas de corte para cortes específicos en los tubos, como los cortes de bocas de pescado. Estos cortes son utilizados para lograr una mayor superficie de unión entre los tubos y mejorar la resistencia de la estructura. Se deben seguir las recomendaciones de seguridad y utilizar las herramientas adecuadas para realizar estos cortes con precisión, este tipo de cortes se verán más adelante.

Es fundamental realizar una inspección visual de los cortes después de cada operación para verificar que se hayan realizado correctamente. Se deben eliminar las rebabas y asegurarse de que los extremos de los tubos estén limpios y libres de contaminantes que puedan afectar la calidad de la unión. En caso de ser necesario, se pueden utilizar limas o herramientas de desbarbado para suavizar los bordes de los cortes. Además, el cuidado también se debe centrar en evitar la humedad y contacto con líquidos que puedan percutir el metal, las secciones más críticas son las secciones internas del tubo, que luego son casi imposible curar.

Es importante destacar que los cortes deben ser realizados siguiendo las especificaciones del diseño y respetando las dimensiones establecidas en los planos. Cualquier desviación en los cortes puede afectar la geometría y la resistencia del chasis tubular, por lo que se recomienda utilizar plantillas o guías de corte para asegurar la precisión en las medidas. Las plantillas se suelen utilizar a menudo en procesos que conllevan la producción en masa, en el caso de ser prototipos se recomienda que las plantillas se extraigan directamente del software de diseño, el uso de plantillas se tratará más adelante.

En resumen, los cortes en la fabricación de un chasis tubular son una etapa crítica que define la forma y la geometría de los tubos. Utilizando herramientas adecuadas y siguiendo las especificaciones del diseño, se lograrán cortes precisos y limpios que permitirán una unión adecuada y una resistencia estructural óptima en el chasis tubular.

Figura 52

Clasificación de los elementos tubulares



Nota. Vista de los elementos tubulares clasificados según su designación

Proceso de Manufactura Doblado

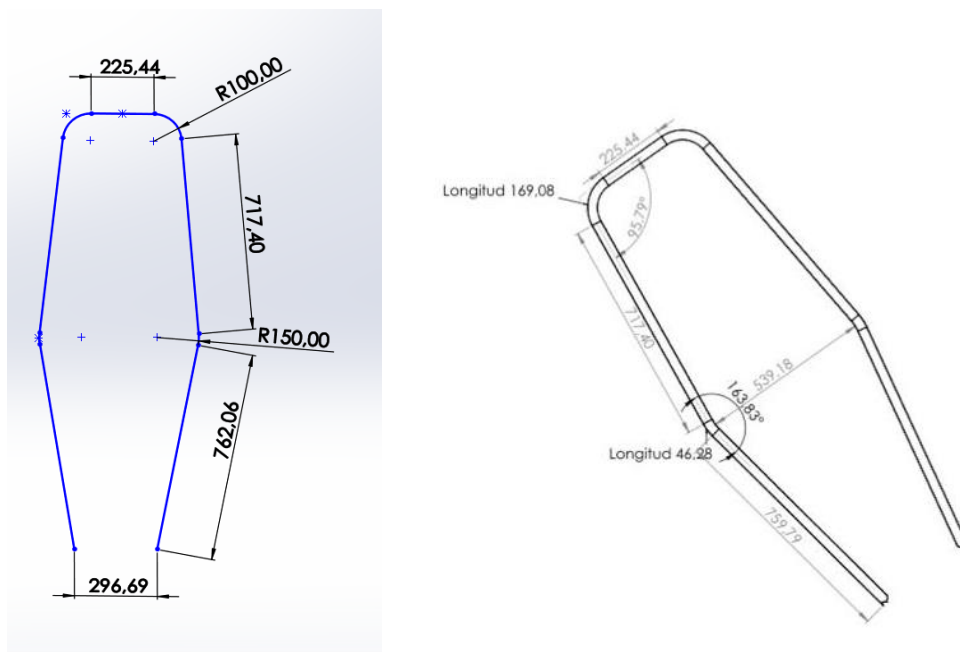
El doblado de tubos es otra etapa fundamental en el proceso de fabricación de un chasis tubular. Este proceso permite dar forma a los tubos de acuerdo con el diseño y las especificaciones del chasis. A continuación, se describen en detalle los aspectos clave del doblado de tubos:

Preparación De Los Tubos

Antes de realizar el doblado, es necesario preparar los tubos adecuadamente. Esto implica limpiarlos a fondo para eliminar cualquier residuo o suciedad que pueda afectar la calidad del doblado. Además, se debe marcar el tubo con puntos de referencia y líneas de guía para asegurar la precisión y consistencia en el proceso de doblado. Estos detalles hacen referencia a las medidas y las mismas se pueden obtener directamente del diseño 3D.

Figura 53

Coquizado y diseño 3D



Nota. Vista del detalle para el doblado de elementos, croquis y 3D

Elección de la Máquina Dobladora.

La elección de la máquina dobladora es crucial para obtener resultados óptimos en el proceso de doblado de tubos. Existen diferentes tipos de máquinas dobladoras, como se muestran en las figuras 54, 55, 56.

Figura 54

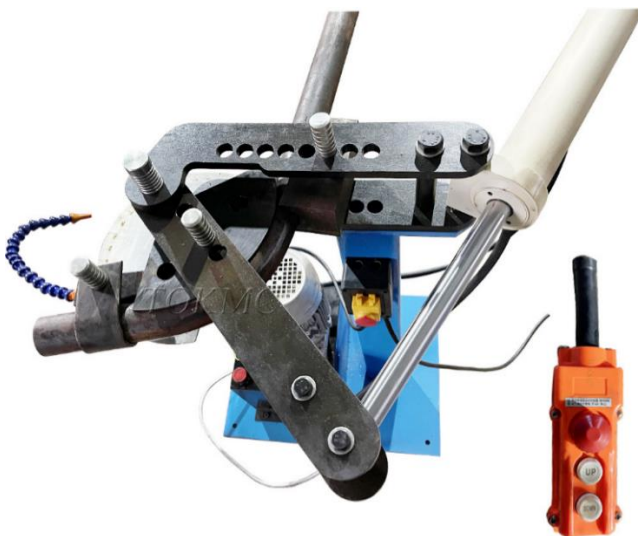
Dobladora manual



Nota. Vista de la dobladora manual, Tomada de <https://bpecuador.com/producto/dobladora-de-tubos-manual/>

Figura 55

Dobladora manual



Nota. Imagen de la dobladora hidráulica, tomada de https://es.made-in-china.com/co_tokmachine/product_Hydraulic-Dobladora-De-Tubo-Manual-De-Pipe-Bender_uoiuouughy.html

Figura 56

Dobladoras eléctricas CNC.



Nota. Imagen de la doblador a eléctrica, Tomada de <https://www.blmgroupp.com/es/dobladoras-de-tubos/e-turn/especificaciones-tecnicas>

La elección dependerá de factores como el diámetro y el espesor del tubo, así como del grado de precisión requerido en el doblado. Cabe destacar que la precisión en las dobladoras manuales e hidráulicas dependerá del operador, mientras que la precisión de una dobladora eléctrica CNC dependerá únicamente de la programación de la máquina.

Los tubos de acero al ser materiales sólidos y altamente resistentes requieren de procesos de doblado dinámicos (doblado de tubos por arrastre) y no estáticos, es decir que la fuerza del doblado se aplique a lo largo de toda la longitud del arco, esto se puede obtener con cualquiera de las máquinas anteriormente mencionadas. Una de las herramientas que se sugiere no utilizar para el doblado de tubos, sobre todo que requiere un ángulo bastante pronunciado es la que se muestra en la figura 57, debido a que esta aplica una fuerza puntual sobre el tubo, arrugándolo y reduciendo la resistencia y geometría de este.

Figura 57

Dobladora hidráulica puntual



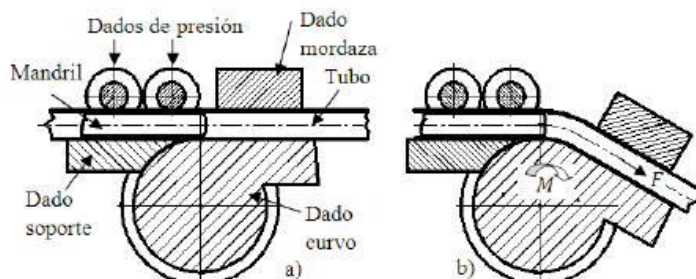
Nota. Dobladora puntual Tomado de <https://www.lacobacha.com.ec/producto/doblador-de-tubos-manual-12t/>

Selección de la Matriz de Doblado

Una vez seleccionada la máquina dobladora, se debe elegir la matriz de doblado adecuada. La matriz es la herramienta que se utiliza para dar forma al tubo durante el proceso de doblado. La elección de la matriz dependerá del diámetro y el radio de curvatura requeridos en el diseño del chasis. Es importante utilizar matrices de alta calidad y precisión para garantizar un doblado preciso y uniforme.

Figura 58

Matrices de doblado



Nota. Matriz de doblado, Tomado de Strano, M.: "Automatic tooling design for rotary draw bending of tubes". *International Journal of Advantages of Manufacturing Technologies*, Vol. 26, (2005) pp. 733-740.

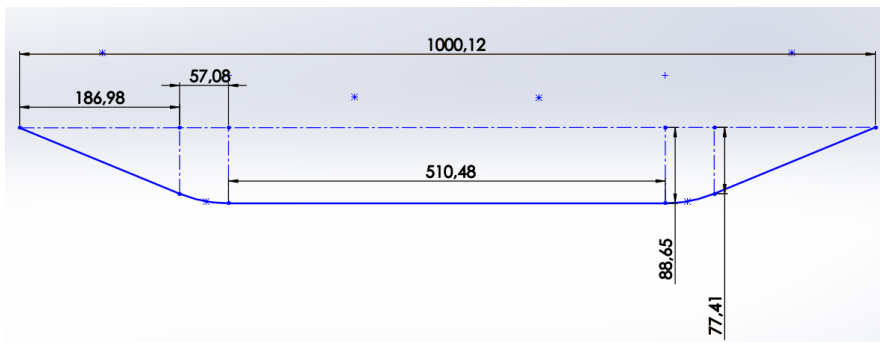
Ajuste de Parámetros

Antes de iniciar el doblado, se deben ajustar los parámetros de la máquina dobladora. Esto incluye configurar la presión adecuada, la velocidad de avance y otros ajustes específicos de la máquina. El ajuste preciso de estos parámetros garantiza un doblado controlado y evita deformaciones no deseadas en el tubo. (este proceso es únicamente en el caso de utilizar una máquina dobladora tipo CNC).

Los parámetros de velocidad de avance y presión aplicada en el uso de máquinas manuales o hidráulicas se controlarán por el operario, pero para ello se requerirá de matrices que guíen si el doble se está realizando correctamente. Estas matrices se pueden graficar en una superficie plana, las medidas base se pueden obtener del software de diseño CAD. A continuación, se presenta un ejemplo en la figura 59 de extracción de las matrices guía.

Figura 59

Extracción de matrices guía



Nota. Diseño de matrices guía en software CAD

El ejemplo que se muestra en la figura 59, representa la matriz guía del tubo T1 de la figura 60, la matriz indica los puntos guía a graficar en escala real para ser utilizado como referencia para realizar un doblado correcto.

Proceso de Doblado

Una vez que los tubos están preparados y los parámetros de la máquina dobladora están configurados, se procede al proceso de doblado. El operador coloca el tubo en la máquina, alineándolo con las marcas y líneas de guía previamente realizadas. A medida que el tubo se mueve a través de la matriz de doblado, se aplica la fuerza necesaria para doblar el tubo gradualmente en el ángulo deseado.

Figura 60

Barra doblada



Nota. Imagen ejemplo de aplicación de doblado de barras con matrices

Verificación de la Precisión

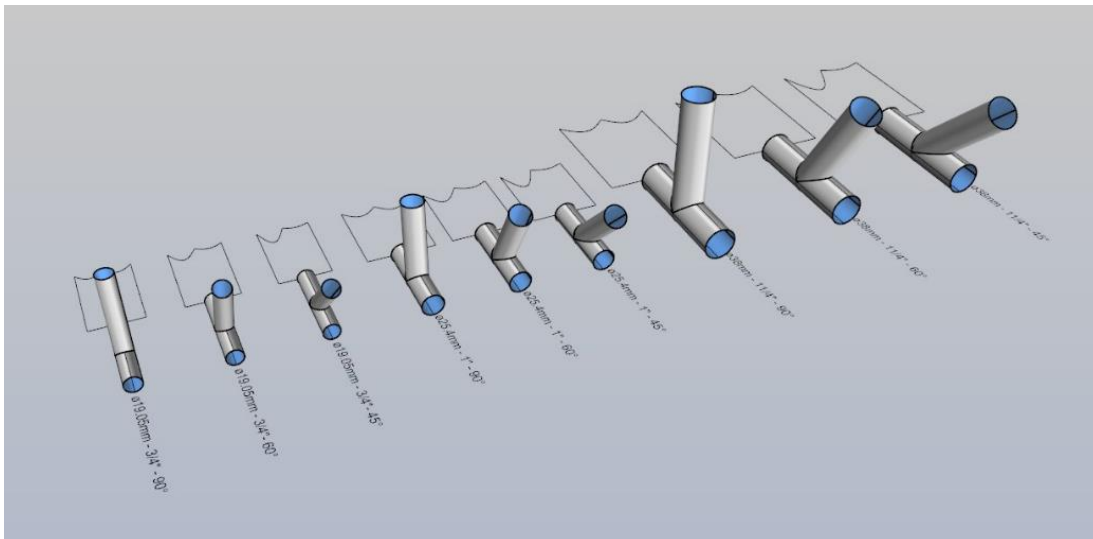
Después de completar el doblado de cada tubo, es esencial realizar una verificación de la precisión del doblado. Esto implica utilizar herramientas de medición, como calibres o matrices, para verificar que los ángulos de curvatura y las dimensiones del tubo se ajusten a las especificaciones del diseño. Cualquier desviación encontrada debe corregirse mediante ajustes, existirán desviaciones que puedan ser corregidas a la hora del ensamblaje dado que dependiendo de la largura del metal este cederá. En las figuras 60 se puede observar el tubo doblado con su respectiva matriz para verificación.

Corte de Bocas de Pescado

El corte de bocas de pescado es una técnica especializada utilizada en la fabricación de estructuras tubulares, con este tipo de cortes se logra una mayor superficie de unión entre los tubos y mejora la resistencia de la estructura. Estos cortes, también conocidos como cortes en inglete o cortes biselados, se realizan en los extremos de los tubos para permitir su acoplamiento de manera precisa y segura. En la figura 61 a continuación se puede apreciar distintas uniones de tubos.

Figura 61

Uniones de tubo



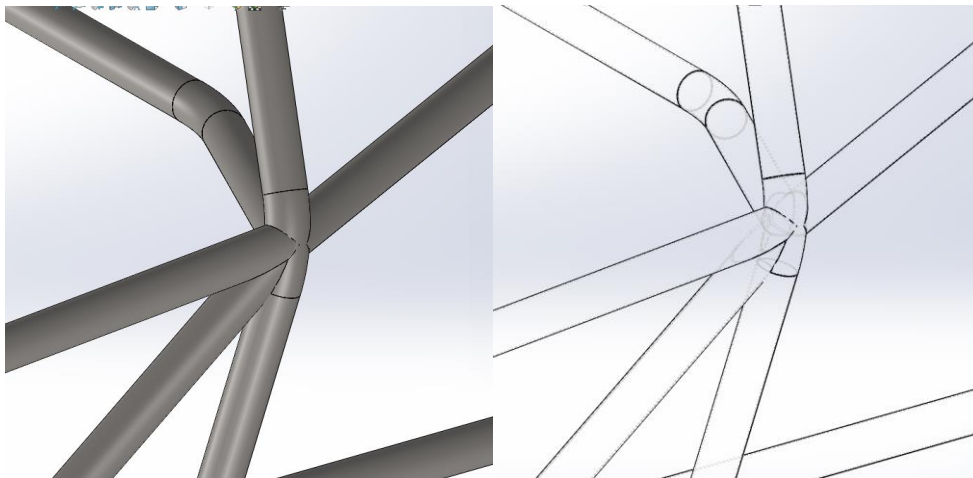
Nota. Vista de distintas forma de unión de tubo, Tomado de <https://maquinasudp.wordpress.com/2015/10/08/2641/>

El proceso de corte de bocas de pescado comienza del corte y doblado de los tubos adecuados según las especificaciones del diseño del chasis. Estos tubos deben tener las dimensiones y características específicas para lograr una unión segura y resistente. Es importante asegurarse de que los tubos se encuentren limpios y libres de óxido u otras impurezas antes de realizar los cortes, y adicional a ello se debe considerar que las medidas de los extremos estén acorde a las dimensiones establecidas por el diseño previamente elaborado.

En el ejemplo de la figura 61, se aprecia distintas uniones únicamente entre dos tubos, dentro de un chasis tubular y dependiendo de la normativa, por lo general se utiliza uniones con triangulaciones, mismas que aumentan la cantidad de tubos en intersección, es decir más juntas, lo que genera bocas de pescado más complejas, en la figura 62 a continuación se aprecia lo mencionado.

Figura 62

Uniones complejas



Nota. Vista de uniones más complejas elementos tubulares

Para realizar los cortes de bocas de pescado, se utilizan herramientas especializadas como una sierra de inglete o una fresadora. Estas herramientas permiten realizar cortes precisos en ángulo en los extremos de los tubos, creando una forma similar a la boca de un pez. Es esencial utilizar plantillas o guías de corte para asegurar la uniformidad en los ángulos y dimensiones de los cortes.

Durante el proceso de corte, se debe tener especial cuidado en mantener una alineación adecuada de los tubos para asegurar una unión perfecta. Se recomienda utilizar mordazas o prensas de sujeción para fijar los tubos en su posición durante el corte y evitar movimientos indeseados. Además, es fundamental utilizar gafas de seguridad y otros equipos de protección personal para garantizar la seguridad del operador durante esta tarea.

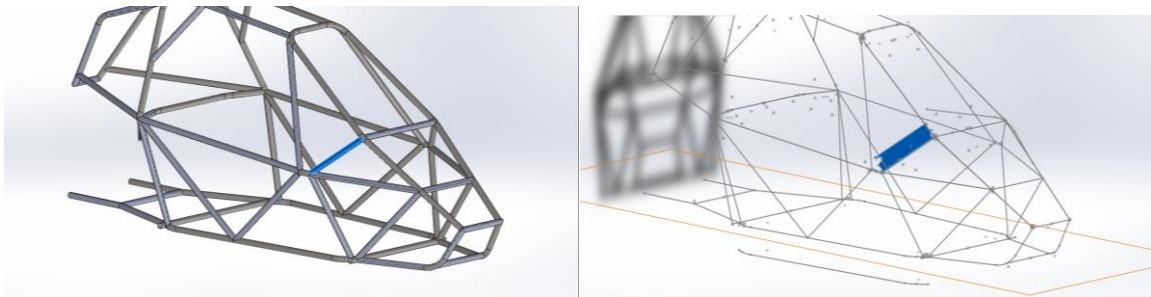
Existen muchos procedimientos para la elaboración de las bocas de pescado, a continuación, se detallará únicamente dos métodos: mediante matriz extraída del software CAD y mediante cortadora de tubo. Es importante resaltar que existen variedad de métodos para realizar tales geometrías, se puede observar variedad de tutoriales en video en páginas web, pero la mayoría explica específicamente bocas de pescado para uniones de 90, 45, 30, y 60 grados. En un chasis tubular los grados van a depender de la geometría y modelo que se realice y no van a coincidir con tales ángulos, es por ello que los métodos que se explicarán se pueden utilizar para cualquier ángulo.

Matriz Extraída del Software CAD

Este procedimiento consiste en previo al corte extraer una matriz que guíe el corte de la boca de pescado del software de diseño CAD que se utilice. Este procedimiento garantizará una alta precisión de la boca de pescado. En la figura 61 a continuación se observa un despliegue de la matriz generada en el software. (Quezada, P. 2018. p. 180)

Figura 63

Matrices generadas en software CAD

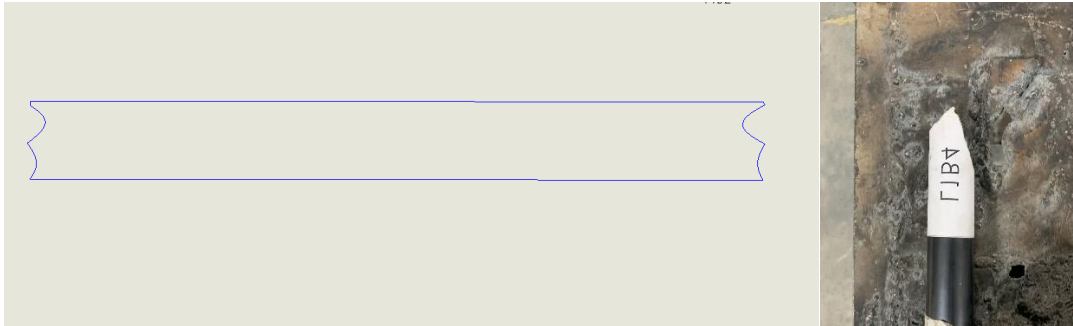


Nota. Vista, Ejemplo de matrices generadas en software CAD

Como se puede visualizar en la figura 63, se ha seleccionado un tubo en específico para conocer este tipo de proceso, el tubo tridimensional se convierte en un despliegue bidimensional que puede ser exportado a una hoja del tamaño proporcional al tamaño del tubo, el ejemplo dado se da a conocer a continuación en la figura 64.

Figura 64

Matrices individual



Nota. Vista de la matriz individual del tubo seleccionado para generar el corte

La matriz generada se imprime en escala real y se adhiere al tubo para tener la guía para remover el material. Con esto se consigue empalmes perfectos previos para ser unidos permanentemente.

Figura 65

Inspección de cortes



Nota. Revisión de cortes generados por las matrices individuales

Después de realizar los cortes de bocas de pescado, es importante realizar una inspección visual tal como lo muestra la figura 65, para verificar que los cortes se hayan realizado correctamente y que los extremos de los tubos estén limpios y libres de rebabas. En

caso de ser necesario, se pueden utilizar limas o herramientas de desbarbado para suavizar los bordes de los cortes y asegurar una superficie de unión sin irregularidades.

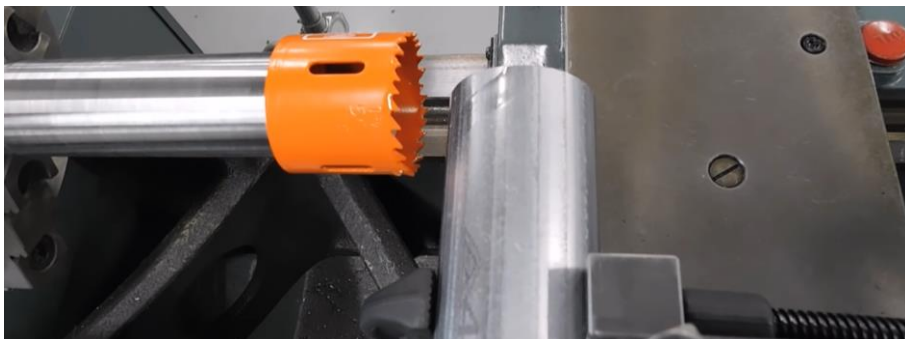
Una vez que se han realizado los cortes de bocas de pescado en todos los tubos requeridos según el diseño del chasis, se procede a su ensamblaje. Esto implica unir los tubos de manera precisa, asegurándose de que las bocas de pescado encajen perfectamente, creando una estructura sólida y resistente. Es fundamental utilizar técnicas de soldadura adecuadas y seguir los procedimientos de soldadura recomendados para garantizar una unión fuerte y duradera, este proceso se detallará más adelante.

Mediante Cortadora de Tubo.

El proceso mediante cortadora de tubo, tiende a ser un proceso mucho más rápido de elaborar, pero el mismo requiere de mucha técnica, los principales inconvenientes que se tienen con el proceso son: disponer de la máquina y alinear el tubo con la sierra de agujeros de metal para que las dimensiones sean exactas. Es indispensable que el corte se realice con una sierra de agujeros de acero de la misma medida del tubo donde se acoplaría el tubo a cortar. En la figura 64 a continuación se observa el proceso. (Armycle, 2012)

Figura 66

Cortadora de tubo



Nota. Imagen de la cortadora de tubo

La refrigeración de la superficie de contacto es importante para garantizar que la herramienta tenga mayor durabilidad.

Figura 67

Proceso de la cortadora de tubo



Nota. Visual del proceso realizado por la cortadora de tubo, verificación del corte

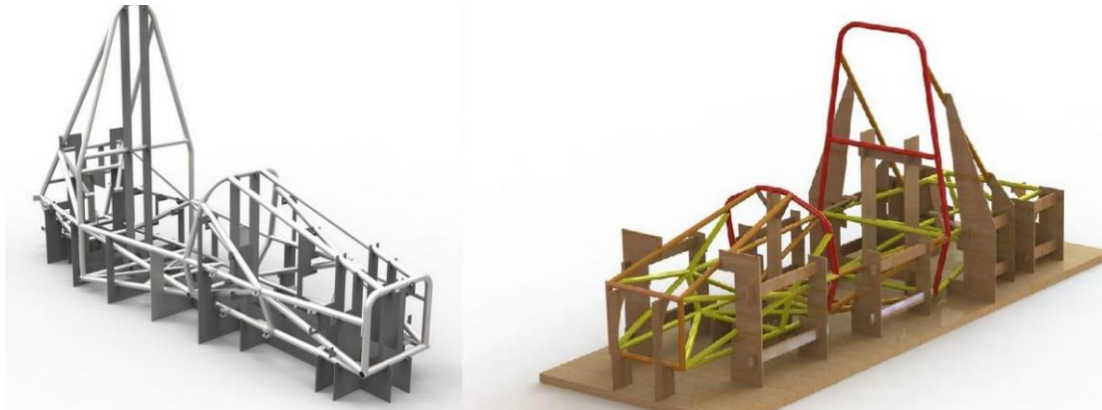
En resumen, el corte de bocas de pescado es una etapa fundamental en el proceso de fabricación de un chasis tubular. Esta técnica permite maximizar la superficie de unión entre los tubos, mejorando la resistencia y rigidez de la estructura. Realizar los cortes de manera precisa y asegurar una unión adecuada son aspectos clave para garantizar la calidad y seguridad del chasis tubular.

Desarrollo de Estructuras Auxiliares

El desarrollo de estructuras auxiliares es una fase importante en el proceso de fabricación de un chasis tubular. Estas estructuras complementarias se diseñan y construyen para facilitar y agilizar el montaje del chasis, así como para garantizar la precisión y la calidad del trabajo realizado. A continuación, se detallan los aspectos clave del desarrollo de estructuras auxiliares en la figura 68.

Figura 68

Estructuras tubulares



Nota. Visual de los aspectos principales de una estructura tubular

Selección de Materiales y Componentes

La selección adecuada de los elementos garantizará un modelado 3D de la estructura adecuado. Estos elementos deben ser duraderos, resistentes y capaces de soportar las cargas y esfuerzos a los que estarán sometidos durante el montaje del chasis. Además, se debe considerar la compatibilidad de los materiales con las técnicas de unión, como soldadura o tornillería. El diseño CAD deberá considerar el material, espesores y medidas. Se recomienda para la selección del material las siguientes opciones:

Acero: material resistente y duradero, recomendado para mantener una estructura sólida para producción en masa. El proceso de fabricación conlleva mayor recurso económico tanto para la materia prima como para la manufactura.

Madera: La precisión dependerá únicamente de la manufactura del mismo, la desventaja de su uso es que el tiempo de vida útil es limitado dependiendo del tipo de madera que se utilice, la principal ventaja es que los costos son menores al uso con acero, tanto para de la materia prima como de los procesos de manufactura.

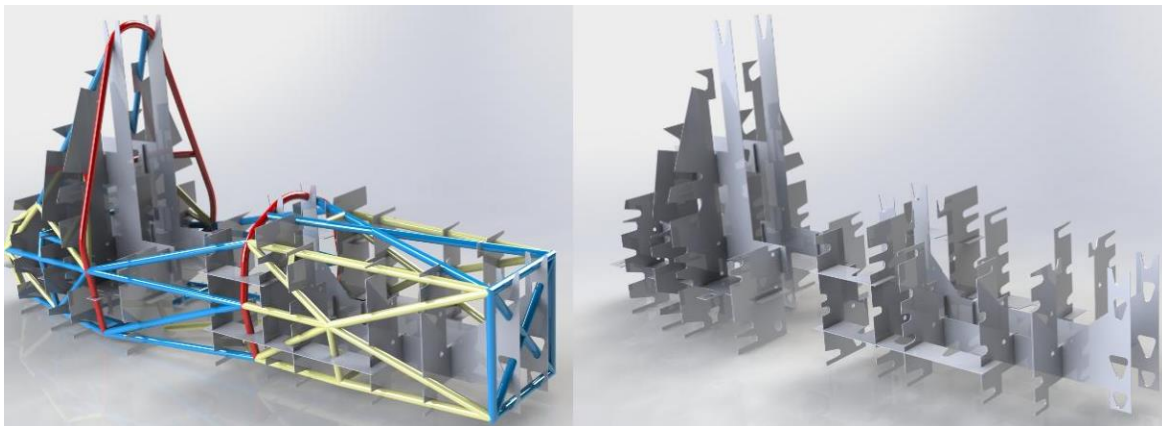
Diseño y Planificación de Estructuras Auxiliares

Antes de comenzar la fabricación del chasis tubular, es esencial realizar un detallado diseño y planificación de las estructuras auxiliares necesarias. Estas estructuras pueden incluir soportes, dispositivos de fijación, guías de ensamblaje, plantillas de corte y otras herramientas específicas que faciliten el montaje del chasis. El diseño debe considerar la geometría y dimensiones del chasis, así como los procesos de ensamblaje que se llevarán a cabo, al igual que el diseño tubular, se recomienda que las estructuras auxiliares primero sean diseñadas en un software CAD. (Álvarez, 2018)

En la figura 69 a continuación se puede observar el diseño de una estructura auxiliar con el chasis y sin el mismo.

Figura 69

Diseño de estructura auxiliar



Nota. Diseño CAD de estructura auxiliar con y sin chasis

Para el caso anterior las plantillas se elaboran a partir de láminas de acero que se encajan y alinean correctamente para que los tubos del chasis se unan de manera precisa.

Fabricación de las Estructuras Auxiliares

La fabricación de las estructuras auxiliares se realiza siguiendo los principios y técnicas de fabricación apropiadas. Esto implica la preparación de los materiales, como el corte y conformado de láminas o perfiles metálicos, y la fabricación de componentes adicionales si es necesario. También se pueden emplear técnicas de soldadura, ensamblaje o montaje para unir los diferentes elementos y asegurar la integridad y solidez de las estructuras auxiliares. Cabe indicar que el ensamblaje dependerá del modelo diseñado.

Figura 70

Plantillas de ubicación del chasis



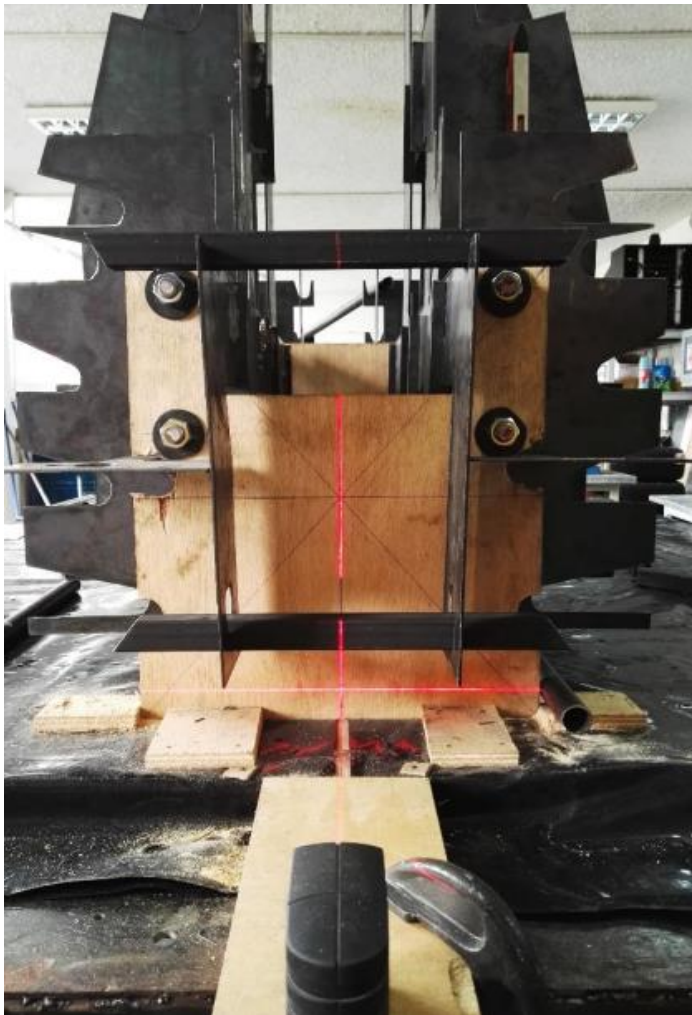
Nota. Visual de las plantillas utilizadas para la ubicación de los tubos para el proceso de unión del chasis

Verificación de la Precisión y Calidad

Una vez fabricadas las estructuras auxiliares, es fundamental verificar su precisión y calidad antes de utilizarlas en el montaje del chasis. Se deben realizar inspecciones visuales para detectar posibles defectos o imperfecciones, así como mediciones para comprobar que las dimensiones se ajusten a las especificaciones del diseño. Cualquier desviación encontrada debe corregirse o reemplazarse para garantizar la exactitud y confiabilidad del proceso de ensamblaje. El uso de herramientas de metrología y alineación son una buena estrategia para comprobar la precisión y calidad.

Figura 71

Metrología de precisión para elementos simétricos



Nota. Imagen de la herramienta para verificación de simetrías

Utilización de las Estructuras Auxiliares

Durante el montaje del chasis tubular, las estructuras auxiliares desempeñan un papel crucial. Estas herramientas y dispositivos ayudan a mantener la geometría adecuada, alineando y posicionando los tubos de manera precisa. También facilitan la fijación temporal de los componentes, permitiendo que el ensamblaje se realice de manera eficiente y segura. Es importante seguir las instrucciones y recomendaciones proporcionadas en el diseño de las estructuras auxiliares para obtener los mejores resultados. (Álvarez, 2018, p. 69)

Figura 72

Estructuras auxiliares



Nota. Imagen de la utilidad de las estructuras auxiliare útiles en el ensamblaje

El desarrollo de estructuras auxiliares es un aspecto clave en la fabricación de un chasis tubular. Estas estructuras complementarias, diseñadas y fabricadas con precisión, facilitan el montaje del chasis y aseguran la calidad y la precisión del trabajo. Al considerar el diseño, la selección de materiales, la fabricación, la verificación y la utilización adecuada de las estructuras auxiliares, se puede garantizar un proceso de fabricación eficiente y un chasis tubular de alta calidad.

Proceso de Unión de los Tubos Cortados

El proceso de unión de los tubos cortados es una etapa esencial en la fabricación de un chasis tubular. Esta fase permite crear una estructura sólida y resistente al unir los diferentes segmentos de tubos. A continuación, se detallan los principales métodos de unión utilizados en la construcción de chasis tubulares:

Soldadura

La soldadura es uno de los métodos más comunes y eficientes para unir tubos cortados en la construcción de un chasis tubular. Se utiliza una máquina de soldadura y un electrodo para fundir el material base de los tubos y agregar material de aporte, creando una unión fuerte y duradera. Existen diferentes tipos de soldadura utilizados en este proceso, como la soldadura por arco, la soldadura MIG (Metal Inert Gas) o la soldadura TIG (Tungsten Inert Gas). Cada tipo de soldadura tiene sus propias ventajas y consideraciones, dependiendo de los materiales y la precisión requerida.

Tabla 13

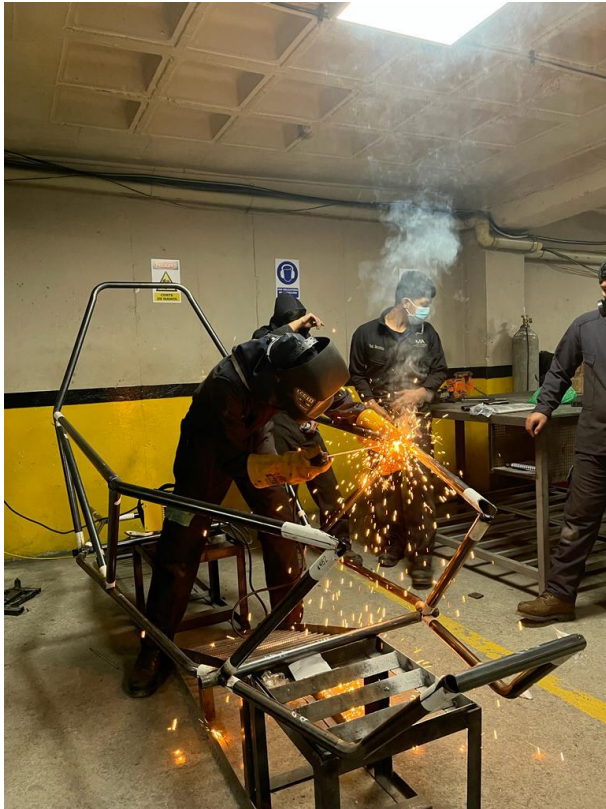
Tipos y características de la soldadura

	Arco eléctrico	MIG	TIG
Precio equipo	Bajo	Medio	Alto
Material de aporte	Varilla revestida	Alambre	Varilla
Resistencia (acero al carbono)	Media	Alta	Muy alta
Resistencia (acero de baja aleación)	Media	Alta	Muy alta
Resistencia (acero inoxidable)	Baja	Media	Alta
Acabado superficial	Regular	Bueno	Muy bueno
Recomendaciones	Costura sencilla, materiales gruesos	Costuras largas, posiciones complicadas	Soldaduras de alta calidad

Nota. Tabla comparativa para los tipos de soldadura a utilizar en el proceso de unión

Figura 73

Proceso de soldadura



Nota. Proceso de soldadura de los elementos del chasis

Es importante que para esta fase del proceso de manufactura se realice con profesionales con experiencia para que los cordones de soldadura sean regulares, sin imperfecciones y sobre todo garantice una unión sólida y resistente. Además, es importante tener un control en las medidas, contracciones y dilataciones de los materiales.

Brazing

El brazing, o soldadura fuerte, es otro método de unión utilizado en la fabricación de chasis tubulares. A diferencia de la soldadura convencional, el brazing utiliza un metal de aporte con un punto de fusión inferior al de los tubos, permitiendo que se funda y se adhiera a los tubos sin fundir el material base. Este proceso proporciona una unión sólida y estéticamente agradable, especialmente en aplicaciones donde se requiere una apariencia más limpia.

Figura 74

Proceso Brazing



Nota. Imagen muestra del proceso brazing, Tomada de <https://www.youtube.com/watch?v=fWFOzCcXR5A>

Abrazaderas y Conectores

En algunos casos, se utilizan abrazaderas y conectores como método de unión en la construcción de chasis tubulares. Estas piezas prefabricadas se diseñan específicamente para encajar y asegurar los tubos en su lugar. Las abrazaderas y conectores se seleccionan de acuerdo con el diámetro y la forma de los tubos, y se pueden fijar mediante tornillos, pernos o soldadura en puntos estratégicos de la estructura. Este método permite una mayor flexibilidad en el montaje y desmontaje de los tubos, lo cual es beneficioso en casos donde se requiere modificaciones o reparaciones frecuentes.

Cabe mencionar que este procedimiento no se utiliza en todo el chasis, el factor más importante es la manufactura de las abrazaderas, ya que están limitadas por el ángulo de encaje. Se pueden adquirir abrazaderas prefabricadas con la medida del tubo para ángulos comunes como lo son: 90, 45, 30, 60 grados. A continuación, se indica ejemplos en la figura 75.

Figura 75

Abrazaderas de tubo



Nota. Ejemplos de abrazaderas para tubo, tomado de <https://tubefittings.eu/es/conexiones-de-tuberias/conexiones-de-tubos-redondos>

Refuerzos, Soportes y Elementos Adicionales

En ciertos casos, es posible que se requieran refuerzos y soportes adicionales para fortalecer la unión de los tubos cortados en el chasis tubular. Estos refuerzos pueden ser estructuras auxiliares de tubos adicionales que se unen a la estructura principal mediante soldadura, abrazaderas o adhesivos. También se pueden utilizar placas o perfiles de refuerzo estratégicamente ubicados para aumentar la rigidez y resistencia de la unión tal como se muestra en la figura 76.

Figura 76

Perfiles de refuerzo



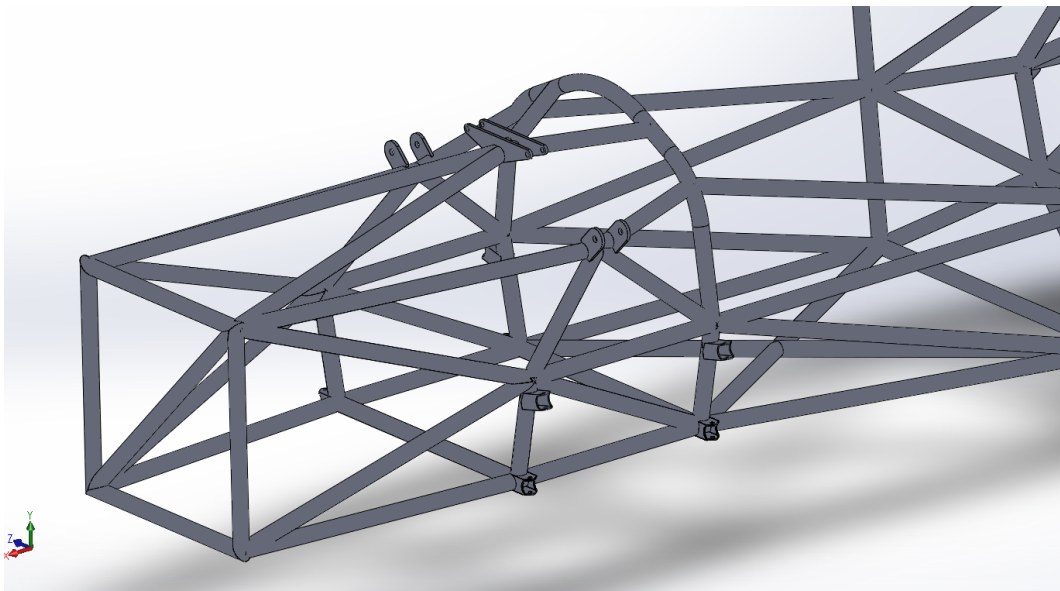
Nota. Imagen de las placas de refuerzo para aumentar la rigidez de la estructura

Es importante tener en cuenta que la selección del método de unión dependerá de varios factores, como el diseño del chasis, el tipo de tubos utilizados, las cargas y tensiones esperadas, así como los recursos disponibles. Además, es fundamental seguir las buenas prácticas de cada método de unión para garantizar una estructura segura y confiable.

Los elementos adicionales dependerán en gran medida del diseño modelado, del sistema de suspensión, del sistema de dirección y demás sistemas que se montan en el vehículo. El chasis soporta y resiste todos los elementos de acople por lo que los elementos adicionales dependerán únicamente de todos los sistemas, por ello se recomienda desde un inicio tener claro el tipo de vehículo y especificaciones. A continuación, se muestra una figura 77 donde se puede observar elementos adicionales correspondientes a la suspensión, en donde se alojarán brazos de suspensión y amortiguadores.

Figura 77

Elementos adicionales de la estructura



Nota. Imagen de elementos adicionales soldados en la estructura para sujeción de sistemas mecánicos

Control de Calidad de la Soldadura

El control de calidad de la soldadura es un proceso fundamental en la construcción de vehículos tubulares, ya que garantiza la resistencia, durabilidad y seguridad de la estructura. Cabe indicar que para una verificación de la calidad de soldadura existen procedimientos normalizados a través de distintos organismos especializados en la rama, entre las normas más conocidas a nivel mundial tenemos. (Caisaguano, 2013)

- ✓ AWS D1.1:2022, Structural Welding Code Steel. Esta norma establece los requisitos para la soldadura estructural de acero.
- ✓ AWS D17.1:2022, Recommended Practices for Automotive Welding. Esta norma establece las recomendaciones para la soldadura de componentes automotrices.
- ✓ AWS D2.2:2022, Welding of Stainless Steels, Nickel Alloys, and Titanium and Their Alloys. Esta norma establece los requisitos para la soldadura de aceros inoxidable, aleaciones de níquel y titanio.
- ✓ International Organization for Standardization (ISO). La ISO es una organización internacional que desarrolla y publica normas para una amplia gama de productos y servicios.
- ✓ American Society of Mechanical Engineers (ASME). La ASME es una organización profesional que desarrolla y publica normas para una amplia gama de productos y servicios, incluyendo los procesos de soldadura

A continuación, se detallan los pasos y procedimientos necesarios para llevar a cabo un control de calidad exhaustivo de la soldadura.

Preparación del Proceso de Control de Calidad

Antes de comenzar con el control de calidad de la soldadura, es importante establecer un plan detallado que incluya los siguientes aspectos:

- ✓ Identificación de puntos críticos: Se deben identificar los puntos críticos de soldadura en el chasis, como por ejemplo las uniones de mayor tensión o las áreas de alta carga. Estos puntos requerirán una inspección más rigurosa ya que en estas secciones es donde se concentran los esfuerzos.
- ✓ Selección de normas y estándares: Se deben seleccionar las normas y estándares de calidad aplicables a la soldadura de vehículos tubulares. Entre las normas comunes se encuentran las especificaciones de soldadura establecidas por organismos reconocidos, como la American Welding Society (AWS) o la International Organization for Standardization (ISO).
- ✓ Definición de criterios de aceptación: Se deben establecer los criterios de aceptación de la calidad de la soldadura, incluyendo parámetros como la resistencia, la penetración, la apariencia y la ausencia de defectos, como fisuras o porosidad. Los criterios de aceptabilidad del cordón de soldadura dependerán de la normativa utilizada.

Ensayos no Destructivos NDT

Los ensayos no destructivos son técnicas utilizadas para evaluar la calidad de la soldadura sin dañar la estructura. Los ensayos más comunes incluyen:

- ✓ Pruebas de Inspección Visual (VT)
- ✓ Prueba de penetración de líquidos (PT)
- ✓ Prueba de partículas magnéticas (MT)
- ✓ Pruebas ultrasónicas (UT)
- ✓ Medición de espesores (ME)
- ✓ Corrientes Eddy (ET)
- ✓ Dureza (D)
- ✓ Fuga de flujo magnético (MFL)
- ✓ Pruebas radiográficas (RX)
- ✓ Ondas Guiadas (GW)

Para el presente capítulo y sección únicamente se hablará de los dos primeros procedimientos ya que son los más comunes y no requieren de equipamiento extra

Pruebas de Inspección Visual

El control visual es una parte integral del control de calidad de la soldadura, ya que permite identificar visualmente cualquier defecto o irregularidad en las juntas soldadas. A continuación, se describen los procedimientos básicos para el control visual:

Inspección de superficies: Se deben inspeccionar visualmente las superficies de las juntas soldadas (uniones entre tubos) para detectar defectos como: porosidad, fisuras, salpicaduras o irregularidades en la apariencia de la soldadura.

Evaluación de la penetración: Se debe verificar la penetración adecuada de la soldadura en las juntas, asegurando que haya una fusión completa entre los materiales y que no existan huecos o falta de fusión, este procedimiento no siempre será seguro ya que la penetración a simple vista no es observable.

Control de dimensiones: Se deben verificar las dimensiones de las juntas soldadas, asegurando que cumplan con las tolerancias establecidas en los planos y especificaciones.

Pruebas de Penetración de Líquidos.

Este ensayo se basa en detectar fisuras y defectos superficiales en la soldadura. Consiste en la aplicación de un líquido penetrante en la superficie de la junta soldada, este procedimiento puede ser realizado con líquidos visibles como, por ejemplo: líquidos penetrantes color contraste, o con penetrantes fluorescentes visibles como por ejemplo los auxiliados por luz ultravioleta y la posterior aplicación de un revelador que resalta cualquier indicio de defectos. De esta manera se podrán observar irregularidad (fisuras) en el cordón de soldadura.

Figura 78

Prueba de penetrantes fluorescentes



Nota. Imagen de fluorescencia de los penetrantes, tomada de <https://zion-ndt.mx/que-son-las-pruebas-no-destructivas-metodos-usados/>

Es requisito indispensable que para esta prueba el defecto (fisura) se encuentre abierto a la superficie, es decir expuesto a la superficie.

Protección de la Estructura

La protección de la estructura metálica es un aspecto esencial en el proceso de la fabricación de vehículos tubulares, ya que garantiza su durabilidad, resistencia a la corrosión y apariencia estética. En esta sección, se explorará diferentes métodos y técnicas para proteger la estructura del chasis.

Preparación de la Superficie

La preparación adecuada de la superficie del chasis tubular es un paso fundamental para garantizar una protección efectiva y duradera. Este proceso implica una serie de etapas que aseguran la eliminación de impurezas y la creación de una superficie adecuada para la aplicación de los productos de protección. A continuación, se detallan los pasos clave en la preparación de la superficie:

Limpieza

El primer paso consiste en limpiar minuciosamente la superficie del chasis. Se deben eliminar todos los restos de suciedad, grasa, aceite u otros contaminantes que puedan afectar la adherencia de los productos de protección.

Es importante prestar especial atención a las áreas de difícil acceso, como las soldaduras y las intersecciones de los tubos, ya que es común que se acumule suciedad en estos puntos. Se pueden utilizar herramientas especiales, como cepillos de cerdas duras o cepillos de dientes viejos, para eliminar los residuos en estas áreas.

Lijado/Cepillado

Una vez que la superficie está limpia y desengrasada, se procede al lijado para crear una textura adecuada que facilite la adhesión de los productos de protección. Se pueden utilizar

papel de lija de grano fino o medio para lijar suavemente la superficie, eliminando cualquier irregularidad o imperfección, como por ejemplo una lija de grano 220

El lijado debe realizarse de manera uniforme en todo el chasis, prestando especial atención a las áreas donde se encuentran las soldaduras. Esto garantiza que la superficie esté libre de óxido, pintura vieja o cualquier capa que pueda afectar la adhesión de los productos de protección.

El mismo procedimiento se lo puede realizar con el uso de una amoladora con cepillo de disco rizado de acero, este procedimiento tendrá a ser el más rápido, pero a su vez conlleva mantener todos los equipamientos de seguridad necesarios.

Limpieza Final

Después del lijado, es necesario realizar una limpieza final para eliminar cualquier residuo de polvo o partículas sueltas. Se puede utilizar aire comprimido o paños limpios y secos para eliminar todo el polvo y asegurarse de que la superficie esté completamente limpia y lista para la aplicación de los productos de protección.

Es importante tener en cuenta que la preparación de la superficie puede variar dependiendo de los materiales utilizados en la construcción del chasis tubular. Por lo tanto, es recomendable consultar las recomendaciones del fabricante de los productos de protección y seguir las pautas específicas para garantizar una preparación adecuada.

Pintura

La pintura es un paso crucial en el proceso de protección de la estructura tubular del chasis. No solo proporciona una capa estética, sino que también actúa como una barrera

protectora contra la corrosión y otros elementos adversos, (García, 2013). A continuación, se detallan los pasos clave para lograr una pintura de calidad en el chasis tubular:

Preparación de la Pintura

Antes de comenzar con la aplicación de la pintura, es importante prepararla adecuadamente. Esto implica seguir las instrucciones del fabricante y realizar las mezclas según las proporciones recomendadas. Generalmente, se debe mezclar la pintura base con el diluyente en las cantidades especificadas para lograr la viscosidad adecuada y facilitar la aplicación.

Es recomendable utilizar recipientes de mezcla limpios y graduados para asegurar una mezcla precisa y homogénea de los componentes de la pintura. Se pueden emplear herramientas como agitadores mecánicos o varillas de mezcla para obtener una consistencia uniforme.

Aplicación del Fondo

Antes de aplicar la capa de pintura principal, es recomendable aplicar un fondo o primer para garantizar una adherencia óptima y mejorar la durabilidad de la pintura. El fondo se encarga de sellar la superficie y proporcionar una base uniforme para la capa de pintura final.

Para aplicar el fondo, se pueden utilizar técnicas como la pulverización o el uso de pinceles o rodillos, dependiendo de las preferencias y el equipo disponible. Es importante seguir las indicaciones del fabricante en cuanto a la cantidad de capas recomendadas y los intervalos de secado entre cada una.

Figura 79

Aplicación de fondo



Nota. Imagen de la aplicación del fondo en la estructura para su protección

Una vez que se coloque el primer o fondo, es recomendable por toda la superficie lijar con una lija de grano fino, como por ejemplo una lija de grano 500

Aplicación de la Capa de Pintura

Una vez que el fondo ha secado adecuadamente, se procede a la aplicación de la capa de pintura final. Se recomienda utilizar técnicas de pulverización para lograr una cobertura uniforme y evitar marcas o irregularidades en la superficie. (García, et al, 2013)

Es importante mantener una distancia adecuada entre la pistola de pulverización y el chasis, así como movimientos constantes y suaves para evitar acumulaciones o goteos de pintura. Se pueden aplicar múltiples capas delgadas, permitiendo un tiempo de secado adecuado entre cada una, para obtener un acabado de calidad.

La cantidad de pintura, diluyente y demás elementos como barniz y lacas dependerá del tipo de pintura que se adquiriera, a continuación, se presenta la tabla 11, donde se podrá observar una referencia para las proporciones recomendadas. (García, et al, 2013)

Tabla 14

Proporciones de elementos en la pintura

Producto	Proporción
Diluyente	25-50%
Pintura automotriz	50-75%
Barniz	25-50%
Laca	25-50%

Nota. Referencia de las cantidades en porcentaje de los componentes de la pintura útil en la estructura tubular.

La calidad de la superficie de pintado dependerá únicamente del técnico que aplique la pintura.

Recubrimientos Adicionales

Además de la pintura principal, es posible considerar la aplicación de recubrimientos adicionales que proporcionen una mayor protección contra la oxidación y otros agentes corrosivos. Estos recubrimientos, como los imprimadores inhibidores de corrosión o las pinturas protectoras especiales, se aplican después de la capa de pintura principal y actúan como una barrera adicional contra la humedad y otros elementos dañinos.

La elección y aplicación de los recubrimientos adicionales dependerá de las necesidades específicas y el entorno en el que se utilizará el chasis tubular. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a la preparación de la superficie y la aplicación adecuada de estos productos.

Protección Contra Impactos y Vibraciones

La protección contra impactos y vibraciones es un aspecto crucial en la construcción de vehículos tubulares, ya que garantiza la integridad estructural y la seguridad del chasis. A

continuación, se exploran diferentes técnicas y componentes utilizados para minimizar los efectos de los impactos y las vibraciones en la estructura.

Refuerzos Estructurales

Los refuerzos estructurales son elementos adicionales incorporados en el chasis para aumentar su resistencia y rigidez. Estos refuerzos se colocan estratégicamente en áreas propensas a impactos y vibraciones, como las zonas de unión de componentes y los puntos de anclaje de suspensiones.

Los refuerzos estructurales pueden estar hechos de materiales como acero de alta resistencia o aleaciones de aluminio, y se diseñan para absorber y distribuir la energía generada por impactos y vibraciones, minimizando así el riesgo de daños en la estructura principal.

Paneles de Absorción de Impactos

Los paneles de absorción de impactos son componentes adicionales instalados en áreas expuestas del chasis, como el frente y los laterales. Estos paneles están diseñados para absorber y dispersar la energía generada por impactos, minimizando así los daños potenciales en la estructura principal y protegiendo a los ocupantes del vehículo. (Bravo, Almedia, 2021)

Los paneles de absorción de impactos suelen estar hechos de materiales de alta resistencia, como acero reforzado o materiales compuestos, y se diseñan siguiendo principios de deformación controlada, lo que les permite absorber la energía del impacto y disiparla a través de un proceso de deformación gradual.

Conclusiones

El diseño y la evolución de los bastidores de vehículos son aspectos clave en la industria automotriz, y están influenciados por una combinación de avances tecnológicos, necesidades del mercado y regulaciones gubernamentales.

Sobre el aspecto mencionado los bastidores de vehículos han evolucionado para mejorar resistencia y ligereza. La industria automotriz avanza con pruebas exitosas de conducción autónoma y sistemas de asistencia al conductor. Existen diversos tipos de bastidores con ventajas específicas. Las normativas son fundamentales para garantizar la seguridad y calidad de los vehículos, cubriendo aspectos como resistencia y confort.

La comprensión de los conceptos fundamentales de la mecánica, como la estática y las leyes de Newton, es crucial para el diseño y la construcción de bastidores automotrices seguros y eficientes. Estos principios proporcionan la base para calcular y predecir cómo las fuerzas afectarán a los bastidores en diversas condiciones de carga y movimiento, lo que permite a los diseñadores crear estructuras que cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad.

La aplicación de normativas y estándares, como las especificaciones de la FIA, es fundamental para garantizar la seguridad y el rendimiento de los bastidores automotrices. Estas normativas establecen criterios y requisitos que los diseñadores deben cumplir para garantizar que los bastidores sean capaces de soportar las cargas y fuerzas a las que estarán expuestos durante su uso, lo que contribuye a la prevención de accidentes y al aumento de la eficiencia en la competición automotriz.

La utilización de programas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Análisis de Elementos Finitos (FEA) es fundamental para el diseño eficiente y seguro de estructuras tubulares para buggies de competencia. Estas herramientas permiten convertir conceptos

teóricos y cálculos estructurales en diseños concretos y viables, garantizando su desempeño a través de simulaciones rigurosas. La elección adecuada de programas de CAD y simulación, como SolidWorks®, CATIA®, Inventor® y AutoCAD®, así como la comprensión de sus funcionalidades y capacidades, son elementos clave para el éxito en el diseño de buggies de competencia.

Las consideraciones preliminares al diseño CAD, como la definición de objetivos de diseño, el conocimiento de los requisitos reglamentarios y de competencia, y el benchmarking y análisis de diseños previos, son fundamentales para establecer las bases de un diseño sólido y eficiente. La selección cuidadosa de materiales y procesos de fabricación, junto con el análisis detallado de cargas y escenarios de uso, garantizan la resistencia, durabilidad y seguridad de las estructuras tubulares para buggies de competencia. Estas consideraciones, combinadas con la aplicación de herramientas avanzadas como la optimización topológica y el análisis de fatiga y durabilidad, permiten crear diseños innovadores y competitivos en el mundo de las carreras de buggies.

En la fabricación de bastidores tubulares para vehículos se requiere atención a cada detalle, desde la selección de los materiales, para garantizar la resistencia, rigidez y calidad del chasis final.

Por lo tanto dicha fabricación de bastidores tubulares para vehículos Car Cross, Autocross o Buggy implica una serie de pasos críticos que van desde la selección de la materia prima hasta el doblado de los tubos para conformar la estructura. Es fundamental elegir los tubos adecuados en términos de material, dimensiones y calidad, siguiendo las normativas establecidas por organizaciones como FSAE o la FIA. La soldadura de los tubos debe realizarse con el proceso adecuado para cada material, asegurando uniones fuertes y confiables.

Trabajos Futuros

El desarrollo de un chasis tubular para vehículos de tipo Car Cross, Autocross o Buggy es un proceso complejo que requiere considerar diversos aspectos técnicos y normativos. A continuación, se presentan algunos trabajos futuros que podrían complementar o ampliar el presente proyecto:

Optimización de Bastidores: Utilizar software de simulación avanzada para realizar análisis de elementos finitos (FEA) que permitan optimizar la geometría del chasis y la distribución de los materiales. Esto puede incluir la exploración de diferentes configuraciones de refuerzos y soportes para reducir el peso total del chasis mientras se mantiene la resistencia estructural requerida.

Estudio de Materiales Tecnológicamente Avanzados: Investigar la viabilidad de utilizar materiales compuestos, como fibra de carbono o kevlar, en la construcción del chasis. Estos materiales ofrecen una alta resistencia específica y pueden ayudar a reducir significativamente el peso del chasis, aunque su implementación requeriría consideraciones especiales en términos de costos y procesos de fabricación.

Procesos de Fabricación 3D: Explorar técnicas de fabricación avanzadas, como la fabricación aditiva (impresión 3D), para la producción de componentes del chasis. La impresión 3D puede ofrecer ventajas en términos de diseño complejo, reducción de desperdicios de material y tiempos de fabricación más cortos.

Seguridad: Investigar y desarrollar sistemas de seguridad adicionales que puedan integrarse con el chasis para mejorar la protección de los ocupantes en caso de accidente. Esto podría incluir el diseño de jaulas antivuelco más avanzadas, sistemas de absorción de energía en áreas críticas y dispositivos de retención mejorados.

Pruebas de Validación: Realizar pruebas físicas y ensayos de impacto utilizando prototipos del chasis para validar su resistencia y seguridad. Estas pruebas pueden incluir pruebas de choque frontal, lateral y trasero, así como pruebas de resistencia a la torsión y flexión.

Viabilidad Económica: Realizar un análisis detallado de los costos asociados con la fabricación del chasis, incluyendo materiales, mano de obra, equipamiento y otros costos indirectos. Este análisis puede ayudar a determinar la viabilidad económica del proyecto y a identificar áreas donde se pueden realizar mejoras para reducir costos.

Consideraciones Medio Ambientales: Evaluar el impacto ambiental de la fabricación del chasis y buscar alternativas más sostenibles. Esto puede incluir el uso de materiales reciclados o reciclables, la optimización de procesos para reducir el consumo de energía y la implementación de prácticas de fabricación más respetuosas con el medio ambiente.

Estos trabajos futuros pueden contribuir significativamente al desarrollo y mejora de los chasis tubulares para vehículos de competición, mejorando su rendimiento, seguridad y sostenibilidad.

Bibliografía

- Abramovay, M. (1991). “Detrás de Bastidores, IICA Biblioteca, Venezuela.
- Álvarez, V. (2018). Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo de competencia Formula SAE eléctrico. [Tesis, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15149/1/UPS-CT007481.pdf>
- Alvarado, R., & Montalván, C. (2019). DISEÑO DE UN CHASIS MONOPLAZA TIPO AUTOCROSS SEGÚN LA NORMATIVA FIA. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
- Arias, A. (2022), “Construir el bastidor y carrocería del prototipo de vehículo de competencia”, Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga-Ecuador.
- Ashby, M. F., Shercliff, H., & Cebon, D. (2019). Materiales: Ingeniería, ciencia, procesamiento y diseño. Elsevier.
- Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2016). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cengage Learning.
- Beer, P., Johnston, E., & Eisenberg, E. (2007). MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS. McGraw Hill Higher Education.
- Beer, F. P., Johnston Jr, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2014). Mecánica de materiales. McGraw Hill.
- Bendsøe, M. P., & Sigmund, O. (2004). Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications. Springer.

Bravo, F. Almedia, C. (2021). Diseño y construcción de un atenuador de impactos para un vehículo monoplaza Formula SAE. [Tesis, Universidad Técnica del Norte].

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11873>

Caisaguano, D. (2013). Desarrollo de procedimientos de soldadura, calificación de soldadores y control de calidad de estructuras soldadas de acuerdo a la norma AWS D1.1. [Tesis, Escuela Superior politécnica del Chimborazo].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3520>

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). John Wiley & Sons.

Canal ARMYCLE, (10 de enero 2012). Cortador de tubos (bocas de pescado).

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=gJaWTIbfqq4>

Castro, M. (1998). “Transmisiones y bastidor nueva enciclopedia del automóvil”, World Wide Books, Barcelona-España.

Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2007). Concepts and Applications of Finite Element Analysis. John Wiley & Sons.

Demaquinasyherramientas.com. (2016, marzo 16). De máquinas y herramientas. Introducción a la Soldadura por Arco. Recuperado el 04 de Junio de 2022, de

<https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-por-arco>

Derichebourg. (2020). Tipos de acero. Recuperado el 05 de Junio de 2022, de

<https://www.derichebourgespana.com/tipos-de-acero/>

Esab. (2017). Esab. Recuperado el 21 de 05 de 2022, de

https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso_soldadura_gmaw.cfm

ESGRAF. (06 de Agosto de 2020). Especialidades de grafito S.A. de C.V. Recuperado el 04

de Julio de 2022, de <https://www.esgraf.com.mx/fibra-de-carbono-aplicacionesindustriales/>

FIA, (2023), Reglemet technique pour voitures de Cross Car.

FIA. (2023). Technical Regulations for Cross Cars. 2023-Fédération Internationale de l'Automobile.

FORMULA SAE, (2023), Rules 2023.

García, J. Águeda, E. Martín J. Gonzalo J. y Gómez, T. (2013). “Pintado de vehículos”, Editorial: Paraninfo

García, J. Águeda, E. Martín J. Gonzalo J. y Gómez, T. (2013). “Pintado de vehículos por difuminado”, Editorial: Paraninfo

Hibbeler, R. (2010). INGENIERÍA MECÁNICA ESTÁTICA. PEARSON EDUCACIÓN.

OCTALACERO, (2018). Diferencias Entre el Tuberia de Acero Sin Costura y el Tubo de Soldadura. <https://www.octalacero.com/diferencias-entre-tuberia-sin-costura-y-tubo-de-soldadura>

Pauta, P., & Villacis, J. (2012). Diseño y construcción de un vehículo biplaza de estructura tubular con motor monocilndrico Yamaha YFM 200. Universidad del Azuay.

Quezada, P. (2018). Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa SIK/FIA. [Tesis, Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15766/1/UPS-CT007735.pdf>

Rodríguez. H. (2018). “Tutorial-Inge mecánica”, Pearson, Bogotá-Colombia

Reddy, J. N. (2018). An Introduction to the Finite Element Method 4th edition. McGraw-Hill Education

Scharff, R. (1999) “Carrocerías del Automóvil, Procesos de reparación”, Editorial: Paraninfo.

Singh, R. (2010). STRUCTURAL PERFORMANCE ANALYSIS OF FORMULA SAE CAR. Jurnal Mekanikal, 31, 46–61.

-Editorial-
CILADI
Centro de Investigación Latinoamericano
para el Desarrollo e Innovación

ISBN: 978-9942-7217-8-5

