

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL CHASIS PARA UN FORMULA
SAE**

**Pablo José Garcés Freire
Sebastián Andrés Reyes Muñoz
José Tomás Jáuregui Játiva
Mateo Alexander Hachig Pareja**

Ingeniería Mecánica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Mecánico

Quito, 22 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIAS

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN CHASIS PARA UN FORMULA SAE

**Pablo José Garcés Freire
Sebastián Andrés Reyes Muñoz
José Tomás Jáuregui Játiva
Mateo Alexander Hachig Pareja**

**Patricio Gabriel Chiriboga Arroyo. PhD.
Director de Tesis**

Quito, 22 de mayo de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Pablo José Garcés Freire
Sebastián Andrés Reyes Muñoz
José Tomás Jáuregui Játiva
Mateo Alexander Hachig Pareja

Código: 00206452
00206029
00208723
00140824

Cédula de identidad: 1804203469
1723790174
1723472500
1750064196

Lugar y fecha: Quito, 22 de mayo de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar gracias a nuestro tutor de tesis Patricio Chiriboga, por habernos guiado a través de este proceso; además de habernos mostrado la afición por la ingeniería mecánica y por el capítulo estudiantil de la SAE. De igual forma, gracias a Dios y especialmente a nuestros familiares, quienes nos acompañaron lo largo de este camino de manera incondicional. brindándonos su apoyo, motivándonos para no rendirnos jamás y darnos la oportunidad de lograr esta meta tan importante para nuestra vida profesional. Además, agradecemos a Luis Caranguay por su ayuda y asistencia técnica en el proceso de manufactura haciendo realidad el diseño 3D del chasis de competencia.

RESUMEN

El proyecto consistió en el diseño y optimización de un chasis con el cual cuenta actualmente la universidad. El objetivo principal fue tener un modelo que cumpla con la normativa actual de la “Society of Automotive Engineers” SAE y de esta manera participar en la competencia. Por lo tanto, se comenzó con el diseño y dimensionamiento del nuevo chasis determinando así su geometría final. Adicionalmente del diseño basado en los requerimientos del manual, se buscó obtener el menor peso posible en el prototipo final. Se hizo uso de la herramienta SOLIDWORKS para el dibujo mecánico y las simulaciones necesarias, mediante elementos finitos. Con el objetivo de corroborar la resistencia de nuestro prototipo, se realizaron simulaciones, posteriormente verificadas con cálculos analíticos de casos simplificados. Se continuó con un plan de manufactura para dar inicio con la construcción. Se empezó con el diseño un jig para facilitar el trabajo de soldadura y mediante los planos obtenidos posicionar cada tubo estructural en su posición. A cada tubo se realizó su respectivo corte para poder ser ubicado en la posición correspondiente, basándonos en la hoja de proceso que se realizó y su plantilla de terminación respectiva. Finalmente, se procedió con la soldadura de los elementos mediante soldadura SMAW. De esta manera, se obtuvo un chasis funcional que cumple con los lineamientos del reglamento establecido por la SAE, iniciando el proceso para llegar a la competencia.

Palabras clave: Diseño, Optimización, Chasis, Jig, SAE, Manual, Manufactura, Simulación, Elemento finitos, Soldadura, SMAW.

ABSTRACT

The project consisted of the design and optimization of a chassis that the university currently has. The main objective was to have a model that complies with the current regulations of the "Society of Automotive Engineers" SAE and thus participate in the competition. Therefore, the design and sizing of the new chassis began, thus determining its final geometry. In addition to the design based on the requirements of the manual, it was sought to obtain the lowest possible weight in the final prototype. The SOLIDWORKS tool was used for the mechanical drawing and the necessary simulations, through finite elements. In order to corroborate the resistance of our prototype, simulations were carried out, later verified with analytical calculations of simplified cases. A manufacturing plan was continued to start construction. It began with the design of a jig to facilitate the welding work and through the plans obtained, position each structural tube in its position. Each tube was made its respective cut to be able to be located in the corresponding position, based on the process sheet that was made and its respective termination template. Finally, we proceeded with the welding of the elements by means of SMAW welding. In this way, a functional chassis was obtained that complies with the guidelines of the regulations established by the SAE, initiating the process to reach the competition.

Key words: Design, Optimization, Chassis, Jig, SAE, Manual, Manufacturing, Simulation, Finite Element, Welding, SMAW.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	13
1.1	Resumen Ejecutivo.....	13
1.2	Declaración del Problema y Especificación del Proyecto.....	15
1.3	Concepto de Diseño y Selección.....	16
1.3.1	Matriz de Selección.....	17
1.4	Gestión de Proyecto	20
1.5	Estándares Ingenieriles.....	21
1.5.1	Requerimientos de la Formula SAE para el chasis	21
1.5.2	Requerimientos para el desarrollo de planos de construcción.....	31
1.5.3	Requerimientos para el dimensionamiento de soldadura.....	31
2	Materiales y Métodos.....	32
2.1	Materiales y selección de componentes	32
2.2	Proceso de Manufactura	34
2.2.1	Fabricación Jig	35
2.2.2	Fabricación Chasis	36
2.2.3	Soldadura Chasis y Mesas	37
2.2.4	Montaje Mesas	37
3	Resultados y discusiones.....	38
3.1	Reporte de Diseño	38
3.2	Análisis Ingenieril	39
3.2.1	Análisis de un elemento estructural tipo Truss	39
3.2.2	Análisis de un elemento estructural tipo Beam.....	43
3.2.3	Análisis de Soldadura para el chasis	55
3.2.4	Análisis de las Mesas del Chasis FSAE.....	59
3.2.5	Dimensionamiento de los pernos de acople para mesas	65
3.3	Experimentos Ingenieriles para Verificación.....	68
3.3.1	Proceso iterativo 3D del diseño del chasis tubular	68
3.4	Plan de Pruebas para prototipo final	68
3.4.1	Verificación de medidas	69
3.4.2	Verificación de peso	71
3.5	Análisis de Riesgos	73
3.6	Manual de Mantenimiento	74
3.7	Resultados y Discusiones	74
3.8	Conclusiones	77
3.9	Trabajos a Futuro	78

4	Referencias bibliográficas	79
5	ANEXO A: Tipo de tubos.....	80
6	ANEXO B: Detalle de gastos	81
7	ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO	82
8	ANEXO D: Calculos manuales.....	93
9	ANEXO E: Diagramas cortante y momento en elementos beam	113
10	ANEXO F: Hoja de proceso/plantilla	114
11	ANEXO G: Planos	128
12	ANEXO H: Cuadro comparativo diseño chasis.....	133
13	ANEXO I: Medidas reales chasis tubular	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios ingenieriles y calificación para selección del material del chasis.....	18
Tabla 2. Matriz de Selección para material del Chasis.....	19
Tabla 3. Criterios ingenieriles para la selección del tipo de jig para manufactura.	19
Tabla 4. Matriz de selección para manufactura del Jig.....	19
Tabla 5. Estándares Ingenieriles	21
Tabla 6. Requerimientos geométricos establecidos (Formula SAE Rules, 2023)	22
Tabla 7. Elementos Estructurales del Chasis (Formula SAE Rules,2023)	22
Tabla 8. Propiedades mecánicas para acero en la construcción del chasis (Formula SAE Rules,2023).	24
Tabla 9. Requisitos de rigidez estructural (Formula SAE Rules, 2017).	24
Tabla 10. Elementos principales y fabricación.	39
Tabla 11. Reporte de fuerzas	50
Tabla 12. Geometría del tubo de Acero A53.	53
Tabla 13. Resultados de esfuerzos.	54
Tabla 14. Resultados cordón de soldadura (software SolidWorks).....	57
Tabla 15. Prueba de medidas críticas del chasis.	69
Tabla 16. Prueba Analítica para Tubos.....	70
Tabla 17. Pruebas de diseño.....	71
Tabla 18. Comparación de peso.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Gantt Parte 1 y 2.	20
Figura 2. Elementos principales del chasis en vista isométrica para la configuración inicial.	26
Figura 3. Sketch dimensional del conductor del vehículo (Formula SAE Rules, 2023).	27
Figura 4: Restricción de ubicación del roll Hoop y ángulos máximos (Formula SAE Rules, 2023).	28
Figura 5. Parámetro de inclinación para los bracings del main hoop (Formula SAE Rules, 2023).	28
Figura 6. Parámetros para la estructura de impacto lateral. (Formula SAE Rules, 2023)	28
Figura 7. Parámetro de triangulación de miembros estructurales. (Formula SAE Rules, 2023)	29
Figura 8. Esquema de comprobación cockpit (Formula SAE Rules, 2023).	29
Figura 9: Esquema del espacio de la sección transversal interna del chasis (Formula SAE Rules, 2023).	30
Figura 10. Configuración estructural de la primera configuración de Chasis.	30
Figura 11. Esfuerzos permisibles para el material de aporte y base (Shigley, 2014).	31
Figura 12: Propiedades mínimas del material de aporte (Shigley, 2014).	32
Figura 13: Diagrama de flujo de Manufactura del Chasis FSAE	34
Figura 14. Documento DXF del JIG de fabricación.	35
Figura 15. JIG de fabricación de madera totalmente armado.	35
Figura 16. Terminaciones de tubos según la plantilla de corte.	36
Figura 17. Posicionamiento de tubos en el JIG de fabricación.	36
Figura 18. Junta de soldadura luego de limpieza, pulido y pintado.	37
Figura 19: Montaje de las mesas al chasis mediante las juntas empernadas.	38
Figura 20: Resultados de esfuerzos tipo Truss	40
Figura 21. Barra sometida a fuerza de tensión.	41
Figura 22. Elemento y fuerza aplicada.	42
Figura 23: Esfuerzos con cargas aplicadas Choque Frontal.	43
Figura 24: Deformación Máxima Front Bulkhead.	44
Figura 25: Esfuerzos con cargas aplicada Main Hoop.	45
Figura 26: Deformación Máxima Main Hoop	45
Figura 27: Esfuerzos con cargas aplicadas Front Hoop.	46
Figura 28: Deformación Máxima Front Hoop.	46
Figura 29: Esfuerzos con cargas aplicadas Impacto Lateral.	47
Figura 30: Deformación máxima Impacto Lateral.	47
Figura 31. Fuerzas Internas en una viga sometida a flexión (Hibbeler, 2022).	48
Figura 32. Sección seleccionada de elemento Crítico Front Hoop entre dos nodos lineales (azul y rojo respectivamente).	49
Figura 33: Dirección de un momento positivo en una viga rectangular (Shigley, 2014).	49
Figura 34: Tubo en voladizo con carga axial, torque y fuerza en flexión (Shigley, 2014).	50
Figura 35: Elemento Infinitesimal, momentos y fuerzas resultantes (Shigley, 2014).	51
Figura 36. Esfuerzo critico en simulación de Front Hoop.	54
Figura 37. Diagrama de los esfuerzos en el elemento infinitesimal en A (Shigley, 2014).	55
Figura 38 Cargas aplicadas simulación soldadura	56
Figura 39. Verificación de la simulación de soldadura.	56
Figura 40. Elemento Infinitesimal, momentos y fuerzas resultantes (Shigley, 2014).	57
Figura 41: Simulación de esfuerzos en mesas.	60
Figura 42. Planteamiento Simplificado para proporción de peso delantero y trasero.	61

Figura 43: Caso simplificado para fuerzas aplicadas en la parte delantera y posterior.	61
Figura 44: Prueba del Skidpad (Manual Fórmula SAE, 2023).....	62
Figura 45. Diagrama de Cuerpo Libre Vista Frontal del Monoplaza.	63
Figura 46: Simplificación análisis carga elemento.	64
Figura 47. Simplificación junta empernada.	66
Figura 48: esfuerzo axial de tensión dado por precarga de la junta.....	67
Figura 49. Análisis y monitoreo de riesgos.	73

1 INTRODUCCIÓN

El alto de nivel de competitividad del deporte automotriz ha causado la necesidad de mantener una constante investigación para el desarrollo ingenieril, con el fin de realizar mejoras en los diversos sistemas automotrices. El equivalente académico a la Fórmula 1 es la Fórmula SAE que busca incentivar la competencia y desarrollo ingenieril en el ámbito automotriz de estudiantes universitarios, incentivando así el desarrollo de este proyecto.

1.1 Resumen Ejecutivo

Proyecto: Diseño y optimización de un chasis para un Formula SAE.

Introducción:

El presente resumen ejecutivo proporciona una visión general del proyecto de construcción de un chasis tubular para el vehículo de la Fórmula SAE. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar el modelo de un chasis ligero, resistente y seguro que cumpla con los requisitos de diseño y rendimiento establecidos por la competencia.

Objetivos:

1. Diseñar y fabricar un chasis tubular optimizado para maximizar la rigidez y minimizar el peso del vehículo de la Fórmula SAE.
2. Cumplir con las regulaciones y especificaciones técnicas establecidas por la competencia de la Fórmula SAE.
3. Mejorar la maniobrabilidad y la estabilidad del vehículo mediante la implementación de una estructura tubular rígida y equilibrada.

Hallazgos clave:

1. Se realizó un exhaustivo análisis estructural utilizando software de simulación avanzado, lo que permitió identificar la configuración óptima del chasis tubular.

2. Se seleccionaron materiales de alta resistencia y bajo costo, como tubería A53 grado B CED40 sin costura, para garantizar la durabilidad y la seguridad del chasis.
3. Se logró reducir significativamente el peso total del chasis mediante una combinación de diseño estructural eficiente.
4. Se pudo desarrollar e implementar plantillas de diseño mediante software de diseño 3D para cortes tipo boca de pez, facilitando el proceso de fabricación y reducción en el tiempo de construcción.

Conclusiones:

1. El diseño del chasis tubular optimizado ofrece una mayor rigidez y resistencia a la flexión, mejorando la respuesta y la estabilidad del vehículo en curvas y maniobras.
2. La selección de materiales de alta resistencia garantiza la seguridad del piloto y la integridad estructural del chasis en caso de impactos o eventos de alta deformación y esfuerzo.
3. El chasis tubular diseñado cumple con todas las regulaciones y especificaciones técnicas establecidas por la competencia de la Fórmula SAE.

Recomendaciones:

1. Implementar procesos de pruebas de validación para verificar el rendimiento y la resistencia del chasis antes de la competencia.
2. Designar técnicos encargados de realizar un mantenimiento regular con el fin de inspeccionar y mantener la integridad estructural del chasis a lo largo de su vida útil.
3. Continuar investigando y explorando nuevas tecnologías y materiales para seguir mejorando el diseño y rendimiento del chasis tubular en futuros proyectos.

Resumen financiero:

Se ha asignado un presupuesto de 400USD para la adquisición de materiales, herramientas y equipos de trabajo, por parte de la universidad. Además, se ha considerado el costo de mano de obra y posibles gastos adicionales durante el proceso de fabricación. Como resultado, el costo estimado del proyecto de construcción del chasis tubular es de 675,64 el mismo que se encuentra detallado en el Anexo B.

Solicitud de Seguimiento:

Se solicita la aprobación y asignación de recursos necesarios para sistemas complementarios como la adquisición de un motor. Asimismo, se invita a seguir apoyando y respaldando este proyecto con el objetivo de alcanzar el éxito en la competencia de la Fórmula SAE. Promover el desarrollo de habilidades técnicas y de ingeniería en estudiantes de la USFQ, lo que ayudaría a mejorar la imagen de la carrera de ingeniería mecánica, del capítulo estudiantil de la SAE y de la universidad, permitiendo así la obtención de patrocinio de marcas importantes de la industria automotriz para futuras competencias.

1.2 Declaración del Problema y Especificación del Proyecto

La “Society of Automotive Engineers” llamada Formula SAE, es una competencia equivalente a la Fórmula 1, la cual es un programa destinado para estudiantes universitarios a nivel internacional. Su principal objetivo es probar la aplicación de los conocimientos y aptitudes ingenieriles adquiridas por los estudiantes, mediante el desarrollo de un vehículo funcional que cumpla con los criterios de fabricación del chasis según la normativa. Por su parte, en la Universidad San Francisco de Quito se ha creado el chapter de la Formula SAE para que de esta manera los estudiantes puedan involucrarse en el diseño y desarrollo de los sistemas del automóvil.

Parte fundamental del diseño de un vehículo es el chasis. Este cumple la función de ser la estructura y de dar rigidez al vehículo uniendo todos los sistemas que componen al

automóvil. Por otro lado, recibe todos los esfuerzos y cargas que se aplican en el mismo. Existen diferentes tipos de chasis que se implementan en la competencia de formula SAE según las especificaciones técnicas. Estos pueden ser de tipo tubular o monocasco.

Actualmente existe un primer prototipo del chasis tubular el cual cuenta con un sistema de dirección, suspensión y llantas, desarrollado por estudiantes de la universidad en años posteriores. Dado que la SAE actualiza su reglamentación cada año, este prototipo no cumple con las regulaciones actuales de la Formula SAE. Se pudo identificar que la distancia del eje posterior al frontal no son las adecuadas, la suspensión está mal acoplada al chasis, la ubicación de la dirección y la altura de la base con respecto al suelo son incorrectas. Para esto se planteó como objetivo rediseñar completamente el chasis siguiendo los estándares actuales de la Formula SAE de acuerdo con el reglamento denominado “FSAE Rules 2023 V2”. Se busca diseñar el chasis en base a la distribución de peso del monoplaça, normas de seguridad de la SAE, con una selección de material adecuada que optimice costos de fabricación y que sea apto para competir en la categoría de vehículo de combustión.

Finalmente, los resultados del proyecto constan del prototipo final de chasis construido, junto con cálculos y simulaciones que corroboren su diseño. Como complemento, se adjuntan los planos constructivos y la hoja de ruta de fabricación con el fin de facilitar a futuros estudiantes el proceso de manufactura del vehículo y los procedimientos a seguir para la implementación de sistemas complementarios.

1.3 Concepto de Diseño y Selección

Para la construcción de chasis, se identificaron dos eventos de selección importantes, los cuales son: el material del chasis y la manufactura del jig. Conociendo esto, se procede a realizar una matriz de selección con las alternativas que tenemos para cada uno de ellos y siguiendo los criterios ingenieriles planteados.

1.3.1 Matriz de Selección

Criterios ingenieriles para la selección

A continuación, se realiza una explicación de los criterios ingenieriles considerados para la selección de las opciones presentadas para cada variable del sistema.

Costo

Dicho criterio ingenieril representa el valor monetario de la adquisición del producto seleccionado. Este es un parámetro muy importante considerando el presupuesto establecido para el proyecto. (Los costos finales del proyecto se detallan en el Anexo B)

Facilidad de procura

Es la capacidad de obtener el material en cuestión. Para poder realizar el respectivo análisis con respecto a este parámetro se otorgó una calificación la cual nos permite definir cuál será más fácil de adquirir y cual será más difícil de conseguir.

Resistencia mecánica

Es una propiedad de los materiales la cual nos permite determinar la capacidad de un material para soportar cargas, sin que se deforme plásticamente o fracture. La resistencia se determina mediante el esfuerzo de cedencia y último esfuerzo a la tensión. Este criterio es fundamental ya que se busca encontrar un material que cumpla con los estándares de la formula SAE, resista las fuerzas a las cuales está sometido el chasis y soporte el peso del monoplaza.

Manufactura

Es importante considerar los procesos de manufactura que se emplearan para la construcción, dependiendo del material seleccionado y la facilidad de implementación. Como, por ejemplo: la soldabilidad de cada material.

Densidad

La densidad es una propiedad física de los materiales, la que describe la cantidad de masa por unidad de volumen. Mediante este criterio, se busca la optimización del peso final del chasis.

Efectividad de sujeción

La efectividad de sujeción es el criterio ingenieril con el cual podemos indicar con que facilidad se puede posicionar las partes del chasis para que sean ensambladas. Una efectividad de sujeción alta o baja, nos indica que la tolerancia o margen de error que tenemos con respecto a la posición deseada sea mínima o máxima, respectivamente.

Tiempo de construcción

El tiempo de construcción es un parámetro que va a influir mucho en la construcción de nuestro chasis, ya que tenemos un plazo establecido para la entrega del mismo. Por esta razón es de suma importancia contemplar este criterio ya que la opción que menos tiempo tome será la optada para la fabricación.

A continuación, se presentan tablas con los criterios específicos y el método de calificación con el cual guiamos nuestra decisión:

Tabla 1. Criterios ingenieriles y calificación para selección del material del chasis.

CRITERIO	CALIFICACIÓN	
	1	5
Costos	Mayor	Menor
Facilidad de procura	Difícil de adquirir	Fácil de adquirir
Resistencia mecánica	Poca resistencia	Alta resistencia
Manufactura	Difícil	Fácil
Densidad	Pesado	Liviano

Para la selección de material del chasis, se plantearon las siguientes opciones: acero al carbono, aluminio y fibra de carbono.

Tabla 2. Matriz de Selección para material del Chasis.

Material Chasis								
Materiales	Criterios ingenieriles	Porcentaje	Opciones					
			1		2		3	
			Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
1.Acero al carbono	Costos	25%	5	1.25	3	0.75	1	0.25
2.Aluminio	Facilidad de procura	15%	5	0.75	3	0.45	1	0.15
3.Fibra de carbono	Resistencia mecánica	20%	3	0.6	2	0.4	5	1
	Manufactura	25%	5	1.25	2	0.5	1	0.25
	Densidad	15%	2	0.3	4	0.6	5	0.75
Total	100%			4.15		2.7		2.4

De acuerdo con la tabla 2, el material de fabricación el acero al carbono ya que tiene la ponderación más alta con un valor de 4.15. Cumpliendo de manera más optima los criterios ingenieriles establecidos.

Tabla 3. Criterios ingenieriles para la selección del tipo de jig para manufactura.

CRITERIO	CALIFICACIÓN	
	1	5
Costos	Mayor	Menor
Facilidad de procura	Difícil de adquirir	Fácil de adquirir
Efectividad de sujecion	Baja	Alta
Tiempo de construccion	Alto	Bajo

Para la selección de la manufactura del Jig, se plantearon las siguientes opciones: madera, lamina de acero y matriz con prensas.

Tabla 4. Matriz de selección para manufactura del Jig.

Manufactura (jig)								
Materiales	Criterios ingenieriles	Porcentaje	Opciones					
			1		2		3	
			Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
1.Madera	Costos	20%	5	1	3	0.6	1	0.2
2.Lamina de acero	Facilidad de procura	20%	5	1	3	0.6	2	0.4
3.Matriz con prensas	Efectividad de sujeción	25%	4	1	3	0.75	5	1.25
	Tiempo de construcción	35%	5	1.75	4	1.4	1	0.35
Total	100%			4.75		3.35		2.2

Como se puede ver en la tabla 4, el material seleccionado para el proceso de manufactura del jig es la madera al tener la ponderación más alta de 4.75. Cumpliendo de manera más optima los criterios ingenieriles establecidos.

Con los criterios ingenieriles y las matrices de selección antes presentadas, se procedió a hacer el diseño y los cálculos respectivos para la fabricación del chasis con acero al carbono A53 grado B que cumple con los niveles de resistencia mecánica requeridos.

1.4 Gestión de Proyecto

A continuación, se presenta el diagrama de Gantt el cual es una planificación específica de todas las actividades a seguir para la realización del proyecto:

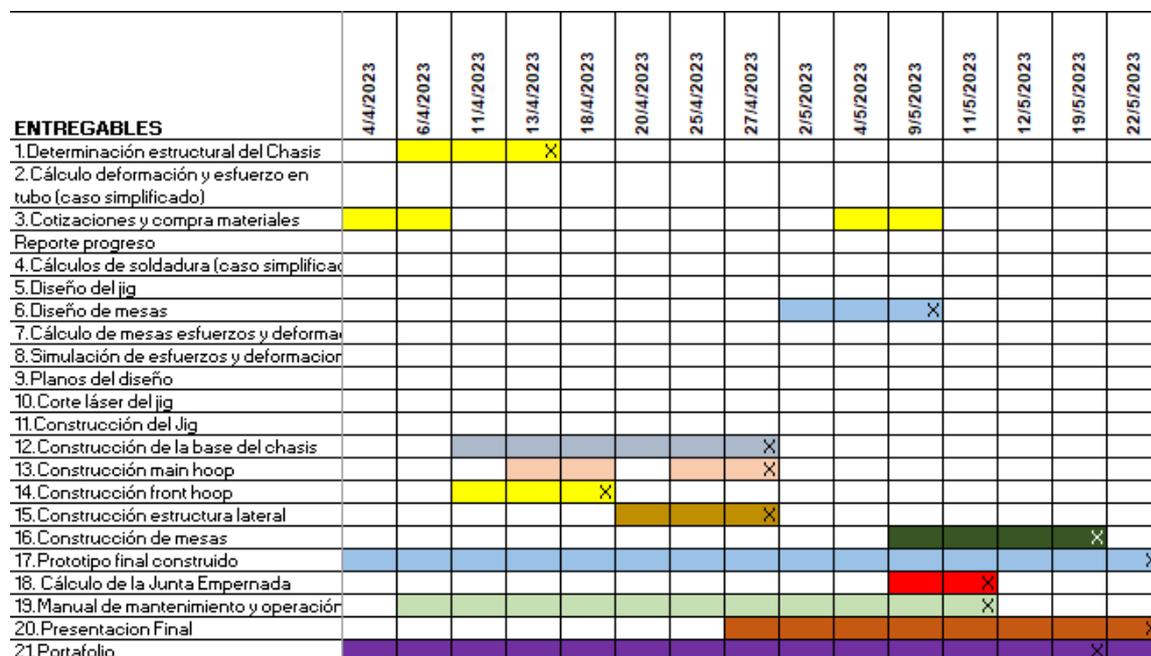
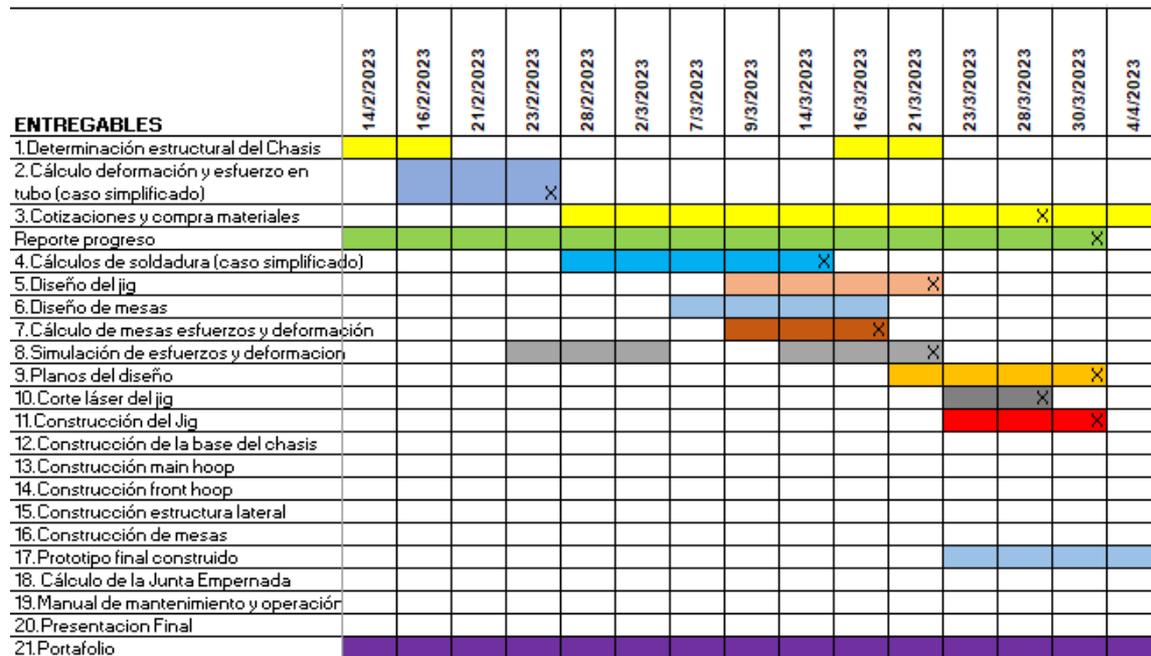


Figura 1. Diagrama de Gantt Parte 1 y 2.

1.5 Estándares Ingenieriles

Los estándares ingenieriles presentados siguiente tabla, son utilizados como referencias o guías para el diseño, dimensionamiento del chasis y todos los procesos involucrados en nuestro proyecto.

Tabla 5. Estándares Ingenieriles

Contenido	Manuales o Bibliografía
Cargas para cálculos y simulaciones de esfuerzos y deformaciones.	Manual Fórmula SAE 2017
Parámetros dimensionales y estructurales para Chasis.	Manual Fórmula SAE 2023
Planos y hojas de proceso.	Norma INEN 003 – Código para dibujo técnico-mecánico
Dimensionamiento de soldadura.	Shigley Diseño Mecánico/Referencia AWS - Dimensionamiento para soldadura

1.5.1 Requerimientos de la Formula SAE para el chasis

1.5.1.1 Requerimientos geométricos del chasis

La fórmula SAE en el reglamento del año 2023 identifica las estructuras más importantes del chasis y requerimientos geométricos que estas debe cumplir. En la tabla 6, se detalla los requerimientos geométricos mínimos que deben cumplir los tubos empleados en las simulaciones y construcción, teniendo como resultado cuatro tamaños específicos.

Tabla 6. Requerimientos geométricos establecidos (Formula SAE Rules, 2023)

Tubo	Momento de inercia del área mínima [mm⁴]	Área transversal mínima [mm²]	Diámetro Exterior mínimo [mm]	Espesor mínimo [mm]
Tamaño A	11320	173	25	2
Tamaño B	8509	114	25	1,2
Tamaño C	6695	91	25	1,2
Tamaño D	18015	126	35	1,2

De acuerdo con la formula SAE estos requerimientos geométricos nos indican cual sería el tamaño óptimo para cada componente del chasis dependiendo de su funcionalidad. Por otro lado, en la tabla 7, se señala cada elemento estructural del chasis, junto con su función y su tamaño de tubería mínimo requerido.

Tabla 7. Elementos Estructurales del Chasis (Formula SAE Rules,2023)

Ver la figura 2 para identificar cada uno de los elementos estructurales.

Elemento Estructural	Funcionalidad	Tamaño requerido
Front Bulkhead	Protección de los pies del piloto	Size B
Front Bulkhead Support	Soporte estructural para el front bulkhead	Size C
Front Hoop	Barra de protección en caso de volcamiento, ubicada sobre las piernas del conductor, en cercanía del volante de dirección.	Size A

Front Hoop Bracing	Soporte estructural para el front hoop	Size B
Side Impact Structure	Estructura ubicada a los costados de la cabina, destinada a soportar los impactos laterales.	Size B
Upper Side Impact Member	Parte superior de la estructura de impacto	Size D
Main Hoop	Barra de protección en caso de volcamiento, ubicada en paralelo al torso del conductor, o alineada detrás del mismo.	Size A
Main Hoop Bracing	Soporte estructural para el main hoop	Size B
Main Hoop Bracing Supports	Barra de soporte estructural ubicada detrás del main hoop	Size C
Driver Restrain Harness Attachment	Anclaje para sujetar el cinturón de seguridad del conductor.	Size B
Shoulder Harness Mounting Bar	Barra para montaje del arnés de seguridad para el piloto, conectado al main hoop y ubicado detrás de este.	Size A
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	Soporte estructural para el shoulder harness mounting bar	Size C
Other Structural Tubing	Barras de complemento para construcción y armado	Size C

1.5.1.2 Requerimientos de resistencia mecánica del chasis.

En los requerimientos establecidos de la competición se establecen las propiedades mecánicas de los materiales a utilizarse en el vehículo. Estos se clasifican por materiales continuos para uniones no soldadas y por materiales discontinuos para uniones soldadas, en acero para ambos casos, como se puede ver en la tabla 8.

Tabla 8. Propiedades mecánicas para acero en la construcción del chasis (Formula SAE Rules, 2023).

Material	Módulo de Young [GPa]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Ultimo esfuerzo a la ruptura [MPa]
<i>Continuo sin soldadura</i>	200	305	365
<i>Discontinuo con uniones soldadas</i>	-	180	300

También, se determinan casos críticos a los que el chasis va a someterse a esfuerzo, como un impacto frontal, lateral o un volcamiento. Para cada caso se detalla las cargas aplicadas, tanto en magnitud como en dirección, y las condiciones de borde, como se puede apreciar en la tabla 9. De igual manera, se muestra en la figura 2 los elementos principales de la estructura del chasis.

Tabla 9. Requisitos de rigidez estructural (Formula SAE Rules, 2017).

Elemento del chasis	Carga Aplicada	Punto de Aplicación	Condición de borde	Máxima Deflexión	Criterio de Falla
Main Roll Hoop, Bracing y Bracing Supports	F _x = 6.0 kN F _y = 5.0 kN F _z = -9.0 kN	Parte alta del Main Roll Hoop	Sin rotación y desplazamiento en x, y, z en los nodos inferiores laterales de ambos hoops.	25mm	Supera el Esfuerzo de Fluencia o la deflexión máxima.
Front Roll Hoop	F _x = 6.0 kN F _y = 5.0 kN F _z = -9.0 kN	Parte alta del Front Roll Hoop	Sin rotación y desplazamiento en x, y, z en los nodos inferiores	25mm	Supera el Esfuerzo de Fluencia o la deflexión máxima.

			laterales del front y main roll hoops.		
Estructura de impacto lateral	$F_x = 0 \text{ kN}$ $F_y = 7 \text{ kN}$ $F_z = 0 \text{ kN}$	En todas las locaciones estructurales entre el front roll hoop y el main hoop.	Sin rotación y desplazamiento en x, y, z en los nodos inferiores laterales del front y main roll hoops.	25 mm	Supera el Esfuerzo de Fluencia o la deflexión máxima
Front Bulkhead y Bulkhead Support	$F_x = 120 \text{ kN}$ $F_y = 0 \text{ kN}$ $F_z = 0 \text{ kN}$	Puntos de unión entre el atenuador de impacto y el front bulkhead	Sin desplazamiento en los ejes (x,y,z) y sin rotación en los nodos inferiores laterales del main roll hoops, en ambas locaciones donde el main hoop y el shoulder harness tube se conectan.	25 mm	Supera el Esfuerzo de Fluencia o la deflexión máxima

1.5.1.3 Parámetros de Diseño y Modelado 3D

El sistema de coordenadas se define como en la figura 2, siendo este una primera iteración de diseño para el chasis a construirse posteriormente.

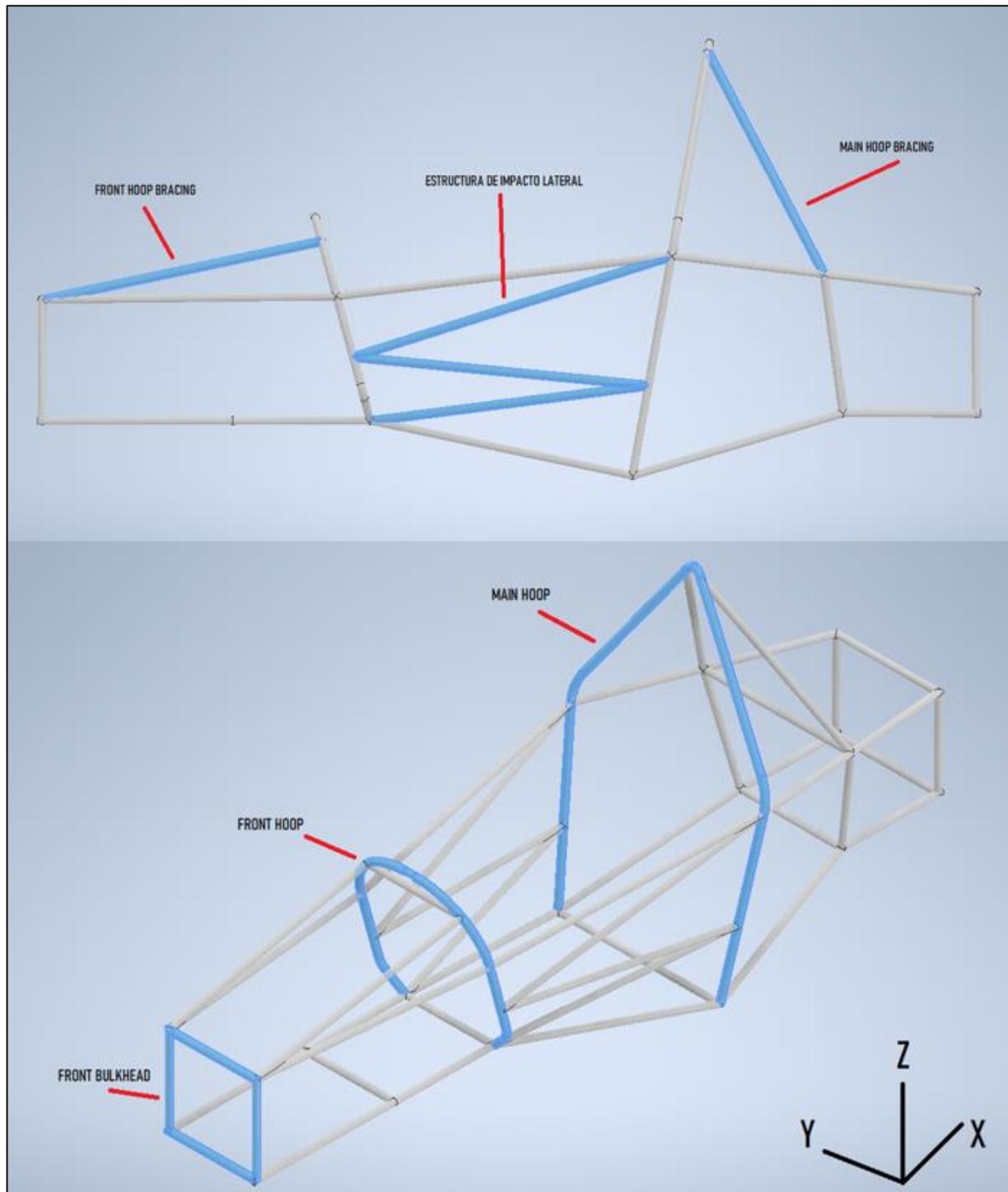


Figura 2. Elementos principales del chasis en vista isométrica para la configuración inicial.

En esta figura, se puede apreciar las partes estructurales principales del chasis, las cuales fueron ubicadas y establecidas en base a los parámetros descritos en la siguiente sección.

Diseño del prototipo

Para la configuración estructural del chasis, la formula SAE establece ciertos parámetros dimensionales a respetar en distintos elementos. Estos parámetros son:

- Antropometría del conductor

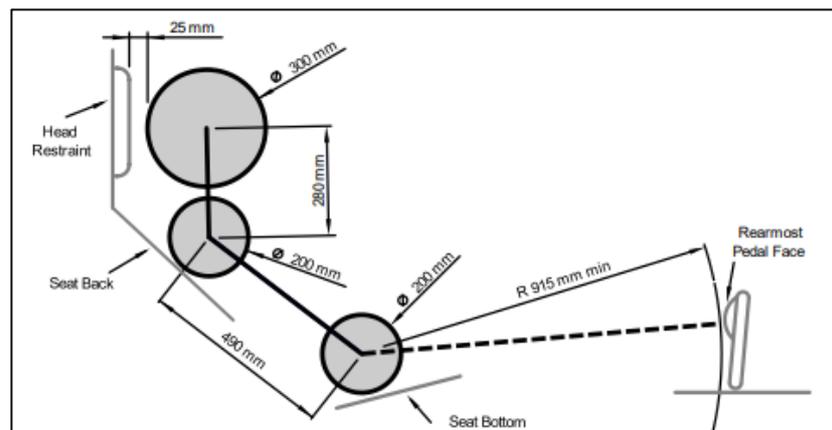


Figura 3. Sketch dimensional del conductor del vehículo (Formula SAE Rules, 2023).

Se establece un sketch definido que representa el tamaño de un conductor correspondiente al percentil 95 masculino. El círculo superior representa a la dimensión de la cabeza del conductor con casco en uso. El círculo intermedio representa a la posición de los hombros. Finalmente, el círculo inferior refleja la posición donde el conductor debe estar sentado.

- Ubicación del roll Hoop

Se establece un espacio necesario de 50 [mm] entre el casco y las líneas que se forman al conectar: la parte más alta de main hoop con front hoop, y la parte más alta de main hoop con la base de los bracings de dicha estructura.

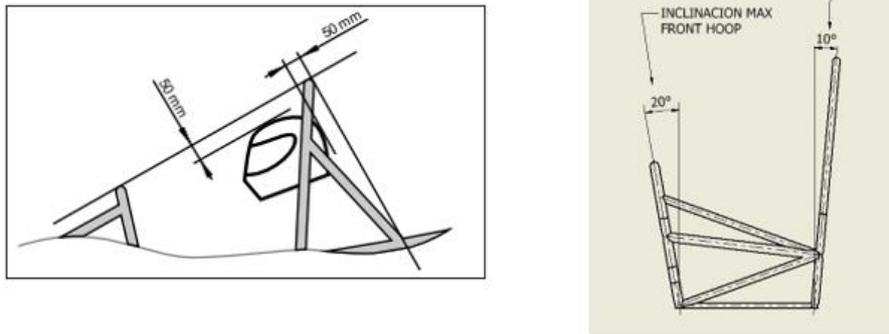


Figura 4: Restricción de ubicación del roll Hoop y ángulos máximos (Formula SAE Rules, 2023).

Se destaca que el front hoop debe tener una inclinación máxima de 20° y el main hoop con una inclinación máxima de 10° desde la vertical como se observa en la figura 4.

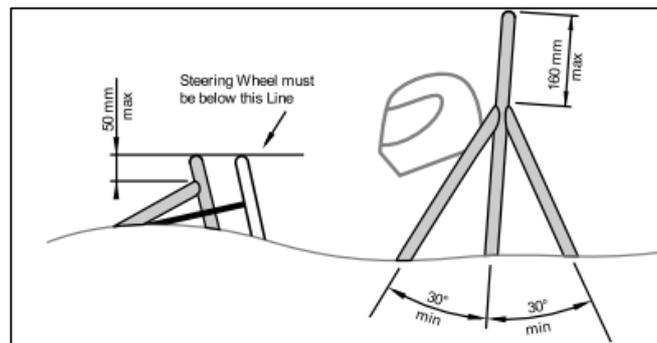


Figura 5. Parámetro de inclinación para los bracings del main hoop (Formula SAE Rules, 2023).

Se establece la inclinación mínima de dichos soportes. Para este caso, se toma solo el soporte posterior del main hoop el cual es la estructura que está por detrás de la cabeza del piloto como se observa en la figura 5.

- Ubicación de la estructura de impacto

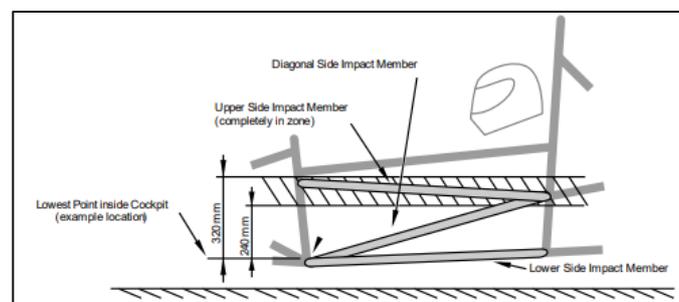


Figura 6. Parámetros para la estructura de impacto lateral. (Formula SAE Rules, 2023)

Para esta estructura se establecen 3 miembros principales: superior, inferior y diagonal. Estos deben cumplir con la distancia mostrada en la figura 6, en los dos costados de la cabina del piloto.

- Triangulación

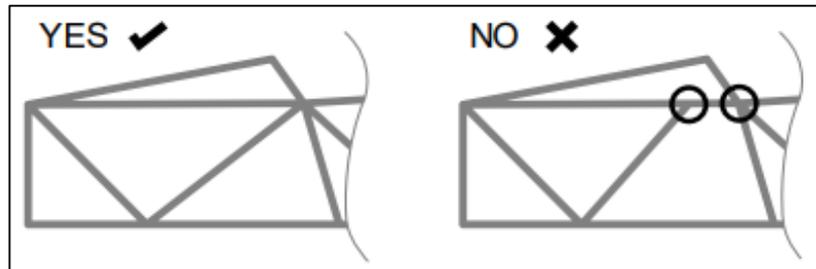


Figura 7. Parámetro de triangulación de miembros estructurales. (Formula SAE Rules, 2023)

Se determina que todos los miembros estructurales del chasis deben conectarse estrictamente en los nodos, formando una estructura totalmente compuesta por triángulos como se aprecia en la figura 7.

- Cockpit y sección transversal interna

Los esquemas que se presentan en las figuras 8 y 9. Tienen como objetivo dimensionar el espacio interior mínimo del chasis, garantizando el espacio necesario para el piloto y sistemas que estén acoplados al chasis.

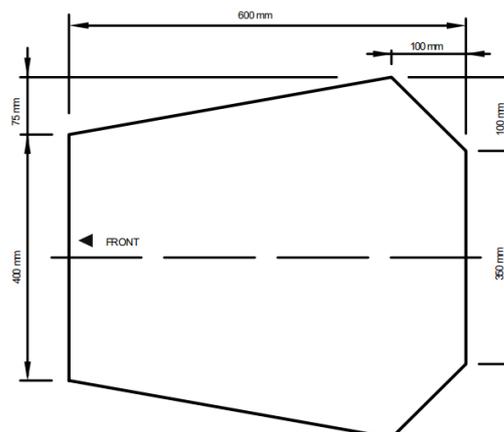
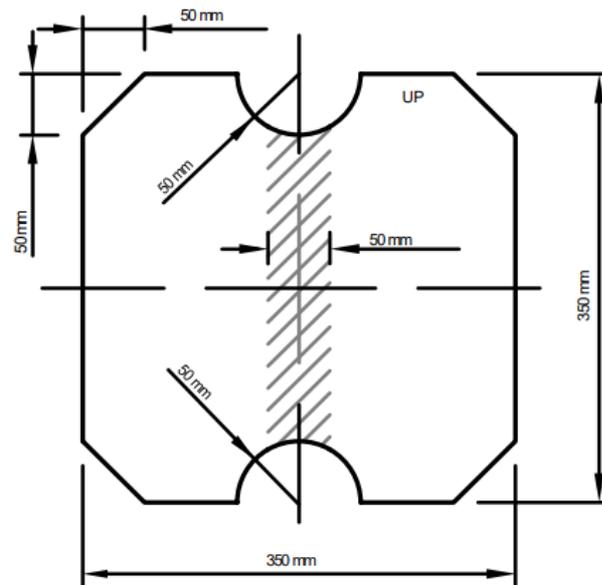


Figura 8. Esquema de comprobación cockpit (Formula SAE Rules, 2023).



Template maximum thickness: 7 mm

Figura 9: Esquema del espacio de la sección transversal interna del chasis (Formula SAE Rules, 2023).

Configuración inicial de chasis

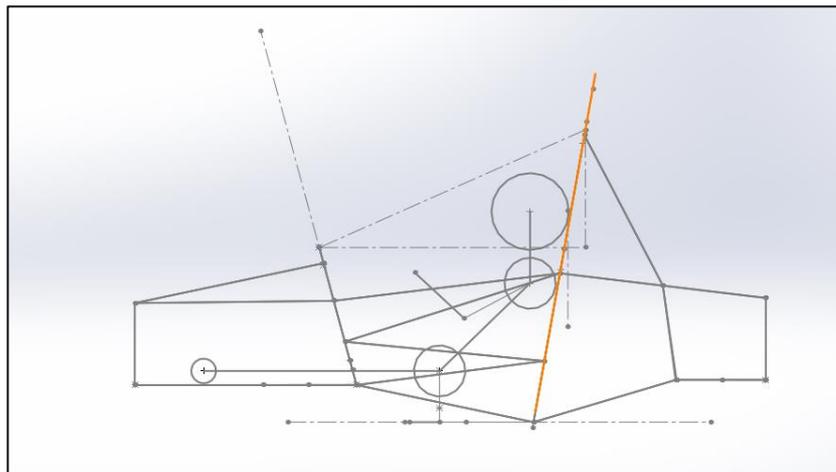


Figura 10. Configuración estructural de la primera configuración de Chasis.

Teniendo en cuenta todos los parámetros de diseño antes presentados se desarrolló una estructura primaria con todos los elementos principales, presentados en la figura 10. En este boceto, no se cumple con el parámetro de triangulación a cabalidad, debido a que este prototipo será sometido a simulación de cargas y esfuerzos, para optimizar la ubicación de más elementos según sea la necesidad.

1.5.2 Requerimientos para el desarrollo de planos de construcción.

Los planos de construcción son fundamentales para el proceso de manufactura del chasis, por lo cual deben ser claros y concisos sobre las dimensiones, vistas y denominación de las piezas. Para esto, con el fin de realizar planos de construcción de fácil interpretación y utilización, se tomó como referencia el código INEN 003, para identificar los siguientes parámetros:

- Formatos de lamina
- Rotulación
- Lista de piezas
- Disposición de vistas, perspectivas, cortes y secciones.

1.5.3 Requerimientos para el dimensionamiento de soldadura.

Las uniones permanentes por soldadura es una parte crítica del diseño y construcción de un chasis tubular por la cual es importante tener en claro los requerimientos de diseño de juntas soldadas. Para esto nos basamos en la teoría del libro de diseño mecánica de Shigley el cual utiliza como referencia a la AWS conocida por sus siglas en inglés como “American Welding Society” y el AISC, los cuales nos indica que el esfuerzo cortante permitido para juntas soldadas según se muestran en la figura 11:

Tabla 9-4

Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n^*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^\dagger$	

* El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.

† El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de $0.40S_y$ del metal base.

Figura 11. Esfuerzos permisibles para el material de aporte y base (Shigley,2014).

De este requerimiento se destaca su importancia ya que se va a ver reflejada en la resistencia de las juntas soldadas dado por la dimensión de la garganta del cordón de soldadura. Además, las propiedades del material de aporte son obtenidas de la tabla 9-3 del libro de Shigley, donde los electrodos son enumerados de acuerdo con la AWS. En la figura 12, se muestra las distintas series de electrodo.

Tabla 9-3
Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

* Sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia aproximada a la tensión. El último dígito incluye variables en la técnica de soldadura, como la fuente de corriente. El penúltimo dígito indica la posición de la soldadura, por ejemplo, plana, vertical o sobre la cabeza. El conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.

Figura 12: Propiedades mínimas del material de aporte (Shigley, 2014).

Finalmente, se empezó el dimensionamiento de la junta soldada con electrodos de serie 60, con una resistencia a la fluencia de 345 MPa, como se puede apreciar anteriormente.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de materiales y el proceso de manufactura son fundamentales para el desarrollo del chasis. Todos los materiales seleccionados garantizan un buen rendimiento del chasis y el plan de manufactura busca facilitar el proceso de fabricación y menorar los tiempos de fabricación.

2.1 Materiales y selección de componentes

En base a las matrices de selección de la sección 1.3.1, se decidió realizar un chasis tubular de acero y un Jig de madera. Para lo cual se necesita las siguientes herramientas de construcción:

- Tubo de acero A53 grado B de $\frac{3}{4}$ de pul CED 40.
- Tubo de acero A53 grado B de 1 pul CED 40.
- Tubo de acero A53 grado B de 1.25 pul CED 40.
- Tablas Tríplex de 12mm.
- Lijas.
- Máquina de Corte.
- Discos de Corte, desbaste y pulido
- Prensas de sujeción
- Máquina de Soldadura SMAW y MIG
- Herramientas de mano.
- Herramientas de medición.
- Equipos de protección personal.
- Electrodo serie E60xxx
- Electrodo Continuo de cobre

Los tubos de acero A53, cumplen con los requerimientos de la FSAE, sobre los límites de cedencia establecidos. De acuerdo con la empresa Permanet Steel Manufacturing Ltd el esfuerzo de cedencia de las tuberías sin costura de acero A53 tienen un esfuerzo de cedencia igual a 240 MPa y una resistencia a la tracción de 415 MPa (2020). Para esto se seleccionó a TIVAL como el proveedor que cumplía mejor los requisitos de costo y disponibilidad. En el anexo A se presenta los diámetros y tipos de tubería sin costura que el proveedor ofrece.

Las herramientas usadas para la fabricación del chasis fueron facilitadas por el taller de automotriz y el taller de materiales de la universidad. Herramientas que se desgastaban rápido como los discos de corte, fueron adquiridas a través de Cano Lastra, Castillo Hermano y Kiwi.

Con el fin de tener precios más baratos y disminuir los gastos de transporte, ya que son proveedores locales cerca de la universidad.

2.2 Proceso de Manufactura

Para el proceso de manufactura del chasis, se realizó un diagrama de flujo de proceso, en donde se contemplan los siguientes subprocesos:

1. Fabricación JIG
2. Fabricación Chasis
3. Soldadura Chasis
4. Fabricación Mesas de Suspensión

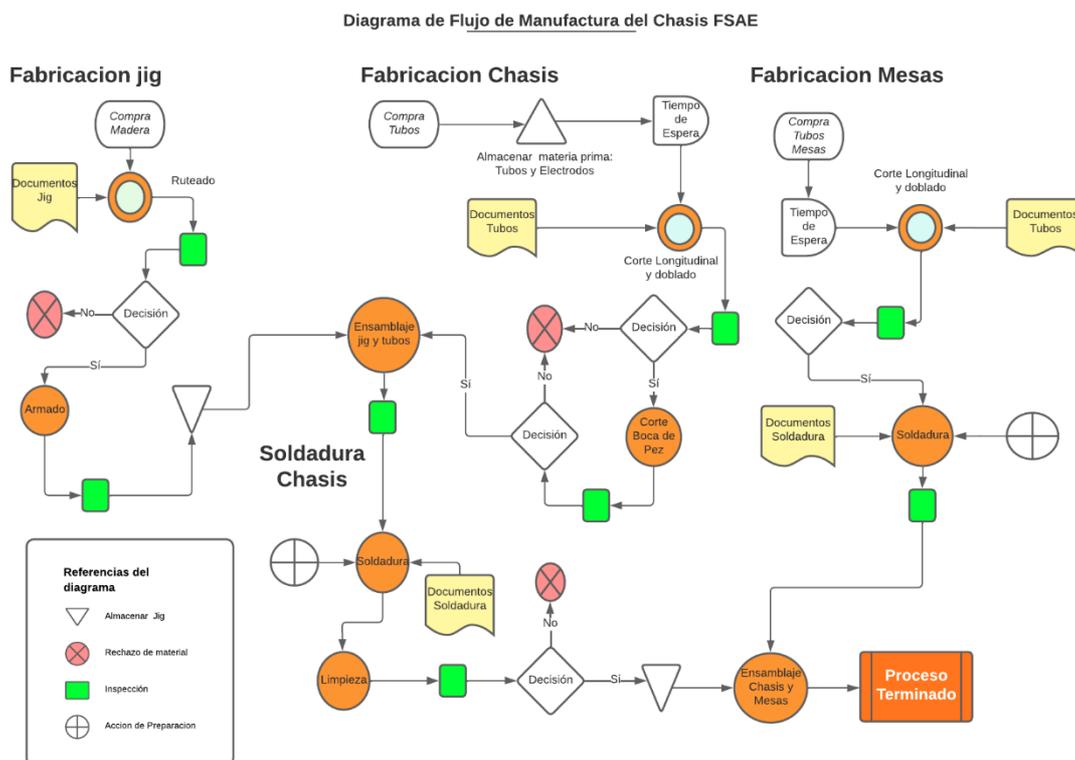


Figura 13: Diagrama de flujo de Manufactura del Chasis FSAE

A continuación, se describen los subprocesos detallados en la figura 13:

2.2.1 Fabricación Jig

El proceso de manufactura del chasis toma lugar con el ensamble del jig de manufactura. Esta es una estructura de madera, previamente diseñada, con el objetivo de direccionar y dar soporte a los tubos. Primero, se cortó las tablas triplex mediante un proceso de ruteado CNC, según el diseño, como se puede apreciar en la figura 14.

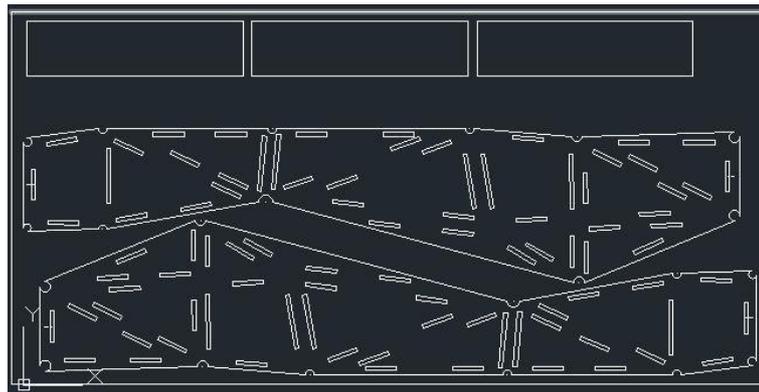


Figura 14. Documento DXF del JIG de fabricación.

Luego, se inspecciono el corte realizado, certificando de esta manera que este cuenta con las medidas adecuadas. Después, se procedió con el armado del JIG, en el cual se posiciono las dos partes centrales, denominadas “costillas”, y se las unió mediante las tablas rectangulares, por los agujeros de estas, obteniendo como resultado una estructura de madera rígida, como se puede apreciar en la figura 15.



Figura 15. JIG de fabricación de madera totalmente armado.

2.2.2 Fabricación Chasis

Para la fabricación del chasis, se comenzó con el corte longitudinal de los tubos, información proveniente de las hojas de procesos para cada tubo codificado. Después, se procedió con el doblé de los tubos a utilizarse para los hoops. Culinado dichos procesos, se realizó una inspección de los resultados, principalmente dimensional para poder seguir con el proceso. A continuación, se realizó los cortes de boca de pez a los tubos, considerando también las plantillas de las terminaciones de cada tubo, para así garantizar un empalme adecuado de elemento a elemento, como se puede apreciar en la figura 16. Las plantillas y hoja de ruta para los cortes están detalladas en el apéndice F.



Figura 16. Terminaciones de tubos según la plantilla de corte.

De igual manera, se realizó una inspección de cada tubo y su terminación, para proceder con su posicionamiento en el jig de madera, como se puede apreciar en la figura 17.



Figura 17. Posicionamiento de tubos en el JIG de fabricación.

2.2.3 Soldadura Chasis y Mesas

Una vez posicionados los tubos en el jig de madera, se procedió con el proceso de soldadura. Para esto se optó por un proceso SMAW. En este proceso se utilizaron tanto electrodo E6011 para el cordón de soldadura y E6013 para relleno y acabado del cordón. Se inicio con aplicar un punto de unión entre todas las juntas del chasis, para evitar desplazamientos de los tubos en la manipulación. Después se procedió a realizar el cordón de soldadura en posición a nivel rotando el jig según la necesidad. Finalmente, se dio limpieza y pulido a las juntas para de esta manera obtener un acabado estético como se puede ver en la figura 18.



Figura 18. Junta de soldadura luego de limpieza, pulido y pintado.

2.2.4 Montaje Mesas

Una vez ya soldados los tubos correspondientes a las mesas, se procedió con el ensamblaje de estas. Para esto se utilizaron rotulas con vástago, como se puede ver en la figura 19, en las uniones de las mesas con el chasis, y de las mesas con las manguetas.



Figura 19: Montaje de las mesas al chasis mediante las juntas emperradas.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección se presentan todos los análisis, ensayos, documentación, conclusiones, resultados y discusiones; lo mismos que fundamentan que el proyecto cumple con los estándares de la FSAE.

3.1 Reporte de Diseño

Para las dimensiones del chasis de un vehículo de competencia de la formula SAE se tomó en consideración lo que expone el manual de dicha competición del año 2023. En la sección 1.5 de este documento acerca de Estándares Ingenieriles se pueden apreciar detalladamente las medidas y consideraciones para el diseño de este sistema.

En la siguiente tabla, se resalta los problemas de fabricación comunes en los elementos principales del chasis de la formula SAE:

Tabla 10. Elementos principales y fabricación.

Elementos Principales	Proceso de Fabricación	Criterio de invalidez	Tolerancias geométricas	Longitud aceptable
Main Hoop	Doblado a 3 rodillos	Estrías en el tubo / Radio de Curvatura menor a tres veces el diámetro del tubo	Radio de curvatura +- 1 cm	Largo total +-1 cm
Front Hoop	Doblado a 3 rodillos	Estrías en el tubo / Radio de Curvatura menor a tres veces el diámetro del tubo	Radio de curvatura +- 1 cm	Largo total +-1 cm
Front bulkhead	Cortes boca de pez y Soldadura	Separación superior a 3mm/ Ángulos de corte en línea de centro diferentes	Grado de corte +- 1 °	Largo total +-1 cm
Side Impact	Corte boca de pez y Soldadura	Separación superior a 3mm/ Ángulos de corte en línea de centro diferentes	Grado de corte +- 1 °	Largo total +-1 cm
Soportes Hoops	Corte boca de pez y Soldadura	Separación superior a 3mm/ Ángulos de corte en línea de centro diferentes	Grado de corte +- 1 °	Largo total +-1 cm

Además, es necesario tener en cuenta la forma de posicionamiento de los tubos al momento de ensamblar los diferentes elementos estructurales. Para esto se recomienda ensamblar los tubos desde la parte inferior hacia la superior o viceversa, con el fin de mantener el orden evitando hacer correcciones en las longitudes y ángulos, que podrían derivarse en la invalidación de los tubos.

3.2 Análisis Ingenieril

Para el presente análisis ingenieril, es de suma importancia realizar diferentes cálculos como son: verificar la rigidez del chasis sometiendo un elemento estructural a distintos esfuerzos, comprobar la resistencia de las juntas con el cálculo de la garganta de soldadura y definir los pernos necesarios que soporten las cargas aplicadas.

3.2.1 Análisis de un elemento estructural tipo Truss

En este apartado se presenta el análisis de un elemento tipo Truss realizado en el primer modelo de chasis. Mediante diferentes simulaciones se observó el comportamiento y distribución de las cargas y esfuerzos, para lograr identificar los puntos claves donde se debe

reforzar el chasis; y a su vez el cálculo analítico por medio de un modelo simplificado sometido a una carga de tensión para corroborar la confiabilidad de los resultados.

3.2.1.1 Simulaciones de elementos finitos tipo Truss

Al realizar dicho análisis de elementos finitos se obtuvieron los siguientes resultados de esfuerzos mostrados en la figura 20. En este se aprecia que la falta de triangulaciones en la parte frontal genera una distribución de esfuerzos no adecuada, de modo que para el modelo final se debe priorizar triangulaciones que distribuyan los esfuerzos en la parte frontal. Es importante mencionar que en la simulación tipo Truss, cada uno de los tubos se considera un elemento discretizado. Por lo tanto, esta simulación consta de 86 elementos los cuales están sometidos únicamente a tensión o compresión con condiciones de borde preestablecidas en la sección 1.5.1.

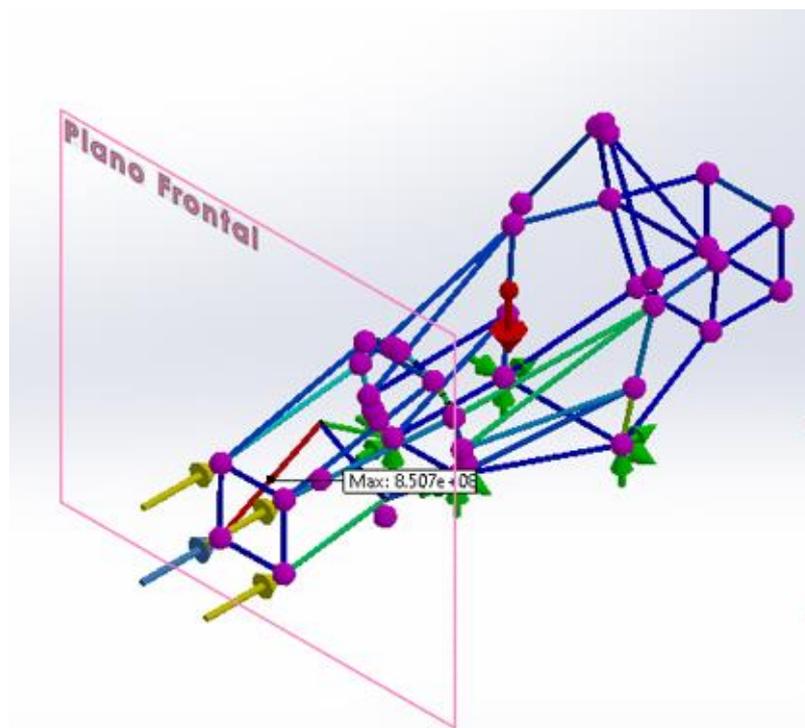


Figura 20: Resultados de esfuerzos tipo Truss

3.2.1.2 Modelo Simplificado Analítico de un elemento Tipo Truss

Un elemento estructural puede estar sometido a diferentes cargas y esfuerzos, como modelo matemático se plantea el análisis de una barra sometida a una fuerza de tensión o compresión y su forma de calcular el esfuerzo y deformación.



Figura 21. Barra sometida a fuerza de tensión.

En la figura anterior obtenida del libro de mecánica de materiales de Beer Jhonson, se puede observar cómo se deforma un elemento sometido a carga axial (Beer,2010). En la figura 21, vemos un elemento que será deformado por una fuerza de tensión, cambiando así su longitud. Por lo tanto, la deformación de un elemento se calcula como:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

Donde δ siendo el desplazamiento es igual a:

$$\delta = L_o - L_i$$

$$L_o = \text{Longitud Final}$$

$$L_i = \text{Longitud Inicial}$$

El esfuerzo generado por una carga axial se define de dos formas:

$$\sigma = E\epsilon$$

Donde E es el módulo de elasticidad del elemento y ϵ es la deformación, también se lo calculó como:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde F es la fuerza aplicada y A es el área transversal del elemento.

Para el cálculo analítico usamos los siguientes datos, que se obtuvieron de la simulación tipo Truss:

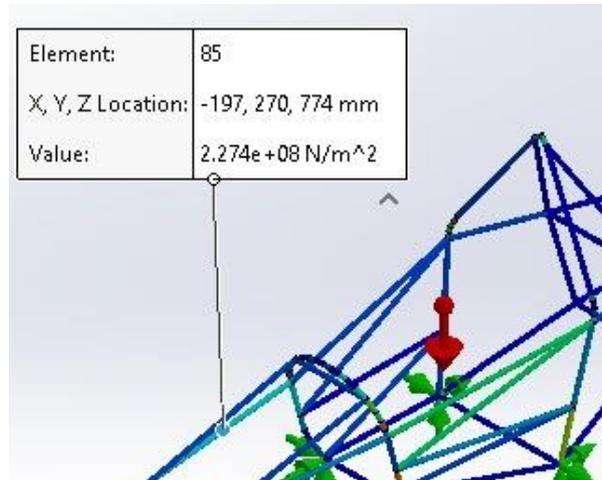


Figura 22. Elemento y fuerza aplicada.

- Tomamos en cuenta el elemento 85 con el valor de fuerza al que está sometido el mismo que se obtuvo de un reporte en el programa SolidWorks.

Dex = 21.34 mm, Din= 18.03 mm

$$A = \frac{\pi}{4}(d_{ext}^2 - d_{in}^2)$$

$$A = 102.35 \text{ mm}^2$$

F = 22710.3 N (fuerza obtenida del programa)

$$\sigma = \frac{22710.3 [N]}{102.35 [mm^2]} = 221.89 [MPa]$$

Dado que los elementos tipo Truss se encuentran a compresión o tensión, el esfuerzo producido por la fuerza es igual a 221.89 MPa.

3.2.2 Análisis de un elemento estructural tipo Beam.

En este apartado se presenta el análisis del elemento crítico tipo Beam con diferentes simulaciones del chasis y a su vez el cálculo analítico para corroborar los resultados obtenidos.

3.2.2.1 Simulaciones de elementos finitos tipo Beam

Se realizó el análisis de esfuerzo y deformación mediante una simulación realizada con elementos de tipo beam como se puede ver a continuación:

Simulaciones de choque frontal

En las figuras 23 y 24 podemos observar las simulaciones realizadas para un choque frontal en donde se muestran los esfuerzos con las cargas aplicadas y a su vez la deformación máxima para dicho criterio de análisis. En esta simulación, se aplican fuerzas en los 4 nodos de la parte delantera de 30 kN cada uno para sumar una fuerza total de colisión aplicada de 120kN.

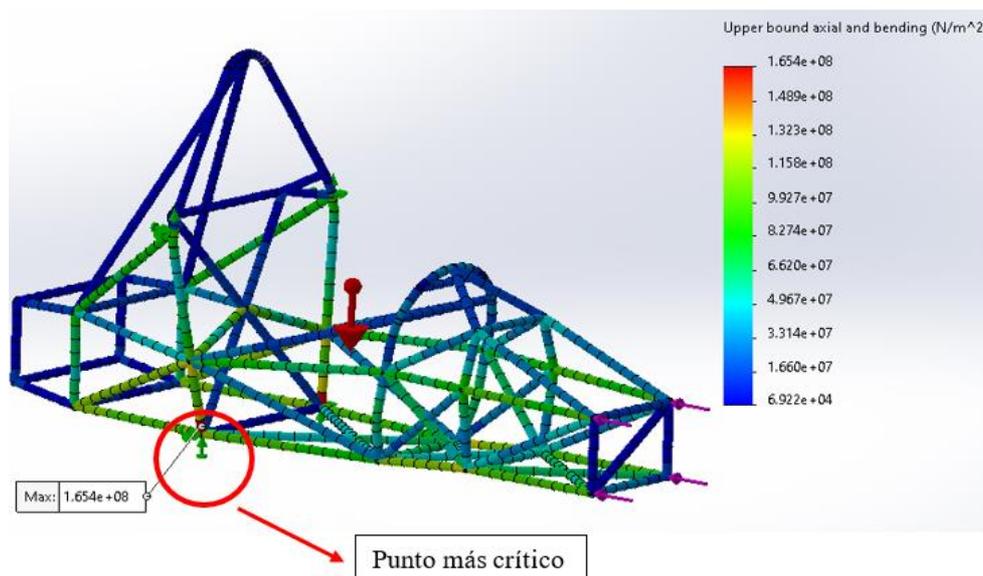


Figura 23: Esfuerzos con cargas aplicadas Choque Frontal.

En esta se puede apreciar un esfuerzo máximo de 165.4 MPa ubicado en el punto más crítico.

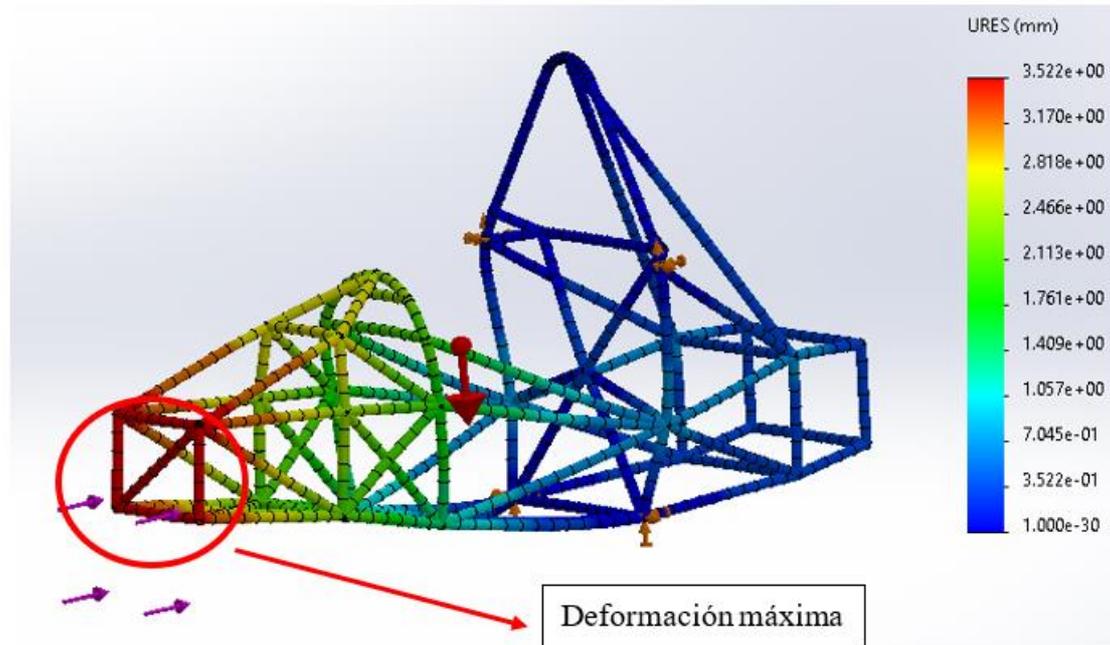


Figura 24: Deformación Máxima Front Bulkhead.

En esta se puede observar una deformación máxima de 3.52 mm en la parte frontal del chasis.

Simulaciones Main Hoop

En las figuras 25 y 26 podemos observar la simulación de las cargas aplicadas en el Main Hoop en el caso de un volcamiento. Se observan resultados de esfuerzos y deformación. Se aplican fuerzas en los ejes $x = 6 \text{ kN}$, $y = 5 \text{ kN}$, $z = -9 \text{ kN}$. Como condiciones de borde, se fija el desplazamiento y la rotación en los nodos inferiores de front hoop y main hoop. Se obtuvieron los siguientes resultados:

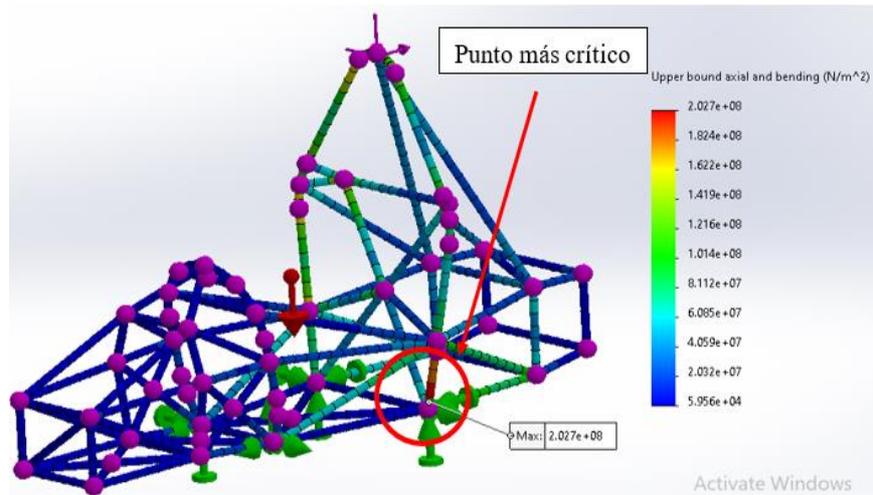


Figura 25: Esfuerzos con cargas aplicada Main Hoop.

Se observa un esfuerzo máximo de 202.7 MPa ubicado en el punto señalado como más crítico.

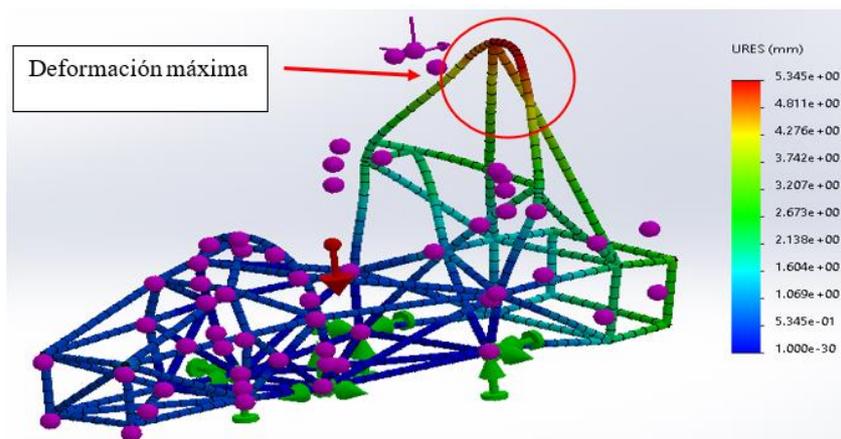


Figura 26: Deformación Máxima Main Hoop

Se aprecia una deformación máxima de 5.34 mm ubicados en la parte superior del hoop.

Simulaciones de Front Hoop

En las figuras 27 y 28 podemos observar la simulación de las cargas aplicadas en el Front Hoop en el caso de un volcamiento. Se obtuvieron resultados de deformación y esfuerzos. Se aplican fuerzas en los ejes $x = 6\text{kN}$, $y=5\text{kN}$, $z= -9\text{kN}$. Se replican las mismas condiciones de borde que en el caso mostrado anteriormente.

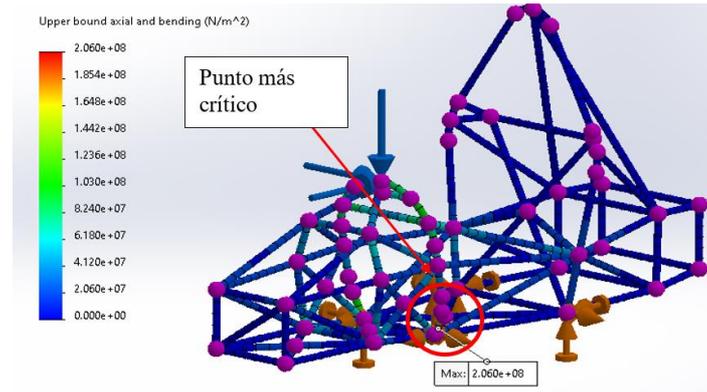


Figura 27: Esfuerzos con cargas aplicadas Front Hoop

Se puede apreciar un esfuerzo máximo de 206 MPa ubicado en el punto más crítico señalado.

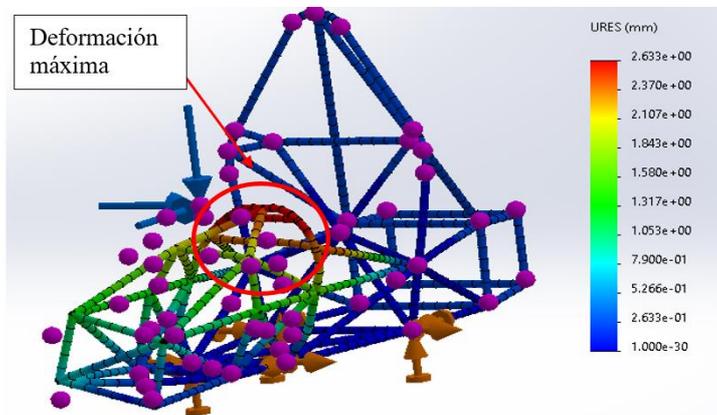


Figura 28: Deformación Máxima Front Hoop.

Se observa una deformación máxima de 2.63 mm ubicados en la parte superior del hoop.

Simulaciones de Impacto Lateral

En las figuras 29 y 30 se puede apreciar las simulaciones de impacto lateral en el chasis. En estas se obtuvieron resultados de esfuerzos y deformación. La fuerza aplicada fue de 7 kN en dirección perpendicular hacia la estructura de impacto lateral. Las condiciones de borde son las mismas que en los casos pasados.

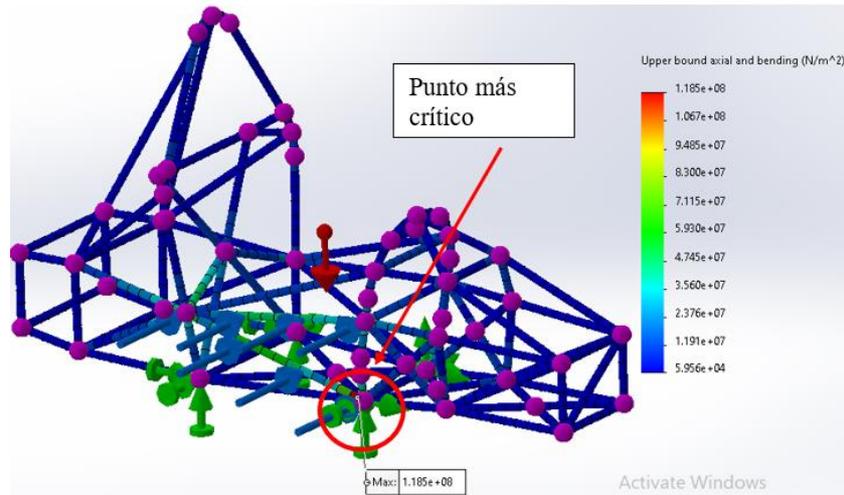


Figura 29: Esfuerzos con cargas aplicadas Impacto Lateral.

Se observa un esfuerzo máximo de 118.5 MPa ubicado en la zona marcada como el punto más crítico.

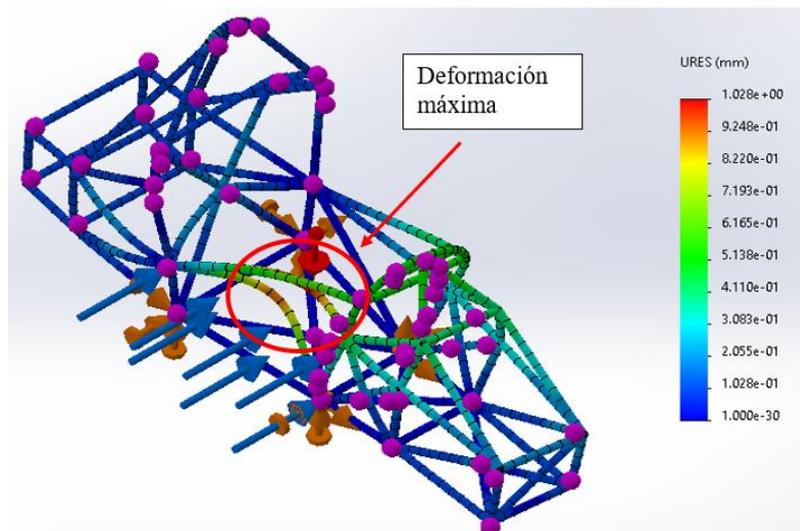


Figura 30: Deformación máxima Impacto Lateral.

Se aprecia una deformación máxima de 1.02 mm bajo las cargas aplicadas, ubicado en el centro de la estructura de impacto lateral.

3.2.2.2 Modelo Simplificado Analítico de un Elemento Tipo Beam

Al utilizar elementos tipo Beam, se puede analizar cada elemento del chasis como una viga con dimensiones conocidas. La cual está sometida a diferentes cargas en direcciones determinadas.

Un elemento tipo beam permite que los elementos sean sometidos a flexión y por lo tanto generan fuerzas internas en el elemento. Estas fuerzas son conocidas como cortante y momentos producidos por cargas externas. En la figura 31, obtenida del libro de estática de Hibbeler se aprecia como actúan estas fuerzas dentro del elemento. Para este estudio se tomará en cuenta el momento máximo que se produce en el elemento, el cual se obtiene del programa de SolidWorks y omitiendo el efecto de las fuerzas cortantes dentro del elemento.

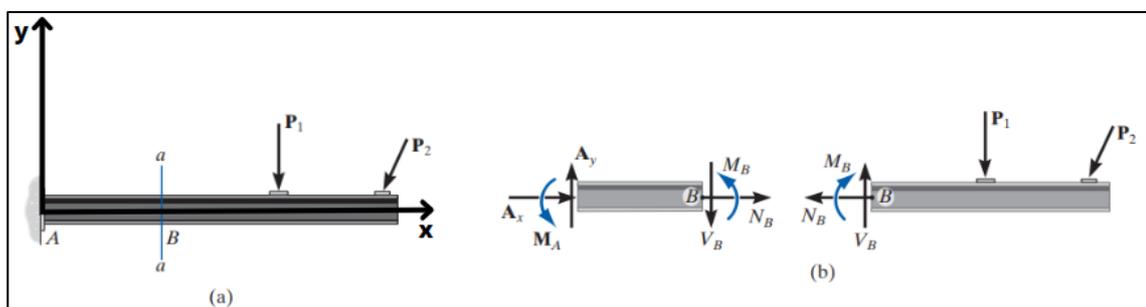


Figura 31. Fuerzas Internas en una viga sometida a flexión (Hibbeler,2022).

Para validar los resultados de esfuerzos obtenidos en las simulaciones ejecutadas en el programa SolidWorks, se llevará a cabo el cálculo de esfuerzos en un tubo en voladizo a partir de los valores de carga axial, momentos y torque obtenidos de la simulación. Para esto primero se debe entender como SolidWorks analiza cada elemento estructural del chasis y como ubica las fuerzas a su alrededor.

El programa nos permite obtener de manera grafica los diagramas de momento y cortante para cada viga. Estos diagramas están relacionados con la dirección del elemento tipo

Beam. En la figura 32, se puede apreciar un elemento del Front Hoop del chasis con las direcciones definidas por el programa.

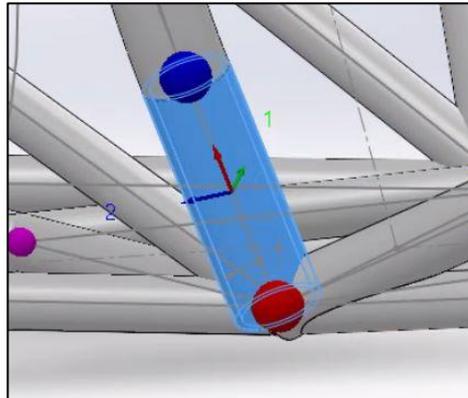


Figura 32. Sección seleccionada de elemento Critico Front Hoop entre dos nodos lineales (azul y rojo respectivamente).

En base a estas direcciones el programa nos calcula los valores de cortante y momento, para cada dirección respectivamente. Cabe mencionar que los valores de cortante en la dirección 1 están relacionados con los valores de momento en la dirección 2. Como se puede apreciar en la siguiente figura obtenida del libro de diseño mecánico de Shigley, el momento que se produce en una viga tiene una dirección perpendicular al plano donde se aplica la fuerza. Es decir, la fuerza que se aplica al elemento en la dirección 1 genera un momento en la dirección 2 y el cortante generado por esta misma fuerza se encuentra en la misma dirección 1.

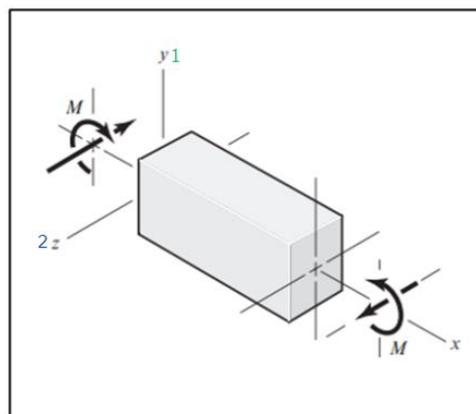


Figura 33: Dirección de un momento positivo en una viga rectangular (Shigley, 2014).

Al ser un elemento que está sometido a fuerzas externas, que no actúan directamente sobre él, sino que recibe un equivalente a la fuerza aplicada la cual se distribuye a través de todo el chasis, es importante considerar los momentos generados en ambas direcciones.

Mediante el reporte de fuerzas de la simulación realizada, se puede apreciar cómo se aplican las mismas en el elemento seleccionado. A continuación, la información del reporte se resume en la siguiente tabla:

Tabla 11. Reporte de fuerzas

Nombre de viga	Elemento	Axial (N)	Corte1 (N)	Corte2 (N)	Momento1 (N.m)	Momento2 (N.m)	Torque (N.m)
Pipe standard 1.25" SCH 40	634	7582.3	3714.8	43.77	22.901	725.06	-62.22

En la figura 34, se detalla como la fuerza axial, el torque y las fuerzas que interactúan con el elemento en las direcciones 1 y 2 están ubicadas. Si interpretamos el elemento como un tubo en voladizo.

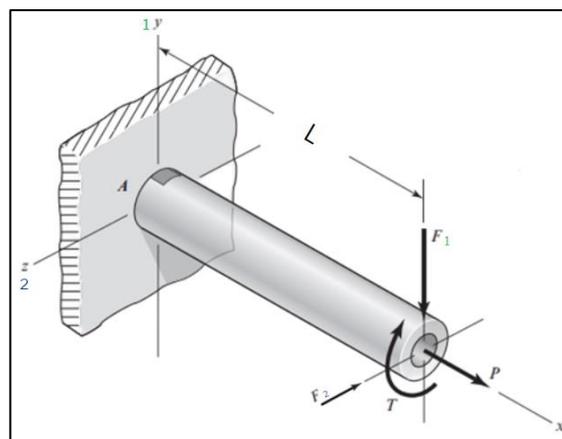


Figura 34: Tubo en voladizo con carga axial, torque y fuerza en flexión (Shigley,2014).

Donde:

- P es la carga axial.
- T es el torque sobre el elemento.
- F_1 y F_2 son las fuerzas que flexionan el elemento y producen los Momentos 1 y 2 respectivamente.

Realizando el diagrama de cuerpo libre del tubo podemos visualizar los momentos y reacciones generadas por estas fuerzas. En la figura 35, se ubica un elemento infinitesimal en el punto A en el cual, el momento producido por la fuerza F_1 sería máximo. Mientras que el momento producido por la fuerza F_2 sería menor, para el mismo punto.

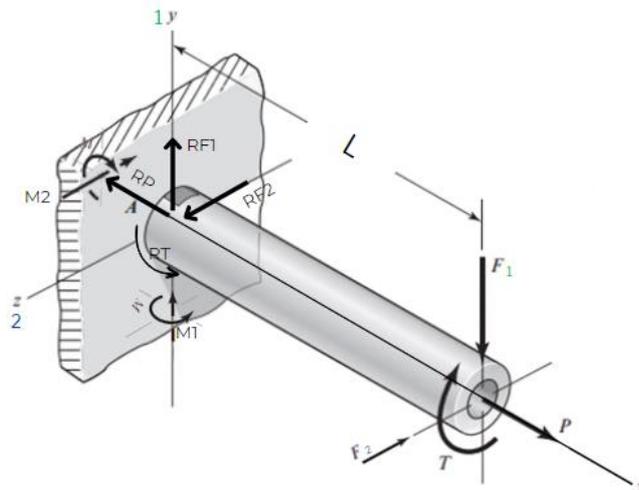


Figura 35: Elemento Infinitesimal, momentos y fuerzas resultantes (Shigley, 2014).

Donde:

- R_P es la reacción producida por la carga axial P
- R_{F1} y R_{F2} son las reacciones producidas por las fuerzas F_1 y F_2 respectivamente.
- R_T es el torque de reacción producido por T
- M_1 y M_2 son los momentos producidos por las fuerzas F_1 y F_2 respectivamente en el punto A.

Para el cálculo de esfuerzos necesitamos los valores de momentos, carga axial y torque en listados en la tabla 11. El esfuerzo producido por los momentos se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M c}{I}$$

Donde:

- M es el momento producido por la fuerza en el elemento
- C la distancia del plano neutro con el punto de aplicación de la fuerza.
- I la inercia del tubo

Para calcular estos valores se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$M = F * L$$

$$c = \frac{d_{ext}}{2}$$

$$I = \frac{\pi}{4} (r_{ext}^4 - r_{int}^4)$$

Donde:

- F es la fuerza aplicada
- L es el brazo de palanca
- Dext es el diámetro exterior del tubo
- Rext es el radio exterior del tubo
- Rint es el radio interno del tubo.

El esfuerzo producido por la fuerza axial se calcula como:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

- P es la carga axial
- A el área transversal del elemento

El torque en el tubo produce un esfuerzo cortante el cual se calcula de la siguiente

manera:

$$\tau = \frac{Tr_{ext}}{J}$$

Donde:

- J es el momento polar del tubo

Para calcular J se utiliza la ecuación:

$$J = \frac{\pi}{2}(r_{ext}^4 - r_{int}^4)$$

A partir de estas ecuaciones, podemos utilizar los datos de la tabla 11 para calcular los esfuerzos teniendo en cuenta la geometría del tubo, especificada en la tabla 12.

Tabla 12. Geometría del tubo de Acero A53.

Tipo de Viga	Diámetro Ext [mm]	Espesor [mm]	Radio Ext [mm]	Radio Int [mm]	Área Transversal [mm²]	Inercia [mm⁴]	Momento Polar [mm⁴]
Tubo de Acero A53 de 1.25” sch 40	42.2	3.56	21.1	17.54	432	81300	163000

Para el cálculo de los esfuerzos por los momentos sacamos la resultante del momento total de la siguiente forma:

$$M_{Total} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

Obteniendo los siguientes esfuerzos:

Tabla 13. Resultados de esfuerzos.

Esfuerzo Axial [MPa]	Esfuerzo por Flexión [MPa]	Esfuerzo Cortante [MPa]
17.6	188	8.07

Se conserva el signo en los esfuerzos que actúan sobre el elemento para encontrar el valor de la tensión axial y de flexión en el límite superior el cual, según el manual de SolidWorks, son los esfuerzos mayores que se encuentran en la superficie del elemento y es la combinación de los esfuerzos antes calculados. Este valor es el que se debe utilizar para comparar con el esfuerzo de cedencia del material y ver si el elemento falla. (SolidWorks, 2022). El esfuerzo crítico de la simulación tiene un valor de 206.3 MPa.

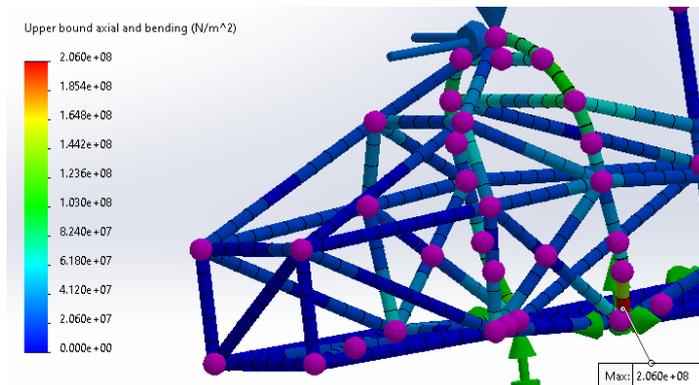


Figura 36. Esfuerzo crítico en simulación de Front Hoop.

Para poder validar este dato se usará la teoría de falla de Von Mises, la cual nos permite interpretar todos estos esfuerzos sobre un elemento infinitesimal y poder relacionar esfuerzos axiales, esfuerzos por flexión y cortante en una misma ecuación que se muestra a continuación:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2)^{1/2}$$

Para saber las direcciones de los esfuerzos usamos un diagrama del esfuerzo infinitesimal en A, el cual se muestra en la figura 37 obtenida del libro de diseño mecánico de Shigley.

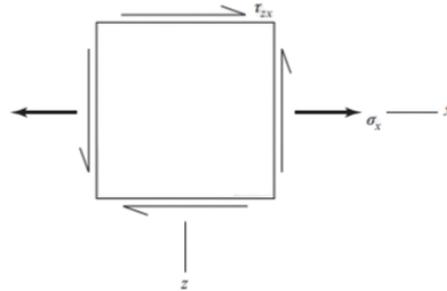


Figura 37. Diagrama de los esfuerzos en el elemento infinitesimal en A (Shigley, 2014).

Como se puede apreciar los esfuerzos por el momento 1 y 2 junto con la carga axial tensionan el elemento en el eje x, mientras que el cortante se produce a través del plano xz. Por lo tanto, se pueden sumar los esfuerzos por los momentos y carga axial teniendo así:

$$\sigma_x = 17.6 + 188$$

$$\sigma_x = 205.6 \text{ MPa}$$

Remplazando valores con $\sigma_z = 0$ tenemos que:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + 3\tau_{xz}^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = ((205.6)^2 + 3(8.07)^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 206.07 \text{ MPa}$$

3.2.3 Análisis de Soldadura para el chasis

Una vez obtenidos los valores de la simulación de tipo Beam del chasis se pudieron identificar los valores correspondientes para poder hacer la simulación de soldadura. Las cargas se ingresan en el programa SolidWorks para de esta manera determinar si los cálculos efectuados analíticamente son válidos. En los cálculos analíticos dimensionó el tamaño de garganta necesaria para nuestro cordón de soldadura. Finalmente, se ingresó al programa el

tamaño de cordón obtenido analíticamente y se obtuvo un resultado adecuado para las cargas dadas. Se puede observar el cálculo analítico en la sección 3.2.3.2 a continuación.

3.2.3.1 Simulación de elementos finitos para soldadura del chasis

Para corroborar el cálculo analítico del dimensionamiento de garganta de soldadura, se aplicó una simulación de soldadura para el caso simplificado. A continuación, se muestran las cargas aplicadas:

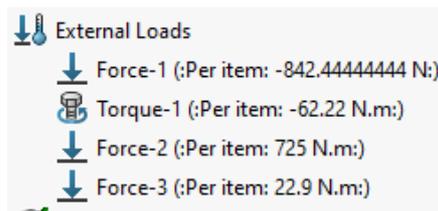


Figura 38 Cargas aplicadas simulación soldadura

En la figura 39, se puede apreciar como con el cordón de garganta de 6 mm aplicado, la junta no falla.

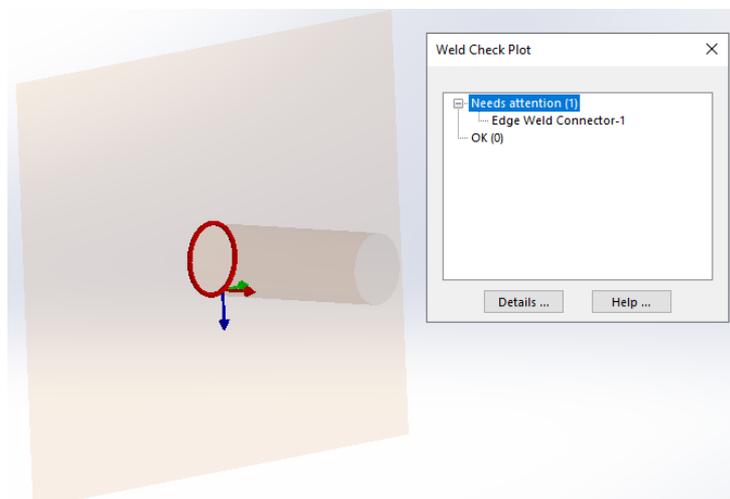


Figura 39. Verificación de la simulación de soldadura

Finalmente, el programa da un rango de dimensiones para el cordón de soldadura aplicado, como se aprecia en la tabla a continuación:

Tabla 14. Resultados cordón de soldadura (software SolidWorks)

Tipo	Tamaño mínimo [mm]
Cordón	6.9
Garganta del cordón	4.88

3.2.3.2 Cálculo analítico del diseño de soldadura para el chasis

El diseño de soldadura tiene como objetivo dimensionar el tamaño de la garganta del cordón de soldadura, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del material base y el material de aporte. Se consideró realizar un proceso de soldadura SMAW, para dicho análisis se utilizaron los valores de fuerzas en el elemento crítico del Front Hoop. Al ser el elemento que más esfuerzo resiste, el tamaño de garganta calculado soporta los esfuerzos en el resto de los tubos.

Para esto se simplificó el modelo como un tubo soldado hacia una placa, sometidos a esfuerzos axiales, cortante y de flexión. Como se aprecia en la figura 40.

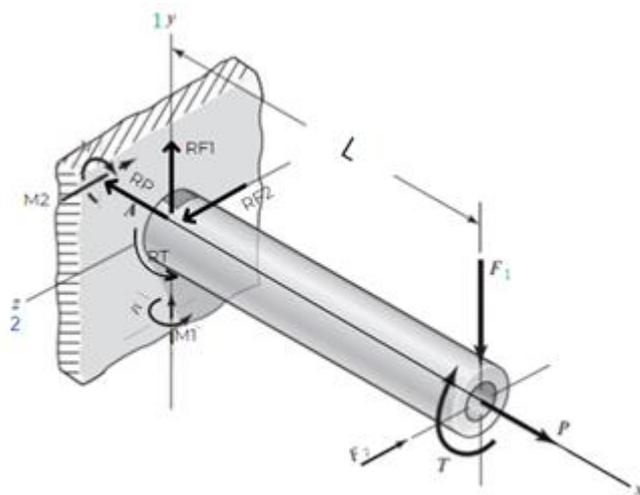


Figura 40. Elemento Infinitesimal, momentos y fuerzas resultantes (Shigley, 2014).

Una vez determinadas las cargas a las cuales está sometido el tubo procedemos a calcular las cortantes primarias y secundarias en el cordón de soldadura. Teniendo en cuenta que la fuerza P y F generan cortantes primarias por carga axial y flexión. A su vez, la fuerza F genera un cortante secundario por flexión y el torque genera un cortante secundario por torsión.

Se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de cada uno de los esfuerzos mencionados anteriormente:

- Esfuerzo Cortante primario por carga F

$$A_T = 1.414 \times \pi \times h \times r = 0.093 \times h$$

$$\tau'_F = \frac{F}{A_T} = \frac{5946.07}{0.093 \times h} = \frac{63936.24}{h}$$

- Esfuerzo cortante primario por carga P

$$\tau'_P = \frac{P}{A_T} = \frac{7582.3}{0.093 \times h} = \frac{81530.11}{h}$$

- Esfuerzo cortante secundario por flexión

$$I_u = \pi \times r^3 = \pi \times 0.211^3 = 0.000029 [m^3]$$

$$\tau''_{Flexion} = \frac{M_T * r_{ext}}{0.707 * h * I_u} = \frac{725.42 \times 0.0211}{0.707 \times h \times 0.000029} = \frac{764542.55}{h}$$

- Esfuerzo cortante secundario por torsión

$$J_u = 2 \times \pi \times r^3 = 2 \times \pi \times 0.211^3 = 0.000058 [m^3]$$

$$\tau''_{Torsion} = \frac{T * r_{ext}}{0.707 * h * J_u} = \frac{62.22 * 0.0211}{0.707 * h * 0.000058} = \frac{32015.85}{h}$$

Donde:

- At es el área de la garganta.
- Iu el segundo momento unitario.
- Ju el segundo momento polar unitario.

- H el tamaño de la garganta.
- T el torque en el elemento.
- Mt el momento total en el elemento.

Para calcular el esfuerzo resultante se utiliza la siguiente ecuación:

$$\tau_{Resultante} = \sqrt{\tau_F'^2 + \tau_P'^2 + \tau_{Flexion}''^2 + \tau_{Torsion}''^2}$$

$$\tau_{Resultante} = \sqrt{\left(\frac{63936.24}{h}\right)^2 + \left(\frac{81530.11}{h}\right)^2 + \left(\frac{764542.55}{h}\right)^2 + \left(\frac{32015.85}{h}\right)^2}$$

De acuerdo con el libro de Shigley el esfuerzo cortante permitido en un cordón de soldadura debe ser:

$$\tau \leq 0.3 S_{ut}$$

$$\tau_{adm} = 0.3 \times (427 [MPa])$$

$$\tau_{adm} = 128.1 [MPa]$$

Donde el S_{ut} es el valor del esfuerzo del material de aporte, para esto se utilizó un electrodo de la serie E60xx con un S_{ut} de 427 MPa.

$$128.1 \times 10^6 [Pa] = \sqrt{\left(\frac{63936.24}{h}\right)^2 + \left(\frac{81530.11}{h}\right)^2 + \left(\frac{764542.55}{h}\right)^2 + \left(\frac{32015.85}{h}\right)^2}$$

Igualando estas ecuaciones podemos despejar h, obteniendo como resultado un tamaño de garganta de 6mm. Este tamaño de garganta se puede aplicar para todas las uniones soldadas del chasis ya que se consideró el caso más crítico.

3.2.4 Análisis de las Mesas del Chasis FSAE

Una vez realizada la simulación del chasis se hace la simulación de las mesas. Estos componentes recibirán la fuerza ejercida por el amortiguador y por otro lado la fuerza ejercida por el chasis con su respectivo peso y componentes adicionales.

3.2.4.1 Simulación de elementos finitos para las mesas del chasis

Para la simulación se fijan los dos extremos que son los que estarán anclados al chasis y en el otro extremo se aplica una fuerza axial, un toque y dos momentos que son correspondientes a los componentes anteriormente mencionados. Con estos valores se corre la simulación y se determina si la configuración realiza es funcional para el sistema. En cuanto al dimensionamiento de la longitud de las mesas tomamos como referencia el chasis y la llanta que debe estar a una cierta distancia para cumplir con los estándares del manual de la SAE.

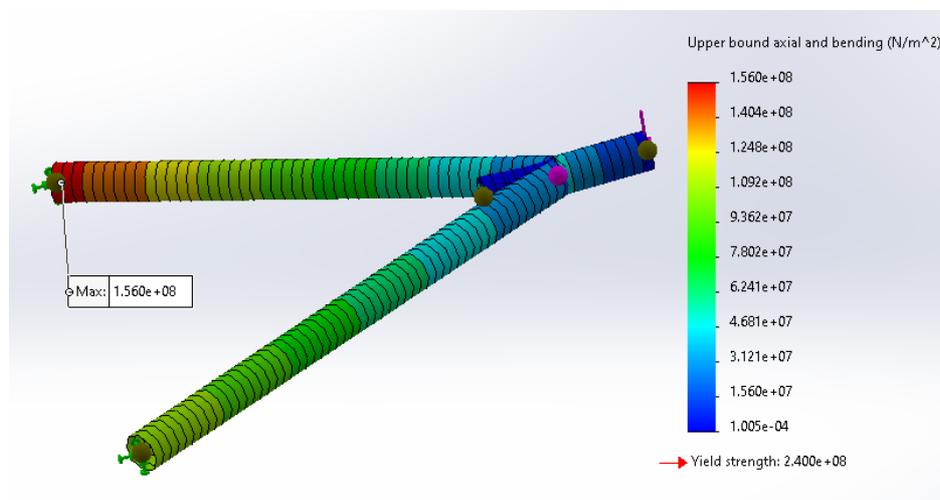


Figura 41: Simulación de esfuerzos en mesas.

3.2.4.2 Cálculo Analítico del diseño de mesas del chasis FSAE

El diseño de las mesas para el chasis se basó principalmente en la distribución de peso del auto. Para este cálculo se consideran todos los elementos, entre estos, el motor, la carrocería, el conductor, etc. Posteriormente se calcula la proporción de peso delantero y trasero mediante un planteamiento simplificado del caso.

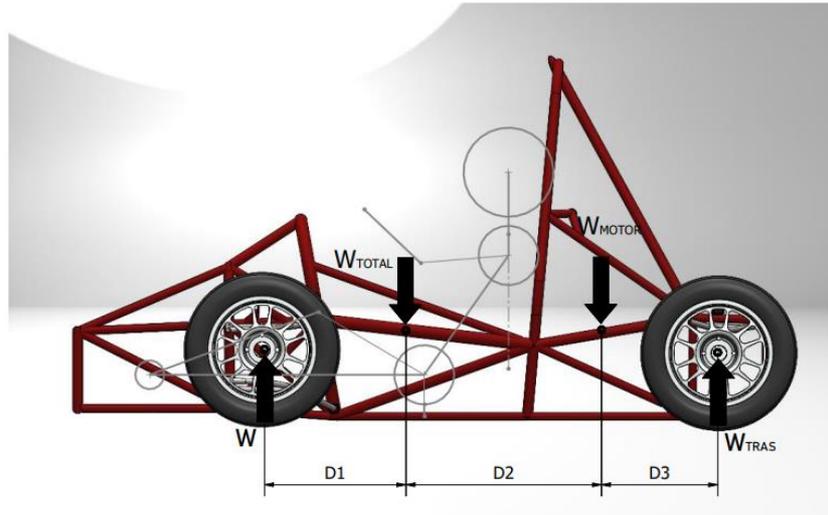


Figura 42. Planteamiento Simplificado para proporción de peso delantero y trasero.

En la figura 42, se puede apreciar la carga total del auto sin considerar el motor, en el centro de gravedad, con una magnitud de 300 [kg]. También se ubica el peso del motor en el lugar en donde va a ser anclado al chasis con una magnitud de 60 [kg]. Cabe recalcar que estos valores son estimaciones al no tener certeza de dichos pesos.

Por lo tanto, se procede con el planteamiento del caso simplificado:

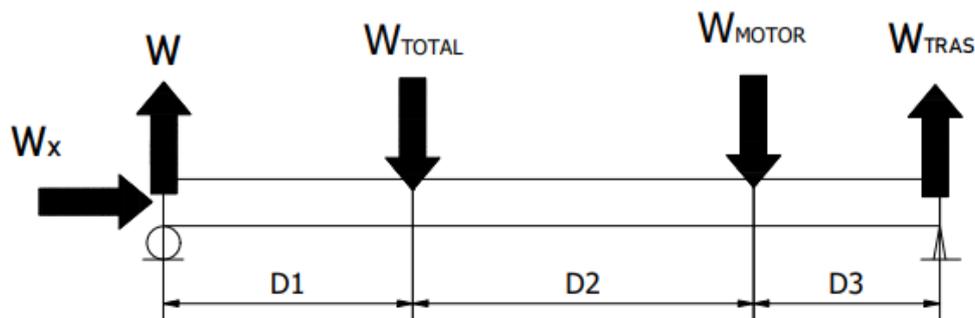


Figura 43: Caso simplificado para fuerzas aplicadas en la parte delantera y posterior.

En la figura 43, se observa un caso estático para una viga que cuenta con un apoyo fijo y uno móvil. A continuación, se resuelve para encontrar las reacciones en el eje Y para las posiciones A y B mediante las leyes de Newton. Las ecuaciones son:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{Ay} + F_{By} = 3528 \text{ [N]}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_T \times x + F_M \times (x + y) + F_{By} \times (x + y + z) = 0 \text{ [N]}$$

Finalmente, se obtienen los siguientes resultados:

$$F_{Ay} = 2049.09 \text{ [N]}$$

$$F_{By} = 1478.91 \text{ [N]}$$

Esto quiere decir que en el monoplaza habrá una distribución de peso de 58% en la parte delantera y un 42% en la parte trasera.

Posteriormente, se plantea el caso más crítico de carga para las mesas, basado en los eventos de la competición. Para la prueba llamada “Skidpad” el monoplaza debe recorrer una pista que tiene un radio de curvatura de 15.25 [m] y cumplir el menor tiempo posible. Basándonos en la información de la competición se determinó que la velocidad del auto para dicha prueba es de aproximadamente de 20 [km/h], por lo que se realizó el diseño para un caso crítico de 30 [km/h].

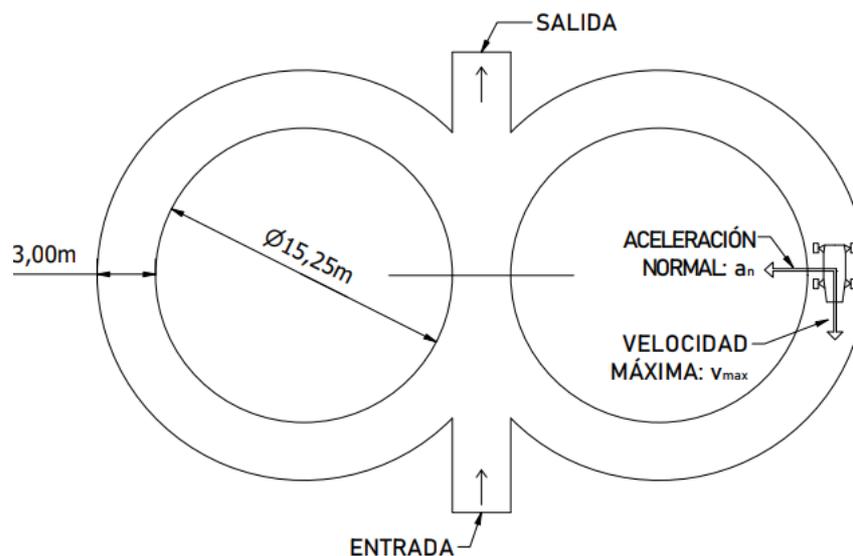


Figura 44: Prueba del Skidpad (Manual Fórmula SAE, 2023).

En la figura 44, se ve el trazado de la pista para la prueba de skidpad. Para el cálculo se realizaron las siguientes suposiciones:

- No existe deslizamiento en las llantas.
- El auto se mueve a velocidad constante, por lo tanto, no existe aceleración tangencial.

Se obtiene la magnitud de la aceleración normal con la velocidad más crítica:

$$a_n = \frac{V^2}{\rho} = 4.55 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

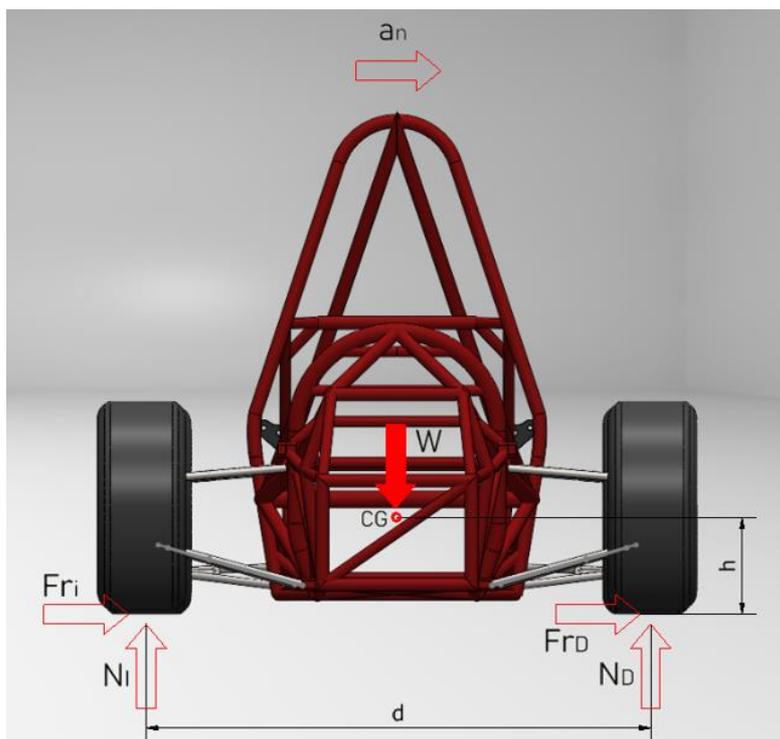


Figura 45. Diagrama de Cuerpo Libre Vista Frontal del Monoplaza.

En la figura 45, se observa el diagrama de cuerpo libre en la vista frontal del monoplaza. Únicamente se realiza este proceso para el eje delantero debido a que la proporción de masa es mayor, dándonos así el caso de carga más crítico. A continuación, se plantea las ecuaciones establecidas por las leyes de Newton.

$$\sum M_{CG} = 0 \rightarrow N_I - N_D = (F_{RI} + F_{RD}) \times 0.491$$

$$\sum F_n = m_D \times a_n \rightarrow F_{RI} + F_{RD} = 951.36 [N]$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow N_I + N_D = 2049.08 \text{ [N]}$$

Resolviendo el sistema de tres ecuaciones se obtiene las reacciones en cada llanta:

$$N_D = 521.49 \text{ [N]}$$

$$N_I = 1527.59 \text{ [N]}$$

Finalmente, se dimensiona el tubo a usarse en las mesas del monoplaza. Con este objetivo, se simplifica el análisis de la carga en dicho elemento de la siguiente manera:

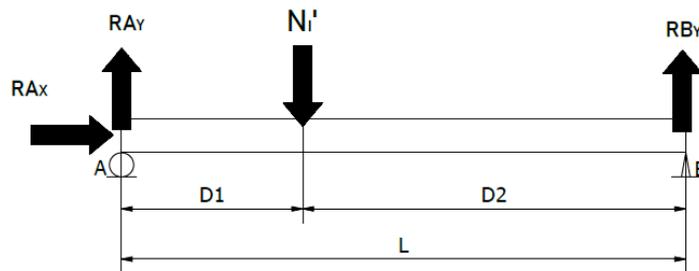


Figura 46: Simplificación análisis carga elemento.

En donde la carga aplicada a flexión es 1/4 de la carga obtenida previamente como “ N_I ”.

Posteriormente, se plantean las ecuaciones de equilibrio de Newton para obtener las reacciones:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = N_I' \text{ [N]}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -N_I' \times x + R_{By} \times l = 0$$

Se obtuvo los siguientes resultados:

$$R_{Ay} = 248.46 \text{ [N]}$$

$$R_{By} = 133.44 \text{ [N]}$$

Se resuelve para cada sección del tubo, y así obtener el diagrama de momento flector ergo determinando el momento máximo.

- Para la sección $0 \text{ [m]} \leq x \leq 0.2 \text{ [m]}$:

$$\sum M_x = 0 \rightarrow M1(x) = 248.46x$$

- Para la sección $0.2 \text{ [m]} \leq x \leq 0.5724 \text{ [m]}$:

$$\sum M_x = 0 \rightarrow M2(x) = 76.38 - 133.44x$$

Evaluando las distancias en las ecuaciones de momento encontradas se obtiene un momento máximo de 171.05 [Nm] en el punto de aplicación de la carga N_I '.

A continuación, se determina el diámetro del tubo a utilizarse con el material de “Acero a53 grado B” con un esfuerzo de fluencia de 241 [MPa]. Se asume un factor de seguridad de 1.2.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} c}{I}$$

$$c = \frac{d_{ext}}{2}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{ext}^4 - d_{int}^4)$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

De igual manera, se plantea la relación entre diámetros para la primera aproximación con tubería de 3/4” cédula 40:

$$d_{int} = 0.75 d_{ext}$$

Se obtiene como resultado que, para este caso, se requiere un tubo de diámetro exterior de 1.5 [cm], por lo que se corrobora que el tubo de 3/8 cédula 40 es el adecuado, con un diámetro exterior de 1.71 [cm]. Finalmente, se usará tubo de 3/4” cedula 40, obteniendo un factor de seguridad para las mesas de 5.57, con el objetivo de aprovechar el remanente de dicho tubo, adquirido para la fabricación del jig como tal.

3.2.5 Dimensionamiento de los pernos de acople para mesas

Se utiliza una junta empernada para dar anclaje a las mesas con el chasis. Para esto se simplifico el caso de la junta empernada como el dimensionamiento de un eje sometido a flexión y tensión, como se puede apreciar en la figura 47.

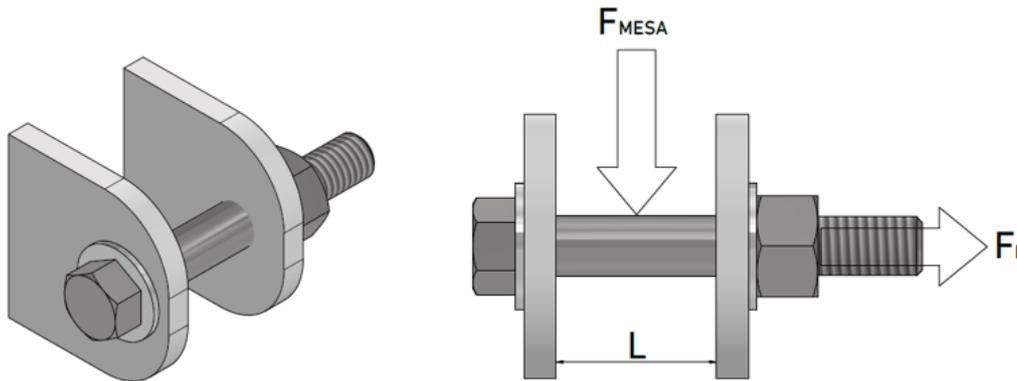


Figura 47. Simplificación junta empernada.

La fuerza procedente de la mesa se obtiene mediante la distribución de peso del vehículo para cuando este va a estar en su punto de rendimiento crítico, siendo este el “Evento Skidpad” en la competencia. Mediante un proceso iterativo se dimensiono el perno a utilizarse, considerando también que la denominación mínima permitida para juntas empernadas es de grado 8.8 establecido en el reglamento de la competencia. (Manual Formula SAE, 2023).

Primero, se determinó el momento máximo con la fuerza proveniente de la mesa y con una separación de placas de 3 [cm]:

$$F_{MESA} = 211.07 [N]$$

$$M_{MAX} = F_{MESA} \times \frac{L}{2}$$

$$M_{MAX} = 3.167 \left[\frac{N}{m} \right]$$

Después, se determinó la carga de ajuste, considerando que se diseña para una junta no permanente. Se determina un área de esfuerzo a tensión para el perno de 73.78 [mm²] para un perno de 7/16” o 11.2 [mm] según la Tabla 8-1 de “Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y paso fino” del libro “Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley”. Considerando un esfuerzo de prueba mínimo de 600 [MPa] para un perno de dicha clasificación obtenido de la tabla 8-11 de “Clases de propiedades mecánicas métricas para pernos, tornillos y espárragos

de acero” (Budynas, R. & Nisbeth J., 2015). Se determina la carga de prueba y la carga de ajuste de la siguiente manera:

$$F_p = A_T \times S_p$$

$$F_p = 44268 \text{ [N]}$$

$$F_l = 0.75 \times F_p$$

$$F_l = 33201 \text{ [N]}$$

Posteriormente, se analiza el elemento infinitesimal en el perno en el cual se va a dar el esfuerzo más crítico en el elemento. Dado que este elemento está cargado a flexión, la ubicación del elemento infinitesimal más crítico se va a dar en donde se encuentre el momento máximo, siendo el centro de la junta. A este elemento se le añadiría el esfuerzo axial de tensión dado por la precarga de la junta, como se puede apreciar en la figura 48:

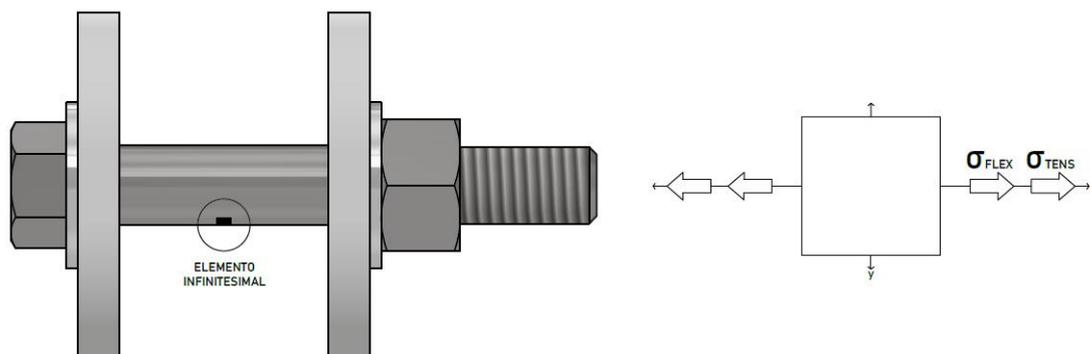


Figura 48: esfuerzo axial de tensión dado por precarga de la junta.

El esfuerzo de flexión se añade al esfuerzo de tensión en el mismo eje, para así obtener el esfuerzo crítico resultante con el que se va a dimensionar el diámetro necesario del perno a utilizarse. Los esfuerzos mencionados se calculan de la siguiente manera:

$$\sigma_{FLEX} = \frac{M_{MAX} \times c}{I} = \frac{M_{MAX} \times r}{\frac{\pi \times r^4}{4}} = \frac{12.67}{\pi \times r^3}$$

$$\sigma_{TENS} = \frac{F_l}{A} = \frac{33201}{\pi \times r^2}$$

$$\sigma_{TOTAL} = \sigma_{FLEX} + \sigma_{TENS} = \frac{12.67}{\pi \times r^3} + \frac{33201}{\pi \times r^2}$$

Finalmente, se utiliza la teoría de falla de Von Misses con un factor de seguridad de 1.2 para el dimensionamiento:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_X^2 - (\sigma_X \times \sigma_Y) + \sigma_Y^2 + (3 \times \tau_{XY}^2)}$$

En donde, debido a que solo se tiene esfuerzos axiales en el eje x, el esfuerzo de Von Misses es igual al σ_{TOTAL} . Finalmente, se obtiene el radio requerido para la junta:

$$\eta = 1.2 = \frac{S_Y}{\sigma_{TOTAL}} = \frac{600 \times 10^6 [Pa]}{\frac{12.67}{\pi \times r^3} + \frac{33201}{\pi \times r^2}}$$

De esta manera se obtuvo un radio de 4.56 [mm] para el perno. De esta manera se seleccionó un perno hexagonal 7/16 de grado 8.8 UNC. El cuál es un perno de 11.2 [mm] de diámetro, debido a que este se ajusta a las dimensiones de las rotulas existentes.

3.3 Experimentos Ingenieriles para Verificación

3.3.1 Proceso iterativo 3D del diseño del chasis tubular

El proceso iterativo que se realizó con los diferentes modelos creados para el chasis tubular se puede observar en el Anexo H. En este se presentan las iteraciones realizadas, se señala si fueron aprobadas, o si requerían algún cambio posterior por alguna problemática identificada.

3.4 Plan de Pruebas para prototipo final

En esta sección se presenta la variación entre las medidas deseadas y geometrías mínimas establecidas por el manual de la SAE 2023, en comparación con las medidas reales del chasis una vez fabricado. Los criterios de diseño importante a cubrir son:

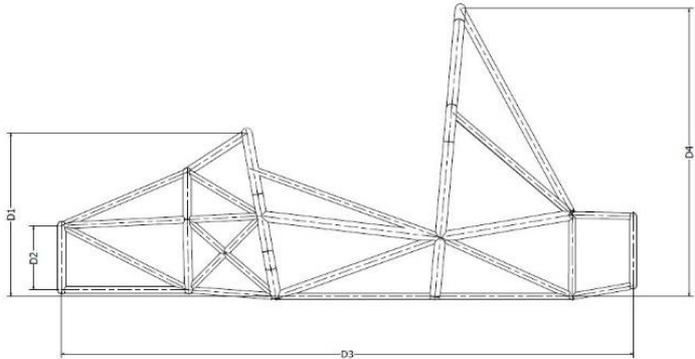
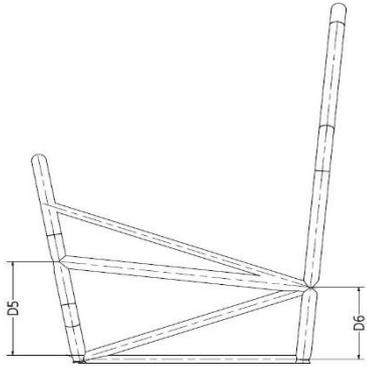
- Largo total del chasis.
- Altura del Main Hoop.
- Peso total del chasis sin mesas.

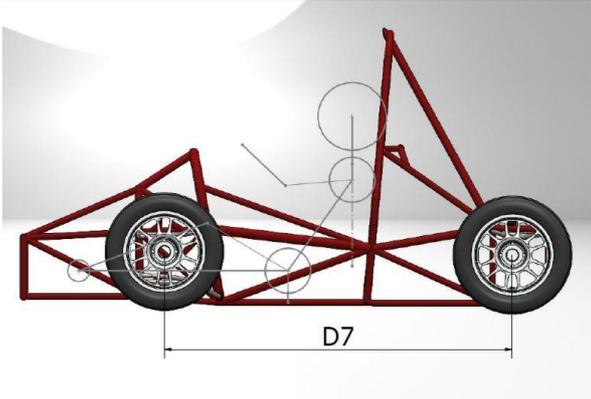
- Área, inercia, diámetro y espesor de los tubos.
- Distancia entre ejes.
- Espacio Cock Pit.
- Espacio mínimo sección transversal interna.

3.4.1 Verificación de medidas

En la siguiente tabla se detalla la variación entre medidas de los planos y las medidas reales. Cabe mencionar que la variación debe estar dentro del rango establecido en el reporte de diseño. La evidencia de las medidas reales se indica en el anexo I.

Tabla 15. Prueba de medidas críticas del chasis.

Prueba de Medidas Críticas del Chasis				
Parte	Medida Planos [cm]	Medida Real [cm]	% Error	Diagrama Referencia
Altura Bulk Head	D2: 26 cm	D2: 26.5 cm	1.92%	
Largo Chasis	D3: 232.4	D3: 232.2	0.08%	
Altura Main Hoop	D4: 119.1	D4: 120.5	1.17%	
Altura Front Hoop	D1: 70.1	D1: 69.0	1.57%	
Distancia Impacto Lateral	D5: 31.6	D5: 32.4	2.53%	
	D6: 23.9	D6: 24.8	3.77%	

Distancia Entre Ejes	D7: 154.9	D7: 155.5	0.38%	
-----------------------------	--------------	--------------	-------	--

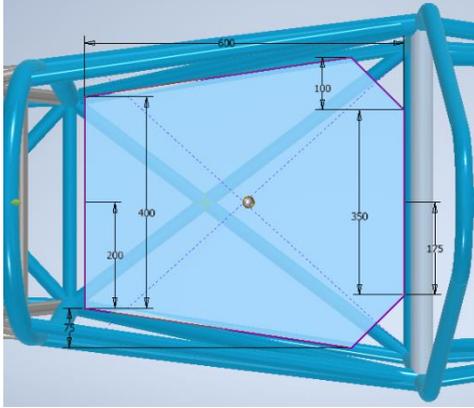
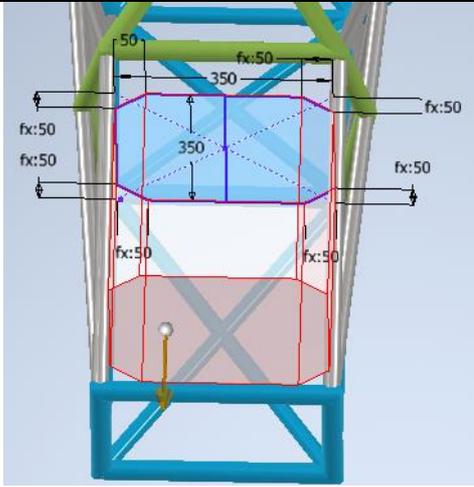
Para la verificación de las medidas de los tubos se compara los valores de mínimos geométricos establecidos por la SAE y los valores que especifica el proveedor los cuales se encuentran en el anexo A. La siguiente tabla muestra las especificaciones geométricas de los tubos comprados, la referencia de la SAE esta especificada en la sección 1.5.1

Tabla 16. Prueba Analítica para Tubos.

Prueba Analítica para Tubos A53					
Tubo A53 Grado B CED 40	Diámetro Ext	Espesor	Área Transversal	Inercia	Cumple Requerimientos mínimos
Tamaño A	33,7	3,38	322	37438	SI
Tamaño B	33,7	3,38	322	37438	SI
Tamaño C	26,9	2,9	219	15965	SI
Tamaño D	42,4	3,56	434	82558	SI

Para comprobar el espacio para el cockpit y el espacio mínimo de la sección transversal se realizó dos pruebas. La primera es mediante la creación de los esquemas de la sección 1.5.1 en el modelo 3D y el segundo modo de prueba es mediante la medición directa en el modelo final construido.

Tabla 17. Pruebas de diseño.

	Prueba en diseño 3D	Prueba en prototipo final
Cockpit		
Sección Transversal Interna Mínima		

3.4.2 Verificación de peso

El peso es uno de los criterios más importantes de diseño ya que a su vez se busca optimizar el peso del chasis para competencia y el peso total de material comprado. En la siguiente tabla se presenta los valores de peso, los cuales son obtenidos a través del software SolidWorks para el peso del modelado 3D, el peso real se utiliza una balanza y el peso total de material comprado se hacer referencia a las especificaciones del proveedor establecidas en el anexo A.

Tabla 18. Comparación de peso.

Peso Modelado 3D sin mesas	Peso Real sin Mesas	% error	Peso Total de Material Comprado
<p style="text-align: center;">75.297 kg</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Mass properties of Chasis FINAL sin mesas final simulaciones Configuration: Default-<As Machined> Coordinate system: -- default --</p> <p>Density = 0.01 grams per cubic millimeter Mass = 75297.35 grams Volume = 9531309.78 cubic millimeters Surface area = 6646083.31 square millimeters</p> <p>Center of mass: (millimeters) X = -0.07 Y = 270.64 Z = 32.44</p> </div>	<p style="text-align: center;">73.5 kg</p> 	<p style="text-align: center;">2.38%</p>	<p style="text-align: center;">112.74 Kg</p>

3.5 Análisis de Riesgos

A continuación, se presenta el análisis y monitoreo de riesgos realizado antes de dar inicio al proceso de fabricación. De esta manera se identificaron los posibles riesgos de fabricación del proyecto, buscando prever los escenarios posibles en los que se dé una problemática, teniendo ya una solución prevista.

Código	Descripción	Prioridad = Impacto x Probabilidad	Responsable	Decisión tomada	Estatus
R01	Baja calidad de la soldadura	5x4=20	Pablo Garces	Transferir: Se buscará un soldador con las habilidades necesarias para alcanzar los estándares de calidad en el proceso de soldadura.	Finalizado
R02	Uso de herramientas con riesgo de lesiones o accidentes, tales como amoladoras	5x2=10	TODOS	Reducir: Se requerirá de prendas y elementos de seguridad para la manufactura del chasis, tales como zapatos con punta de acero, casco, gafas, guantes, mandil, etc.	Finalizado
R03	Falta de herramientas (dados) para el doblado adecuado del tubo con un radio específico	3x4=12	Mateo Hachig	Prepararse: Averiguando distintos proveedores con tiempo de anticipación si cuentan con las herramientas adecuadas para realizar el doblado solicitado.	Finalizado
R04	Uso inadecuado de fuentes bibliográficas	3x1=3	TODOS	Evitar: Correcto uso de normas APA para la redacción de los informes escritos, seguidos de una revisión final.	Finalizado
R05	Diseño y construcción inadecuada para el jig de construcción del chasis	5x1=5	TODOS	Compartir: Realizar el diseño adecuado del Jig de construcción, bajo la supervisión de todos los miembros del grupo de trabajo, evitando así cualquier decisión que pueda afectar en un futuro.	Finalizado
R06	Aumento del costo requerido por mal uso de la materia prima.	4x2=8	Sebastián Reyes	Prepararse: Separar un porcentaje del presupuesto para escenarios en los que se deba volver a adquirir materia prima por daños.	Finalizado
R07	Diseñar el chasis con tubos que no se encuentran en el mercado.	5x1=5	Tomas Jauregui	Evitar: Solicitar información de los tubos disponibles a distintos proveedores nacionales.	Finalizado

Figura 49. Análisis y monitoreo de riesgos.

3.6 Manual de Mantenimiento

El manual de mantenimiento del chasis de la formula SAE tiene como finalidad brindar la información necesaria sobre el almacenamiento adecuado del chasis, las herramientas de mantenimiento y tipos de daños presentes. Mediante esto se podrá designar técnicos que cubran estas necesidades alargando así la vida útil del chasis. El manual se encuentra adjunto en el Anexo C.

3.7 Resultados y Discusiones

- **Análisis Tipo Truss:**

En las simulaciones tipo Truss en el elemento 85 se obtuvo un esfuerzo de 227.4 MPa en la parte frontal y un esfuerzo de 221.89 MPa mediante el cálculo analítico, con un error porcentual de 2.43%, por lo tanto, se puede discutir que el bajo error porcentual nos indica un alto nivel de confiabilidad en los resultados obtenidos. Al usar la teoría de Von Misses en la simulación y configurándola con elementos tipo Truss, se puede igualar el esfuerzo de Von Misses al esfuerzo calculado de manera directa, ya que no hay presencia de esfuerzos cortantes o a flexión. El implementar este tipo de elementos permite comprender de mejor manera la distribución de esfuerzos dentro del primer modelo. Teniendo una simulación simplificada con los elementos tipo Truss, se agilitó el proceso iterativo de refuerzos de tubos.

- **Análisis Tipo Beam:**

En las simulaciones tipo Beam en el elemento crítico se obtuvo un esfuerzo de 206.30 , ubicado en el Front Hoop y un esfuerzo de 206.07 mediante el cálculo analítico, con un error porcentual de 0.11% , por lo tanto se puede discutir que al igual que en las simulaciones tipo Truss el error porcentual indica un alto nivel de confiabilidad, las simulaciones tipo beam son más realistas ya que someten al elemento a esfuerzos combinados, por lo tanto los valores de deformación y el elemento crítico son fundamentales para el proceso de interacción 3D. El

plantear condiciones de borde del tipo fijas con restricciones en todos los ejes y cero rotaciones permiten modelar el elemento crítico como un tubo empotrado, además, el conocer las forma en que las fuerzas son distribuidas mediante el programa SolidWorks nos permite modelar un elemento simplificado de un tubo empotrado sometido a torsión, flexión y tensión cuyo resultado fue porcentualmente igual al obtenido en la simulación. Indicando así que todas las simulaciones sirven para poder iterar de manera simultánea diferentes tipos de configuraciones. A diferencia de la simulación tipo Truss no se puede igual el esfuerzo de Von Mises al esfuerzo directamente ya que se debe considerar la dirección y los planos en los cuales los esfuerzos están ubicados ya que esto varía dependiendo de los puntos de aplicación de las fuerzas, momentos o torques. Resultando así en una simulación más realista que una simulación tipo Truss.

- **Análisis de Soldadura:**

El tamaño de garganta calculado de manera analítica nos da igual a 6 mm, al momento de realizar la simulación de soldadura nos da que el tamaño recomendado mínimo de la garganta es de 4.88, por lo tanto se puede discutir que la seria de electrodo E60xx es suficiente para realizar el proceso de soldadura SMAW, además para el cálculo manual se utilizó el mismo planteamiento de un elemento tipo beam, empleando un modelo simplificado de un tubo empotrado sometido a esfuerzos combinados, para luego someter este modelo a una simulación como una junta tipo T y modelo de soldadura de filete, que está sometida a cortantes por flexión, torsión y un cortante primario por carga axial adicional al cortante generado por la carga a flexión. Lo cual nos dio como resultado un tamaño de garganta menor y el proceso de simulación no presento ninguna advertencia lo cual de acuerdo con el portal de ayuda de SolidWorks indica que la simulación es válida y se puede corroborar con los cálculos analíticos.

- **Análisis de las Mesas del Chasis:**

El diseño de las mesas se basó en el dimensionamiento analítico del tubo necesario para dicho elemento. Con este cálculo, se obtuvo un tubo de 3/8" CED 40, sin embargo, con el objetivo de aprovechar el tubo remanente adquirido, se las fabricó con tubo de 3/4" CED 40. Con dicho Tubo se obtuvo un factor de seguridad de 5, resultando así con un diseño sobredimensionado. De igual manera se corroboró que este elemento no llega a la cedencia con la simulación realizada por elementos finitos, en donde se obtuvo un esfuerzo máximo de 156 MPa. Esta simulación se realizó para la mesa más larga, debido a que en esta se encontraba el momento máximo al tener una mayor distancia del punto de aplicación de la fuerza.

- **Dimensionamiento de Pernos:**

Mediante la teoría de falla de distorsión de energía o de Von Misses, se dimensionó el perno a utilizarse en la junta. Se obtuvo un perno de diámetro 7/16" o de 11.2 mm, de graduación 8.8. Cabe mencionar que esta dimensión obtenida se la realizó asumiendo un factor de seguridad de 1.2 a la falla elástica.

3.8 Conclusiones

- El proyecto ha logrado diseñar un chasis tubular de competencia para la Formula SAE. Para lograr este objetivo, se establecieron varios objetivos específicos que se cumplieron de manera satisfactoria. En primer lugar, se realizaron simulaciones de esfuerzos para identificar los elementos críticos del chasis y evitar que falle durante la competición. Estas simulaciones permitieron optimizar el diseño del chasis, minimizando el número de elementos estructurales y reduciendo su peso sin comprometer la integridad estructural del vehículo.
- En segundo lugar, se llevaron a cabo cálculos analíticos simplificados para corroborar los resultados obtenidos mediante las simulaciones de esfuerzos. Estos cálculos permitieron verificar la validez de los resultados y garantizar que el diseño del chasis sea seguro y confiable. Además, se diseñó una soldadura que pueda resistir los esfuerzos a los que estará sometido el chasis, de acuerdo con la teoría del libro de Shigley que hace referencia al código AWS. Por último, se diseñaron las mesas del carro de la Formula SAE, lo que permitió asegurar la correcta fijación del chasis y garantizar su estabilidad durante la competición.
- En general, se puede concluir que el proyecto ha sido exitoso en su objetivo de diseñar un chasis tubular que cumpla con los estándares de la Formula SAE. Las simulaciones de esfuerzos, los cálculos analíticos simplificados, el diseño adecuado de la soldadura y la correcta fijación del chasis en las mesas, garantizan la integridad estructural del vehículo y su capacidad para soportar las cargas a las que estará sometido durante la competición. Además, la optimización del diseño del chasis ha permitido reducir su peso, lo que contribuye al mejor desempeño del vehículo en la competición.

3.9 Trabajos a Futuro

La creación del chasis para la Formula SAE tiene como objetivo final la participación en la competencia. Por lo tanto, todos los trabajos futuros estarán dirigidos a implementar el resto de los componentes en el mismo, como son: la transmisión, la dirección, el sistema de frenos y carrocería. Para cada uno de los sistemas mencionados anteriormente, el chasis se lo diseñó en base a todos los requerimientos que la formula SAE establece en el manual del año 2023. Es importante mencionar que existen piezas adicionales importantes como el asiento del piloto, en el cual se modeló el espacio adecuado más no el diseño del asiento a acoplarse. También, para el sistema de transmisión se estableció el área para que ingrese un motor de hasta 710cc, pero al no contar con el motor, este espacio es solo una estimación. Finalmente, con el objetivo de poder montar el motor, se ha dejado los tubos necesarios y complementarios para dar soporte al main hoop y al asiento a ubicarse, los que deberán soldarse posterior al montaje del motor.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2010). Mecánica de materiales (No. TA405. B43 1994.). Mc Graw Hill.

Borja Robalino, R. S., & Morocho Rojas, P. S. (2017). Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo fórmula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca 2017 (Master's thesis).

Budynas, Richard (2014). Shigley's Mechanical Engineering Design (in Si units). MCGRAW HILL.

Celi, J., & Jaramillo, E. (2013). Diseño y construcción del chasis y carrocería del vehículo de competencia fórmula SAE 2012. Latacunga: Tesis ESPE.

Hibbeler, R. C. (2022). Engineering mechanics. Pearson.

Permanent Steel Manufacturing. 2020. ASTM A53 Steel Pipe. Recuperado de: <https://www.permanentsteel.com/es/m/newsshow/astm-a53-steel-pipe.html>

SAE International (2017). Formula SAE Rules 2017-18. Obtenido de https://www.fsaeonline.com/content/2017_18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf

SAE International (2023). Formula SAE Rules 2023 V2. Obtenido de <https://www.fsaeonline.com/cdsweb/gen/DocumentResources.aspx>

SolidWorks (2022). Vigas. Obtenido de https://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_beams.hm?format=P&value=

Tuval (2022). Catalogo. Obtenido de <https://www.tuvalsa.com/catalogos/>

5 ANEXO A: TIPO DE TUBOS

El proveedor local TUVAL SA ofrece distintos diámetros y espesores de tubería cédula 40 sin costura. En el anexo se encuentra los diferentes productos y especificaciones, datos que son utilizados como referencia para el diseño del chasis.

SIN COSTURA ASTM A 53 / A 106 / API 5L CÉD. 20 - 40 - 80 - 160 - STD - XS

Nominal	Cédula 10		Cédula 20		Cédula 40		Cédula 80		Cédula 160		STD		XS		
	Exterior mm	Peso Kg/m	Espesor mm												
1/4"	13,5	-	1,65	-	-	0,62	2,24	0,78	3,02	-	-	-	-	-	-
3/8"	17,2	-	1,65	-	-	0,85	2,3	1,11	3,2	-	-	-	-	-	-
1/2"	21,3	1,02	2,11	-	-	1,27	2,77	1,62	3,73	1,95	4,78	1,27	2,77	1,62	3,73
3/4"	26,9	1,3	2,11	-	-	1,72	2,9	2,22	3,91	2,93	5,56	1,72	2,9	2,22	3,91
1"	33,7	2,12	2,77	-	-	2,53	3,38	3,24	4,5	4,26	6,3	2,53	3,38	3,24	4,5
1 1/4"	42,4	2,73	2,77	-	-	3,41	3,56	4,49	4,85	5,61	6,3	3,41	3,56	4,49	4,85
1 1/2"	48,3	3,15	2,77	-	-	4,05	3,68	5,41	5,08	7,21	7,1	4,05	3,68	5,41	5,08
2"	60,3	3,99	2,77	-	-	5,44	3,91	7,48	5,54	11,11	8,74	5,44	3,91	7,48	5,54
2 1/2"	73	-	3,05	-	-	8,63	5,16	11,41	7,01	14,92	9,53	8,63	5,16	11,41	7,01
3"	88,9	6,56	3,05	-	-	11,29	5,49	15,27	7,62	21,35	11,13	11,29	5,49	15,27	7,62
4"	114,3	8,5	3,05	-	4,37	16,07	6,02	22,32	8,56	33,54	13,49	16,07	6,02	22,32	8,56
5"	141,3	-	3,4	-	4,78	21,77	6,55	30,94	9,52	49,17	15,9	21,77	6,55	30,94	9,52
6"	168,3	14,04	3,4	20,13	5	28,22	7,1	42,67	11	53,96	14,2	28,22	7,1	42,67	11
8"	219	20,24	3,76	33,4	6,3	41,63	8	63,65	12,5	111,17	23	41,63	8	63,65	12,5
10"	273	28,17	4,19	41,43	6,3	60,29	9,27	95,97	15,09	169,17	28	60,29	9,27	80,3	12,5
12"	323,9	-	4,57	55,47	7,1	79,73	10,31	132,23	17,5	238,76	32,32	73,8	9,52	84,88	12,5
14"	355,6	-	-	68,52	8	93,48	11	158,1	19,05	281,7	35,71	81,25	9,52	105,76	12,5
16"	406,4	-	-	-	-	121,42	12,5	203,53	21,44	365,36	40,49	93,17	9,52	121,42	12,5
18"	457	-	-	-	-	151,06	14,2	254,55	23,83	457	45	105,05	9,52	137,02	12,5
20"	508	-	-	117,02	9,52	183,42	15,09	311,17	26,19	564,71	50	117,02	9,52	152,74	12,5
24"	610	-	-	140	9,52	255,69	17,5	548,1	30,96	808,22	59,54	140,97	9,52	184,18	12,5
30"	750	-	-	235,08	12,7	-	-	-	-	-	-	177,06	9,5	-	-

6 ANEXO B: DETALLE DE GASTOS

En la siguiente tabla se presenta una tabla en donde se podrán ver resumidos el detalle de gastos realizados a los largo del proyecto:

<i>Proveedor</i>	<i>Elemento</i>	<i>Valor</i>
DON TABLERON & ENCHAPES	Madera Triplex JIG	\$70.74
TUVAL	Tubos	\$166.80
ALDAN	Corte CNC JIG	\$109.76
TAURO ESCAPES DEL TIO	Doblez de tubos	\$48.00
COMERCIAL CANO LASTRA	Placa de acero	\$20.42
KIWY	Pinturas	\$16.49
CASTILLO HERMANOS	Discos de corte y pulido	\$25.00
DIPAC	Tube y guantes	\$18.93
CASTILLO HERMANOS	Pernos, tuercas y arandelas	\$19.50
LUIS CARAGUAY	Servicio soldadura	\$130.00
-	Varios	\$50.00
	GASTO TOTAL	\$675.64

7 ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD SAN
FRANCISCO DE QUITO



MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para Chasis Tubular Fórmula SAE

PROYECTO INTEGRADOR

REALIZADO POR
Sebastián Reyes
Pablo Garcés
Tomás Jáuregui
Mateo Hachig



Índice

- 1** Introducción
- 2** Daños en tubos de acero
- 3** Medidas de Prevención y Reducción
- 4** Eliminación de Oxido
- 5** Mantenimiento de Pernos y Rodamientos
- 6** Conclusión





1 Introducción

El chasis de un vehículo de competición para la Formula SAE es una estructura crítica que debe cumplir con altos estándares de seguridad, rendimiento y durabilidad.

Los tubos de acero que componen el chasis están expuestos a cargas extremas y vibraciones que pueden causar diversos tipos de daños, como la fatiga, el desgaste y los impactos. Para garantizar un rendimiento óptimo y la seguridad del piloto, es esencial mantener y reparar adecuadamente estos tubos de acero.

La implementación de un mantenimiento adecuado y una gestión de riesgos adecuada son esenciales, para esto se realizó el manual que ayude a alargar la vida útil del chasis.

1.1 Objetivo General

Este manual tiene como objetivo proporcionar a los técnicos y responsables de mantenimiento las herramientas necesarias para realizar una inspección, mantenimiento y reparación adecuada de los tubos de acero del chasis de competencia de la Formula SAE, con el fin de garantizar la seguridad del piloto y el rendimiento óptimo del vehículo en pista.

The page features several decorative red abstract shapes. A large, elongated, rounded rectangle is positioned diagonally in the upper center. To its left and right are smaller, teardrop-shaped elements. Below the central shape, there are more teardrop shapes, one on the left and one on the right, and a thin red line that loops around the central shape's left side.

2 Daños en Tubos de Acero

Existen varios daños que pueden afectar a los tubos de acero, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- **Corrosión:** La corrosión es uno de los principales problemas que pueden afectar a los tubos de acero. La exposición a la humedad, la lluvia ácida, los productos químicos y otros factores ambientales pueden causar la corrosión, lo que puede llevar a la pérdida de espesor de la pared del tubo y la eventual falla estructural.
- **Fatiga:** La fatiga ocurre cuando el tubo es sometido a cargas repetidas o fluctuantes, lo que puede causar pequeñas grietas o fisuras en la superficie del material. Con el tiempo, estas grietas pueden crecer y causar fallas en el tubo.
- **Desgaste:** El desgaste se produce cuando la superficie del tubo es sometida a fricción o abrasión constante, lo que puede causar la erosión o pérdida de material. El desgaste puede ser causado por la exposición a productos químicos, la fricción de fluidos o partículas en movimiento, o la abrasión causada por otros materiales.
- **Impacto:** Los impactos pueden ser causados por golpes, caídas o colisiones con otros objetos. Un impacto fuerte puede causar deformación, agrietamiento o incluso la ruptura del tubo.
- **Oxidación:** Proceso químico mediante el cual el metal se combina con el oxígeno para formar una capa de óxido en la superficie del metal. Esta capa de óxido puede ser de diferentes colores y grosor, en la mayoría de los casos, la oxidación es un proceso no deseado que puede debilitar la estructura del metal.



3 Medidas de Prevención y Reducción

Las medidas de control y reducción que el técnico de mantenimiento debe seguir, dependen del tipo de daño presente en el tubo del chasis. En este caso cabe mencionar que hay ciertos daños que en caso de estar presentes en el chasis, invalidan completamente el uso del mismo y se recomienda dejar fuera de servicio al chasis. Daños por fatiga, impacto o desgaste por fricción se recomienda no tratar de reparar y dejar fuera de servicio al chasis.

Los daños por corrosión u oxidación en el tubo, se pueden prevenir y dar un mantenimiento adecuado siempre y cuando se detecten a tiempo.

Medidas de Prevención (Protección Activa)

- Mantener el chasis en un lugar sin humedad excesiva.
- Revisar periódicamente la estructura.
- Revisar que el lugar de almacenamiento del chasis este libre de goteras, fugas de agua o agentes químicos corrosivos.
- Realizar un proceso de lijado en el chasis.
- Revisar que no exista desprendimiento de pintura en el chasis.

Medidas de Reducción (Protección Pasiva)

- Aplicar pintura anticorrosiva en el chasis.

Importante: En caso de realizar un proceso de soldadura de más componentes, asegurarse que en el cordón de soldadura no se encuentre porosidades o espacios donde se pueda generar corrosión localizada y de hendidura.

4 Eliminación de oxido

Para eliminar el oxido presente en el chasis se debe verificar que tan afectado se encuentra el elemento tubular, en caso de que el desgaste por oxidación disminuya notablemente el espesor del tubo se debe dejar fuera de servicio el chasis, si el desgaste es superficial y no a reducido notablemente el área transversal del tubo se debe seguir las siguientes indicaciones.

A continuación se muestran lustraciones del desgaste aceptable y no aceptable por oxidación, para realizar acciones de reducción y mantenimiento.



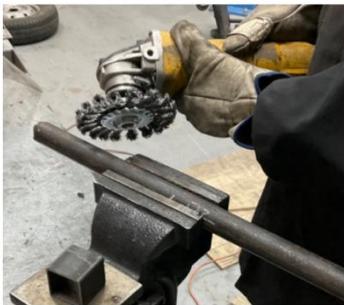
Para evitar la oxidación de la superficie del tubo existen dos métodos de protección pasiva, los cuales se pueden aplicar dependiendo si la fase de construcción del chasis o el vehículo en general esta terminado, los métodos son:

- **Aplicar aceite anticorrosivo:** Este método se recomienda aplicar si se van a seguir implementados otros elementos al automóvil que utilicen como soporte el chasis.
- **Aplicar pintura anticorrosiva:** Se recomienda aplicar la pintura únicamente si no se va a realizar algún proceso de soldado posterior en el chasis

4 Eliminación de óxido

Independientemente del método a aplicar para controlar la oxidación del metal, se debe preparar la superficie para que el agente anticorrosivo tenga mayor efectividad.

Primero se debe pulir el tubo con amoladora y disco de alambre trenzado para eliminar el óxido y pintura del tubo



El pulido se debe realizar hasta tener un aspecto más brillante del tubo con el fin de que la pintura o el aceite se adhieran de manera uniforme hacia la superficie del tubo.





5 Mantenimiento de Pernos y rodamientos

El mantenimiento adecuado de los pernos puede prolongar su vida útil y garantizar su seguridad y fiabilidad. Algunos de los pasos que se pueden seguir para el mantenimiento de los pernos son los siguientes:

- 1. Inspección regular:** Es importante realizar inspecciones regulares de los pernos para detectar cualquier signo de daño o corrosión. La frecuencia de las inspecciones dependerá de la aplicación, pero en general se recomienda hacerlas al menos una vez al año.
- 2. Lubricación:** La aplicación de lubricantes adecuados puede reducir la fricción y el desgaste del perno, lo que prolonga su vida útil. Es importante utilizar el lubricante adecuado para la aplicación y seguir las recomendaciones del fabricante.
- 3. Reapriete:** Los pernos pueden aflojarse con el tiempo debido a la vibración y las cargas cíclicas, por lo que es importante volver a apretarlos según las especificaciones del fabricante. Es importante evitar el sobretorqueo, ya que puede dañar el perno.
- 4. Reemplazo:** Los pernos que presenten signos de corrosión, fatiga o desgaste deben ser reemplazados inmediatamente. Es importante utilizar pernos de repuesto que cumplan con las mismas especificaciones que los originales.

5 Mantenimiento de pernos y rodamientos

Las juntas empernadas en el chasis tienen pernos del tipo Hexagonal Grado 8 especificación UNC 7/16x3", tuercas hexagonales 7/16", tuercas hexagonales 1/2" y arandelas galvanizadas 10R. Como se muestra en la figura, los cuales tienen recubrimientos de fábrica o tratamientos superficiales en el caso de la arandela, para evitar oxidación o corrosión y no es necesario aplicar pintura encima ya que puede afectar el rendimiento de la junta, en caso de aplicarse pintura remover con disolventes no corrosivos o de preferencia cambiar por un componente nuevo.





5 Mantenimiento de pernos y rodamientos

Un mantenimiento adecuado de los rodamientos tipo "ROD END" incluye las siguientes actividades :

1. Lubricación: La frecuencia y el tipo de lubricante dependen de las condiciones de operación y del tipo de rodamiento, pero en general se recomienda una lubricación regular utilizando lubricantes específicos para rodamientos.

2. Inspección visual: Es importante realizar inspecciones visuales regulares para detectar posibles daños en los rodamientos. Esto puede incluir la búsqueda de señales de desgaste, picaduras, grietas, deformaciones o signos de contaminación.

3. Monitoreo de vibraciones: La vibración excesiva puede ser una señal de un problema con los rodamientos. El monitoreo regular de las vibraciones puede ayudar a detectar posibles problemas antes de que se produzcan daños graves.

4. Control de temperatura: El control de la temperatura es importante para prevenir la generación excesiva de calor, que puede dañar los rodamientos. Los rodamientos deben funcionar dentro de los límites de temperatura recomendados por el fabricante.

5. Sustitución: Los rodamientos dañados deben ser sustituidos inmediatamente para evitar daños mayores al equipo y prevenir accidentes.



6 Conclusión

En conclusión, el manual de mantenimiento es proporcionar a los técnicos y responsables de mantenimiento las herramientas necesarias para realizar una inspección, mantenimiento y reparación adecuada de los tubos de acero, pernos y rodamientos del chasis de competencia para la Formula SAE, con el fin de garantizar la seguridad del piloto y el rendimiento óptimo del vehículo en pista.

Además, el manual ayuda a controlar la presencia de óxido en el chasis, lo que es especialmente importante ya que el óxido puede debilitar la estructura del chasis y comprometer la seguridad del piloto durante la competencia. Con este manual, se busca que los usuarios adquieran un conocimiento profundo sobre las diferentes formas de daños que pueden afectar a los tubos de acero del chasis, y las técnicas y procedimientos para repararlos y prevenir su aparición en el futuro. A través de la implementación de los planes de mantenimiento adecuados, se puede garantizar la durabilidad y el rendimiento óptimo del vehículo, lo que puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso en una competencia de Formula SAE.

8 ANEXO D: CALCULOS MANUALES

$C = 85.8 \text{ [kg]} + 70 \text{ [kg]} = 155.5 \text{ [kg]} \cdot 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 1523.9 \text{ [N]}$
 Chassis Conductor
 $M = 60 \text{ [kg]} \rightarrow \text{Motor metaciclota}$
 $60 \text{ [kg]} \cdot 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$
 588 [N]

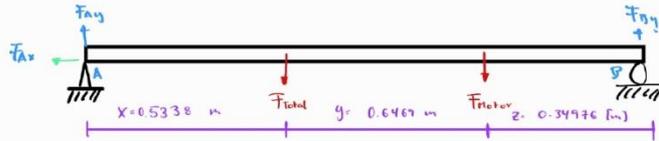
$\rightarrow M_n = M \cdot h \cdot g$
 $M_n = 60 \text{ [kg]} \times 65.48 \text{ [mm]} \times 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \times \frac{1 \text{ [m]}}{1000 \text{ [mm]}}$
 $M_n = 38.5 \text{ [Nm]}$

$\rightarrow M_c = C \cdot h \cdot g$
 $M_c = 155.5 \text{ [kg]} \times 65.48 \text{ [mm]} \times 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \times \frac{1 \text{ [m]}}{1000 \text{ [mm]}}$
 $M_c = 99.78 \text{ [Nm]}$

$\rightarrow \sum F_y = 0$
 $\sum F_y = F_{Ay} - C - M + F_{By} = 0$
 $F_{Ay} + F_{By} = C + M = 155.5 + 60$
 $F_{Ay} + F_{By} = 215.5 \text{ [kg]} \cdot 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$
 $F_{Ay} + F_{By} = 2111.9 \text{ [N]} \rightarrow \text{Eq (1)}$

$\rightarrow \sum M_A = 0$
 $\sum M_A = +M_c + M_n + (C \cdot D_1) + [M (D_2 + D_3)] - [F_{By} (D_1 + D_2 + D_3)] = 0$
 $99.78 \text{ [Nm]} + 38.5 \text{ [Nm]} + (1523.9 \text{ [N]} \cdot 0.53379 \text{ [m]}) + [588 \text{ [N]} \cdot (1.18069 \text{ [m]})] - [F_{By} \cdot (1.53045 \text{ [m]})] = 0$
 $138.28 \text{ [Nm]} + 813.44 \text{ [Nm]} + 694.25 \text{ [Nm]} - 1.53045 \text{ [m]} \cdot M_{By} = 0$
 $1.53045 \text{ [m]} \cdot M_{By} = 1695.47 \text{ [Nm]}$
 $F_{By} = 1075.48 \text{ [N]} \rightarrow \text{Eq (2)}$

$(2) \rightarrow (1)$
 $M_{By} + M_{By} = 2111.9 \text{ [N]}$
 $F_{By} = 1036.42 \text{ [N]}$



→ $F_{total} = (\text{Cables} + \text{Cerrocerías} + \text{Sistemas} + \text{Conductor}) \text{ gravedad}$

$$F_{total} = (220 \text{ [k]} + 80 \text{ [k]}) \cdot 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F_{total} = 2940 \text{ [N]}$$

$$\rightarrow \text{Horse} = 60 \text{ [k]} \cdot 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F_{horse} = 588 \text{ [N]}$$

$$\rightarrow \sum F_y = 0$$

$$F_{Ay} - F_t - F_H + F_{By} = 0$$

$$F_{Ay} + F_{By} = 2940 + 588$$

$$F_{Ay} + F_{By} = 3528 \text{ [N]}$$

$$\downarrow$$

$$E_1 \text{ ①}$$

$$\rightarrow \sum M_A = 0$$

$$F_t \cdot x + F_H \cdot (x+y) + F_{By} \cdot (x+y+z) = 0$$

$$1569.382 \text{ [Nm]} + 694.25 \text{ [Nm]} + F_{By} \cdot (1.3306 \text{ [m]}) = 0$$

$$F_{By} = \frac{2263.62 \text{ [Nm]}}{1.3306 \text{ [m]}}$$

$$F_{By} = 1478.91 \text{ [N]} \quad E_2 \text{ ②}$$

$$E_2 \text{ ②} \rightarrow \text{①}$$

$$F_{Ay} + F_{By} = 3528 \text{ [N]}$$

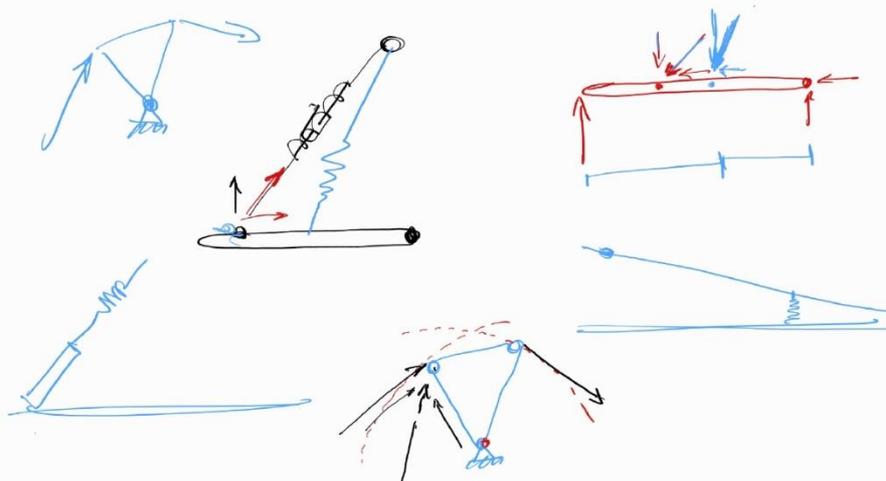
$$F_{Ay} = 3528 \text{ [N]} - 1478.91 \text{ [N]}$$

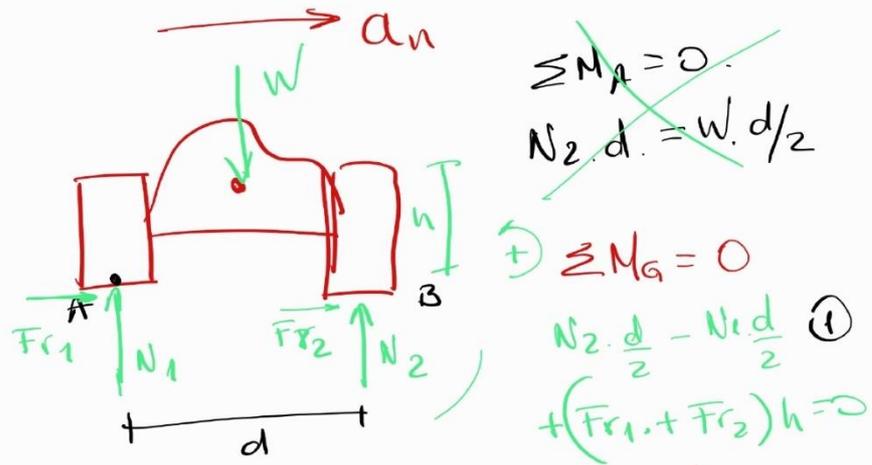
$$F_{Ay} = 2049.09 \text{ [N]}$$

Proporción

$$\text{Fuerza delantera} = \frac{F_{Ay}}{F_{total}} = \frac{2049.09 \text{ [N]}}{3528 \text{ [N]}} = 0.58$$

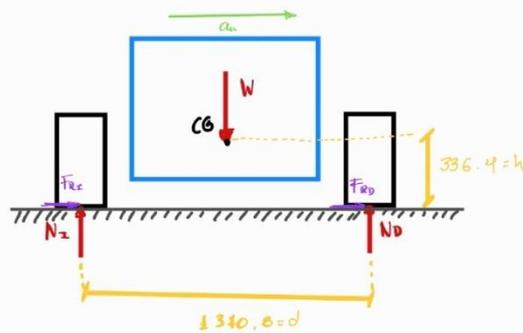
$$\text{Fuerza trasera} = \frac{F_{By}}{F_{total}} = \frac{1478.91}{3528 \text{ [N]}} = 0.42$$





$a_n = \frac{v^2}{e}$
 $\sum F_n = m a_n$
 $F_{r1} + F_{r2} = m a_n$ (2)

(3) $\sum F_y = 0$
 $N_1 + N_2 = W$



$$\sum \mathcal{M}_{CG} = 0$$

$$N_z \cdot \frac{d}{2} - N_D \cdot \frac{d}{2} - F_{Rz} \cdot h - F_{RD} \cdot h = 0$$

$$(N_z - N_D) \frac{d}{2} - (F_{Rz} + F_{RD}) h = 0$$

$$(N_z - N_D) \frac{1.340}{2} - (F_{Rz} + F_{RD}) 0.3364 = 0$$

$$(N_z - N_D) 0.685 = (F_{Rz} + F_{RD}) 0.3364$$

$$N_z - N_D = (F_{Rz} + F_{RD}) 0.491 \quad \text{Eq 1}$$

→ Para el radio de la pista = 15.25 [m]

→ Para la velocidad promedio de la prueba = $30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{h}}{3600 \text{s}} \cdot \frac{1000 \text{m}}{1 \text{km}}$
 $= 8.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

→ Aceleración normal

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{\left(8.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{15.25 \text{ [m]}}$$

$$a_n = 4.55 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\sum F_n = m_D a_n$$

$$F_{Rz} + F_{RD} = m_D a_n$$

$$F_{Rz} + F_{RD} = 209.09 \text{ [kg]} \cdot 4.55 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$$

$$F_{Rz} + F_{RD} = 951.36 \text{ [N]} \quad \text{Eq 2}$$

→ Masa de la terna (distribución)

$$\rightarrow m_D = 209.09 \text{ [kg]}$$

$$W_D = m_D \cdot g$$

$$W_D = 209.09 \text{ [kg]} \cdot 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$$

$$\rightarrow W_D = 2049.08 \text{ [N]}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N_z + N_D = W_D$$

$$N_z + N_D = 2049.08 \text{ [N]} \quad \text{Eq 3}$$

$$\text{Eq 2} \rightarrow \text{Eq 1}$$

$$N_z - N_D = (F_{Rz} + F_{RD}) 0.491$$

$$N_z - N_D = (2049.08) (0.491)$$

$$N_I = 1006.1 + N_D \rightarrow \text{eq 3}$$

$$N_I + N_D = 2049.08 \text{ [N]}$$

$$(1006.1 + N_D) + N_D = 2049.08$$

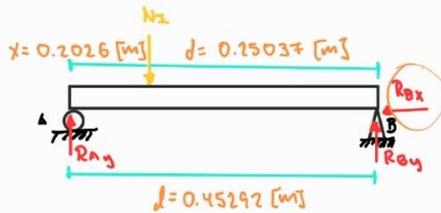
$$1006.1 + 2 N_D = 2049.08$$

$$N_D = 521.49 \text{ [N]}$$

$$N_I = 1006.1 + N_D = 1006.1 + 521.49$$

$$N_I = 1527.59 \text{ [N]} \quad \text{Para el caso más crítico}$$

→ Dimensionamiento tubos para las mesas



$$\rightarrow \sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = \frac{N_I}{2} \rightarrow \text{Se divide para } \frac{2}{4}$$

$$R_{Ay} = \frac{1527.59 - 683.32}{2} = 422.135$$

$$R_{Ay} = 844.27 \text{ [N]}$$

$$422.135 \text{ [N]} \quad 211.07$$

$$\rightarrow \sum M_A = 0$$

$$\frac{N_I}{2} x - R_{By} l = 0$$

$$\left(\frac{1527.59}{2}\right) (0.2026) - R_{By} (0.45292) = 0$$

$$R_{By} = 683.32 \text{ [N]}$$

$$341.66 \quad 170.83$$

$$0 \leq x \leq 0.2026$$

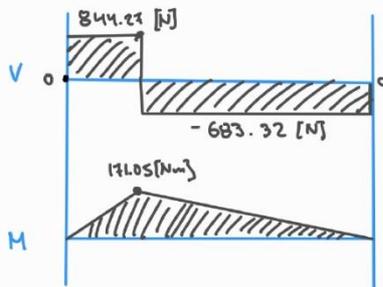
$$\sum M_x = 0$$

$$-844.27 x + M = 0$$

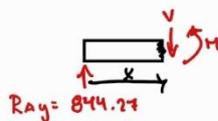
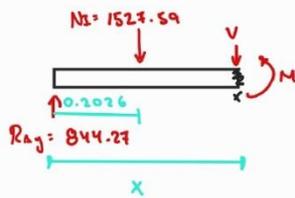
$$\rightarrow M(x) = 844.27 x$$

$$M(0) = 0$$

$$M(0.2026) = 171.05 \text{ [Nm]}$$



$$0.2026 \leq x \leq 0.45292$$



$$\sum M_x = 0$$

$$-844.27 x + 1527.59 (x - 0.2026) + M = 0$$

$$-844.27 x + 1527.59 x - 309.49 + M = 0$$

$$683.32 x - 309.49 + M = 0$$

$$M(x) = 309.49 - 683.32 x$$

$$M(0.2026) = 171.05 \text{ [Nm]}$$

$$M(0.45292) = 0 \text{ [Nm]}$$

∴ El momento máximo es de 171.05 [Nm]

→ Asumimos un FS = 1.2

$$\rightarrow S_y = 241 \text{ [MPa]}$$

$$\rightarrow G_{\text{Flexión}} = \frac{M_{\text{max}} \cdot c}{I} \quad \rightarrow \quad \frac{d}{S} = \frac{c}{I} \quad \rightarrow \quad S = \frac{I}{c}$$

$$G_{\text{Flexión}} = \frac{M_{\text{max}}}{S}$$

$$\rightarrow c = \frac{d_{\text{ext}}}{2} \quad \leftarrow \text{Lo que buscamos}$$

$$S = \frac{\frac{\pi}{64} (d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4)}{\frac{d_{\text{ext}}}{2}}$$

$$\rightarrow I = \frac{\pi}{4} (r_{\text{ext}}^4 - r_{\text{int}}^4)$$

$$\rightarrow S = \frac{\pi}{32} \left(\frac{d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4}{d_{\text{ext}}} \right)$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_{\text{ext}}^4}{16} - \frac{d_{\text{int}}^4}{16} \right)$$

→ Para $\frac{1}{2}''$ → tubo

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4)$$

$$d_{\text{int}} = \frac{3}{4} d_{\text{ext}}$$

$$FS = \frac{S_y}{G_{\text{Flex}}} \rightarrow 1.2 = \frac{241}{G_{\text{Flex}}} \quad \rightarrow \quad G_{\text{Flex}} = 200.83 \text{ [MPa]}$$

$$\therefore G_{\text{Flexión}} = \frac{M_{\text{max}}}{S}$$

$$200.83 \times 10^6 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = \frac{173.05 \text{ [Nm]}}{\frac{\pi}{32} \left(\frac{d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4}{d_{\text{ext}}} \right)}$$

$$\frac{d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4}{d_{\text{ext}}} = \frac{173.05 \text{ [Nm]}}{\frac{\pi}{32} \cdot 200.83 \times 10^6 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]}$$

$$\frac{d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4}{d_{\text{ext}}} = 8.676 \times 10^{-6} \text{ [m}^3]$$

$$\frac{d_{\text{ext}}^4 - \left(\frac{3}{4} d_{\text{ext}} \right)^4}{d_{\text{ext}}} = 8.676 \times 10^{-6} \text{ [m}^3]$$

$$d_{\text{ext}} = 0.023 \text{ [m]} \cdot \frac{100 \text{ [cm]}}{1 \text{ [m]}} = 2.3 \text{ [cm]}$$

∴ Para $\frac{1}{2}''$ shc 40

$$S = \frac{\pi}{32} \left(\frac{(0.02136 \text{ [m]})^4 - (0.015799 \text{ [m]})^4}{0.02136 \text{ [m]}} \right)$$

$$S = 6.704 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\hookrightarrow G_{\text{Fick}} = \frac{M_{\text{max}}}{S} = \frac{171.05 \text{ [N}_\mu\text{]}}{6.704 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}}$$

$$G_{\text{Fick}} = 255.14 \text{ [17R]} \rightarrow \text{Fall 9}$$

$$\rightarrow S_{\text{para}} \frac{1}{2} \text{ " shc 80}$$

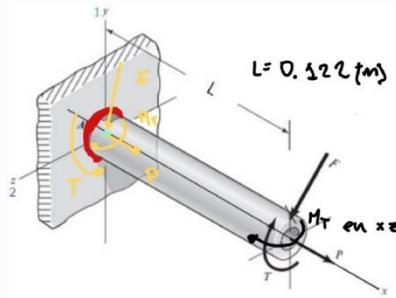
$$S = \frac{\pi}{32} \left(\frac{(0.02136 \text{ [m]})^4 - (0.013868 \text{ [m]})^4}{0.02136 \text{ [m]}} \right)$$

$$S = 7.87 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$G_{\text{Fick}} = \frac{M_{\text{max}}}{S} = \frac{171.05 \text{ [N}_\mu\text{]}}{7.87 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}}$$

$$G_{\text{Fick}} = 217.34 \text{ [17R]}$$

$$\therefore F_3 = \frac{241}{217.34} = 1.10 \checkmark$$



Datos

Tipo de Viga	Díametro Ext [m]	Espesor [m]	Radio Ext [m]	Radio Int [m]	Área Transversal [m ²]	Inercia [m ⁴]	Momento Polar [m ⁴]
Tubo de Acero A53 de 1.25 pul CED 40	0,0422	0,00356	0,0211	0,01754	4,32E-04	8,13E-08	1,63E-07

Nombre de viga	Elemento	Axial (N)	Corte1 (N)	Corte2 (N)	Momento1 (N.m)	Momento2 (N.m)	Torque (N.m)
Viga-34 (Pipe standard 640 PIPE 1.25 SCH 40(45)(2))	634	7582.3	3714.8	43.77	M ₁ 22.901	M ₂ 725.06	-62.22

$$M_T = (M_1^2 + M_2^2)^{\frac{1}{2}} = (22.901 [\text{Nm}]^2 + 725.06 [\text{Nm}]^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$M_T = 725.42 [\text{Nm}]$$

$$\rightarrow A_T = 1.414 \pi h r = 1.414 \cdot \pi \cdot h \cdot 0.0211 [\text{m}]$$

$$A_T = 0.093 h$$

$$\rightarrow I_U = \pi r^3 = \pi (0.0211 [\text{m}])^3$$

$$I_U = 0.000029 [\text{m}^3]$$

$$\rightarrow J_U = 2\pi r^3$$

$$J_U = 0.000058 [\text{m}^3]$$

→ Esfuerzo cortante primario por carga F

$$F = \frac{M_T}{L} = \frac{725.42 [\text{Nm}]}{0.122 [\text{m}]} = 5946.07 [\text{N}]$$

$$\tau_{\text{sc}}^I = \frac{F}{A_T} = \frac{5946.07}{0.093 h} = \frac{63936.24}{h} \rightarrow \text{eq 1}$$

→ Esfuerzo cortante primario por carga P

$$\tau_{\text{sc}}^I = \frac{P}{A_T} = \frac{7582.3 [\text{N}]}{0.093 h} = \frac{81530.11}{h} \rightarrow \text{eq 2}$$

→ Esfuerzo cortante secundario por flexión

$$\tau_{\text{flex}}^{\text{II}} = \frac{M_T \cdot r_{\text{ext}}}{0.707 \cdot h \cdot J_U} = \frac{725.42 [\text{Nm}] \cdot 0.0211 [\text{m}]}{0.707 \cdot h \cdot 0.000029 [\text{m}^3]}$$

$$\tau_{\text{flex}}^{\text{II}} = \frac{764547.55}{h} \rightarrow \text{eq 3}$$

Esfuerzo cortante secundario por torsión

$$\tau_{\text{Tor}}'' = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{T \cdot r}{0.707 \cdot h \cdot J_0} = \frac{62.77 \text{ [Nm]} \cdot 0.0211 \text{ [m]}}{0.707 \cdot h \cdot 0.000058 \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$\tau_{\text{Tor}}'' = \frac{32015.85}{h} \quad \text{eq 4}$$

Esfuerzo cortante resultante

$$\tau = \left(\tau_p^2 + \tau_F^2 + \tau_{\text{Prim}}^2 + \tau_{\text{Tor}}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\tau = \left(\left(\frac{81530.11}{h} \right)^2 + \left(\frac{63936.74}{h} \right)^2 + \left(\frac{764542.55}{h} \right)^2 + \left(\frac{32015.85}{h} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\tau \leq \tau_{\text{adm}} = 0.3 \text{ Svt (alca)} \quad \text{Svt del 60 xx}$$

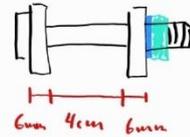
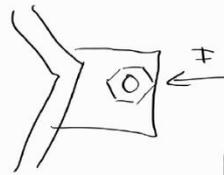
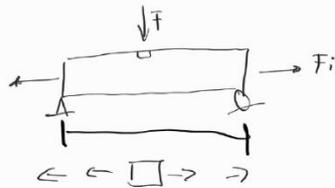
$$\tau_{\text{adm}} = 0.3 (427) \quad \text{Svt} = 427 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{\text{adm}} = 128.1 \text{ [MPa]}$$

$$128.1 \times 10^6 \text{ [Pa]} = \left(\left(\frac{81530.11}{h} \right)^2 + \left(\frac{63936.74}{h} \right)^2 + \left(\frac{764542.55}{h} \right)^2 + \left(\frac{32015.85}{h} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 6.020 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

∴ Se necesita una garganta de 6 [mm]



$$R_{ay} = 844.27 \text{ [N]} = F$$

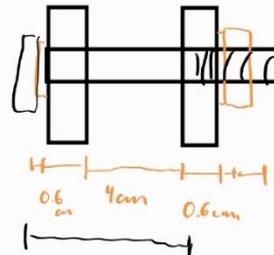
$$122.53$$

Para primera iteración perno métrico clase 9.8 [M 1.6-M1.6]

$$S_p = 650 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ut} = 900 \text{ [MPa]}$$

$$S_y = 720 \text{ [MPa]}$$



$$L_T = 2d + 6 \quad \text{para } L \leq 125 \text{ y } d \leq 48$$

→ para M10

$$L_T = 2(10) + 6 = 26 \text{ [mm]}$$

→ Arandela 10R → DI = 10.85

$$DE = 19$$

$$t_{aran} = 2.8$$

→ Tuerca M10

$$W = 16$$

$$H = 8.4$$

$$\rightarrow A_d = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (10)^2}{4} = 25\pi \text{ [mm}^2\text{]}$$

→ $A_t = 58 \text{ [mm}^2\text{]}$ para paso grueso

→ $P = 1.5 \text{ [mm]}$

$$L = 2t + 2e_p + 2(\text{laminaes}) + \text{Alum.} + 2p$$

$$L = 2(6) + 40 + 2(2.8) + 8.4 + 2(1.5)$$

$$L = 12 + 40 + 5.6 + 8.4 + 3$$

$$L = 69 \text{ [mm]} \rightarrow \text{Tabla } \underline{A17}$$

$$L' = 29 \text{ [mm]} \quad \downarrow$$

$$\underline{\underline{L}} = 80 \text{ [mm]}$$

$$ld = L - L_T = 80 - 26$$

$$ld = 54 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\rightarrow d = d_{\text{aron}} + t + 2e_p$$

$$d = 2(2.8) + 2(6) + 40$$

$$d = 5.6 + 12 + 40$$

$$d = 57.6 \text{ [mm]}$$

$$\rightarrow d_T = d - ld = 57.6 - 54$$

$$d_T = 3.6 \text{ [mm]} \quad /$$

$$\rightarrow k_m = \frac{0.5774 \pi E d}{2 \ln \left(5 \frac{0.5774 d + 0.5 d}{0.5774 d + 2.5 d} \right)}$$

↗ 200 [GPa]

$$k_m = \frac{0.5774 \pi (200 \times 10^9) (0.01)}{2 \ln \left(5 \frac{0.5774 (0.0576) + 0.5 (0.01)}{0.5774 (0.0576) + 2.5 (0.01)} \right)}$$

$$k_{un} = 1,526 \times 10^9 \left[\frac{N}{m} \right]$$

21, from Table A-17 of 8-2

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

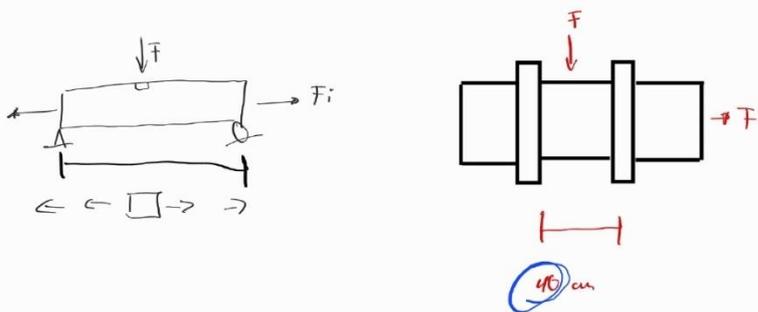
listed in Table A-17. Large fasten

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} = \frac{\overset{m^2}{(7.85 \times 10^{-5})} \overset{m^2}{(5.8 \times 10^{-5})} \overset{\frac{N}{m^2}}{(200 \times 10^9)}}{\underset{m^2}{(7.85 \times 10^{-5})} \underset{m}{(0.0036)} + \underset{m^2}{(5.8 \times 10^{-5})} \underset{m}{(0.054)}}$$

$$k_b = 2.66 \times 10^8 \left[\frac{N}{m} \right]$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_{un}} = \frac{2.66 \times 10^8}{2.66 \times 10^8 + 1.53 \times 10^7}$$

$$C = 0.15$$



$$\rightarrow M_{max} = F \cdot 0.2 \text{ [m]}$$

$$M_{max} = 422.53 \cdot 0.2 \text{ [Nm]}$$

$$M_{máx} = 168.85 \text{ [Nm]}$$

$$\rightarrow I_0 = \frac{\pi r^4}{4}$$

$$\rightarrow F_s = 1.2 \rightarrow F_i \text{ para conexiones no permanentes}$$

$$F_i = 0.75 F_p$$

$$\rightarrow F_p = A_t S_p \rightarrow \text{para M10 de paso grueso}$$

$$\text{tabla 8.1} \rightarrow A_t = 58 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_t = 58 \text{ mm}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2}$$

$$\rightarrow A_t = 5.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \quad A_{t4} = 11.5 \times 10^{-5}$$

$$9.8 \quad S_p = 650$$

$$\text{para 8.8 tabla 8.11}$$

$$\rightarrow S_p = 600 \text{ [MPa]}$$

$$\rightarrow F_p = 5.8 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]} \cdot 600 \text{ [MPa]} \rightarrow 5.8 \times 10^{-5} \cdot 650$$

$$F_p = 0.0348 \text{ [MN]}$$

$$F_p = 37.5 \text{ [kN]}$$

$$F_p = 34.8 \text{ [kN]}$$

$$\rightarrow F_{p3} = 11.5 \times 10^{-5} \cdot 600 = 69 \text{ [kN]}$$

$$\rightarrow F_i = 0.75 (34.8)$$

$$F_i = 26.1 \text{ [kN]}$$

$$F_{i2} = 28.13 \text{ [kN]}$$

$$F_{i3} =$$

$$\rightarrow \sigma_{flexión} = \frac{M c}{I} = \frac{168.85 \text{ [Nm]} \cdot r}{\frac{\pi \cdot r^4}{4}} = \frac{675.4}{\pi r^3} = \frac{168.85 \text{ [Nm]} \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi \cdot d^4}{64}}$$

$$\sigma_{tensión, flexión} = \frac{675.4}{\pi r^3}$$

$$\rightarrow \sigma_{tensión, axial} = \frac{F_i}{A} = \frac{26100}{\pi r^2}$$

$$\sigma_{t, A^2} = \frac{28130}{\pi r^2}$$

$$\rightarrow G_{\text{total}} = \frac{675.4}{\pi r^3} + \frac{26100}{\pi r^2}$$

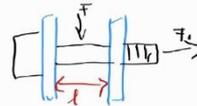
$$\rightarrow F_s = \frac{S_y}{G_{\text{total}}} = \frac{720}{\frac{675.4}{\pi r^3} + \frac{26100}{\pi r^2}} = 1.2$$

$$r = 8$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{720 \times 10^6}{\frac{675.4}{\pi r^3} + \frac{26100}{\pi r^2}} = 1.2$$

→ Usamos separación de 30 cm

$$l = 30 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.3 \text{ [m]}$$



→ 1era iteración perno 410 paso grueso de grado 8.8

$$\text{Tabla 8.1} \rightarrow A_t = 58 \text{ mm}^2, \frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2} = 0.000058 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$113.2 \quad 73.78 \quad 0.000078 \text{ m}^2$$

→ Momento máximo

$$F = 844.27 \text{ [N]} \quad \frac{l}{2} = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ [m]}$$

$$M_{\text{máx}} = F \cdot \frac{l}{2} = 844.27 \text{ [N]} \cdot 0.15 \text{ [m]}$$

$$M_{\text{máx}} = 126.64 \text{ [Nm]} \\ 63.38 \text{ [Nm]} \quad 31.66 \text{ [Nm]}$$

→ Precarga para conexión no permanente

$$F_p = A_t \cdot S_p$$

$$\rightarrow S_p \text{ para 8.8} = 600 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = 0.000058 \text{ [m}^2\text{]} \cdot 600 \text{ [MPa]} = 0.000078 \cdot 600$$

$$F_p = 0.0348 \text{ MN} = 34.8 \text{ [kN]} \rightarrow 46.8 \text{ [kN]}$$

$$F_i = 0.75 F_p = 0.75 (34.8 \text{ [kN]}) = 0.7 (46.8)$$

$$F_i = 26.1 \text{ [kN]} \quad 32.76 \text{ [kN]}$$

→ Esfuerzo de flexión

$$G_{\text{flexión}} = \frac{M c}{I} = \frac{M r}{\frac{\pi r^4}{4}} = \frac{4 M}{\pi r^3} = \frac{4 (126.64 \text{ [Nm]})}{\pi r^3}$$

$$G_{\text{flexión}} = \frac{80.57 \quad 40.31}{r^3} = \frac{163.24 \text{ [Nm]}}{r^3}$$

→ Esfuerzo axial por precarga

$$G_{\text{axial}} = \frac{F_i}{A} = \frac{26100 \text{ [N]}}{\pi r^2} = \frac{32760}{\pi r^2}$$

→ Esfuerzo resultante

$$G_T = G_{\text{flex}} + G_{\text{axial}} = \frac{163.24}{r^3} + \frac{26100}{\pi r^2}$$

→ Factor de seguridad = 1.2

$$\eta = 1.2 = \frac{S_y}{\sigma_T} = \frac{660 \times 10^6}{\frac{80.57 + 40.31}{163.24} + \frac{26200}{\pi r^2}} \quad 32760$$

$$\boxed{r = 7.4 \times 10^{-3} \text{ [m]}} \quad 6.218 \quad 5.36$$

$$r = 5.6 \times 10^{-3}$$

→ Para grado 10.2

→ Presión para conexión no permanente

$$F_p = A_t \cdot S_p$$

$$\rightarrow S_p \text{ para } 10.2 = 830 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = 0.000658 \text{ [m}^2\text{]} \cdot 830 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = 0.548 \text{ MN} = 548 \text{ [kN]}$$

$$F_i = 0.75 F_p = 0.75 (548 \text{ [kN]})$$

$$\boxed{F_i = 411 \text{ [kN]}}$$

→ Esfuerzo de flexión

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{M_c}{I} = \frac{M_r}{\frac{\pi r^4}{4}} = \frac{4M}{\pi r^3} = \frac{4(126.64 \text{ [Nm]})}{\pi r^3}$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{163.24 \text{ [Nm]}}{r^3}$$

→ Esfuerzo axial por presión

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{F_i}{A} = \frac{37000 \text{ [N]}}{\pi r^2}$$

→ Esfuerzo resultante

$$\sigma_T = \sigma_{\text{flex}} + \sigma_{\text{axial}} = \frac{163.24}{r^3} + \frac{37000}{\pi r^2}$$

→ Factor de seguridad = 1.2

$$\eta = 1.2 = \frac{940}{\sigma_T} = \frac{940}{\frac{40.31}{r^3} + \frac{27000}{\pi r^2}}$$

$$r = 6.75 \text{ [m]}$$

5.02

→ Para grado 12.9

→ Precarga para conexión no permanente

$$F_p = A_t \cdot S_p$$

$$\rightarrow S_p \text{ para } 12.9 = 970 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = 0.000658 \text{ [m}^2\text{]} \cdot 970 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = 0.638 \text{ MN} = 638 \text{ [kN]}$$

$$F_i = 0.75 F_p = 0.75 (638 \text{ [kN]})$$

$$F_i = 478.5 \text{ [kN]}$$

→ Esfuerzo de flexión

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{M c}{I} = \frac{M r}{\frac{\pi r^4}{4}} = \frac{4 M}{\pi r^3} = \frac{4 (126.64 \text{ [Nm]})}{\pi r^3}$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{161.24 \text{ [Nm]}}{r^3}$$

→ Esfuerzo axial por precarga

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{F_i}{A} = \frac{478500 \text{ [N]}}{\pi r^2}$$

→ Esfuerzo resultante

$$\sigma_T = \sigma_{\text{flex}} + \sigma_{\text{axial}} = \frac{161.24}{r^3} + \frac{478500}{\pi r^2}$$

→ Factor de seguridad = 1.2

$$\eta = 1.2 = \frac{1100}{\sigma_T} = \frac{1100 \times 10^6}{\frac{163.24}{r^3} + \frac{42156}{\pi r^2}}$$

$$\boxed{r = 6.46 \text{ [m]}}$$

→ Con precarga de 0.7

→ Precarga para conexión no permanente

$$F_p = A_t \cdot S_p$$

$$\rightarrow S_p \text{ para } 12.9 = 970 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = 0.000658 \text{ [m}^2\text{]} \cdot 970 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = 0.639 \text{ MN} = 639 \text{ [kN]}$$

$$F_i = 0.7 F_p = 0.7 (639 \text{ [kN]})$$

$$\boxed{F_i = 447.3 \text{ [kN]}}$$

→ Esfuerzo de flexión

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{M c}{I} = \frac{M \cdot r}{\frac{\pi r^4}{4}} = \frac{4 M}{\pi r^3} = \frac{4 (126.64 \text{ [Nm]})}{\pi r^3}$$

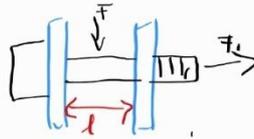
$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{163.24 \text{ [Nm]}}{r^3}$$

→ Esfuerzo axial por precarga

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{F_i}{A} = \frac{447300 \text{ [N]}}{\pi r^2}$$

→ Esfuerzo resultante

$$\sigma_T = \sigma_{\text{flex}} + \sigma_{\text{axial}} = \frac{163.24}{r^3} + \frac{447300}{\pi r^2}$$



Para una separación de 30 mm entre las 2 placas:

→ Usamos separación de 30 mm

$$d = 30 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 0.03 \text{ [m]}$$

→ Perno con: $D = 11.2 \text{ [mm]}$
 $A_t = 73.78 \text{ [mm}^2] = 0.00007378 \text{ [m}^2]$

→ Momento máximo:

$$F = 211.07 \text{ [N]}$$

$$M_{\text{max}} = F \cdot \frac{l}{2} = 211.07 \text{ [N]} \cdot \frac{0.03 \text{ [m]}}{2} = 3.167 \text{ [Nm]}$$

→ Precarga para conexión no permanente

Sp para grado 8.8

$$S_p = 600 \text{ [MPa]}$$

$$F_p = A_t \cdot S_p = 0.00007378 \text{ [m}^2] \cdot 600 \times 10^6 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$F_p = 44268 \text{ [N]}$$

$$F_i = 0.75 F_p = 0.75 [44268] \text{ [N]}$$

$$F_i = 33201$$

→ Esfuerzo de flexión:

$$\sigma_{\text{flex}} = \frac{M_{\text{max}} \cdot c}{I} = \frac{3.167 \text{ [Nm]} \cdot \checkmark}{\frac{\pi \cdot d^4}{4}} = \frac{12.67}{\pi \cdot d^3}$$

Esfuerzo de tensión:

$$\sigma_{\text{tens}} = \frac{F}{A} = \frac{33201}{\pi \cdot d^2}$$

Elemento infinitesimal:

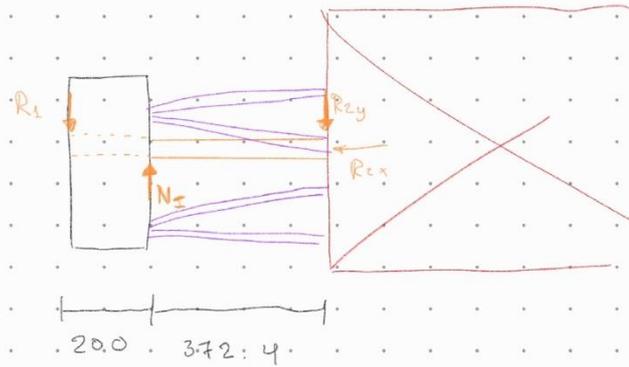


$$\sigma_T = \sigma_{\text{flex}} + \sigma_{\text{tens}} = \frac{12.67}{\pi \cdot d^3} + \frac{33201}{\pi \cdot d^2}$$

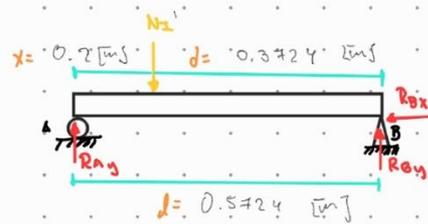
Von Mises para $\eta = 1.2 \rightarrow S_y = 660 \text{ [MPa]}$ para 8.8

$$\eta = 1.2 = \frac{S_y}{\sigma_{\text{Tot}}} = \frac{660 \times 10^6}{\frac{12.67}{\pi \cdot d^3} + \frac{33201}{\pi \cdot d^2}} \rightarrow d = 4.56 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

∴ es el perno adecuado



La fuerza N_I se debe para los 4 tubos que va a tener cada flanco: 0°



$$N_I = 1527.6 \text{ [N]}$$

$$\frac{N_I}{4} = \frac{1527.6}{4}$$

$$\frac{N_I}{4} = 381.9 \text{ [N]} = N_z'$$

$$\rightarrow \sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = N_z'$$

$$R_{Ay} = N_z' - R_{By}$$

$$R_{Ay} = 381.9 - 133.44$$

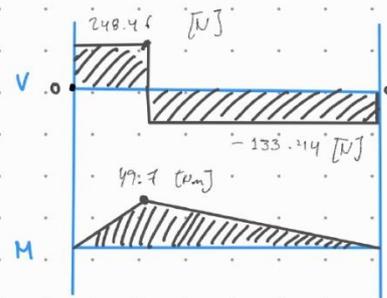
$$R_{Ay} = 248.46 \text{ [N]}$$

$$\rightarrow \sum M_A = 0$$

$$-N_z' \cdot x + R_{By} \cdot l = 0$$

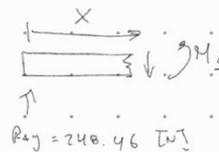
$$= (381.9)(0.2) + R_{By}(0.5724) = 0$$

$$R_{By} = 133.44 \text{ [N]}$$



→ Analizamos por secciones:

$$\rightarrow 0 \leq x \leq 0.2$$

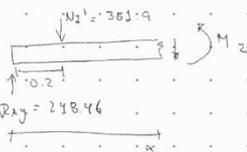


$$\sum M_x = 0$$

$$M_x - R_{Ay} \cdot x = 0$$

$$M_x = R_{Ay} \cdot x = 248.46 \cdot x$$

$$\rightarrow 0,2 \leq x \leq 0,5724$$



$$\sum N_x = 0$$

$$-R_{Ay}x + N_1'(x - 0,2) + M_2 = 0$$

$$M_2 = R_{Ay}x - N_1'x + N_1'(0,2)$$

$$M_1 = 248,46x - 381,9x + 381,9(0,2)$$

$$M_2 = -133,44x + 76,38$$

→ Evaluamos:

$$\rightarrow N_1(\dot{0}) = 0 \text{ [N]}$$

$$M_1(0,2) = 248,46(0,2) = 49,7 \text{ [Nm]}$$

$$\rightarrow M_2(0,2) = -133,44(0,2) + 76,38 = 49,7 \text{ [Nm]}$$

$$M_2(0,5724) = -133,44(0,5724) + 76,38 = 0 \text{ [Nm]}$$

$$\therefore M_{\max} = 49,7 \text{ [Nm]}$$

→ Se dimensiona el tubo para la masa

$$\rightarrow S_y = 240 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I} = \frac{M_{\max}}{S} \rightarrow S = \frac{I}{c}$$

$$\rightarrow \eta = 1,2 = \frac{S_y}{\sigma_{\text{flex}}}$$

$$\rightarrow c = \frac{d_{\text{ext}}}{2}$$

$$S = \frac{\pi}{64} \left(d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4 \right)$$

$$1,2 = \frac{240 \times 10^6}{49,7} \rightarrow \text{1er it: } 1/2^{\text{da}} \text{ sch 4}$$

$$\frac{\pi}{64} \left(d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4 \right) \cdot \frac{d_{\text{ext}}}{2} \quad \leftarrow d_{\text{int}} = \frac{3}{4} d_{\text{ext}}$$

$$1,2 = \frac{240 \times 10^6}{49,7} \cdot \frac{\pi}{64} \left(d_{\text{ext}}^4 - \left(\frac{3}{4} d_{\text{ext}} \right)^4 \right) \cdot \frac{d_{\text{ext}}}{2}$$

$$\rightarrow d_{\text{ext}} = 0,015 \text{ [m]} = 1,5 \text{ cm}$$

→ Para $3/4^{\text{da}}$ sch 40

$$\eta = \frac{240 \times 10^6}{49,7} \cdot \frac{\pi}{64} \left((0,015)^4 - (0,01125)^4 \right) \cdot \frac{0,015}{2}$$

$$\eta = 5,57$$

9 ANEXO E: DIAGRAMAS CORTANTE Y MOMENTO EN ELEMENTOS BEAM

. En las siguientes figuras, se pueden apreciar los diagramas de cortante y momento para el elemento crítico del Front Hoop. Como se mencionó en la sección del análisis de elementos de tipo Beam, se vincula al cortante en la dirección 1 con el momento en la dirección 2.

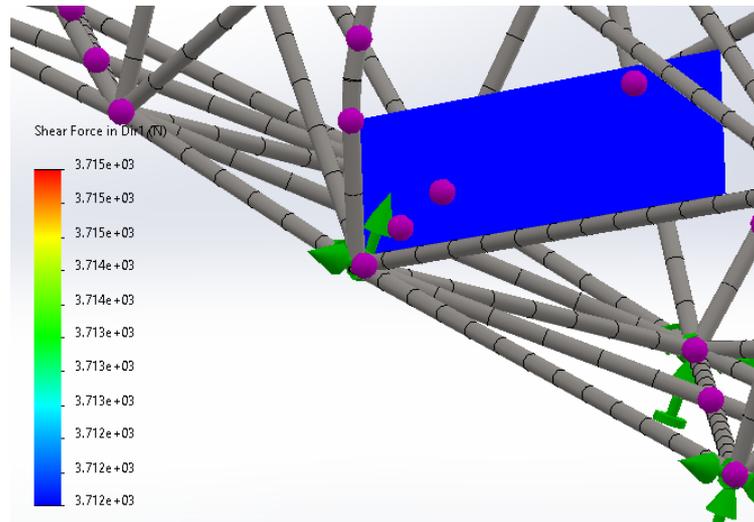


Diagrama de Cortante elemento estructural

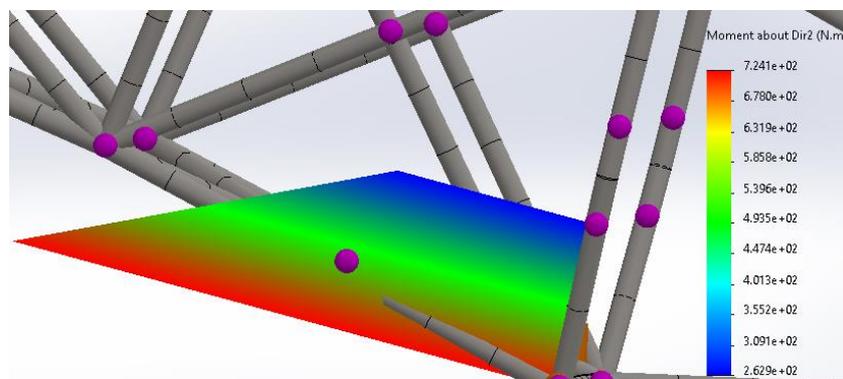
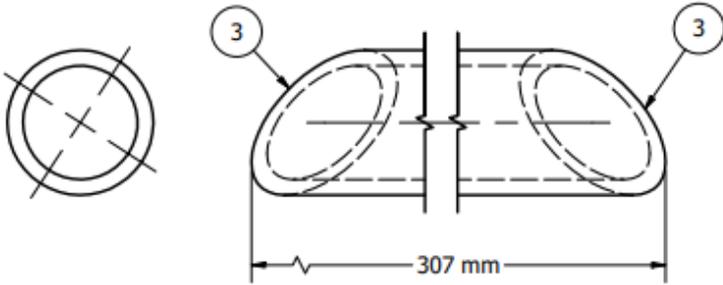


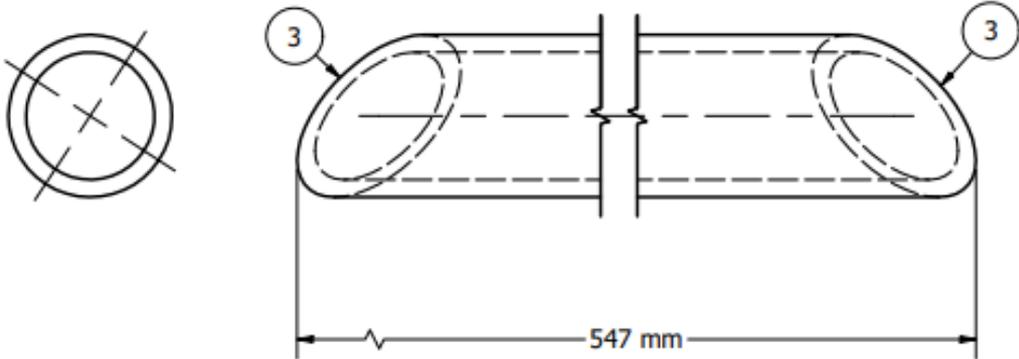
Diagrama de Momento elemento estructural.

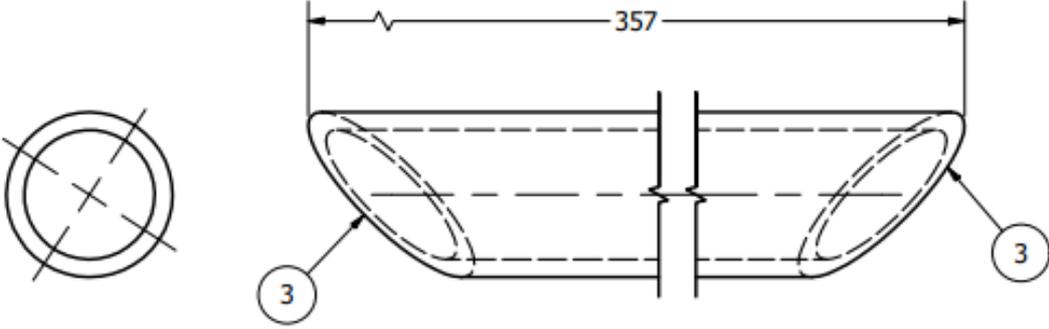
10 ANEXO F: HOJA DE PROCESO/PLANTILLA

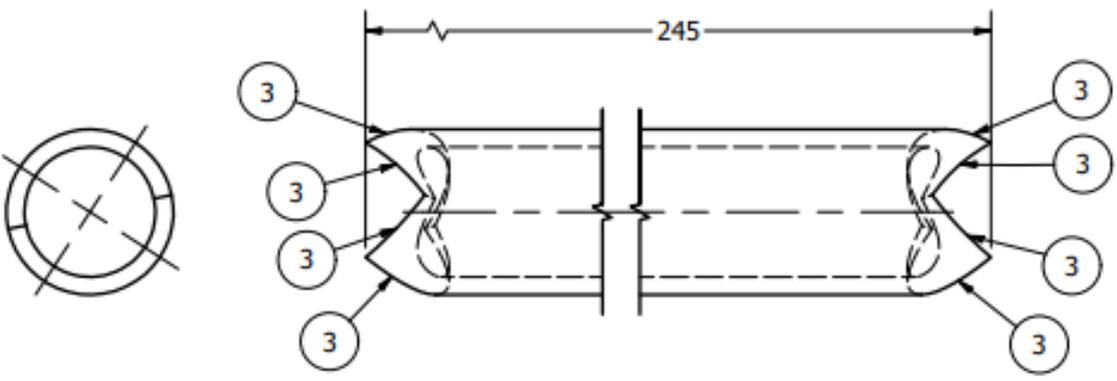
↓

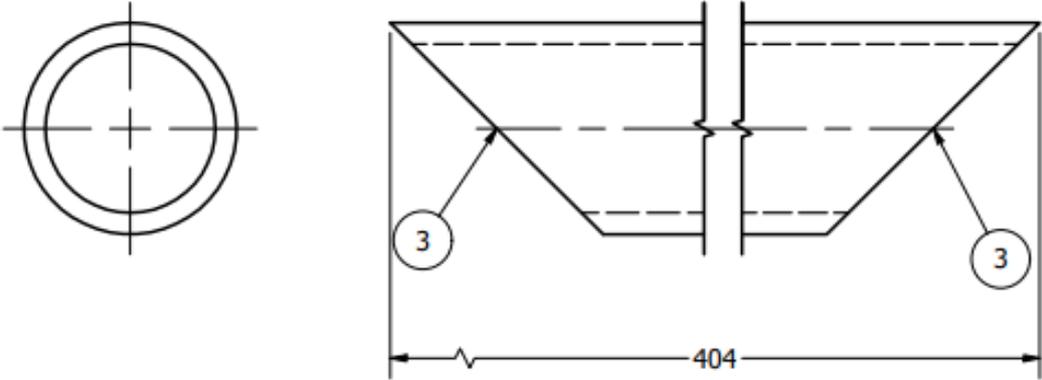
 <p>UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO</p>	HOJA DE PROCESOS			Hoja N°: 6 Escala: 1:1	
				Fecha : 28/3/2023	
				Tamaño en Bruto: 3/4" CED40	
				Cantidad de Piezas: 2	
	Material: Acero ASTM A53 Grado B				
Codigo de Pieza: TRC40EP-1					
Conjunto: Chasis Formula SAE					
Pieza: Miembro Estructural Posterior Transversal					
					
↔					↔
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Voltage 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		10 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 45° de 3/4" a 3/4"	5 min	
Tiempos Totales				8 min	10 min
Tiempo Total de Manufactura				18 min	

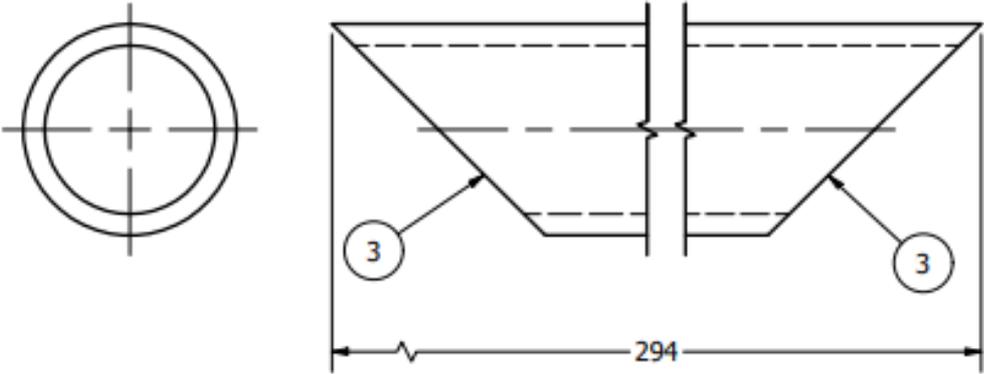
↑

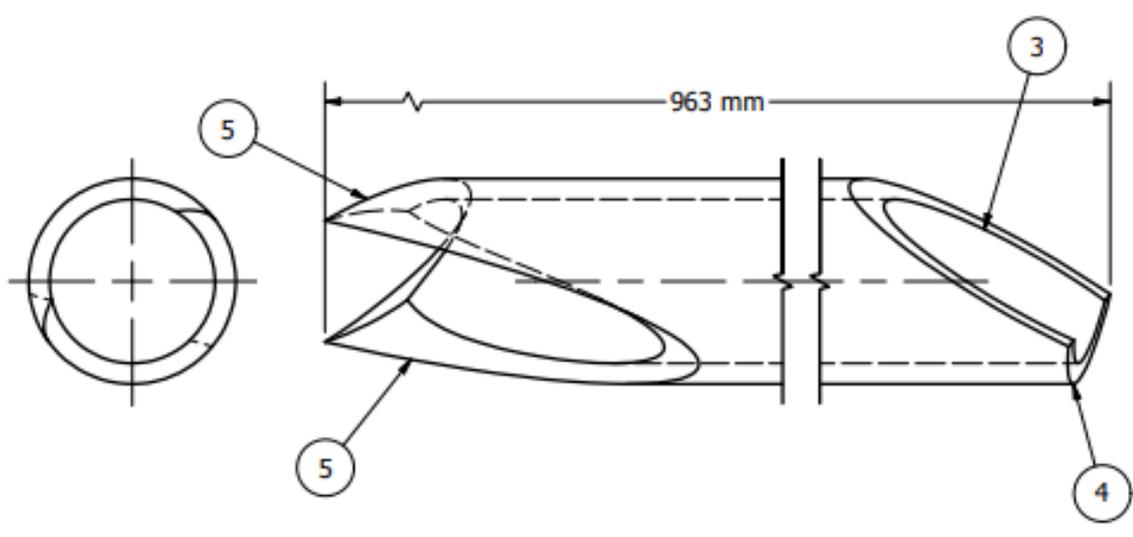
		<h1>HOJA DE PROCESOS</h1>			Hoja N°: 7 Escala: 1:1	
					Fecha : 28/3/2023	
					Tamaño en Bruto: 3/4" CED40	
					Cantidad de Piezas: 2	
Material: Acero ASTM A53 Grado B		Codigo de Pieza: TRC40EP-2		Conjunto: Chasis Formula SAE		
Pieza: Miembro Estructural Posterior Transversal						
						
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra	
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Voltage 120V	3 min		
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		10 min	
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 45° de 3/4" a 3/4"	5 min		
Tiempos Totales				8 min	10 min	
Tiempo Total de Manufactura				18 min		

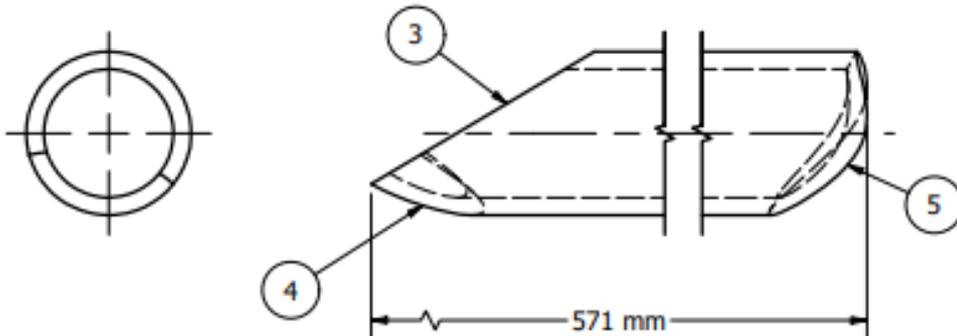
		<h1 style="text-align: center;">HOJA DE PROCESOS</h1>			Hoja N°: 8 Escala: 1:1	
					Fecha : 28/3/2023	
					Tamaño en Bruto: 3/4" CED40	
					Cantidad de Piezas: 2	
Material: Acero ASTM A53 Grado B		Codigo de Pieza: TRC40EP-3		Conjunto: Chasis Formula SAE		
Pieza: Miembro Estructural Posterior Vertical 2						
						
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra	
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Voltage 120V	3 min		
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		10 min	
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 45° de 3/4" a 3/4"	5 min		
Tiempos Totales				8 min	10 min	
Tiempo Total de Manufactura				18 min		

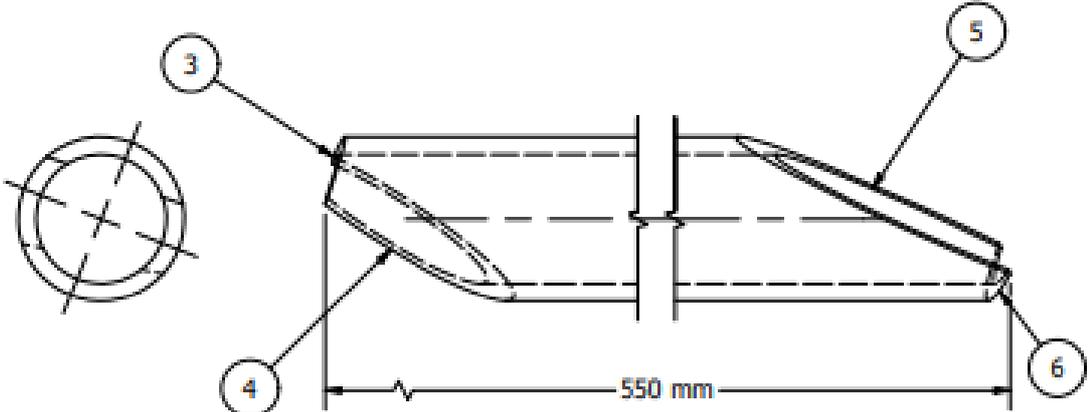
		<h1>HOJA DE PROCESOS</h1>		Hoja N°: 9 Escala: 1:1	
				Fecha : 28/3/2023	
				Tamaño en Bruto: 3/4" CED40	
				Cantidad de Piezas: 2	
		Material: Acero ASTM A53 Grado B			
		Codigo de Pieza: TRC40EP-4			
		Conjunto: Chasis Formula SAE			
		Pieza: Miembro Estructural Posterior Transversal 2			
					
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Voltage 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		10 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 90° de 3/4" a 3/4"	5 min	
Tiempos Totales				8 min	10 min
Tiempo Total de Manufactura				18 min	

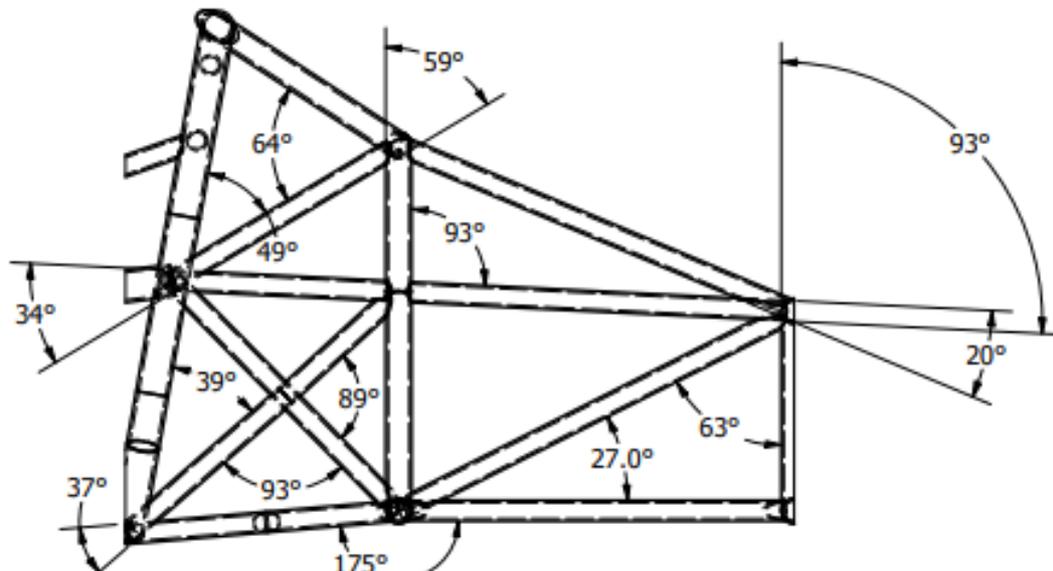
		HOJA DE PROCESOS			Hoja N°: 4	Escala: 1:1	
					Fecha : 28/3/2023		
		Material: Acero ASTM A53 Grado B		Codigo de Pieza: TRC40FB-1		Tamaño en Bruto: 1" CED40	
		Conjunto: Chasis Formula SAE		Pieza: Miembro Transversal Front Bulkhead		Cantidad de Piezas: 2	
							
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra		
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Voltage 120V	3 min			
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		10 min		
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 45° de 1" a 1"	5 min			
Tiempos Totales				8 min	10 min		
Tiempo Total de Manufactura				18 min			

		<h1>HOJA DE PROCESOS</h1>		Hoja N°: 5	Escala: 1:1
				Fecha : 28/3/2023	
		Material: Acero ASTM A53 Grado B		Cantidad de Piezas: 2	
		Codigo de Pieza: TRC40FB-2			
		Conjunto: Chasis Formula SAE			
		Pieza: Miembro Vertical Front Bulkhead			
					
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Voltage 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		10 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 45° de 1" a 1"	5 min	
Tiempos Totales				8 min	10 min
Tiempo Total de Manufactura				18 min	

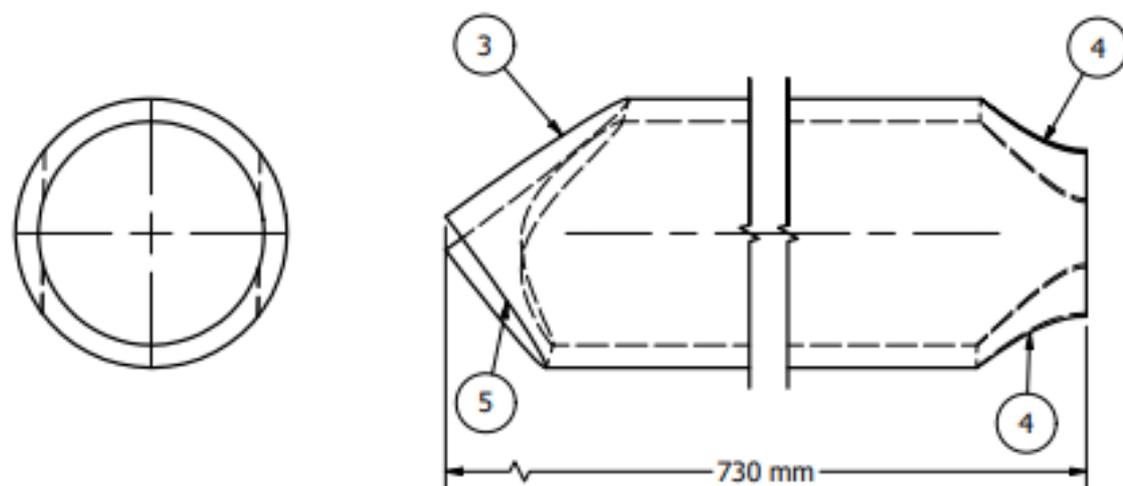
		<h1 style="text-align: center;">HOJA DE PROCESOS</h1>		Hoja N°:10 Escala: 1:1	
				Fecha : 28/3/2023	
				Tamaño en Bruto: 1" CED40	
				Cantidad de Piezas: 2	
Material: Acero ASTM A53 Grado B					
Codigo de Pieza: TRC40BM-1					
Conjunto: Chasis Formula SAE					
Pieza: Soporte Principal Main Hoop					
					
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Potencia 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		15 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 30°, de 1" a 3/4"	5 min	
4	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 117° de 1" a 3/4"	5 min	
5	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 30°, de 1" a 1"	5 min	
Tiempos Totales				18 min	15 min
Tiempo Total de Manufactura				33 min	

		HOJA DE PROCESOS		Hoja N°:11	Escala: 1:1	
				Fecha : 28/3/2023		
		Material: Acero ASTM A53 Grado B		Tamaño en Bruto: 3/4" CED40		Cantidad de Piezas: 2
		Codigo de Pieza: TRC40BM-2		Conjunto: Chasis Formula SAE		Pieza: Soporte Secundario Main Hoop
						
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra	
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Potencia 120V	3 min		
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		15 min	
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 30°, de 3/4" a 1"	5 min		
4	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 45° de 3/4" a 1"	5 min		
5	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 62°, de 3/4" a 1"	5 min		
Tiempos Totales				18 min	15 min	
Tiempo Total de Manufactura				33 min		

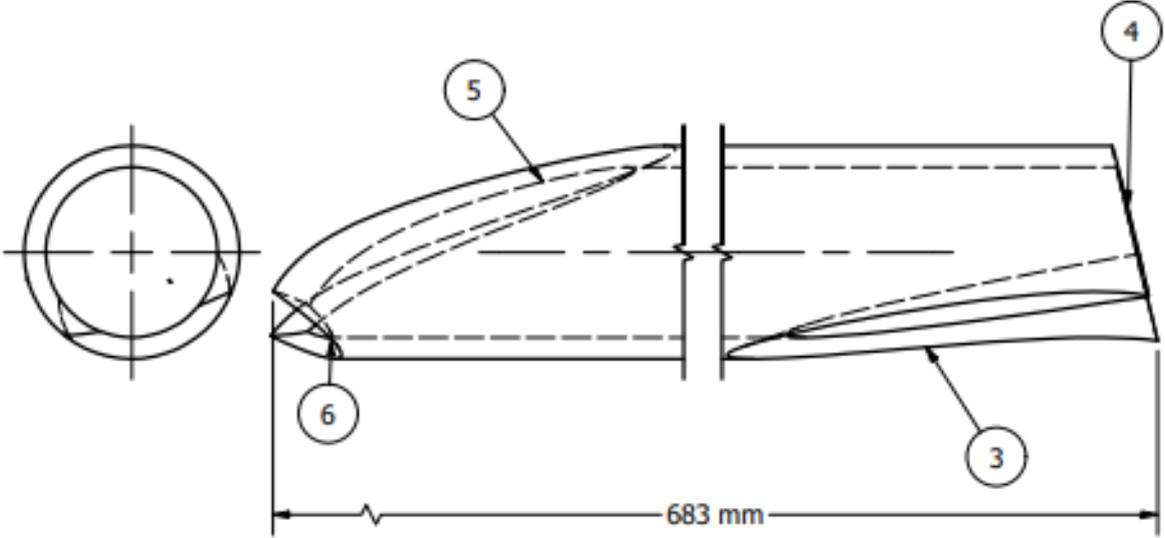
		<h1>HOJA DE PROCESOS</h1>		Hoja N°:13	Escala: 1:1
				Fecha : 28/3/2023	
				Tamaño en Bruto: 3/4" CD40	
				Cantidad de Piezas: 2	
Material: Acero ASTM A53 Grado B					
Codigo de Pieza: TRC40BM-3					
Conjunto: Chasis Formula SAE					
Pieza: Soporte Cuarto Main Hoop					
					
	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Potencia 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		15 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 66°, de 3/4" a 1"	5 min	
4	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 70° de 3/4" a 1"	5 min	
5	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 34°, de 3/4" a 3/4"	5 min	
6	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 25°, de 3/4" a 3/4"	5 min	
Tiempos Totales				23 min	15 min
Tiempo Total de Manufactura				38 min	

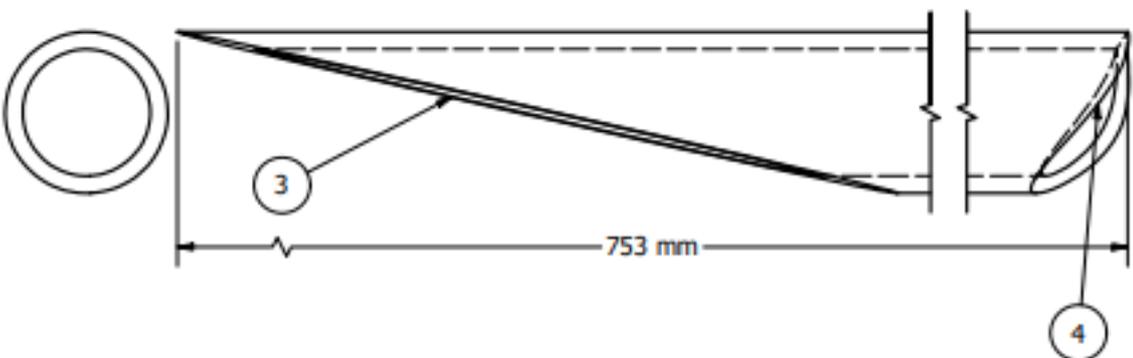
		<h1>HOJA DE PROCESOS</h1>		Hoja N°:14	Escala: 1:1
				Fecha : 28/3/2023	
		Material: Acero ASTM A53 Grado B		Tamaño en Bruto: CED40	
		Codigo de Pieza: TRC40FHBH-1		Cantidad de Piezas: 9	
		Conjunto: Chasis Formula SAE			
		Pieza: Estructura soporte Front Hoop - Bulk Head			
					
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Potencia 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		15 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Angulos de Corte Especificados en el Esquema	120 min	
Tiempos Totales				123 min	15 min
Tiempo Total de Manufactura				138 min	

 <p>UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO</p>	HOJA DE PROCESOS		Hoja N°: 1	Escala: 1:1
			Fecha : 28/3/2023	
			Tamaño en Bruto: 1 1/4 " CED40	
			Cantidad de Piezas: 2	
Material: Acero ASTM A53 Grado B				
Codigo de Pieza: TRC40SI-1				
Conjunto: Chasis Formula SAE				
Pieza: Miembro Superior Zona de Impacto Lateral				



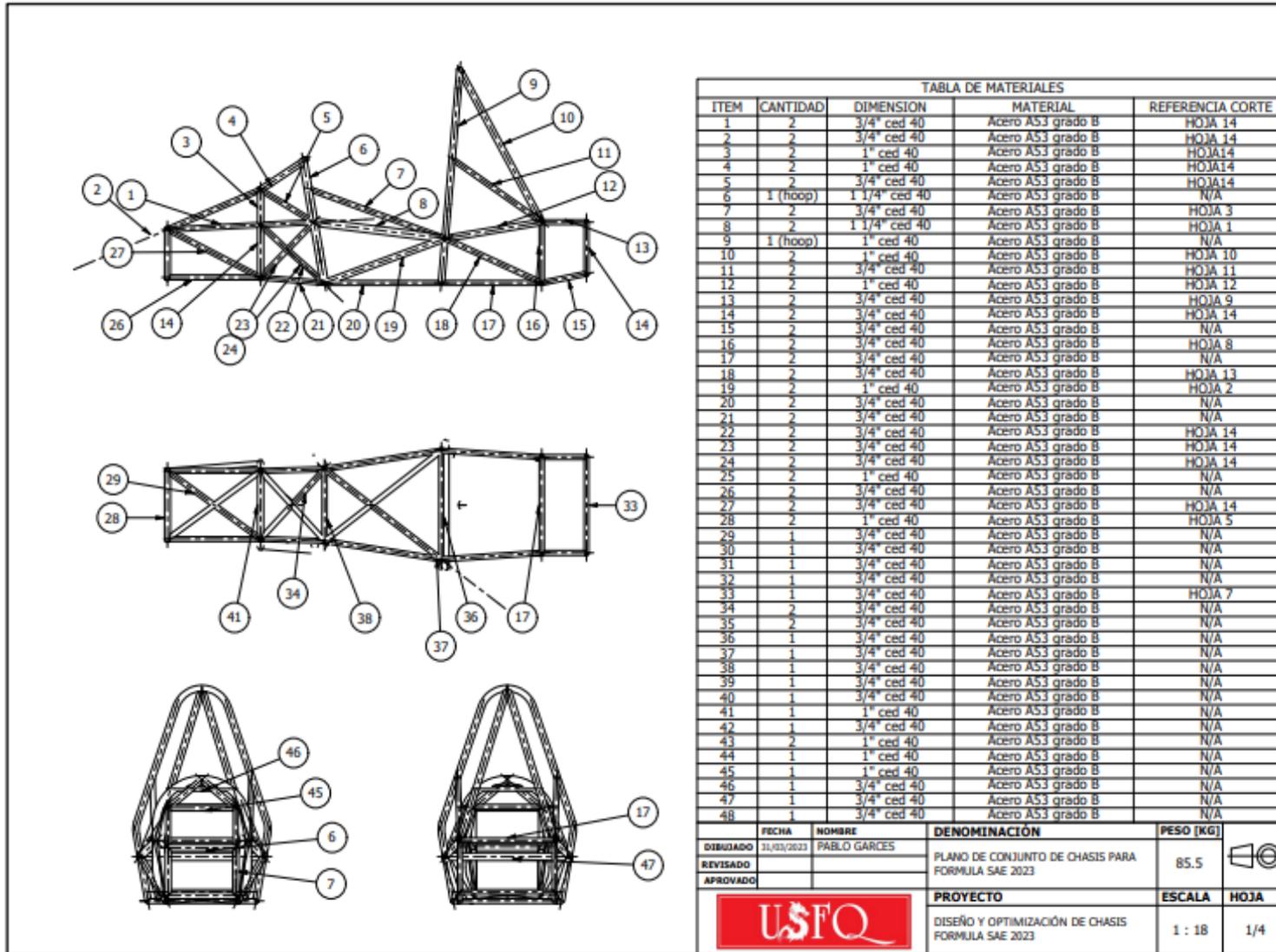
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Potencia 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para corte a 90°, 73° y 107°		15 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 107°, de 1.25" a 1.25"	5 min	
4	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 90° de 1.25 " a 1"	5 min	
5	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 73°, de 1.25" a 1.25"	5 min	
Tiempos Totales				18 min	15 min
Tiempo Total de Manufactura				33 min	

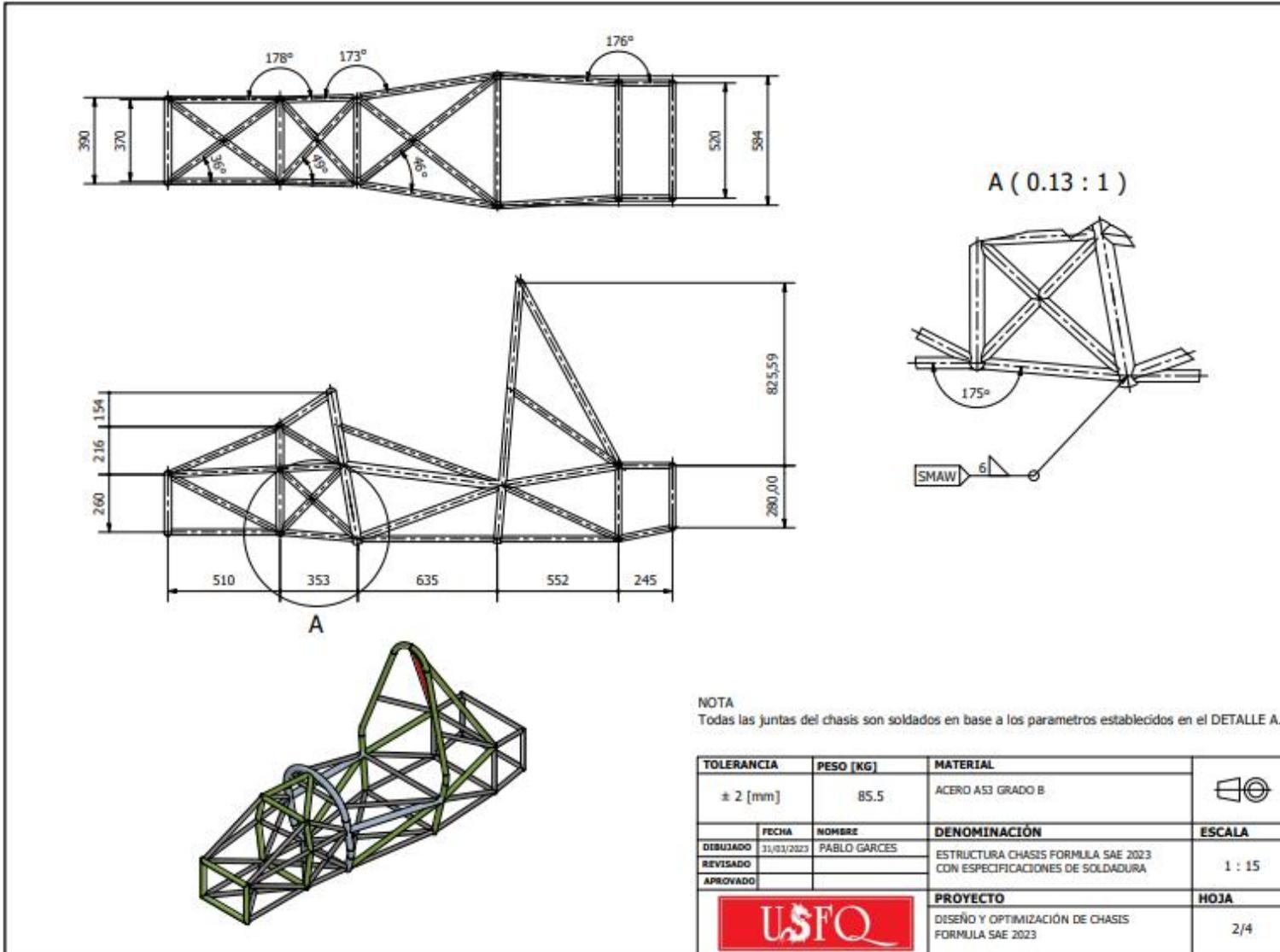
		<h1>HOJA DE PROCESOS</h1>		Hoja N°: 2	Escala: 1:1
				Fecha : 28/3/2023 Tamaño en Bruto: 1" CED40 Cantidad de Piezas: 2	
Material: Acero ASTM A53 Grado B		Codigo de Pieza: TRC40SI-2		Conjunto: Chasis Formula SAE	
Pieza: Miembro Diagonal Zona de Impacto Lateral					
					
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Potencia 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		15 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 20°, de 1" a 1"	5 min	
4	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 77° de 1" a 1.25"	5 min	
5	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 27°, de 1" a 1.25"	5 min	
6	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 64°, de 1" a 1"	5 min	
Tiempos Totales				23 min	15 min
Tiempo Total de Manufactura				38 min	

		<h1 style="text-align: center;">HOJA DE PROCESOS</h1>		Hoja N°: 3 Escala: 1:1	
				Fecha : 28/3/2023	
				Tamaño en Bruto: 34" CED40	
				Cantidad de Piezas: 2	
		Material: Acero ASTM A53 Grado B			
		Codigo de Pieza: TRC40SI-3			
		Conjunto: Chasis Formula SAE			
		Pieza: Soporte Diagonal Front Hoop a Miembro Superior Zona IL			
					
Operación	Descripción	Herramienta	Parámetros	Tiempo de Maquina	Tiempo Mano de Obra
1	Preparacion Herramientas	Tronzadora	Disco 14" Vel Corte 4000 rpm Potencia 120V	3 min	
2	Plantillas para corte boca de pez a diferentes angulos	Escuadra, regla, tijeras y lapiz	Plantila para cortes		15 min
3	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 13° de 3/4" a 1"	5 min	
4	Corte Boca de Pez	Tronzadora	Corte a 67° de 3/4" a 1.25"	5 min	
Tiempos Totales				13 min	15 min
Tiempo Total de Manufactura				28 min	

Plantillas Corte Boca de Pez	
Mesa Posterior Inferior	
Cruz Posterior	
Tubo Diagonal Posterior	
<p>Nota: Estas plantillas son un ejemplo ilustrativo de cómo se deben de ver las plantillas previas a su uso. Es importante que la impresión contenga las líneas de centro para alinear las plantillas de manera correcta y no tener cortes desfazados. Las plantillas se obtienen del programa SolidWorks, usando la función Sheet Metal. Para ser impresas posteriormente reduciendo el riesgo de cortes con ángulos equivocados o curvas no deseadas.</p>	

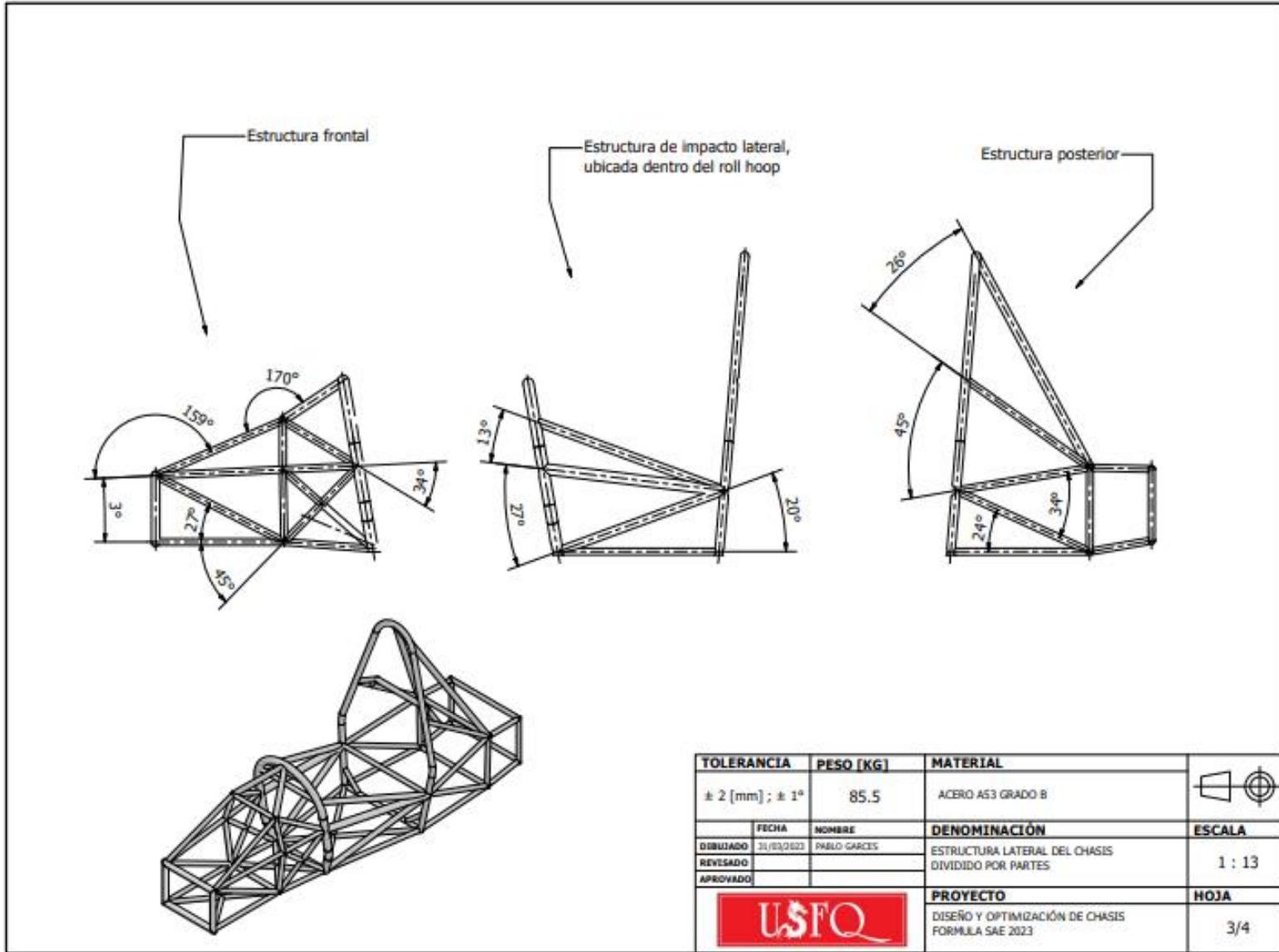
11 ANEXO G: PLANOS

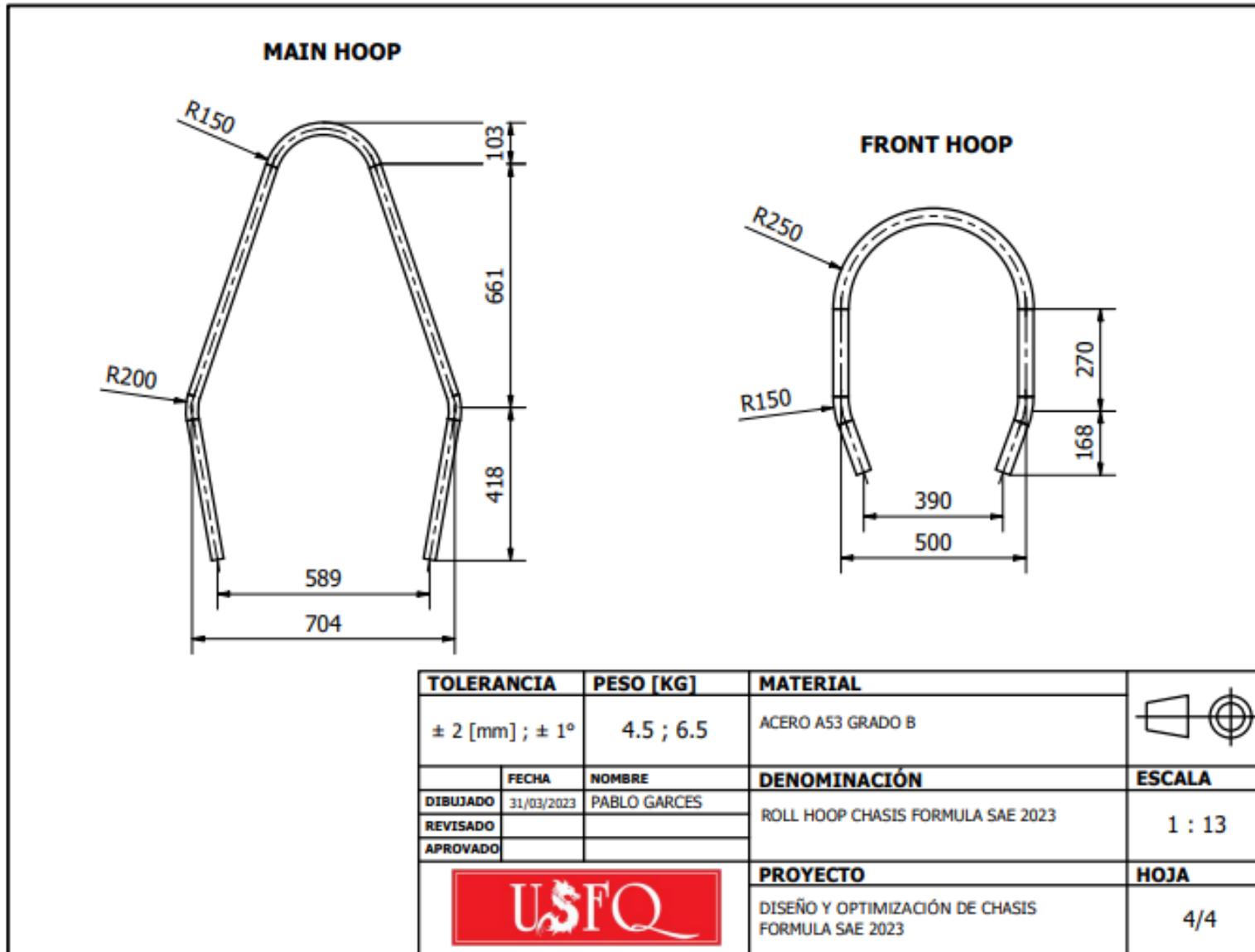




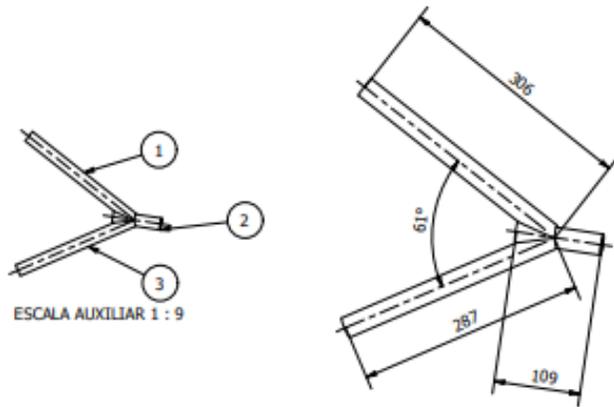
NOTA
 Todas las juntas del chasis son soldadas en base a los parametros establecidos en el DETALLE A.

TOLERANCIA	PESO (KG)	MATERIAL	
± 2 [mm]	85,5	ACERO A53 GRADO B	
FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
DEBUJADO 31/03/2023	PABLO GARCÉS	ESTRUCTURA CHASIS FORMULA SAE 2023 CON ESPECIFICACIONES DE SOLDADURA	1 : 15
REVISADO			
APROVADO			
		PROYECTO	HOJA
		DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE CHASIS FORMULA SAE 2023	2/4

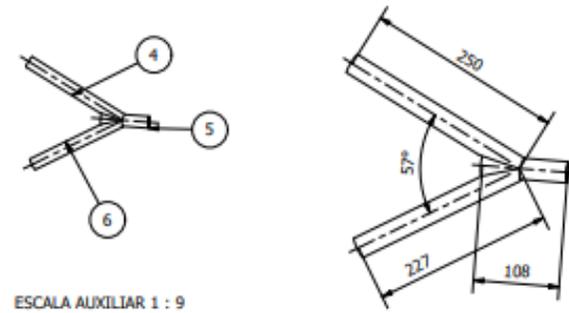




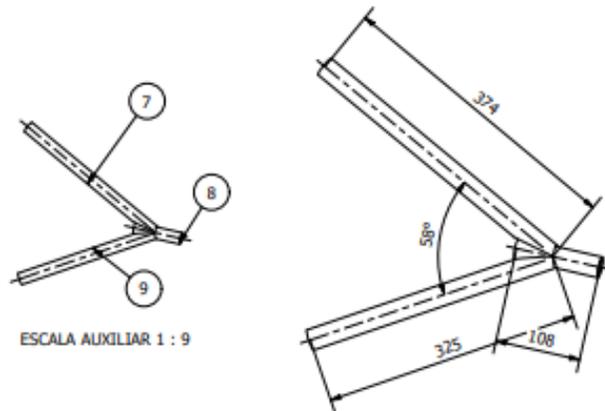
MESA DELANTERA SUPERIOR



MESA POSTERIOR INF/SUP



MESA DELANTERA INFERIOR

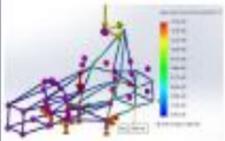
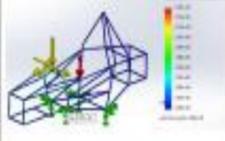
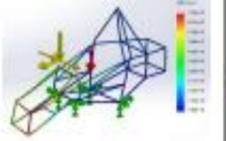
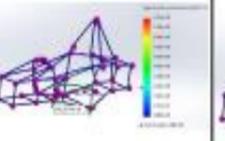
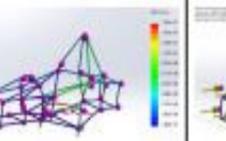
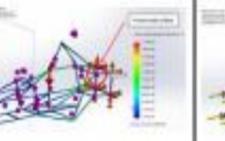
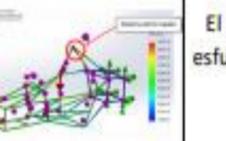
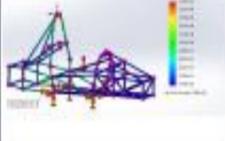
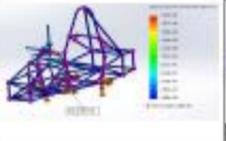
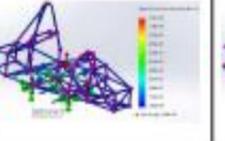
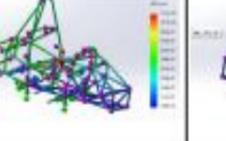
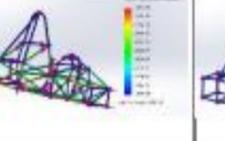
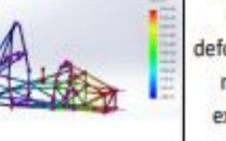
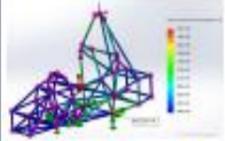
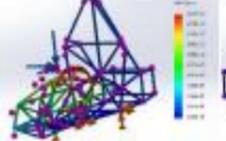
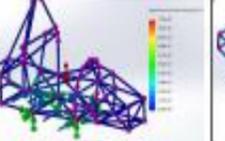
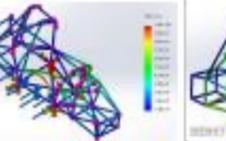
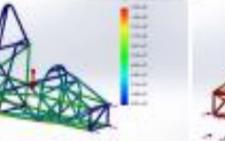
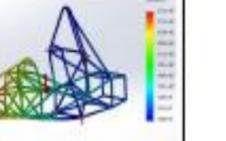


LISTA DE PARTES

ITEM	CANTIDAD	DIMENSION/MATERIAL
1	2	0.75" CED 40 / A53
2	2	0.75" CED 40 / A53
3	2	0.75" CED 40 / A53
4	4	0.75" CED 40 / A53
5	4	0.75" CED 40 / A53
6	4	0.75" CED 40 / A53
7	2	0.75" CED 40 / A53
8	2	0.75" CED 40 / A53
9	2	0.75" CED 40 / A53

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	TOLERANCIA	
DEBUCADO	31/03/2023	PABLO GARCÉS	PLANO DE CONJUNTO DE MESAS PARA CHASIS PARA FORMULA SAE 2023	1 [cm]	
REVISADO					
APROBADO					
			PROYECTO	ESCALA	HOJA
			DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE CHASIS FORMULA SAE 2023	1 : 5	1/1

12 ANEXO H: CUADRO COMPARATIVO DISEÑO CHASIS

Diseño	Selección de diseño de chasis								Problema	Solución
	Carga Main Hoop		Carga Front Hoop		Carga Lateral		Carga Frontal			
	Esfuerzos	Desplazamientos	Esfuerzos	Desplazamientos	Esfuerzos	Desplazamientos	Esfuerzos	Desplazamientos		
1	No aprobado	Aprobado	No aprobado	Aprobado	No aprobado	Aprobado	No aprobado	Aprobado	El diseño planteado no cumplía con el esfuerzo mínimo requerido para ninguna de las simulaciones.	Se implementaron mas tubos para de esta manera tener una mejor distribución de los esfuerzos aplicados en el chasis.
										
2	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	El diseño planteado cumplió con no superar el esfuerzo máximo y la deformación máxima, pero el main hoop no era posible fabricarlo ya que no existían las herramientas necesarias.	Se rediseñó el Main hoop con una forma más simple y con ángulos que no fueran tan complejos para poder fabricar el mismo.
										
3	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	N/A	El diseño final cumplió con todo lo establecido por el manual de la SAE y fue seleccionado para la fabricación.
										

13 ANEXO I: MEDIDAS REALES CHASIS TUBULAR

Medida Real Main Hoop	Medida Real Front Hoop	Medida Real Largo Total	Medida Real Distancia Entre Ejes	Medida Real Impacto Lateral	Medida Real BulkHead
		