



Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco.

División de ciencias básicas e ingeniería

Licenciatura: Ingeniería Mecánica.

Nombre del Proyecto de Integración (PI): Diseño y construcción del chasis monocasco para el vehículo BAJA SAE UAM 2024.

Modalidad: Proyecto Tecnológico.

Datos de los alumnos:

Nombre: Santiago Ríos Gabriel

Matrícula: 2203032420

Nombre: Gutiérrez Contreras Carlos

Matrícula: 2182002957

Asesores:

Asesor: Ing. Romy Pérez Moreno.

Asesor: M. en C. Gilberto Domingo Álvarez Miranda

Trimestre Lectivo: 240

Ciudad de México, enero de 2025

Declaratoria

Yo, Ing. Romy Pérez Moreno, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Romy Pérez Moreno', written over a horizontal line.

Ing. Romy Pérez Moreno.

JSULA .

Declaratoria

Yo, M. en C. Gilberto Domingo Álvarez Miranda, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



M. en C. Gilberto Domingo Álvarez Miranda.

Declaratoria

Yo, Gutiérrez Contreras Carlos., doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Gutiérrez Contreras Carlos.

Declaratoria

Yo, Santiago Ríos Gabriel., doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Santiago Ríos Gabriel.

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA



PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta:

Fecha:

PI-A-MEC

DATOS DEL ALUMNO

Nombre:

Matrícula:

Correo personal:

Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa:

No. económico: Adscripción/Departamento/Sección:

Área de investigación:

Correo institucional:

Firma

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:

No. económico/Teléfono: Adscripción/Puesto:

Área de investigación/Departamento:

Correo electrónico:

Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

- Proyecto tecnológico
 Proyecto de investigación
 Estancia profesional
 Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS MONOCASCO PARA EL VEHICULO BAJA SAE UAM 2024.

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: No SI Clave (?):

OBJETIVO GENERAL

DISEÑAR Y CONSTRUIR EL CHASIS MONOCASCO PARA EL VEHÍCULO TODOTERRENO 4X4 PARA LA COMPETENCIA BAJA SAE MÉXICO 2024.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="SI"/>	<input type="text" value="Inicio"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	<input type="text" value="24P"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	<input type="text" value="24O"/>

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

Ing. Romy Pérez Moreno

Sello de la Coordinación de Estudios

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: Fecha: PI-A-MEC

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Matrícula:

Correo personal:



Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa:

No. económico: Adscripción/Departamento/Sección:

Área de investigación:

Correo institucional:



Firma

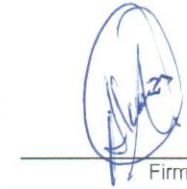
COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:

No. económico/Teléfono: Adscripción/Puesto:

Área de investigación/Departamento:

Correo electrónico:



Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico Proyecto de investigación Estancia profesional Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO


Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: No SI Clave (?):

OBJETIVO GENERAL

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="SI"/>	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	<input type="text" value="24P"/> Término
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	<input type="text" value="24C"/>

Nombre y firma del Coordinador de Estudios



Ing. Romy Pérez Moreno



Sello de la Coordinación de Estudios

Dedicatorias:

A mi madre, por su cariño, amor y paciencia desde el inicio para no rendirme y estar más cerca de mis metas, a mi padre, por su ejemplo, sacrificio y determinación para que yo siga en el camino. Ambos son un gran motivo para que nunca renuncie a mis sueños, nunca será suficiente el tiempo ni las palabras para expresar mi eterno agradecimiento, este pequeño logro principalmente es causa de ustedes.

Para mi familia que me ha apoyado con palabras de ánimo y deseado lo mejor, las palabras son un gran impulso cuando todo parece ir mal, muchas gracias por estar ahí, por el cariño que me han tenido todo este tiempo.

A los amigos que estuvieron y están, durante esta etapa de la universidad, compartiendo vivencias y recuerdos que se quedarán en mi memoria, juntos compartimos el sueño de terminar una carrera universitaria.

Gutiérrez Contreras Carlos

Dedicatorias:

A mis papás, gracias a ellos soy quien soy el día de hoy. El apoyo que me brindan todos los días para continuar mis estudios es invaluable. Por todo su cariño y fe en mí, es que puedo seguir adelante.

A mi mamá, por todo el cariño que me da y todos los sacrificios que hace por mí.
A mi papá, él me ha enseñado a ser una mejor persona y un mejor hombre.

A mis hermanas, que han estado conmigo durante toda mi vida y me han enseñado cosas muy valiosas, me han apoyado en lo que han podido, han estado conmigo en mi crecimiento.

A mi tío Alejandro, que me ha ayudado mi formación como profesionista y como persona.

Resumen.

El presente reporte tiene como objetivo detallar el desarrollo, los resultados y las conclusiones del proyecto titulado "Diseño y construcción del chasis monocasco para el vehículo BAJA SAE UAM 2024".

El proyecto está enfocado en aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos a lo largo de la carrera para resolver un problema real y desarrollar un producto que satisfaga las necesidades planteadas.

El diseño del chasis monocasco responde a la necesidad de colaborar con otros proyectos para desarrollar un vehículo competitivo que participe en la competencia BAJA SAE 2024, cumpliendo con el reglamento "Collegiate Design Series Baja SAE Rules, Revisión B". Esto se plantea como una mejora respecto al chasis construido en 2023, el cual presentó diversos aspectos susceptibles de mejoras.

El diseño propuesto en este documento se basa en los chasis de los años 2022 y 2023, con el propósito de alcanzar un equilibrio entre la distribución del espacio y el cumplimiento normativo, abordando las deficiencias observadas en 2023.

Para seleccionar el material de fabricación del chasis monocasco, se realizaron cálculos detallados, incluidos en este documento, con el objetivo de cumplir con los requisitos estipulados en el reglamento, tales como el contenido mínimo de carbono, la resistencia a la flexión y la rigidez estructural.

En este nuevo diseño se implementaron mejoras y modificaciones significativas al chasis monocasco. El objetivo principal fue resolver el incumplimiento de las normas detectadas en 2023 y rediseñar la distribución del espacio en el habitáculo, facilitando la salida del piloto.

Adicionalmente, se modificó principalmente el diseño de la parte trasera del chasis 2023 para corregir la posición de los nodos S, R y B (véase Figura 11). Asimismo, se redujo el espesor de la tubería estructural secundaria del chasis 2023, pasando de 0.049" a 0.035", con el objetivo de disminuir el peso.

Por otro lado, cada sistema del vehículo fue desarrollado por compañeros divididos en secciones, con ayuda de las demás secciones, se mejoraron algunos soportes de los componentes del vehículo. Por ejemplo, se eligieron materiales como el aluminio para reducir el peso del soporte del diferencial, y en el caso del soporte para el asiento y su protección, se optó por una configuración que minimiza la cantidad de material necesario.

Para garantizar la seguridad del piloto, se realizaron simulaciones de impacto frontal, lateral, trasero y de vuelco, con el fin de predecir el comportamiento de la estructura ante situaciones críticas y verificar que el diseño no presentara fallas. Los análisis realizados durante la simulación incluyen: Deformación Total, Esfuerzo Equivalente (Von Mises) y Factor de Seguridad.

Para la construcción del chasis monocasco, se diseñó una estructura en madera MDF para dar soporte a los diferentes tubos que componen la estructura. Esto permitió garantizar las distancias y los ángulos requeridos en el diseño.

Este diseño cumplió con los objetivos establecidos, aunque a lo largo del desarrollo del proyecto se identificaron diversos detalles, que se explican en las conclusiones de este reporte, los cuales pueden corregirse y mejorarse en futuros proyectos.

Índice.

Capítulo 1. Introducción	
1.1 Introducción.....	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos particulares.....	4
Capítulo 2.....	5
2. Marco Teórico.....	5
2.1 Resistencia a la flexión (bending strength (S_b))......	6
2.2 Rigidez a la flexión (bending stiffness (kb))......	6
2.3 Módulo de Young o módulo de elasticidad (E)......	6
2.4 Segundo momento de área para un tubo de sección circular.....	7
2.5 Criterio de esfuerzo máximo de von Mises.....	7
2.6 Segundo Momento de Área para un tubo de sección cuadrada.....	7
2.7 Procesos de Soldadura.....	8
2.7.1 Soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas).....	9
2.7.2 Soldadura por electrodo revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding):.....	10
2.8 Descripción Técnica.....	10
2.9 Calculo para análisis estático de diferentes escenarios de impacto.....	12
Capítulo 3.....	14
3. Desarrollo del proyecto.....	14
3.1 Identificación de campos de mejora en el vehículo BAJA SAE 2023.....	15
3.2 Selección de la geometría.....	18
3.3 Selección del material para la construcción del chasis monocasco.....	19
3.3.1 Restricciones para el material a utilizar.....	19
3.3.2 Propuestas de aceros para la selección del material.....	20
3.3.3 Cálculos del material utilizado.....	21
3.3.4 Propuesta de tubería con sección transversal cuadrada.....	22
3.4 Diseño del chasis monocasco en un software CAD.....	24
3.5 Planos de diseño.....	27
3.6 Manufactura del chasis.....	56

3.6.1	Piso y Firewall.....	62
3.6.2	Paneles del chasis.....	63
3.6.3	Cinturón de seguridad y su protección.....	64
3.7	Pruebas Destructivas.....	64
3.7.1	Prueba 1.....	65
3.7.2	Prueba 2.....	65
Capítulo 4.....		67
4.	Resultados.....	67
4.1	Impacto Frontal.....	69
4.2	Impacto Lateral.....	69
4.3	Impacto Trasero.....	70
4.4	Volcadura.....	70
4.5	Resultados de las simulaciones de impacto en ANSYS.....	71
4.5.1	Impacto Frontal.....	72
4.5.2	Impacto Lateral.....	74
4.5.3	Impacto Trasero.....	76
4.5.4	Volcadura.....	79
4.6	Relatoría.....	82
5.1	Análisis y discusión de resultados.....	87
5.2	Conclusiones.....	88
6.	Referencias bibliográficas.....	89
7.	Entregables.....	89
8.	Facturas y certificados de calidad de la tubería.....	90

Índice de figuras.

Figura 1.- Chasis Monocasco (instalación de plantilla) [1].....	2
Figura 2.- Dibujo de plantilla del dummy en pulgadas [1].....	3
Figura 3.- Tubo de sección cuadrada (Realizado en SOLIDWORKS 2024).....	8
Figura 4.- Tanque de gas (CO2 y Argón).....	9
Figura 5.- Máquina Soldadora para procesos MIG/MAG.....	10
Figura 6.- Máquina Soldadora para electrodo revestido.....	10
Figura 7.- Esquema general de una estructura BAJA SAE.....	11
Figura 8.- Miembros y puntos de la estructura.....	11
Figura 9.- Miembros adicionales en el habitáculo.....	15
Figura 10.- Miembro de refuerzo.....	15
Figura 11.- Nodos S, B y R.....	16
Figura 12.- Filtro del motor.....	16
Figura 13.- Parte expuesta del filtro.....	16
Figura 14.- Soporte de Volante.....	17
Figura 15.- Soporte de amortiguador.....	17
Figura 16.- Soporte de diferencial.....	17
Figura 17.- Soluciones gráficas 1-4.....	18
Figura 18.- Chasis con refuerzo trasero [1].....	18
Figura 19.- Chasis con refuerzo delantero.....	19
Figura 20.- Primera versión del chasis monocasco.....	24
Figura 21.- CVT vertical (Sin modificación de chasis).....	25
Figura 22.- CVT modificada (Con modificación de chasis).....	25
Figura 23.- Diseño final del chasis.....	26
Figura 24.- Prototipo hecho en madera.....	26
Figura 25.- Presentación del piloto en el chasis de madera.....	27
Figura 26.- Plantilla “Dummy”.....	27
Figura 27.- Jaula en proceso de fabricación.....	27
Figura 28.- Prototipo construido en madera.....	56
Figura 29.- Validación de espacio para motor.....	56
Figura 30.- Diseño del soporte en MDF.....	57
Figura 31.- Router CNC para corte de MDF.....	57
Figura 32.- Estructura en MDF terminada.....	58
Figura 33.- Sierra de cinta para corte de tubos.....	58
Figura 34.- Plantilla para corte de boca de pescado.....	59
Figura 35.- Retiro de material con esmeriladora.....	59
Figura 36.- Fresadora vertical con cortador anular para corte de boca de pescado.....	60
Figura 37.- Doblado de tubo.....	60
Figura 38.- Proceso de construcción del chasis (habitáculo).....	61
Figura 39.- Proceso de construcción del chasis (Refuerzo trasero).....	61
Figura 40.- Proceso de manufactura del chasis monocasco (Miembro SIM).....	62
Figura 41.- Firewall.....	62
Figura 42.- Piso de aluminio.....	63
Figura 43.- Paneles entre SIM y LFS.....	63
Figura 44.- Panel de parte superior del sistema FAB.....	63

Figura 45.- Car Clip..... 64

Figura 46.- Cinturón de seguridad..... 64

Figura 47.- Chasis monocasco, Muestra de Soldadura 1. [1]..... 65

Figura 48.- Probeta después de la prueba 1. 65

Figura 49.- Chasis monocasco, Muestra de Soldadura 2. [1]..... 66

Figura 50.- Probeta después de la prueba 2. 66

Figura 51.- Chasis monocasco final. 68

Figura 52.- Soporte de volante y amortiguador 68

Figura 53.- Escenario de impacto frontal..... 69

Figura 54.- Escenario de impacto lateral..... 69

Figura 55.- Escenario de impacto trasero. 70

Figura 56.- Escenario de volcadura..... 70

Figura 57.- Miembros de sujeción para impacto frontal..... 72

Figura 58.- Miembros con carga aplicada para impacto frontal 72

Figura 59.- von Mises (Impacto Frontal)..... 73

Figura 60.- Deformación Total (Impacto Frontal)..... 73

Figura 61.- Factor de Seguridad (Impacto Frontal)..... 74

Figura 62.- Miembros de sujeción para impacto lateral..... 74

Figura 63.- Miembros con carga aplicada para impacto lateral 75

Figura 64.- von Mises (Impacto Lateral)..... 75

Figura 65.- Deformación Total (Impacto Lateral)..... 76

Figura 66.- Factor de Seguridad (Impacto Lateral) 76

Figura 67.- Miembros de sujeción para impacto trasero. 77

Figura 68.- Miembros con carga aplicada para impacto trasero..... 77

Figura 69.- von Mises (Impacto Trasero)..... 78

Figura 70.- Deformación Total (Impacto Trasero)..... 78

Figura 71.- Factor de Seguridad (Impacto Trasero)..... 79

Figura 72.- Miembros de sujeción para volcadura..... 79

Figura 73.- Miembros con carga aplicada para volcadura..... 80

Figura 74.- von Mises (Volcadura)..... 80

Figura 75.- Deformación Total (Volcadura)..... 81

Figura 76.- Factor de Seguridad (Volcadura)..... 81

Figura 77.- Presentación de diseño..... 82

Figura 78.- Salida del piloto..... 82

Figura 79.- Prueba de arrastre..... 83

Figura 80.- Prueba de frenado..... 83

Figura 81.- Prueba de aceleración..... 84

Figura 82.- Prueba de suspensión..... 84

Figura 83.- Prueba de maniobrabilidad..... 85

Figura 84.- Cotización de chromoly (Tubería de sección redonda)..... 90

Figura 85.- Cotización de chromoly (Tubería de sección cuadrada)..... 91

Figura 86.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros primarios..... 92

Figura 87.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 1 de 4..... 93

Figura 88.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 2 de 4..... 94

Figura 89.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 3 de 4..... 95

Figura 90.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 4 de 4..... 96

Índice de tablas.

Tabla 1.- Aceros considerados para el chasis monocasco.....	20
Tabla 2.- Validación del tubo estructural primario adquirido.....	22
Tabla 3.- Validación de propuesta de tubo de sección cuadrada.....	68

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción.

En el presente documento se propuso diseñar la estructura para el vehículo BAJA SAE UAM 2024. Este vehículo participó en la competencia internacional organizada por la SAE internacional (Sociedad de Ingenieros Automotrices). La competencia consiste en desafiar a los estudiantes participantes para diseñar y construir un vehículo todoterreno que enfrente y sea sometido a terrenos con distintos tipos de configuraciones naturales. Se pone a prueba el conocimiento y habilidades del alumnado de distintas universidades, que serán evaluados por jueces de la competencia bajo estrictas normas establecidas por BAJA SAE [1].

Para el vehículo BAJA SAE, la relación entre el peso y la resistencia es fundamental. En el equipo UAM 2023 se abordó la problemática del peso proponiendo reducir las dimensiones del habitáculo, para conseguir reducir el peso aún a costa de sacrificar la comodidad del piloto. En este proyecto se propuso modificar parte del habitáculo para generar una mayor comodidad en el desempeño del piloto; además de explorar la posibilidad de cambiar la sección transversal de la tubería estructural empleada en los miembros primarios y secundarios de la jaula antivuelco. En este trabajo se utilizan indistintamente los términos, chasis monocasco, estructura y jaula antivuelco para describir el material tubular o cuadrado que brinda la forma general al vehículo.

La estructura es el soporte principal para todos los componentes, el vehículo UAM 2023 tiene varias zonas de mejora en la parte de soportes. Se plantea diseñar la jaula antivuelco sin excesos de soportes.

Durante la competencia BAJA SAE 2023 se consideró incluir otras formas de sección transversal para los elementos de la estructura. Este año se propuso evaluar el uso de una sección cuadrada, para comparar su viabilidad económica y sus propiedades mecánicas, con respecto a una sección circular, ambas de acero AISI 4130 Chromoly.

En un vehículo BAJA SAE, un "dummy" (Véase Figura 1), es una plantilla utilizada para simular un ocupante humano durante pruebas y competencias. Su propósito principal es evaluar la seguridad y el diseño ergonómico del vehículo. En el vehículo 2023 se cometió un error al no medir correctamente el dummy que va desde el asiento hasta el RHO (Véase Figura 2), lo que obligó a soldar nueva tubería estructural por encima de la inicial.

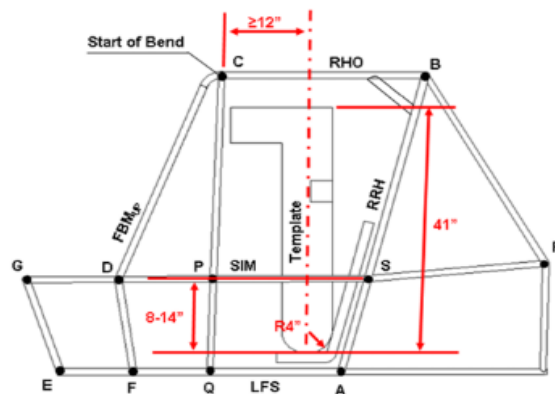


Figura 1.- Chasis Monocasco (instalación de plantilla) [1]

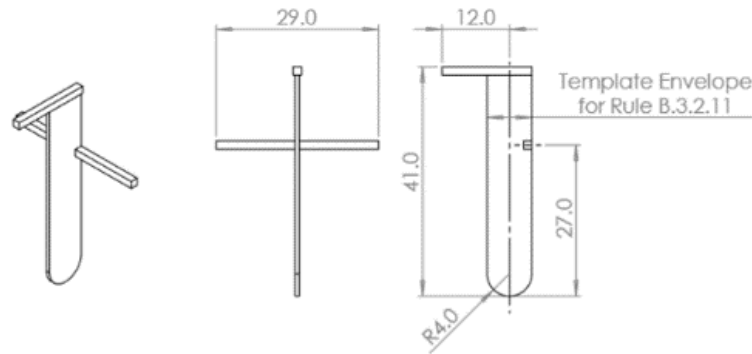


Figura 2.- Dibujo de plantilla del dummy en pulgadas [1]

Los recursos necesarios para la construcción provienen de un fondo al que aportan diferentes instancias de la universidad: Rectoría y Secretaría de la Unidad Azcapotzalco, Divisiones de CBI y de CyAD, Departamentos de Energía, Electrónica, Ciencias Básicas, Sistemas y Materiales; así como instancias externas (Fundación UAM, empresas privadas, personas físicas).

1.2 Antecedentes.

En el año 2023, alumnos de la UAM Azcapotzalco realizaron el reporte titulado “Diseño y construcción de una estructura ligera para un vehículo 4x4 BAJA SAE UAM 2023.” [2]. En el documento se describe el proceso para la construcción de la estructura para el vehículo usado en la competencia BAJA SAE 2023. Este reporte permitirá conocer las condiciones actuales de la estructura del vehículo, para proponer mejoras en el diseño.

En 2023, alumnos de la UAM Azcapotzalco elaboraron un reporte titulado “Diseño y construcción de una estructura ligera para un vehículo 4x4 BAJA SAE UAM 2023” [2]. En este documento se describe un proceso de doblado realizado en los talleres de fundición. Se utilizó un proyecto de integración de un alumno, que consistía en una máquina de doblado. El problema surgió debido a que la máquina no aplicaba cargas constantes, lo que provocó la formación de arrugas en el material. El informe indica que la máquina no cumplió con los requisitos necesarios para doblar el material de manera adecuada en las instalaciones. Por lo tanto, se ha decidido enviar el material a un servicio especializado para su correcto doblado.

En 2018, el departamento de ingeniería mecánica del “Muffakham Jah College of Engineering & Technology” en India publicó un artículo de investigación titulado “Computational Analysis for Optimization of Baja SAE Roll Cage” [3]. En este estudio se comparan las propiedades mecánicas de tres materiales: AISI 1018, AISI 4130 y Duplex S32205. El análisis concluye que el acero AISI 4130 es la mejor opción, ya que cumple con los requisitos para la estructura al tener un porcentaje de carbono superior al 0.18%. Este acero destaca por ofrecer una mejor relación entre costo, peso y propiedades mecánicas (como módulo de elasticidad, densidad y resistencia última) en comparación con los otros dos materiales. Este trabajo facilitará la selección del material adecuado para la construcción de la estructura.

En el 2018, un alumno de la Universidad Politécnica de Salesiana desarrolló el chasis monocasco tubular de un vehículo de competencia fórmula SAE eléctrico [4]. En el documento se menciona que para el acero AISI 4130 el proceso de soldadura es relativamente fácil, ya que, es posible soldar con cualquier procedimiento que involucre un arco eléctrico. Este trabajo sirve para conocer los procesos de soldadura que se pueden utilizar en la construcción de la estructura.

1.3 Justificación.

El vehículo BAJA SAE UAM 2023 tuvo un error en la altura de la jaula; no cumplió con las especificaciones del reglamento para la prueba del *dummy*; por lo que este año se busca cuidar a detalle el diseño considerando las medidas del *dummy*. Para evaluar el uso de un perfil de tubo cuadrado en la estructura, se busca relacionar el costo, peso y las propiedades mecánicas comparando los resultados de una simulación entre un tubo de perfil circular y un tubo de perfil cuadrado, ambos fabricados con acero AISI 4130 Chromoly. La parte inferior del vehículo (debajo del asiento del conductor) presenta un exceso de material soldado, por lo que se propone crear un diseño con menor cantidad de material.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar y construir el chasis monocasco para un vehículo todoterreno 4x4 para la competencia Baja SAE MÉXICO 2024.

1.4.2 Objetivos particulares.

Determinar la rigidez y resistencia a la flexión de un tubo de sección cuadrada y de un tubo de sección circular con las características de los miembros primarios indicadas en el Reglamento 2024.

Establecer la viabilidad de construir la estructura empleando tubo de sección cuadrada.

Determinar el tipo de chasis monocasco que se ajuste más a las necesidades que se requieran para el desempeño óptimo de los componentes del vehículo.

Diseñar una estructura que cumpla con el reglamento.

Simular y evaluar los esfuerzos a los que se someterá el vehículo en impactos de tipo: frontal, trasero, lateral y vuelco, empleando un software de CAE.

Manufacturar la estructura y los soportes para los demás componentes del vehículo.

Verificar y de ser necesario modificar la estructura en la competencia BAJA SAE México 2024.

Capítulo 2

2. Marco Teórico

Este capítulo proporciona el sustento conceptual y teórico necesario para abordar el proyecto, con el objetivo de contextualizarlo, respaldar los cálculos realizados y establecer una base sólida para su desarrollo.

2.1 Resistencia a la flexión (bending strength (S_b)).

La resistencia a la flexión se refiere a la capacidad de un material o estructura para resistir las fuerzas de flexión sin fallar o deformarse de manera excesiva. Específicamente, se refiere al máximo momento de flexión que un material o componente puede soportar antes de alcanzar su límite de esfuerzo y, eventualmente, fracturarse o colapsar. La resistencia a la flexión depende de las propiedades del material, como su límite de fluencia, su módulo de elasticidad, y la geometría del elemento estructural [5].

La resistencia a la flexión se expresa de la siguiente manera:

$$S_b = \frac{S_y I}{c} \quad (1)$$

Donde:

S_y : Resistencia a la fluencia.

I : Segundo momento de área

c : Distancia del eje a la parte externa del material.

2.2 Rigidez a la flexión (bending stiffness (k_b)).

La rigidez a la flexión se refiere a la capacidad de un cuerpo o elemento estructural para resistir la deformación cuando se somete a un momento flexor o una carga que produce una flexión. En términos simples, es una medida de la resistencia de un material o estructura a la curvatura bajo la acción de una carga transversal. Cuanto mayor es la rigidez a la flexión, menor será la deformación que experimentará el elemento.

La rigidez a la flexión se expresa de la siguiente manera:

$$k_b = EI \quad (2)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad

I : Segundo momento de área

2.3 Módulo de Young o módulo de elasticidad (E).

Es una propiedad mecánica de los materiales que describe su rigidez o capacidad para resistir la deformación elástica cuando se le aplica una fuerza. Se define como la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria en la región elástica del material, cuando se aplica una carga de tensión o compresión.

$E = \text{Modulo de elasticidad (205 GPa para todos los aceros)}$

2.4 Segundo momento de área para un tubo de sección circular.

El segundo momento de área (también conocido como momento de inercia de una sección transversal) es una propiedad geométrica de una sección transversal de un material que describe la distribución del área con respecto a un eje. En términos simples, mide la resistencia de la sección a la flexión. Cuanto mayor sea el segundo momento de área, menor será la deformación cuando se aplique una carga de flexión.

La expresión del segundo momento de área de un tubo de sección circular se describe a continuación:

El segundo momento de inercia para una tubería de sección transversal circular se obtiene realizando la diferencia entre el momento de inercia del área del diámetro exterior con el momento de inercia del área del diámetro interior.

El momento de inercia para el área del diámetro exterior es:

$$I = \frac{\pi}{64}(d_e^4) \quad (3)$$

El momento de inercia para el área del diámetro interior es:

$$I = \frac{\pi}{64}(d_i^4) \quad (4)$$

La diferencia entre los momentos de inercia para las áreas de ambos diámetros es:

$$I = \frac{\pi}{64}(d_e^4) - \frac{\pi}{64}(d_i^4) \quad (5)$$

Simplificando:

$$I = \frac{\pi}{64}(d_e^4 - d_i^4) \quad (6)$$

Donde:

d_e = Diámetro exterior

d_i = Diámetro interior

2.5 Criterio de esfuerzo máximo de von Mises.

El esfuerzo máximo de von Mises, también conocido como criterio de von Mises o criterio de fluencia de von Mises, es una teoría utilizada para predecir la falla de un material bajo condiciones de esfuerzo tridimensional. Este criterio establece que el material fallará cuando el esfuerzo equivalente (también llamado esfuerzo de von Mises) alcance o supere el límite de fluencia del material en un estado de tensiones complejas, independientemente de cómo se distribuyan esas tensiones [6].

2.6 Segundo Momento de Área para un tubo de sección cuadrada.

Debido a la falta de datos para el cálculo de la tubería de sección transversal cuadrada, se tomará en cuenta un caso ideal en el cual no se tiene un radio de filete; esto servirá para aproximar el valor del momento de inercia.

Para el tubo de sección cuadrada, consideramos dos geometrías, el prisma cuadrangular interior y el exterior (Véase Figura 3).

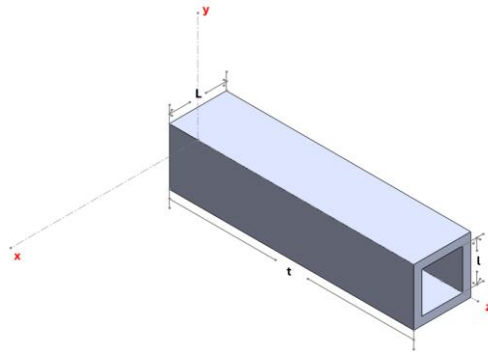


Figura 3.- Tubo de sección cuadrada (Realizado en SOLIDWORKS 2024).

Para obtener el momento de inercia del tubo de sección cuadrada se resta el momento de inercia del área exterior al interior.

$$I = I_{ext} - I_{int} \quad (7)$$

El momento inercia del área exterior es:

$$I_{ext} = \frac{1}{12}(L^4) \quad (8)$$

El momento inercia del área interior es:

$$I_{int} = \frac{1}{12}(l^4) \quad (9)$$

La diferencia del momento de inercia de ambas áreas es:

$$I_{ext} = \frac{1}{12}(l^4) - \frac{1}{12}(l^4) \quad (10)$$

Simplificando:

$$I = \frac{1}{12}(L^4 - l^4) \quad (11)$$

Donde:

L = Lado del cuadrado externo

l = Lado del cuadrado interno

2.7 Procesos de Soldadura.

La soldadura es un proceso de unión de dos o más piezas de material, generalmente metales, mediante la aplicación de calor, presión o ambos, para fundir las superficies de las piezas y luego permitir que se solidifiquen,

formando una conexión sólida. En muchos casos, se emplea un material adicional, conocido como material de aporte, que se funde junto con las piezas base para crear una junta resistente.

Los procesos de soldadura pueden dividirse en diferentes tipos según el método utilizado para generar el calor, el tipo de material de aporte y el ambiente de protección durante el proceso. Algunos de los métodos más comunes incluyen la soldadura por arco eléctrico (MIG, MAG, Electrodo).

Cada uno de estos procesos tiene sus propias ventajas, aplicaciones y limitaciones, dependiendo de factores como el tipo de material, el grosor de las piezas y la calidad de la junta requerida.

2.7.1 Soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas).

La soldadura MIG (Metal Inert Gas) y MAG (Metal Active Gas) son dos tipos de soldadura por arco eléctrico. Se diferencian principalmente por el tipo de gas protector que se utiliza:

MIG: Se utiliza un gas inerte (como el argón o helio) para proteger el área de soldadura. Es ideal para soldar metales no ferrosos como el aluminio.

MAG: Se emplea un gas activo (como el dióxido de carbono o una mezcla de CO₂ y argón) que también protege la soldadura (Véase Figura 4), pero este gas puede reaccionar con el metal base, lo que es más adecuado para soldaduras de acero.



Figura 4.- Tanque de gas (CO₂ y Argón).

Ambos métodos utilizan un electrodo consumible que se va alimentando durante el proceso, y el calor necesario para la fusión de los metales es generado por el arco eléctrico, dicho electrodo se acciona junto al gas al generar el arco eléctrico en la antorcha de la soldadora (Véase Figura 5).



Figura 5.- Máquina Soldadora para procesos MIG/MAG.

2.7.2 Soldadura por electrodo revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding):

Es una de las técnicas más tradicionales y ampliamente utilizadas en la soldadura. Utiliza un electrodo revestido que sirve tanto de material de aporte como de fuente de calor para la formación del arco eléctrico. La diferencia principal es que el electrodo se va consumiendo a medida que avanza la soldadura.

Las máquinas de soldar más comunes son por transformador, las cuales rebajan el voltaje y aumentan el amperaje de la red primaria de suministro. Proporcionan corriente alterna para soldar (Véase Figura 6).



Figura 6.- Máquina Soldadora para electrodo revestido.

El revestimiento del electrodo se funde y crea un gas protector que ayuda a proteger la soldadura de contaminantes atmosféricos. Este proceso es muy versátil y se utiliza principalmente para soldar acero, aunque también se puede usar en otras aleaciones [7].

2.8 Descripción Técnica

Los requerimientos para el chasis monocasco del vehículo Baja SAE 2024 deben de cumplir con lo especificado en “*Collegiate Design Series Baja SAE® Rules 2024 Revison B*”.

Reducción de peso del chasis monocasco esperado, con respecto al vehículo del año 2023: 15%

Dimensiones máximas del piloto: 1900 mm de altura y 113 kg de peso.

Dimensiones esperadas (Véase Figura 7):

Alto: 1230 mm

Largo: 1800 mm

Ancho: 810 mm

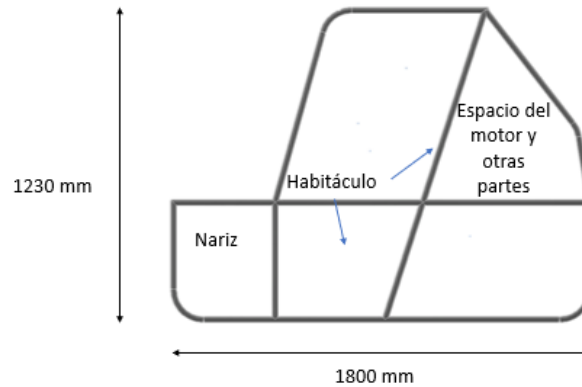


Figura 7.- Esquema general de una estructura BAJA SAE.

El material de los miembros primarios debe de cumplir con uno de los siguientes requisitos:

- Tubo de sección circular con un diámetro exterior de 25 mm, un espesor de 3 mm y un contenido de carbono de al menos 0.18%.
- Una sección transversal de tubo diferente a la circular, debe de sobrepasar la resistencia y rigidez a la flexión de un tubo circular de dimensiones especificadas en el punto anterior. El espesor debe de ser de al menos 1.57 mm y el contenido mínimo de carbono debe de ser de 0.18%.

Los miembros rectos de la estructura no deben exceder los 1016 mm de longitud entre puntos nombrados, los cuales se definen como la intersección de las líneas centrales de dos o más miembros.

Los miembros con curvatura no deberán tener un ángulo de doblado superior a 30 grados y su longitud no debe exceder los 838 mm de longitud entre puntos nombrados.

El casco del conductor debe contar con un espacio libre de 152 mm, mientras que los hombros, torso, caderas, muslos, rodillas, brazos, codos y manos del conductor deben tener un espacio libre de 76 mm.

En la Figura 8 se representan los miembros primarios, miembros secundarios y puntos nombrados.

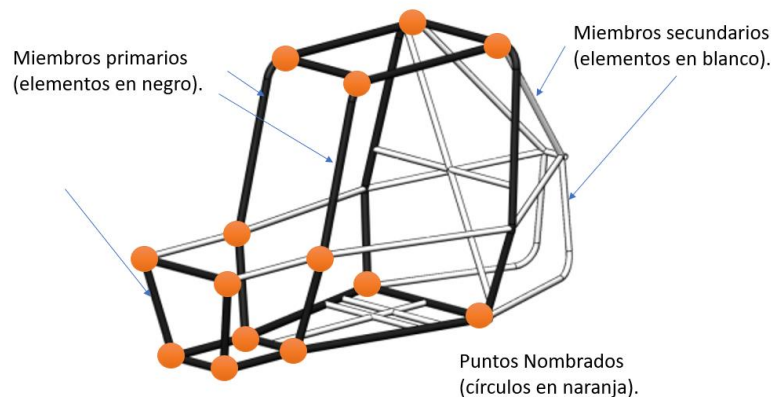


Figura 8.- Miembros y puntos de la estructura

Adaptado de "Collegiate Design Series Baja SAE Rules, Revision B 2024" (p. 33).

Los miembros primarios son:

- RRH: Armazón Antivuelco Trasero (*Rear Roll Hoop*)
- RHO: Armazón Antivuelco Superior (*Rear Hoop Overhead*)
- FBM: Miembros de Refuerzo Frontal (*Front Bracing Members*)
- ALC: Miembro Lateral Trasero (*Aft Lateral Cross Member*)
- BLC: Miembro Lateral Superior Trasero (*Overhead Lateral Cross Member*)
- CLC: Miembro Lateral Superior Delantero (*Upper Lateral Cross Member*)
- FLC: Miembro Lateral Inferior Delantero (*Front Lateral Cross Member*)
- LFS: Miembros Laterales del Marco Inferior (*Lower Frame Side Members*)

El material de los miembros secundarios debe de cumplir con uno de los siguientes requisitos:

Tubo de sección circular con un diámetro exterior de 25 mm y un espesor mínimo de 0.89 mm.

Tubo de sección transversal cuadrada con una dimensión exterior mínima de 25 mm y un espesor mínimo de 0.89 mm.

Los miembros secundarios son:

- LDB: Refuerzo diagonal lateral (*Lateral Diagonal Bracing*)
- SIM: Miembros de Impacto Lateral (*Side Impact Members*)
- FAB: Miembros de Refuerzo Traseros (*Aft Bracing Members*)
- USM: Miembro Bajo del Asiento (*Under Seat Member*)
- RLC: Miembro Lateral Trasero (*Rear Lateral Cross Member*)
- Cualquier tubo que se utilice para montar los cinturones de seguridad, el tanque de combustible o proteger el sistema de combustible.

2.9 Cálculo para análisis estático de diferentes escenarios de impacto.

Cálculos para determinar las fuerzas de impacto que experimentará el vehículo en un escenario donde colisiona con otro vehículo similar durante la competencia.

Datos:

$$\text{masa total estimada del vehículo} = 350 \text{ kg}$$

$$\text{velocidad máxima alcanzada (BAJA SAE UAM 2023)} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 8.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para una colisión inelástica se tiene:

$$W_{\text{neto}} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = fd \quad (12)$$

Después de un impacto la velocidad final $v_f = 0$, por lo cual tenemos:

$$W_{neto} = -\frac{1}{2}mv_i^2 = fd \quad (13)$$

En el instante del impacto, cuando se tiene la velocidad máxima, se considera un tiempo de impacto de 0.1 segundos, por lo tanto:

$$v = \frac{d}{t}, \text{ despejando la distancia se tiene: } d = vt \quad (14)$$

Para calcular la fuerza de impacto en los escenarios frontal, trasero y lateral, se emplea la siguiente ecuación:

Despejando f de la Ec. (5):

$$f = -\frac{mv_i^2}{2d} \quad (15)$$

Donde:

m : masa del vehículo

v_i : velocidad inicial

d : distancia

Para calcular la fuerza de impacto en el escenario de volcadura se emplea la siguiente ecuación:

$$f = \frac{m\sqrt{gh}}{t} \quad (16)$$

Donde:

m : masa del vehículo

v_i : velocidad inicial

d : distancia

g : gravedad

h : altura

Capítulo 3

3. Desarrollo del proyecto

3.1 Identificación de campos de mejora en el vehículo BAJA SAE 2023.

Al plantearse la pregunta: ¿Por qué es necesario diseñar y construir un nuevo chasis monocasco para la competencia 2024?, la respuesta principal radica en el incumplimiento de la prueba del “*Dummy*”. Esta prueba consiste en insertar una plantilla que define las dimensiones mínimas que debe tener el habitáculo, el espacio destinado al piloto.

Las dimensiones del *dummy* están estipuladas en el reglamento de la competencia BAJA SAE México de este año y deben cumplirse para garantizar la seguridad del piloto y el cumplimiento de las normativas de diseño.

Los campos de mejora identificados en el vehículo BAJA SAE 2023 son los siguientes:

1.- El incumplimiento de las dimensiones del *dummy* llevó a la soldadura de nuevos miembros adicionales, representados por líneas blancas (Véase Figura 9), con el fin de aumentar el espacio del habitáculo y cumplir así con la prueba del *dummy*.



Figura 9.- Miembros adicionales en el habitáculo.

2.- Un desfase entre los elementos, cuyas líneas centrales debían interceptarse en el punto indicado (Véase Figura 10), requirió la incorporación de un nuevo miembro de refuerzo para conectar ambos elementos con dicho punto.



Figura 10.- Miembro de refuerzo.

3.- Otro detalle es que los nodos S, B y R deben de formar un triángulo, pero en el vehículo de 2023 no se cumplió con esta regla (Véase Figura 11).



Figura 11.- Nodos S, B y R.

4.- Los elementos en la parte trasera del vehículo deben estar completamente dentro del volumen definido por el chasis monocasco para garantizar su protección. En el vehículo de 2023, el filtro del motor, marcado en color rojo, sobresalía de este volumen, lo que obligó a soldar un refuerzo, señalado en la imagen, para generar un volumen adicional (Véase Figura 12 y 13).



Figura 12.- Filtro del motor.

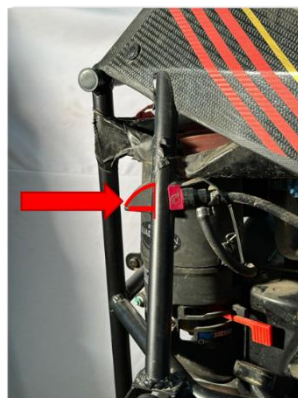


Figura 13.- Parte expuesta del filtro.

5.- Para la instalación de los amortiguadores y el volante, se utilizaron tuberías con dimensiones excesivas para su sujeción (Véase Figura 14 y 15).



Figura 14.- Soporte de Volante.



Figura 15.- Soporte de amortiguador.

6.- Las placas de acero que dan soporte al diferencial (Véase Figura 16), están hechas de acero y tienen dimensiones excesivas por lo cual deben de rediseñarse y así contribuir a la reducción del peso total del vehículo.



Figura 16.- Soporte de diferencial.

Para resolver los campos de mejoras planteados, se propuso:

1. El dimensionamiento adecuado del habitáculo para cumplir con la prueba del dummy.
2. Reducción de la nariz y aumento de las dimensiones del habitáculo para la sujeción de los amortiguadores y el volante en los miembros denominados FBM, con el fin de evitar soportes adicionales.
3. Establecer la geometría correcta en los nodos B, S y R, formando un triángulo.
4. Asegurar la correcta unión de los elementos en el nodo para evitar refuerzos innecesarios.
5. Modificar el material y la geometría de los soportes para reducir el peso.
6. Construir el diseño final en madera para visualizar y presentar el motor junto con el filtro, verificando que se encuentren dentro de la geometría generada por el chasis.

Las soluciones 1-4 se pueden visualizar en la Figura 17:

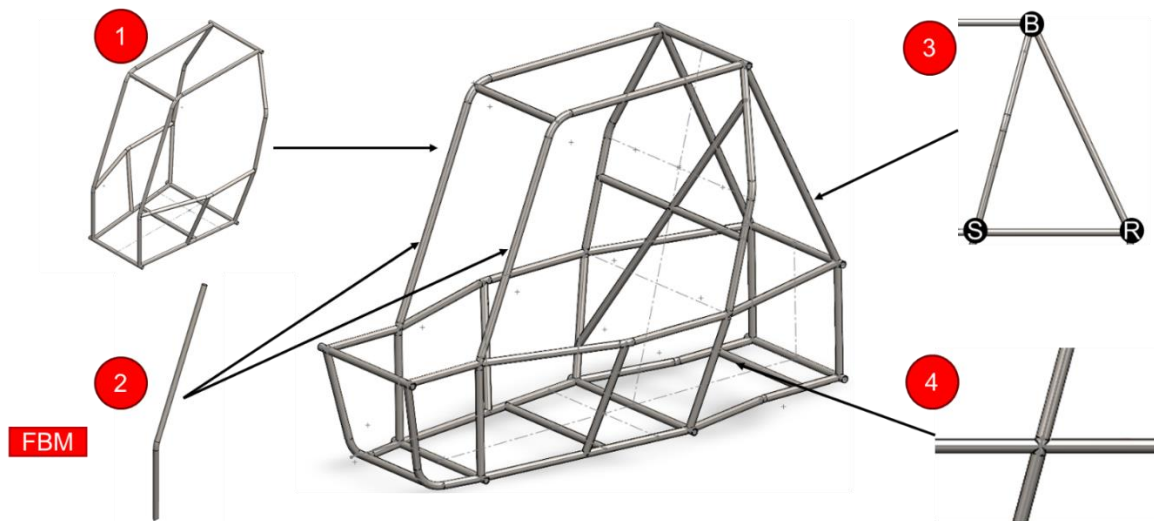


Figura 17.- Soluciones gráficas 1-4.

3.2 Selección de la geometría.

La competencia permite dos tipos de refuerzos en el chasis, refuerzo delantero (Véase Figura 18) y refuerzo trasero (Véase Figura 19).

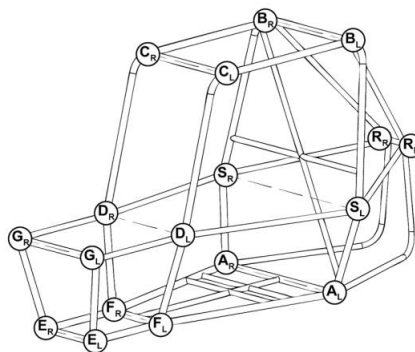


Figura 18.- Chasis con refuerzo trasero [1].

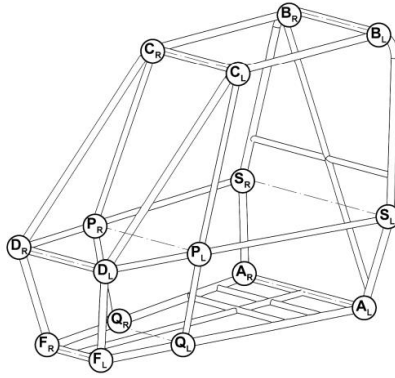


Figura 19.- Chasis con refuerzo delantero.

El tipo de refuerzo elegido para el diseño es el trasero, ya que el componente que requiere más espacio y refuerzos es el motor. Colocar el motor en la parte delantera del vehículo implicaría modificar todo el centro de gravedad, además de diseñar diversas protecciones para salvaguardar la integridad del piloto debido al calor generado por el motor.

Por esta razón, el diseño se desarrolló con el refuerzo trasero, colocando el motor, el tanque de combustible, la caja de engranajes y CVT dentro del refuerzo, otorgando protección a estos componentes.

El primer diseño se planteó considerando el reglamento “Collegiate Design Series Baja SAE Rules, Revisión B”, además de abordar las necesidades específicas del proyecto. Este diseño inicial fue sometido a varios cambios, ya que el desarrollo de otros componentes y soportes del vehículo aún estaba en etapas tempranas.

Esta propuesta inicial permitió identificar las necesidades de cada sección y, con el avance del proyecto, ajustar el diseño para resolver los problemas que surgieron, trabajando en conjunto con las demás secciones y siempre acoplándose a sus requerimientos.

3.3 Selección del material para la construcción del chasis monocasco.

3.3.1 Restricciones para el material a utilizar.

El “Reglamento BAJA SAE 2024” establece una serie de requerimientos para la selección del material del cual se construirá el chasis, los cuales son:

La tubería estructural deberá ser de acero con un contenido de carbono de al menos 0.18%.

Para los elementos primarios se tienen las siguientes restricciones:

Diámetro exterior ≥ 25 mm

Espesor ≥ 3 mm

Para los elementos secundarios se tienen las siguientes restricciones:

Diámetro exterior ≥ 25 mm

Espesor ≥ 0.89 mm

Los elementos primarios del material utilizado deben exceder sus valores en resistencia y rigidez a la flexión dados por la competencia para una tubería estructural de acero 1018, los cuales son: $k_b = 2619.42 \frac{N}{m^2}$ y $S_b = 378.22 Nm$.

El reglamento permite el cambio de la sección transversal del tubo siempre y cuando se cumplan los siguientes requerimientos:

Un perfil de acero con rigidez a la flexión y resistencia a la flexión que superen los de un tubo de acero de sección circular con un diámetro exterior de 25 mm y un grosor de pared de 3 mm.

El grosor de la pared debe ser al menos de 1.57 mm (0.062 in.) y el contenido de carbono debe ser al menos del 0.18%, independientemente del material o tamaño de la sección.

La rigidez a la flexión y la resistencia a la flexión deben calcularse respecto a un eje neutro que proporcione los valores mínimos.

3.3.2 Propuestas de aceros para la selección del material.

La Universidad Autónoma Metropolitana ha participado en los últimos años en la competencia BAJA SAE MÉXICO, por lo que se cuenta con experiencias previas sobre el uso de distintos aceros, dichos aceros se representan en la siguiente tabla.

Tabla 1.- Aceros considerados para el chasis monocasco.

Acero	Límite elástico [MPa]	Rigidez a la flexión [Nm ²]	Resistencia a la flexión [Nm]
1018	370	1055.284	149.973
1020	390	1065.579	158.079
4130	637.12 – 774.36	1081.023	300.757

Con base en los datos disponibles sobre los aceros considerados, se decidió seleccionar el acero 4130 debido a su superioridad en cuanto a sus propiedades mecánicas, además de contar con experiencia previa en su uso durante años anteriores.

Se realizaron diversas cotizaciones para el acero 4130, basándose en antecedentes de compras previas con la compañía CroMO. Estas cotizaciones incluyeron tanto tubería estructural primaria como secundaria, además de un presupuesto para tubería de sección transversal cuadrada en acero 4130.

La intención de cotizar el perfil tubular de sección cuadrada era proponer un diseño basado en este tipo de sección. Sin embargo, al obtener las respuestas de los presupuestos, se observó que el costo de la tubería cuadrada, respecto a la circular en el mismo material, aumentaba en un 385.71%, lo que hizo inviable la compra de tubo estructural con sección transversal cuadrada.

En la Figura 84 y Figura 85, se pueden ver las cotizaciones para el acero 4130 del proveedor CroMO para tubo primario, secundario y de sección cuadrada.

El tubo estructural presupuestado cuenta con las siguientes especificaciones:

Miembros primarios:

Diámetro exterior = 25.4 mm

Espesor = 3.048 mm

Miembros secundarios:

Diámetro exterior = 25.4 mm

Espesor = 0.889 mm

Tubo estructural de sección cuadrada 1ra opción:

Lado = 25.4 mm

Espesor = 0.889 mm

Tubo estructural de sección cuadrada 2da opción:

Lado = 25.4 mm

Espesor = 1.651 mm

Con la compra del tubo, el proveedor proporcionó los certificados del porcentaje de carbono y las propiedades mecánicas tanto para el tubo estructural primario como secundario, los cuales son requeridos por la competencia.

Para determinar la cantidad de material necesario para la fabricación del chasis, se consideró el diseño realizado en el software CAD para calcular las dimensiones de cada uno de los miembros que lo componen. Se tuvo en cuenta tanto el tubo primario como el secundario, así como el material retirado durante el corte y el doblado.

Además de las dimensiones requeridas por el CAD, se tomó en cuenta:

- Probetas para practica de soldadura en el material final
- Pruebas destructivas
- Errores de doblado y manufactura
- Material para la competencia

En la Figura 86 se puede observar el certificado de la tubería adquirida, los cuales contienen los siguientes datos:

Porcentaje de carbono = 0.31%

Límite elástico = 637.12 – 774.36 MPa

Resistencia a la tensión = 748.71 – 883.83 MPa

Elongación = 23 - 24 %

3.3.3 Cálculos del material utilizado

Para el material primario:

Sustituyendo la Ec. (6) podemos obtener el momento de inercia de la tubería estructural primaria.

$$I = \frac{\pi}{64}(0.0254m^4 - 0.0193m^4) = 1.36x10^{-8} m^4$$

Para la rigidez a la flexión sustituimos en la Ec. (2).

$$k_b = (205x10^9Pa)(1.36x10^{-8}m^4) = 2788 Nm^2$$

Para la resistencia a la flexión sustituimos en la Ec. (1) y utilizando $S_y = 774.36 Mpa$:

$$S_b = \frac{(774.36x10^6Pa)(1.36x10^{-8}m^4)}{0.0127m} = 829.23 Nm$$

Tabla 2.- Validación del tubo estructural primario adquirido.

Sección transversal del tubo estructural.	Rigidez a la flexión (k_b)	Resistencia a la flexión (S_b)
Acero 4130 Cromolio	2788 Nm ²	829.23 Nm
Acero 1018	2619.42 Nm ²	537.33 Nm

Para el material secundario:

Sustituyendo en la Ec. (6) podemos obtener el momento de inercia de la tubería estructural secundaria.

$$I = \frac{\pi}{64}(0.0254m^4 - 0.023622m^4) = 5.15x10^{-9}m^4$$

Para la rigidez a la flexión sustituimos en la Ec. (2).

$$k_b = (205x10^9Pa)(5.15x10^{-9}m^4) = 1055.75 Nm^2$$

Para la resistencia a la flexión sustituimos en la Ec. (1).

$$S_b = \frac{(774.36x10^6Pa)(5.15x10^{-9}m^4)}{0.0127m} = 314 Nm$$

3.3.4 Propuesta de tubería con sección transversal cuadrada.

Para validar la propuesta, el tubo de sección cuadrada debe superar la rigidez y resistencia a la flexión para un tubo de acero circular con un diámetro exterior de 25.4 mm y un grosor de pared de 3 mm . Este tubo de acero circular corresponde al material seleccionado para la tubería estructural primaria para el chasis monocasco.

Se propone un tubo de sección cuadrada con una medida de 25.4mm y un grosor de pared de 1.65mm. Calculando su resistencia y rigidez a la flexión se tiene:

Utilizando la Ec. (11), se obtiene su momento de inercia:

$$I = \frac{1}{12}(0.0254^4m - 0.0221^4m) = 1.48x10^{-8} m^4$$

Para la rigidez a la flexión sustituimos en la Ec. (2):

$$k_b = (205 \times 10^9 \text{ Pa})(1.48 \times 10^{-8} \text{ m}^4) = 3034 \text{ Nm}^2$$

Calculando c para la resistencia a la flexión utilizando el Teorema de Pitágoras:

$$c = \sqrt{\frac{25.4 \text{ mm}^2}{2} + \frac{25.4 \text{ mm}^2}{2}} = 17.96 \text{ mm}$$

Para la resistencia a la flexión sustituimos en la Ec. (1) y utilizando $S_y = 774.36 \text{ Mpa}$:

$$S_b = \frac{(774.36 \times 10^6 \text{ Pa})(1.48 \times 10^{-8} \text{ m}^4)}{0.01796 \text{ mm}} = 638.11 \text{ Nm}$$

Segunda propuesta de tubo de sección cuadrada con una medida de 25.4mm y un grosor de pared de 3mm. Calculando su resistencia y rigidez a la flexión se tiene:

Utilizando la Ec. (11), se obtiene su momento de inercia:

$$I = \frac{1}{12}(0.0254^4 \text{ m} - 0.0193^4 \text{ m}) = 2.28 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Para la rigidez a la flexión sustituimos en la Ec. (2):

$$k_b = (205 \times 10^9 \text{ Pa})(2.28 \times 10^{-8} \text{ m}^4) = 4674 \text{ Nm}^2$$

Calculando c para la resistencia a la flexión utilizando el Teorema de Pitágoras:

$$c = \sqrt{\frac{25.4 \text{ mm}^2}{2} + \frac{25.4 \text{ mm}^2}{2}} = 17.96 \text{ mm}$$

Para la resistencia a la flexión sustituimos en la Ec. (1) y utilizando $S_y = 774.36 \text{ Mpa}$:

$$S_b = \frac{(774.36 \times 10^6 \text{ Pa})(2.28 \times 10^{-8} \text{ m}^4)}{0.01796 \text{ mm}} = 983 \text{ Nm}$$

3.4 Diseño del chasis monocasco en un software CAD

Con base en las observaciones y propuestas para el nuevo diseño del chasis 2024, se partió de las dimensiones totales del chasis 2023, ya que este fue reducido en tamaño tras realizarse un estudio antropométrico en la parte donde se encuentra el piloto, lo que dio lugar al diseño del prototipo (Véase Figura 20).

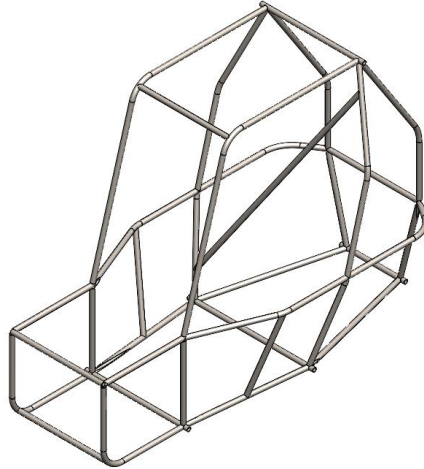


Figura 20.- Primera versión del chasis monocasco.

Los requerimientos para el diseño fueron:

- Reducción de peso mediante la selección de tubo secundario con un menor espesor respecto al vehículo hecho en el año 2023.
- Correcciones a las faltas de reglamento en la jaula antivuelco 2023.
- Manufacturar la jaula antivuelco contemplando una distribución más óptima de todos los componentes del vehículo en comparación al modelo 2023.
- Implementar un cambio en las dimensiones del habitáculo para garantizar la integridad y comodidad del conductor.

Este prototipo sufrió una serie de modificaciones tras someterlo a revisiones para cumplir con todas las reglas estipuladas en el Reglamento BAJA SAE 2024, además de orientar el diseño a las necesidades de los demás sistemas que componen el vehículo.

La principal y más crítica modificación se realizó en la parte trasera del vehículo, específicamente en el sistema FAB, ya que el prototipo no cumplía con la formación de un triángulo entre los nodos B, S y R desde una vista lateral del vehículo.

Este problema se resolvió con apoyo de la sección de potencia, modificando la posición de la CVT pasando de una posición vertical (Véase Figura 21) a un ángulo más cercano a la horizontal (Véase Figura 22), permitiendo la modificación del chasis para cumplir con el reglamento.

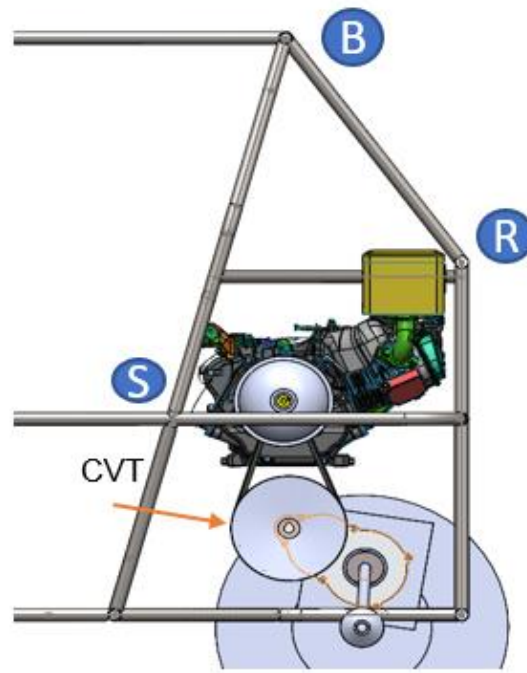


Figura 21.- CVT vertical (Sin modificación de chasis).

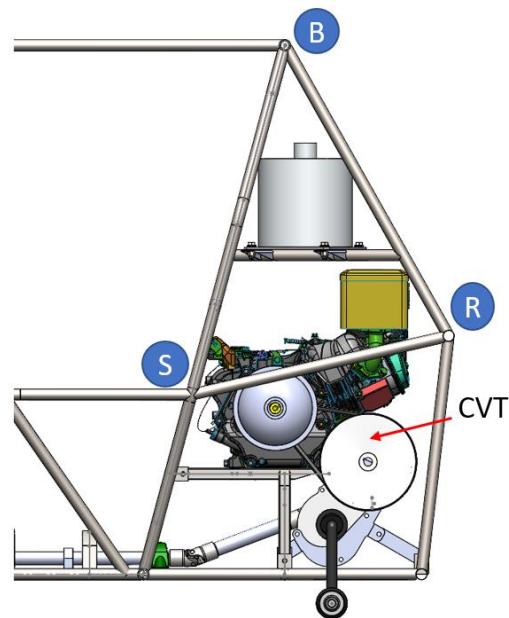


Figura 22.- CVT modificada (Con modificación de chasis).

La sección de Ergonomía realizó un estudio antropométrico con los candidatos a pilotos para definir el espacio necesario en el habitáculo, así como la posición de los soportes para el cinturón.

Tras obtener retroalimentación de las demás secciones del equipo y finalizar la revisión del reglamento, se tuvo un primer panorama de las dimensiones que requería el chasis. Una vez implementados los cambios en el diseño CAD (Véase Figura 23), se procedió a la construcción del chasis en madera.

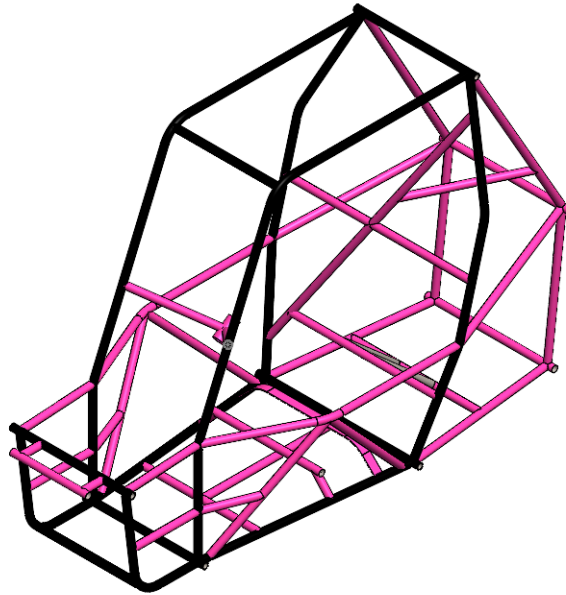


Figura 23.- Diseño final del chasis.

La construcción del chasis de madera (Véase Figura 24), proporcionó una visualización realista de los espacios y distancias entre componentes, además de permitir la presentación de componentes clave, como el motor para verificar que todos los componentes estuvieran dentro del volumen generado por el chasis.



Figura 24.- Prototipo hecho en madera.

Por otro lado, el chasis de madera también permitió colocar al piloto dentro del habitáculo para garantizar que cumpliera con las dimensiones mínimas estipuladas por el reglamento (Véase Figura 25). Además, se construyó una plantilla “dummy” (Véase Figura 26) para verificar que en el chasis 2024 de madera se corrigieran las fallas al reglamento que se presentaron en el chasis 2023.



Figura 25.- Presentación del piloto en el chasis de madera



Figura 26.- Plantilla "Dummy".

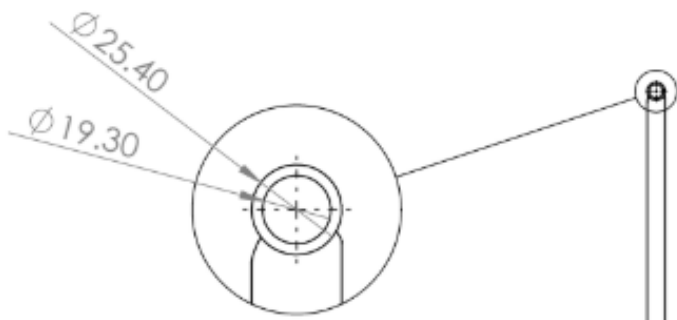
Una vez presentados todos los componentes clave de las diferentes secciones, se recopiló la información sobre los detalles y mejoras en el dimensionamiento, para posteriormente realizar los últimos cambios al diseño CAD hasta cumplir con todos los requerimientos del equipo y el reglamento BAJA SAE 2024.

Teniendo el diseño final validado, se comenzó con la construcción del chasis (Véase Figura 27), así como los soportes requeridos por las demás secciones.

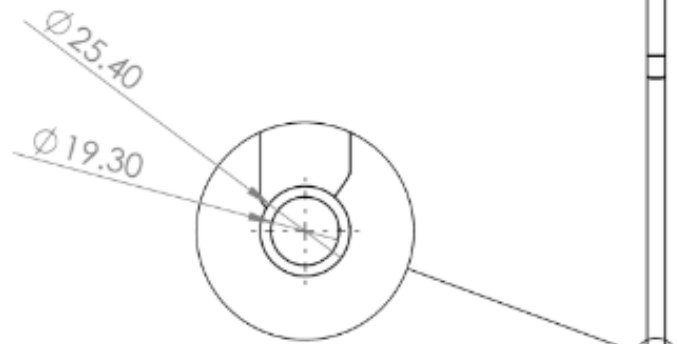


Figura 27.- Jaula en proceso de fabricación.

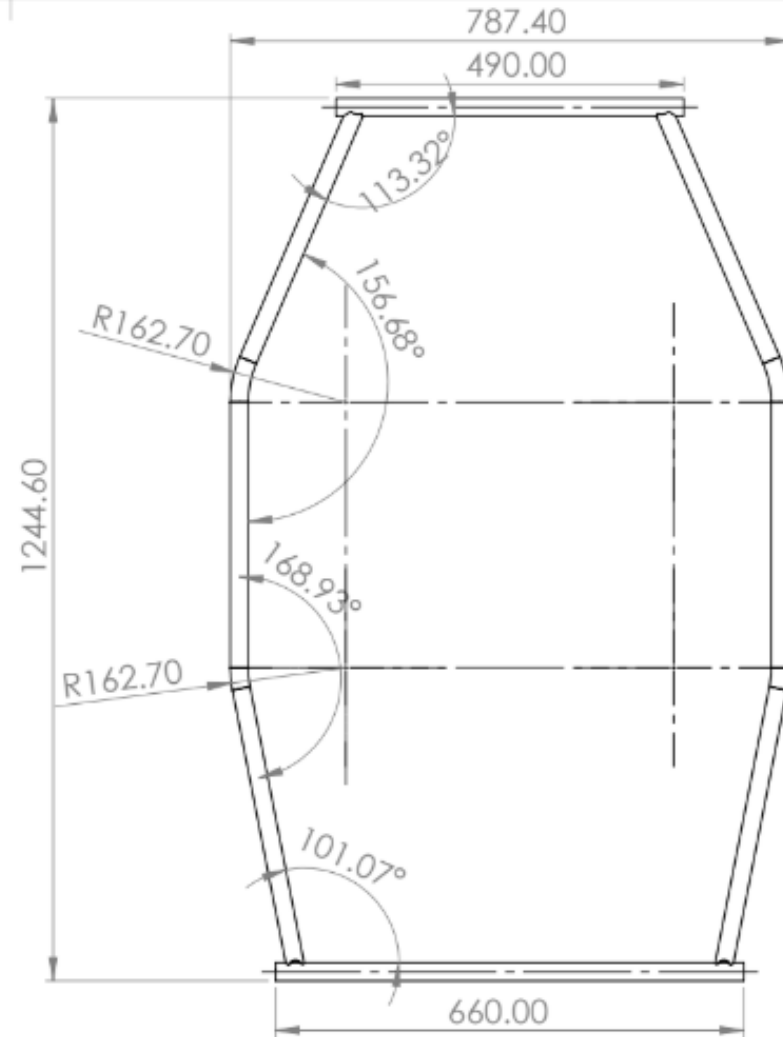
3.5 Planos de diseño



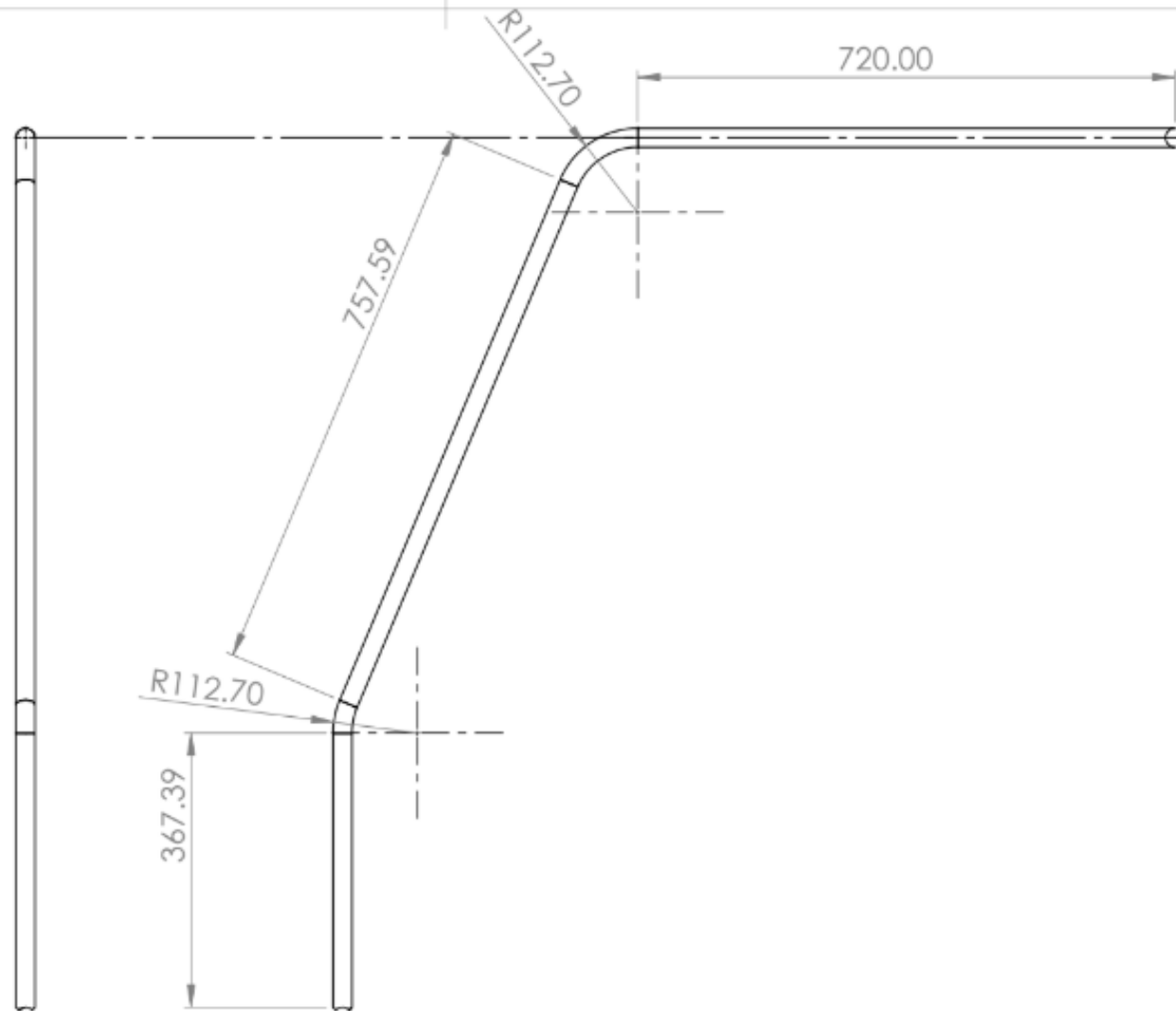
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



DETALLE D
ESCALA 1 : 2



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:10	mm		Fecha: 27/01/2025
<h1>UAM</h1>	RRH			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Rios Gabriel			1/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto Álvarez Miranda

1:9

mm



Fecha: 27/01/2025

UAM

FBM y RHO

Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

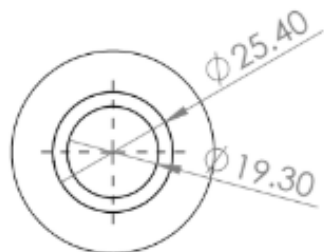
2/28



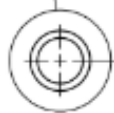
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

DETALLE C
ESCALA 1 : 1

Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:2	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	CLC			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			3/28



DETALLE B
ESCALA 2 : 3



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:3

mm



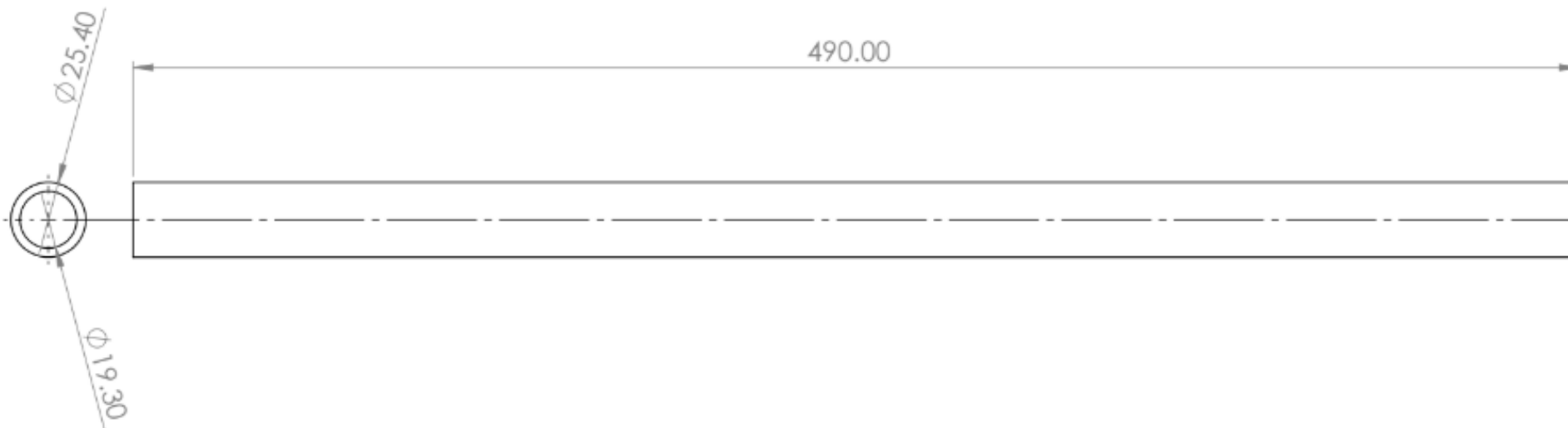
Fecha: 27/01/2025

UAM

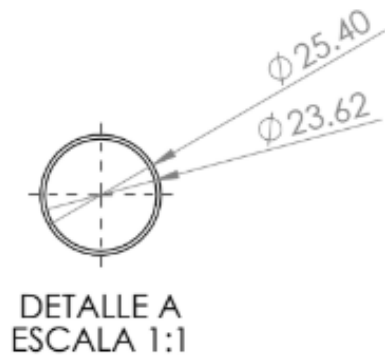
GLC

Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

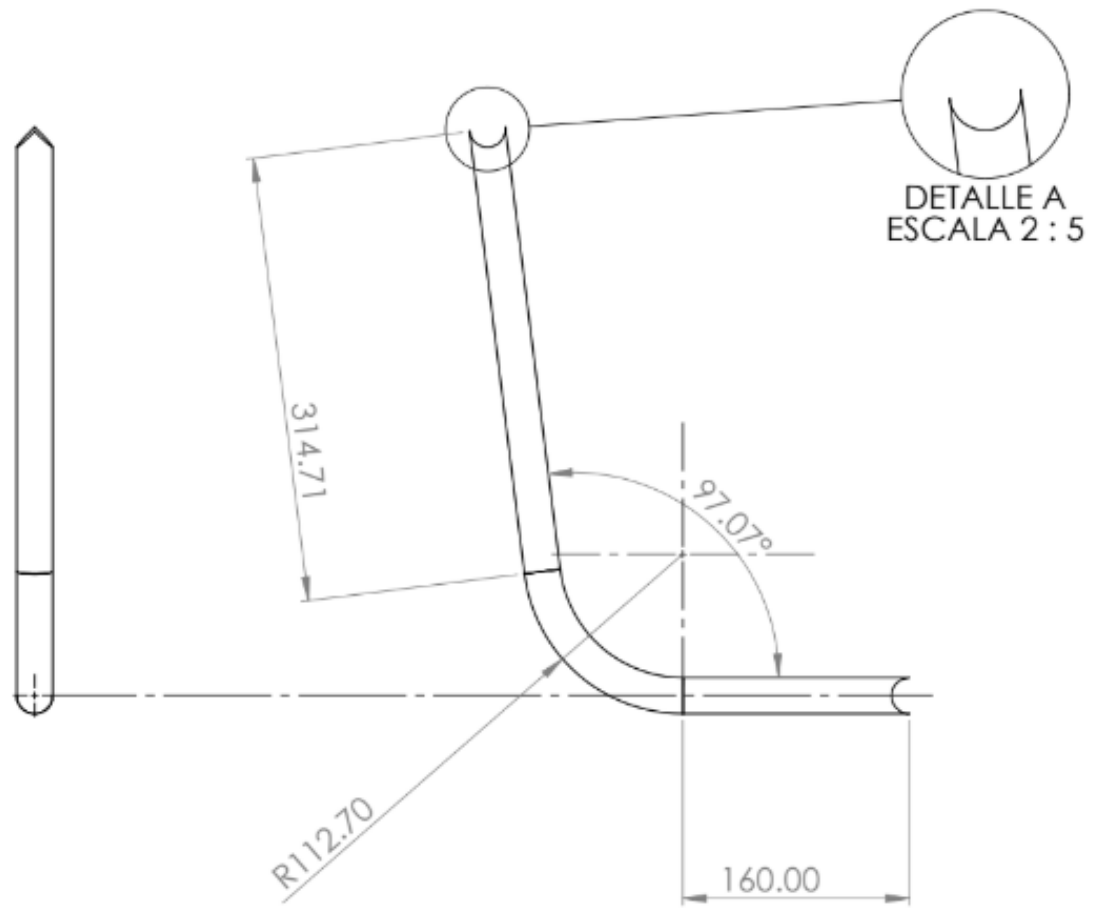
4/28



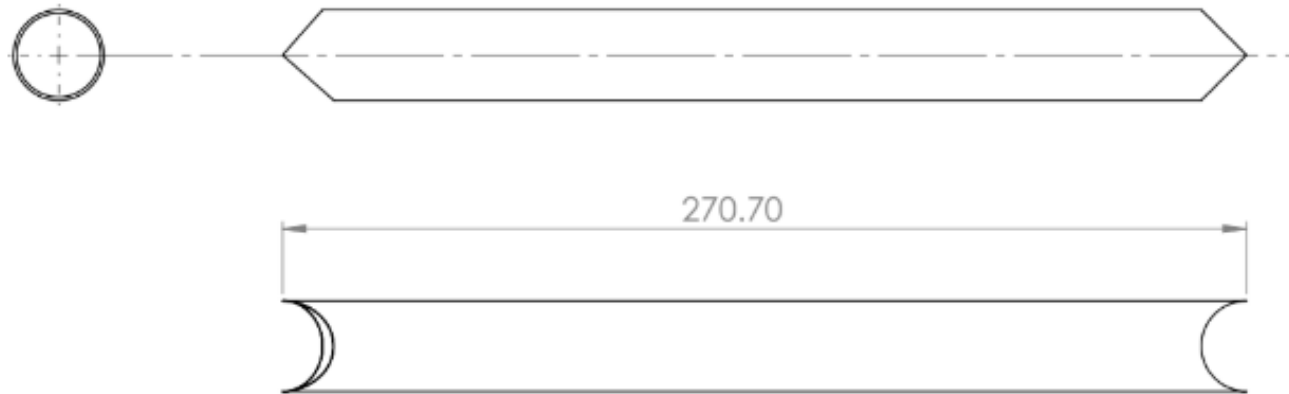
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:2	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	FLC			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			5/28



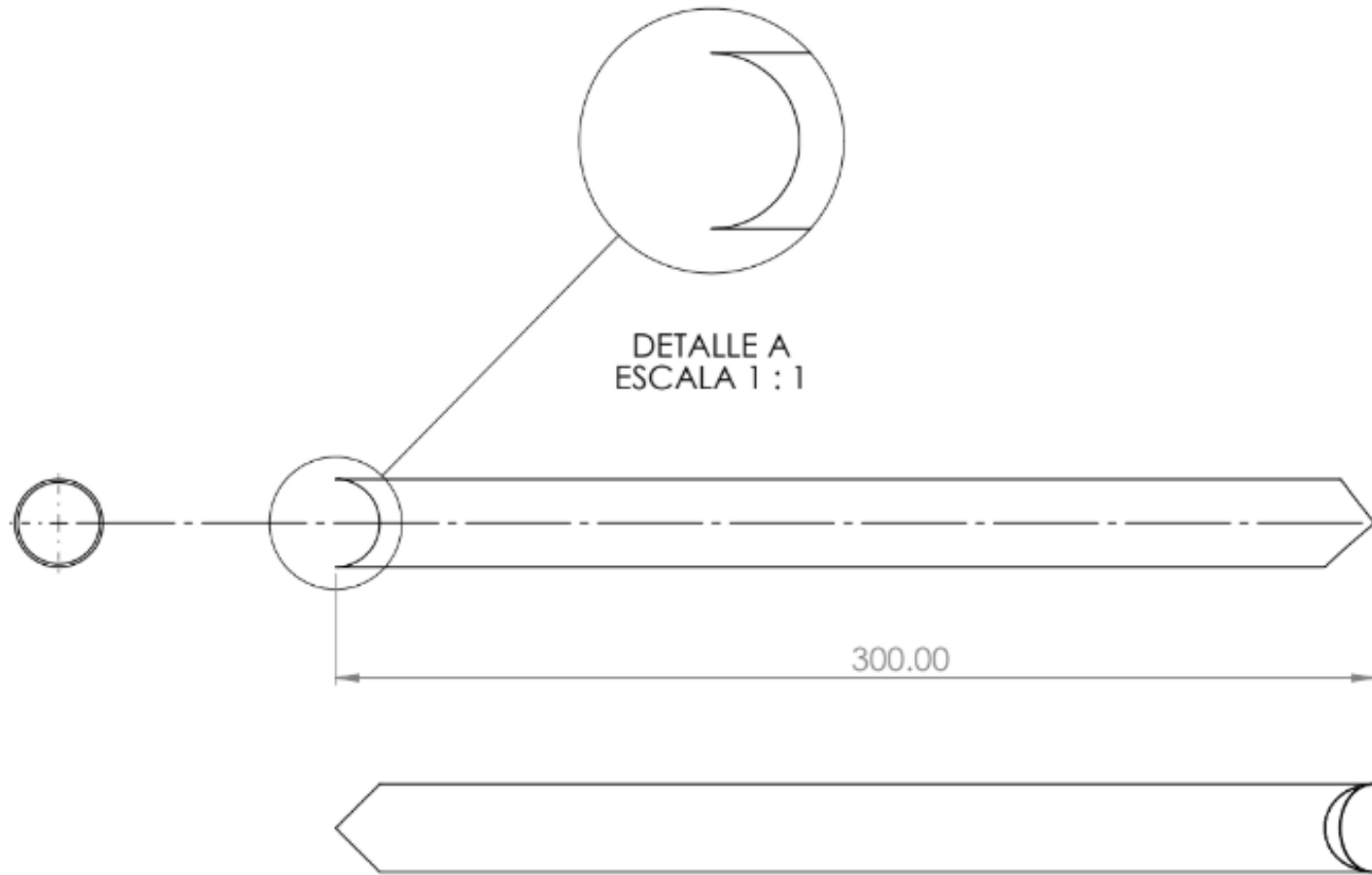
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:3	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	RLC			
	Alumnado: Guillérez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			6/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:5	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	Naríz FBM low			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			7/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:2	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	Refuerzo nariz			
	Alumnado: Guillémez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			8/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:2

mm



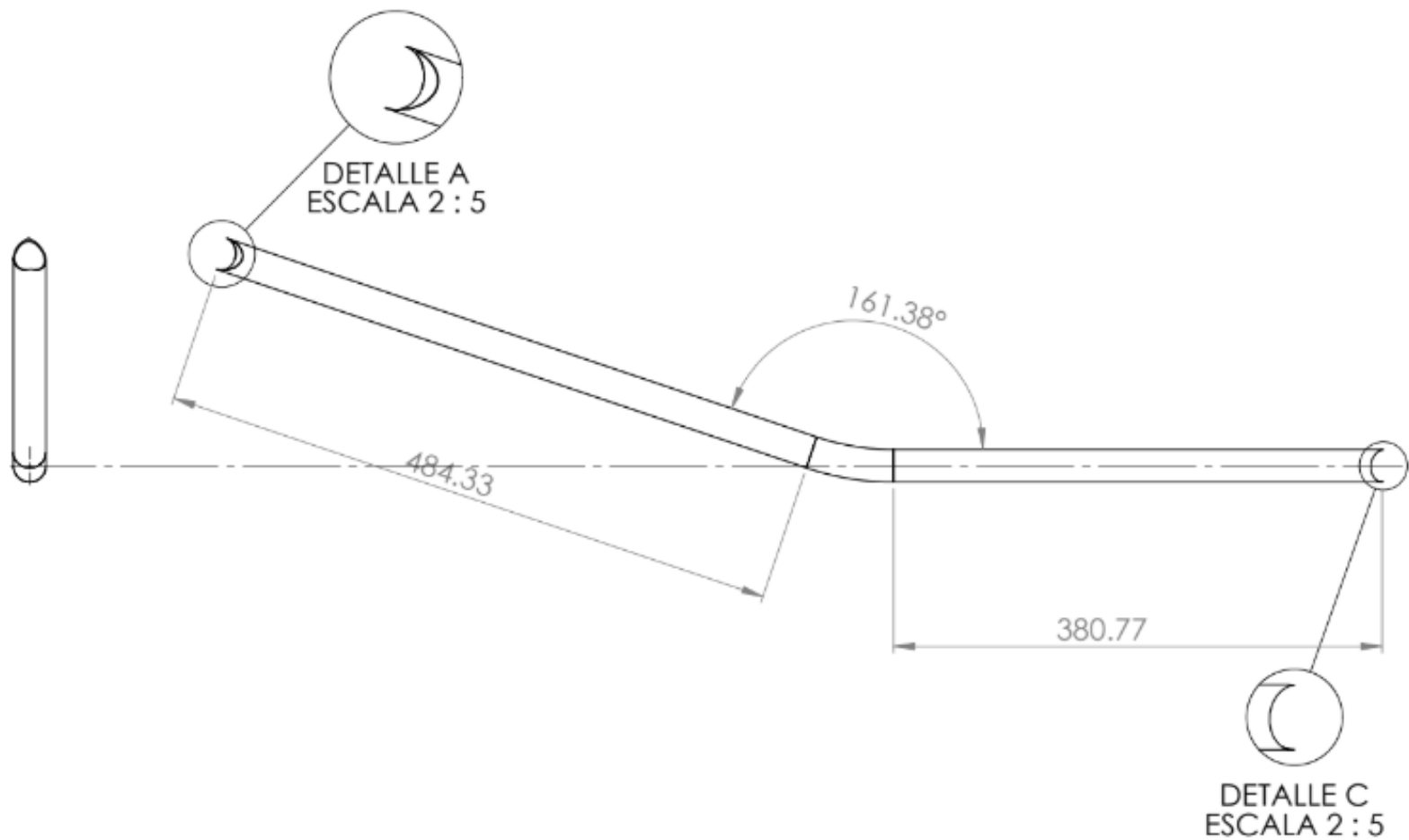
Fecha: 27/01/2025

UAM

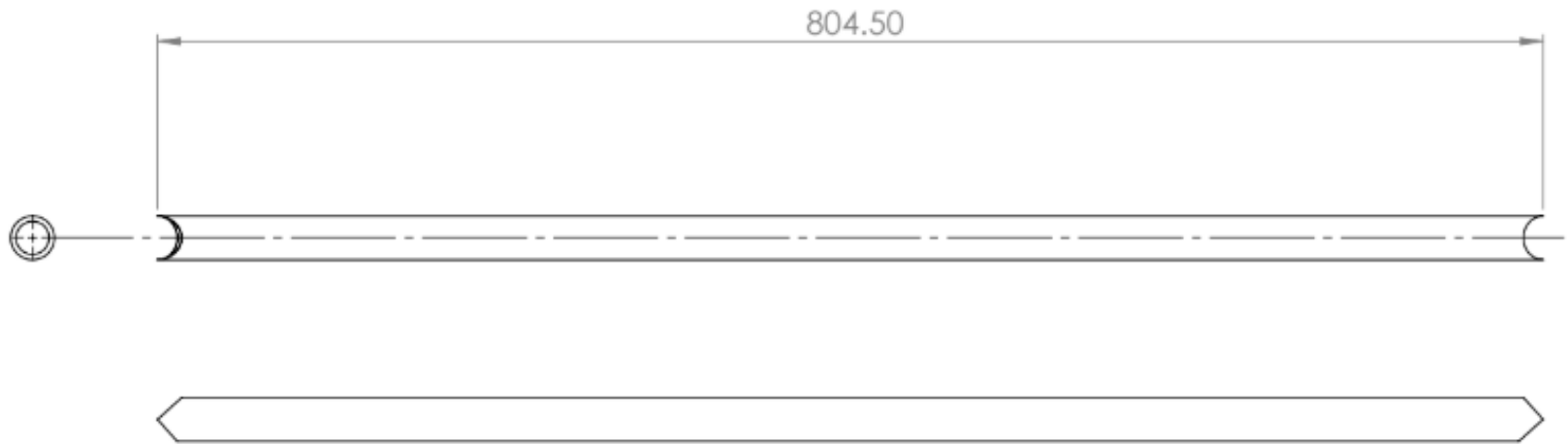
SIM nariz

Alumnado: Guillérez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

9/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:5	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	SIM			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			10/28



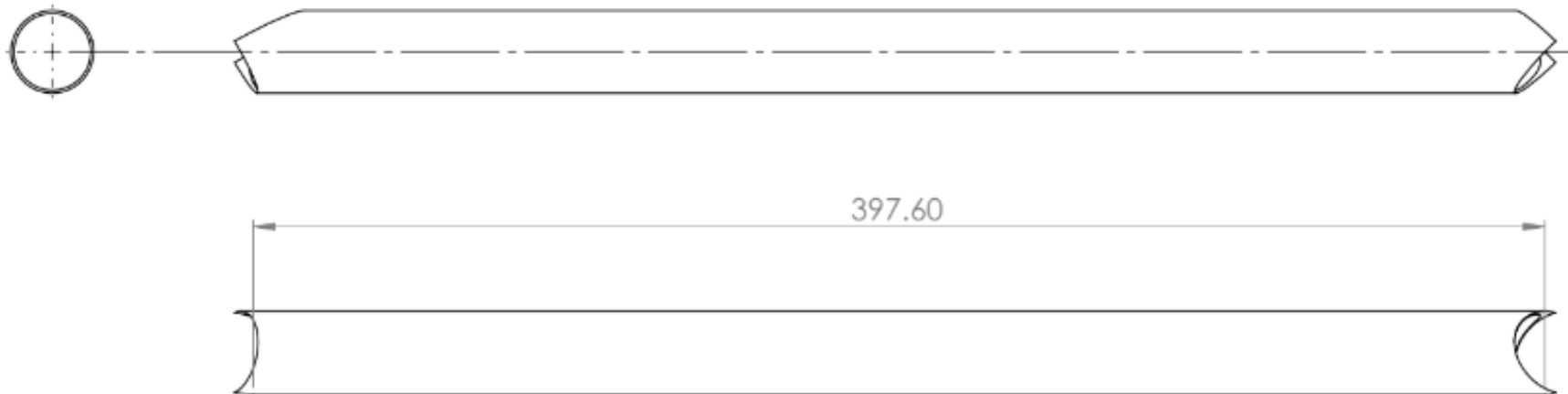
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:4	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	LFS			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			11/28



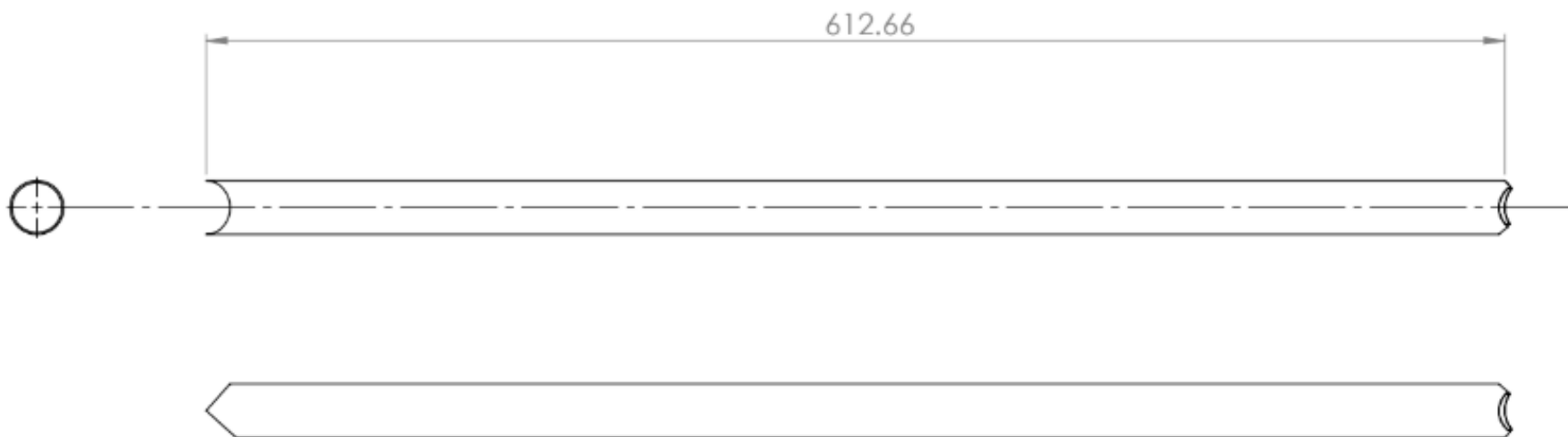
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:5	mm		Fecha: 27/01/2025
<h1 style="text-align: center;">UAM</h1>	LDB			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			12/28



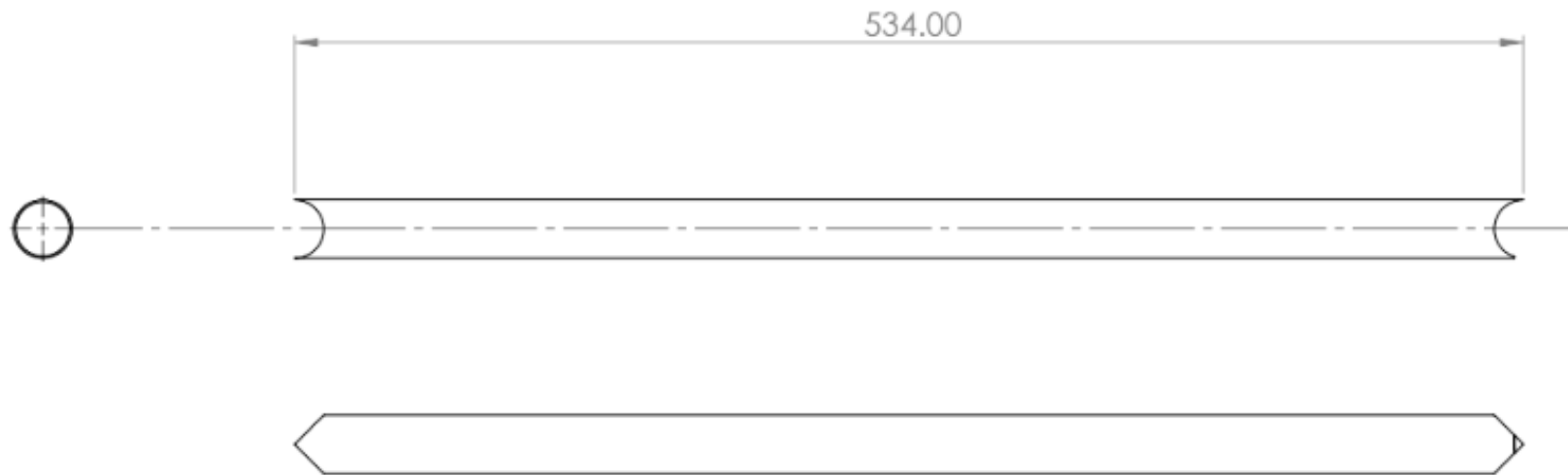
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:2	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	LDB refuerzo derecho			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			13/28



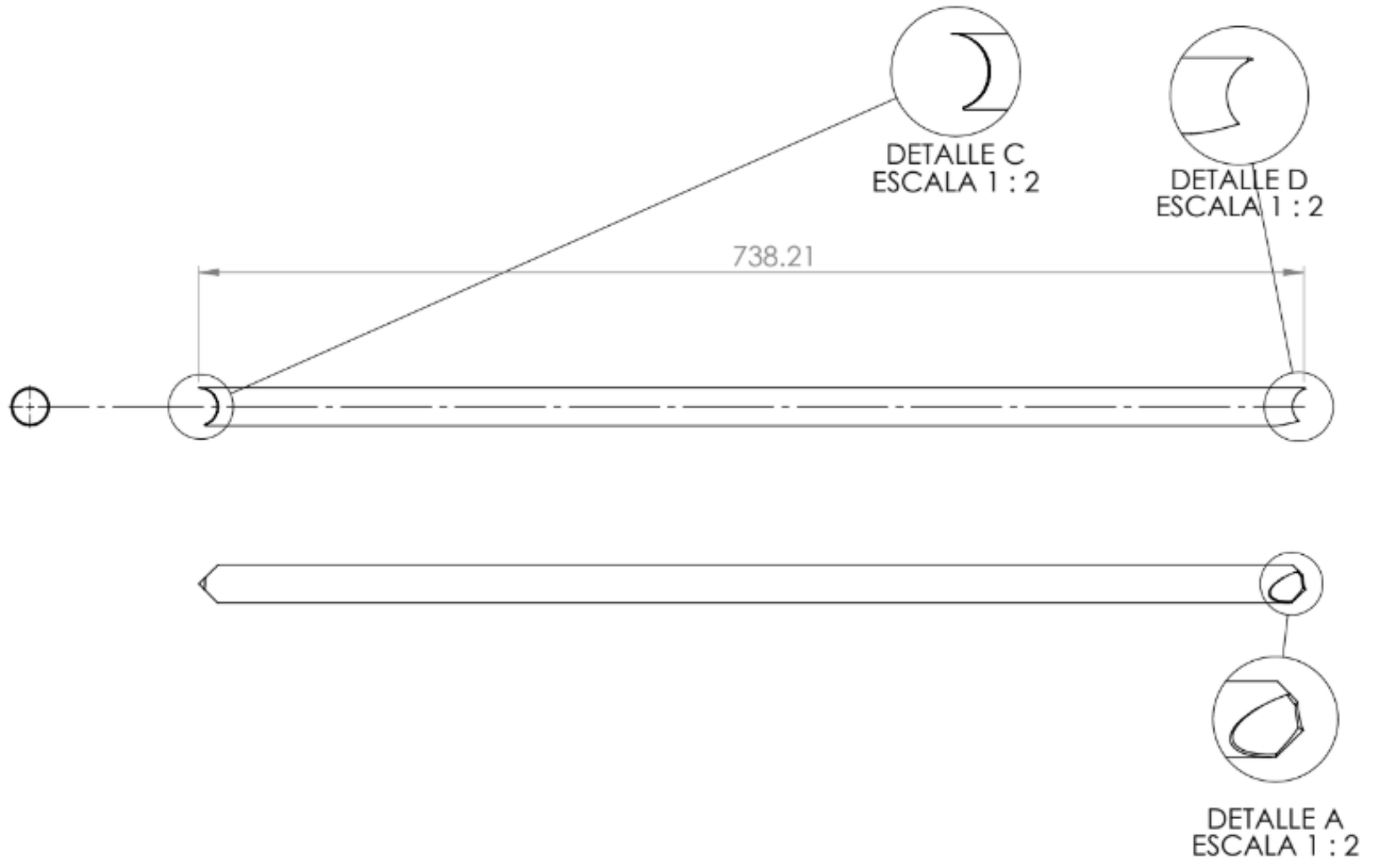
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:2	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	LDB refuerzo izquierdo			
	Alumnado: Guillérez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			14/28



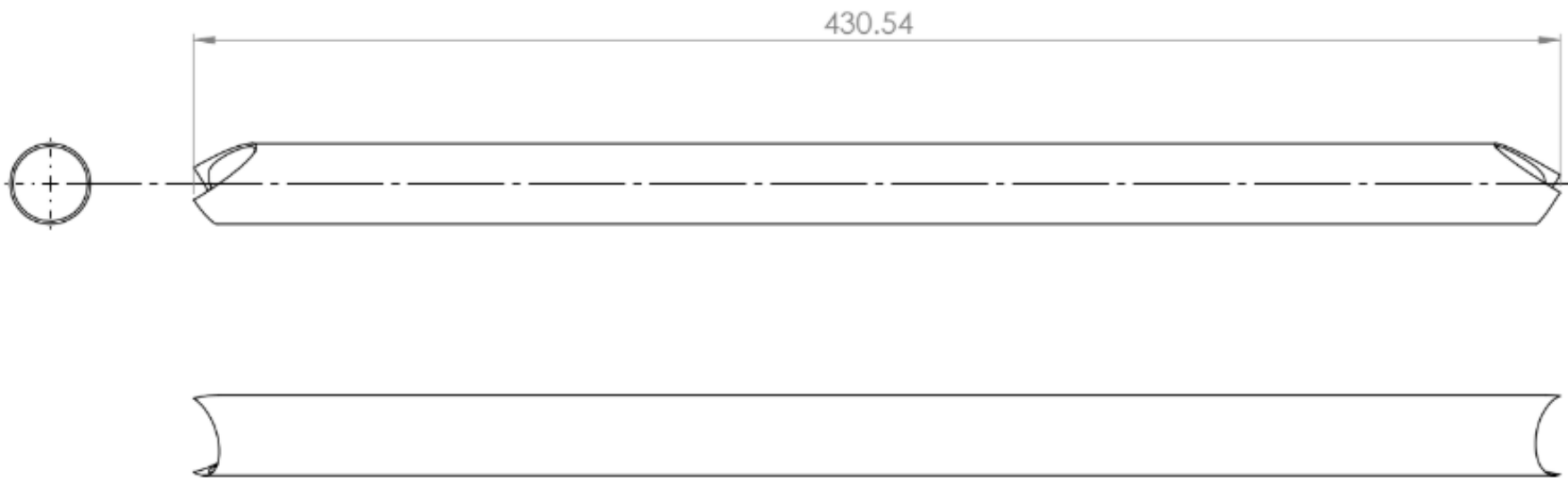
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:3	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	FAB Low 1			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			15/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:3	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	FAB Low 3			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			16/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:4	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	FAB up			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			17/28



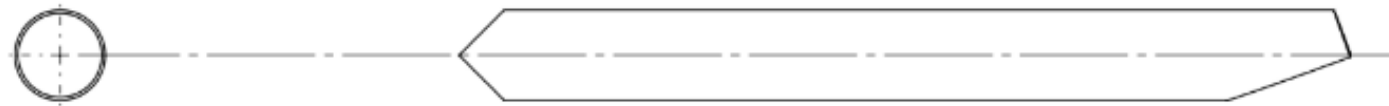
Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:2	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	Soporte de tanque			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Rios Gabriel			18/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:3	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	SIM refuerzo 1			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			19/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:3	mm		Fecha: 27/01/2025
UAM	SIM refuerzo 2			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			20/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:2

mm



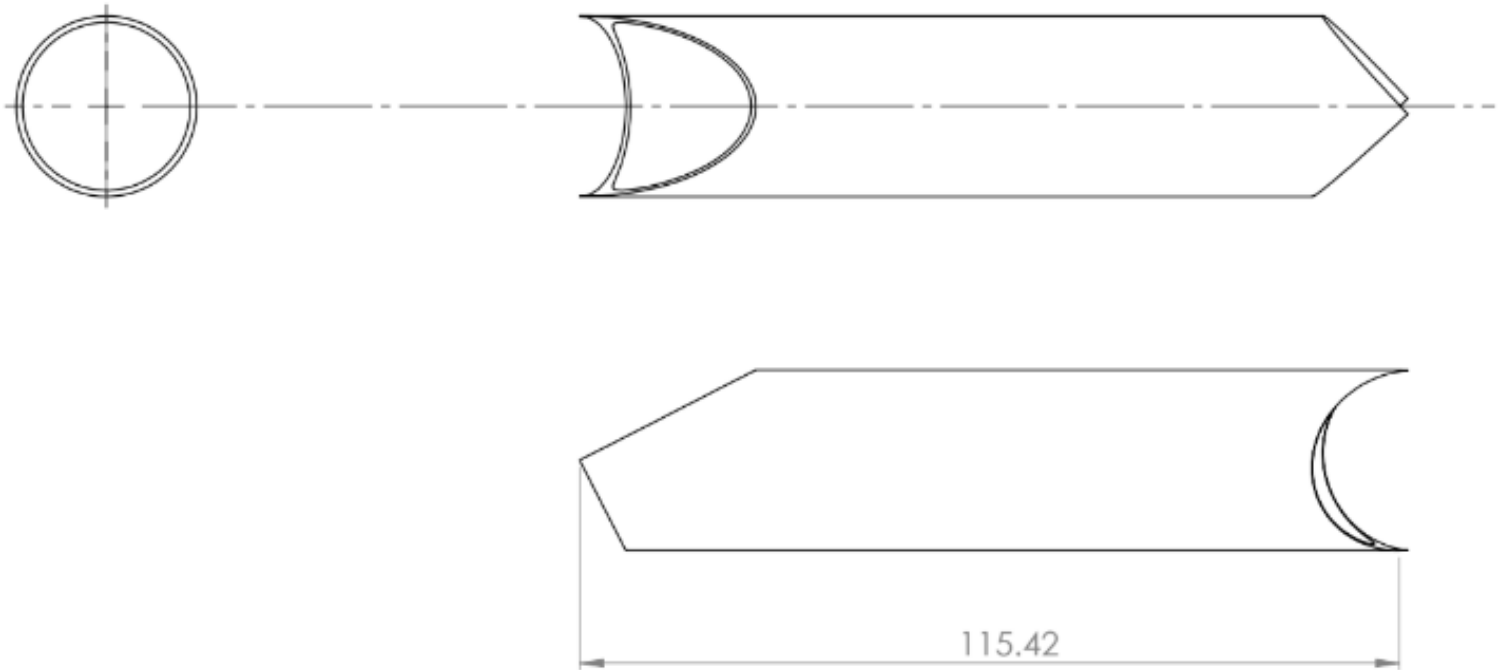
Fecha: 27/01/2025

UAM

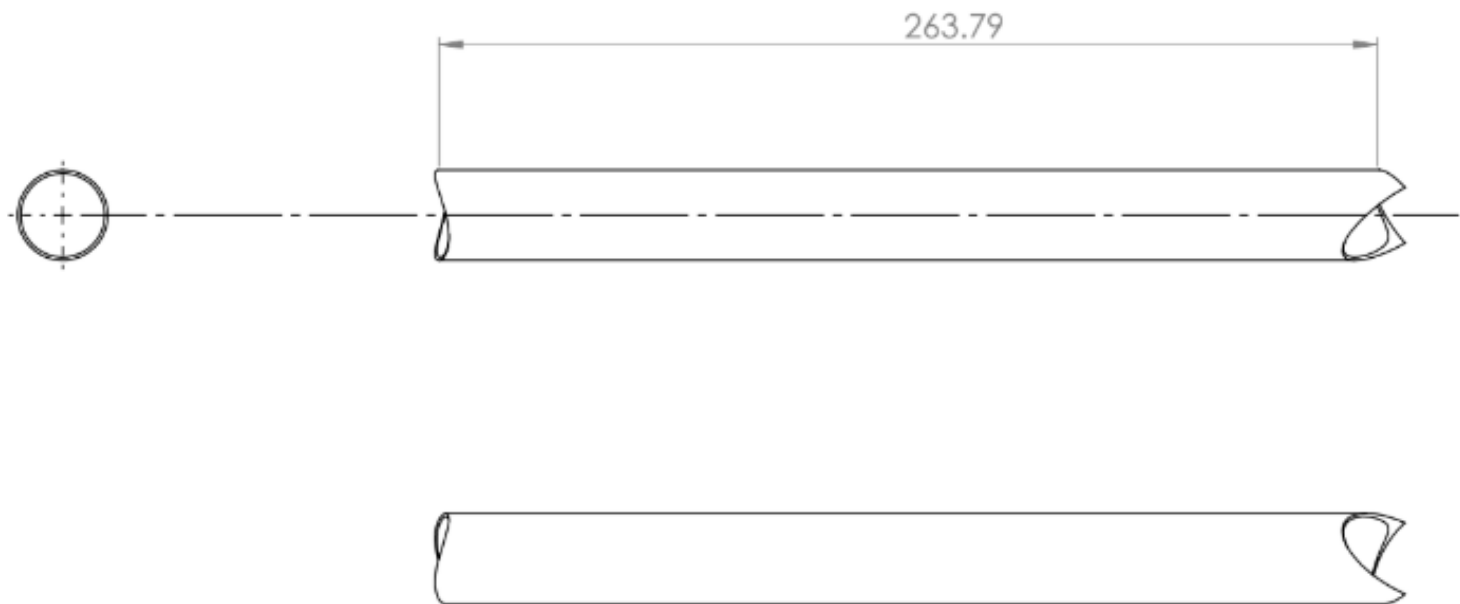
Refuerzo de horquilla

Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

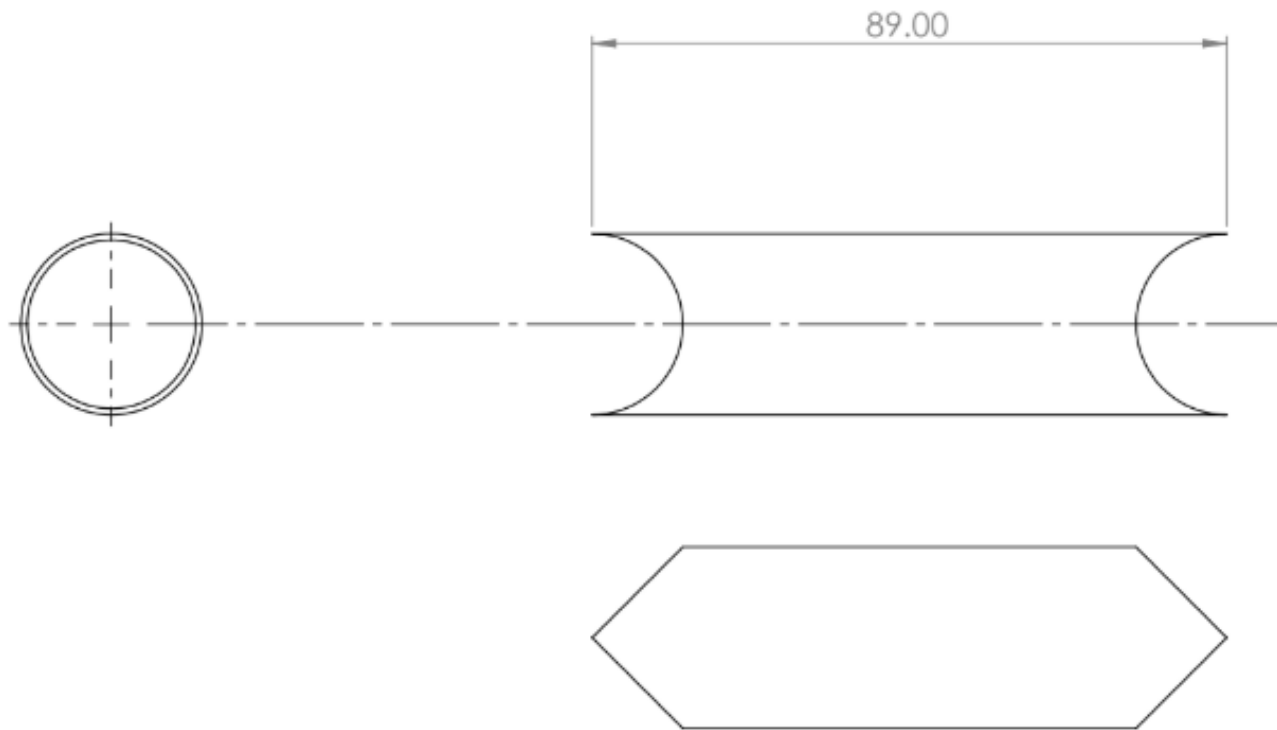
21/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:1	mm		Fecha: 27/01/2025
<h1 style="text-align: center;">UAM</h1>	UST 1			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			22/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda	1:2	mm		Fecha: 27/01/2025
<h1 style="text-align: center;">UAM</h1>	Soporte de volante			
	Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos Santiago Ríos Gabriel			23/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:1

mm



Fecha: 27/01/2025

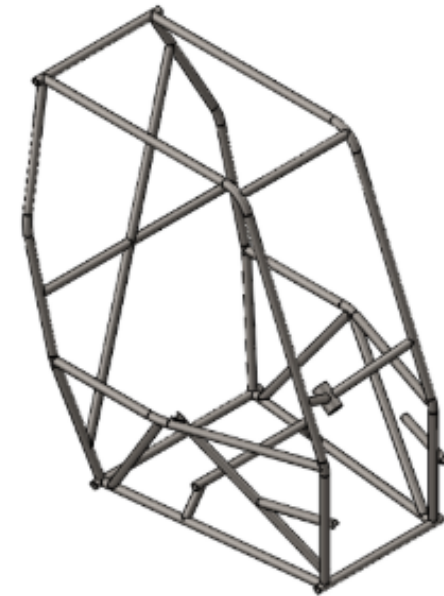
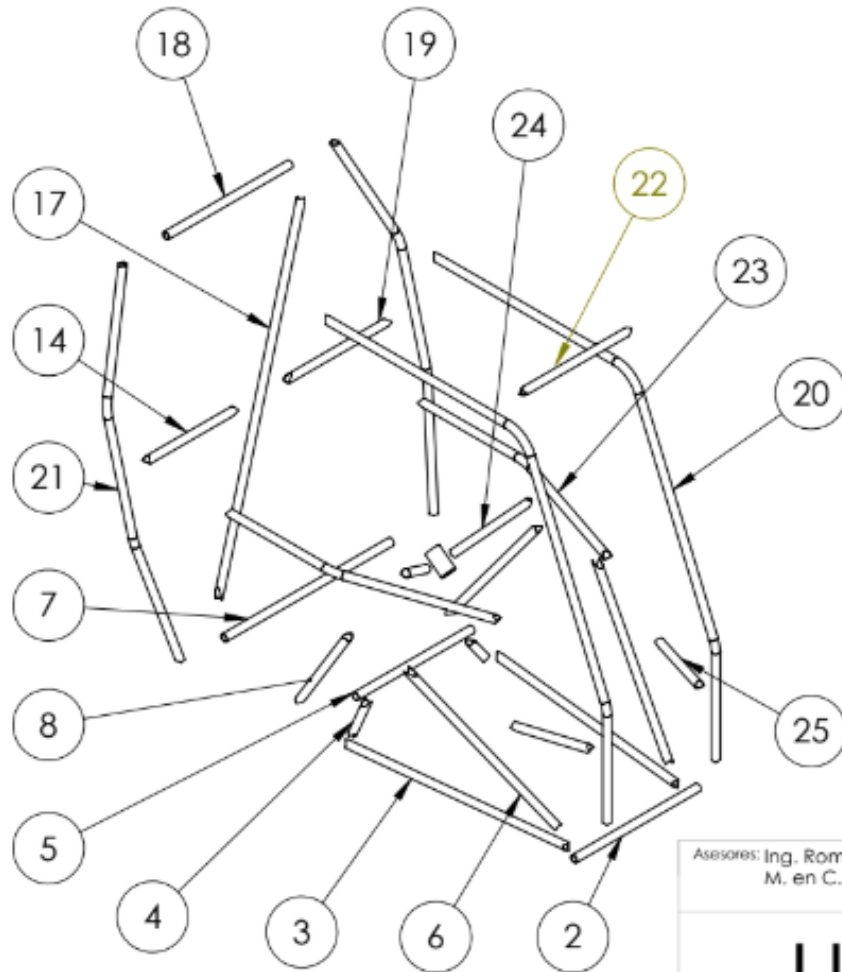
UAM

Front tow point 1

Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

24/28

NUM.	MIEMBROS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
2	1	FLC	Material secundario
6	2	SIM Refuerzo 2	Material secundario
3	3	LFS	Material primario
4	2	UST 1	Material secundario
5	1	UST 2	Material secundario
8	2	SIM Refuerzo 1	Material primario
7	1	ALC	Material primario
21	2	RRH Vertical	Material primario
14	1	LDB Refuerzo Derecho	Material secundario
17	1	LDB	Material secundario
18	1	BLC	Material primario
19	1	LDB Refuerzo Izquierdo	Material secundario
24	2	Soporte de Volante	Material secundario
22	1	CLC	Material primario
23	2	SIM	Material secundario
20	2	FBM y RHO	Material primario
25	2	Soporte de Horquilla	Material secundario



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:20

mm



Fecha: 27/01/2025

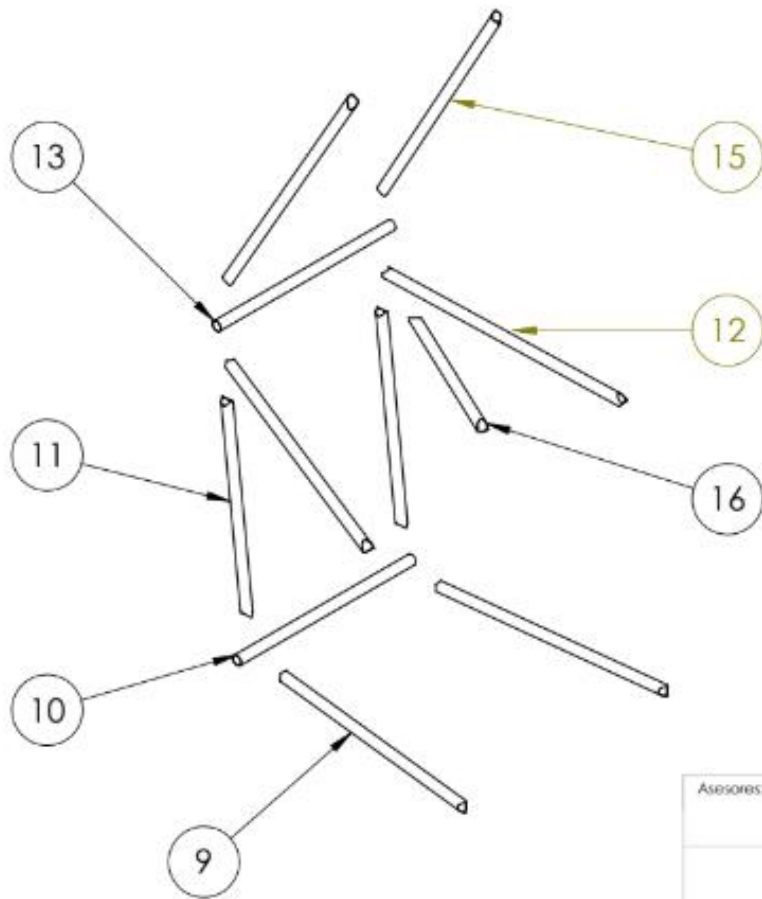
UAM

Explosionado del habitáculo

Alumnado: Guillémez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

25/28

NUM.	MIEMBROS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
9	2	FAB Low 1	Material secundario
10	1	FAB Low 2	Material secundario
11	2	FAB Low 3	Material secundario
13	1	RLC	Material secundario
15	2	FAB Up	Material secundario
12	2	FAB Mid	Material secundario
16	1	Soporte de Tanque	Material secundario



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:15

mm



Fecha: 27/01/2025

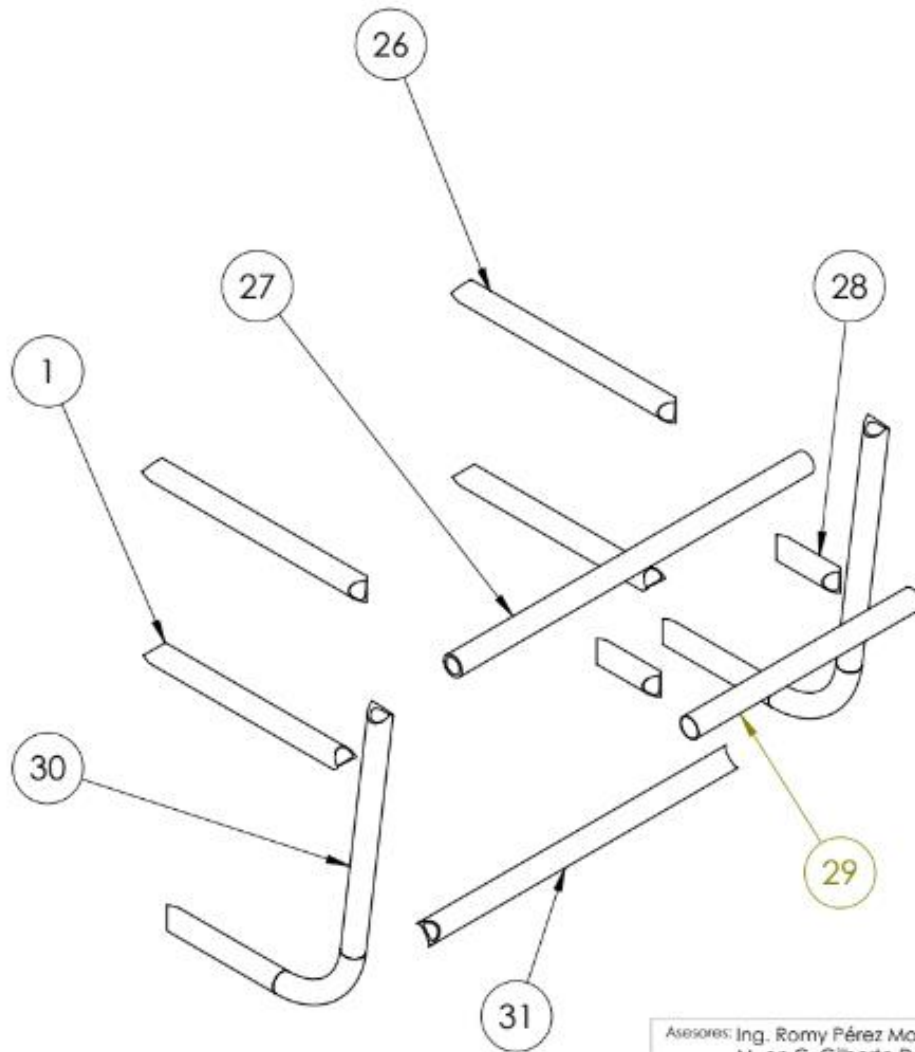
UAM

Explosionado parte trasera del chasis monocasco

Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

26/28

NUM.	MIEMBROS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	2	Refuerzo nariz	Material secundario
26	2	SIM Nariz	Material secundario
27	1	GLC	Material primario
28	2	Front Tow Point 1	Material secundario
29	1	Front Tow Point 2	Material secundario
30	2	Nariz FBM Low	Material primario
31	1	ELC	Material primario



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:7

mm



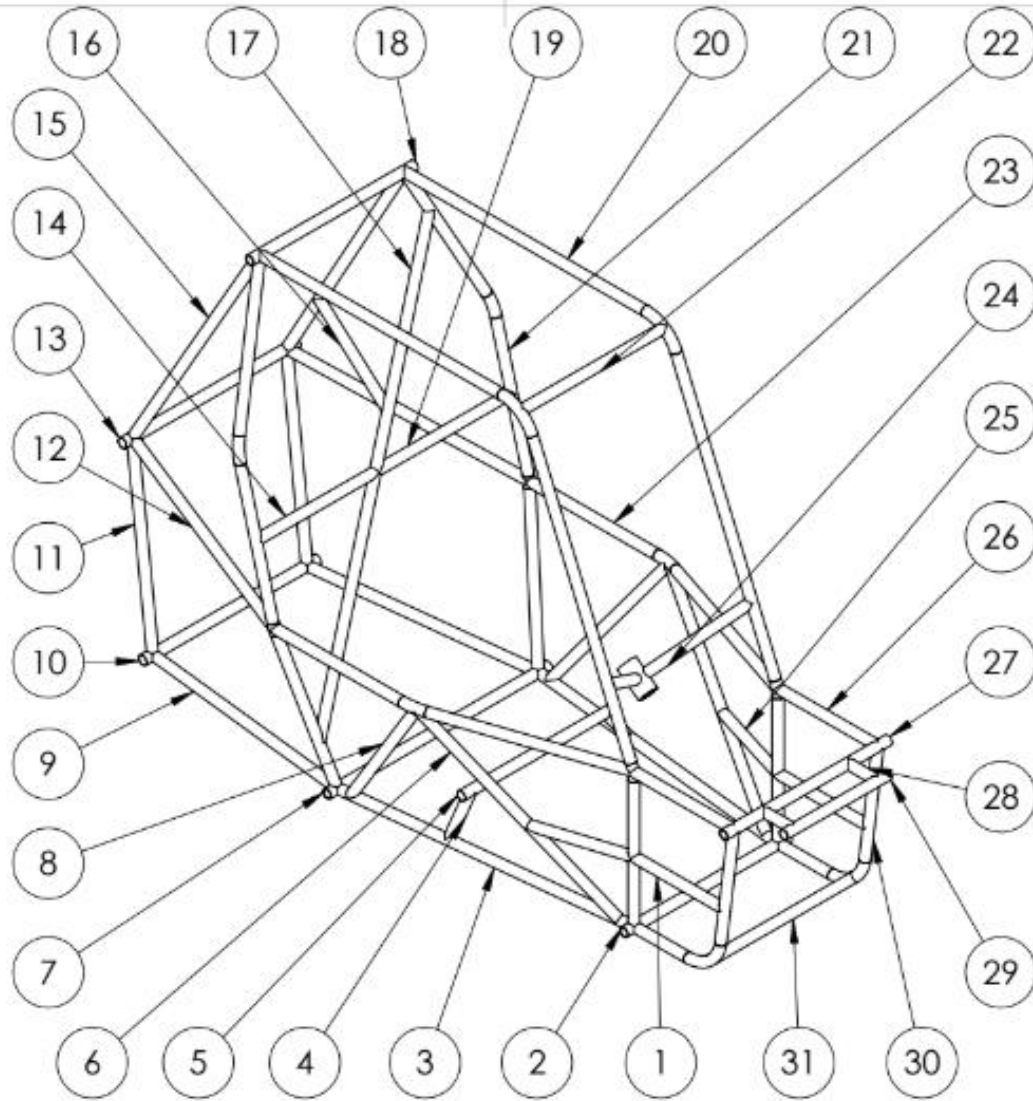
Fecha: 27/01/2025

UAM

Explosionado de la nariz

Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

27/28



Asesores: Ing. Romy Pérez Moreno
M. en C. Gilberto D. Álvarez Miranda

1:15

mm



Fecha: 27/01/2025

UAM

**Chasis monocasco
completamente ensamblado**

Alumnado: Gutiérrez Contreras Carlos
Santiago Ríos Gabriel

28/28

3.6 Manufactura del chasis.

Previo a la manufacturar el chasis de acero, primero se construyó un prototipo del diseño en madera (Véase Figura 28), esto con el objetivo de tener una vista preliminar del chasis para probar, validar y experimentar ideas.



Figura 28.- Prototipo construido en madera.

Un ejemplo de la validación del chasis es la presentación del motor y filtro, ubicándolos en su posición esperada y garantizando que el volumen generado por el chasis fue suficiente para que los componentes estén totalmente dentro (Véase Figura 29).



Figura 29.- Validación de espacio para motor.

Tener un prototipo físico del diseño ayudó a validar o descartar ideas para el desarrollo del proyecto. Se detectaron errores y fallos al visualizar cómo serían los soportes de cada componente del vehículo.

Con la retroalimentación obtenida del prototipo, en forma de opiniones y sugerencias, se procedió a implementar los cambios necesarios al diseño y al prototipo de manera económica durante la fase temprana del desarrollo.

En resumen, este prototipo facilitó la mejora continua y validación de diversos aspectos en la manufactura y en el reglamento de la competencia.

Con el diseño del chasis en CAD terminado, se decidió crear una estructura de madera MDF con el fin de dar soporte al tubo que compone el chasis, manteniendo las distancias entre tubos y ángulos requeridos para disminuir los posibles errores en la manufactura del chasis de acero.

Se comenzó diseñando el soporte de MDF en un software CAD (Véase Figura 30), de tal manera que las piezas de la estructura pudieran ser cortadas en un router CNC, además de ser ensambladas posteriormente, proporcionando estabilidad a la estructura final.

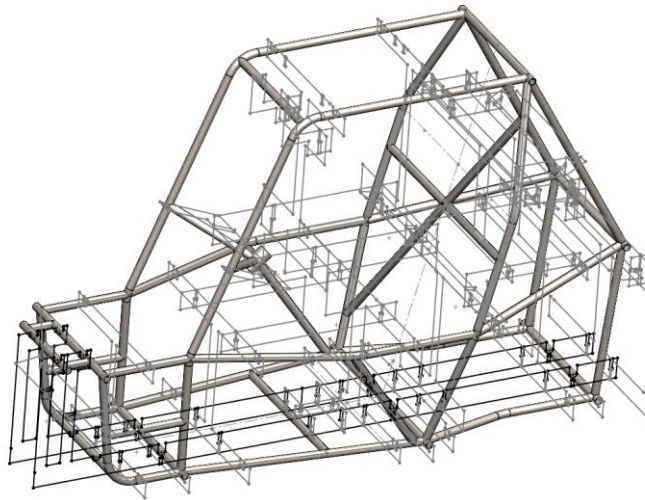


Figura 30.- Diseño del soporte en MDF.

Posteriormente, se trasladó el diseño a otro software CAD para ser refinado y corregir detalles. El MDF fue cortado en un Router CNC (Véase Figura 31), para luego ser ensamblado y reforzado en los elementos que lo requerían (Véase Figura 32).



Figura 31.- Router CNC para corte de MDF.



Figura 32.- Estructura en MDF terminada.

Una vez construido el soporte, se comenzó con el proceso de manufactura del chasis con la ayuda de las herramientas y maquinas del taller de mecánica. El proceso comenzó con el corte de los tubos a la medida requerida por el diseño de cada miembro del chasis en la sierra de cinta (Véase Figura 33).



Figura 33.- Sierra de cinta para corte de tubos.

Para la correcta unión de los tubos era necesario elaborar bocas de pescado. Estas debían ser realizadas al ángulo y posición necesarias en el diseño, para evitar generar espacios entre los tubos que pudieran dificultar el proceso de soldadura. Por esta razón, se generaron plantillas para su manufactura (Véase Figura 34).



Figura 34.- Plantilla para corte de boca de pescado.

El proceso de manufactura para las bocas de pescado comenzó con el retiro de todo el material excesivo de la boca de pescado utilizando una esmeriladora y con la ayuda de la plantilla (Véase Figura 35), para posteriormente ser rectificadas en la fresadora vertical.



Figura 35.- Retiro de material con esmeriladora.

Con la fresadora vertical se rectificaron las bocas de pescado utilizando cortadores de 25.4mm, cuyo diámetro es el mismo que el del tubo.

Existen tres casos para las bocas de pescado: el primero, en el que dos tubos coinciden a 90° ; el segundo, en el que dos tubos coinciden a un ángulo diferente de 90° ; y, por último, el caso en el que tres tubos coinciden a distintos ángulos. Para los dos últimos casos, se requirió colocar el cabezal de la fresadora vertical según el ángulo que requería el diseño (Véase Figura 36).



Figura 36.- Fresadora vertical con cortador anular para corte de boca de pescado.

En paralelo con las bocas de pescado, el diseño requería el doblado de tubos (Véase Figura 37). Debido a que, previamente, en el año 2023 se tuvo la experiencia de no poder realizar el doblado de tubos en la universidad y que la tubería secundaria tenía un espesor muy delgado, se requirió buscar un taller especializado que contara con una máquina de doblado de tubo que contara con control numérico computarizado y así lograr los ángulos necesarios con más precisión.



Figura 37.- Doblado de tubo.

Para comenzar la construcción, se identificó cada tubo con su respectivo nombre indicado por el reglamento de la competencia.

Con todos los tubos preparados, comenzó la construcción, iniciando por el RRH por separado, para luego ser montado en la estructura principal.

La estructura principal se comenzó a construir por el piso (LFS, ALC, ELC, FAB Low) y la nariz (LFS nariz y GLC) del chasis, haciendo uso del soporte de madera MDF.

Una vez listo el RRH, se montó junto con los miembros llamados FBM y CLC, cuidando que el RRH quedara al ángulo requerido y se generara el espacio necesario del habitáculo (Véase Figura 38).

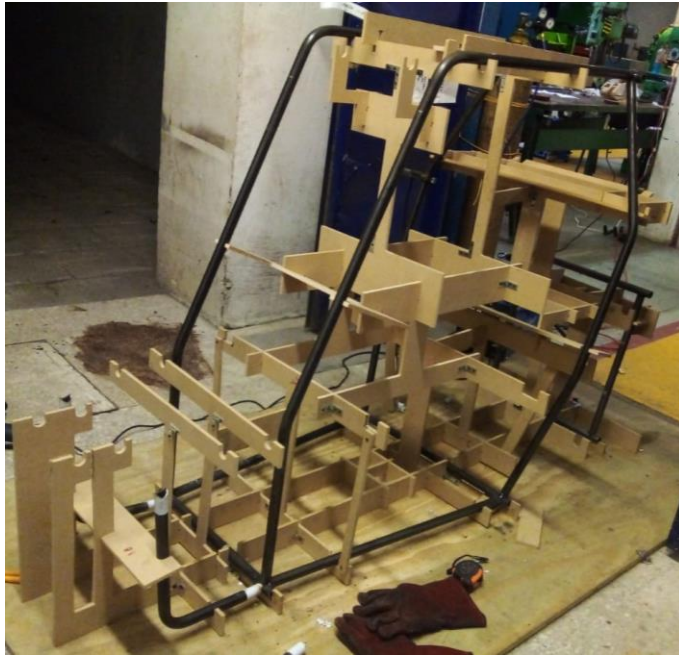


Figura 38.- Proceso de construcción del chasis (habitáculo).

Posteriormente, se colocaron los miembros que componen el refuerzo trasero (FAB Up, FAB Mid y uniones) (Véase Figura 39).



Figura 39.- Proceso de construcción del chasis (Refuerzo trasero).

Por último, para terminar la estructura principal, se soldaron los miembros denominados SIM en el habitáculo y en la nariz (Véase Figura 40).



Figura 40.- Proceso de manufactura del chasis monocasco (Miembro SIM).

Una vez construido el chasis monocasco, el siguiente paso fue diseñar, manufacturar e implementar los elementos y componentes que conforman la sección de ergonomía en el vehículo en base al reglamento de la competencia. Esta sección se realizó con apoyo de integrantes del equipo.

3.6.1 Piso y Firewall.

Con el chasis finalizado, se pudo tomar medidas para el piso y firewall para posteriormente ser cortados y ensamblados en el chasis (Véase Figura 41 y 42). El material elegido fue lámina de aluminio en calibre 22 para ambas láminas del vehículo.



Figura 41.- Firewall.



Figura 42.- Piso de aluminio.

3.6.2 Paneles del chasis.

El reglamento indica que el chasis debe de estar recubierto en ambos laterales del área entre FAB Up y RRH, además del área entre los miembros nombrados SIM y LFS (Véase Figura 43 y 44).



Figura 43.- Paneles entre SIM y LFS.



Figura 44.- Panel de parte superior del sistema FAB.

Todos los paneles, se sujetaron soldando pestañas de lámina perforadas para posteriormente introducir un car clip (Véase Figura 45).



Figura 45.- Car Clip.

3.6.3 Cinturón de seguridad y su protección.

La colocación de los cinturones requirió soldar dos tubos adicionales al miembro LDB y dos soportes para la base del asiento, las dimensiones para la ubicación de dichos tubos se consiguieron con ayuda del equipo realizando un estudio antropométrico.

El estudio antropométrico fue importante para la correcta sujeción del piloto con el cinturón de seguridad, por reglamento el cinturón requiere ser de 5 puntos (Véase Figura 46).



Figura 46.- Cinturón de seguridad.

3.7 Pruebas Destructivas.

Para la construcción del chasis, la competencia indica que debe ser soldado por integrantes del equipo. Es por esto que se requieren pruebas de soldadura para verificar la calidad de las mismas; estas probetas son mostradas a los jueces durante la competencia.

3.7.1 Prueba 1.

La primera prueba consiste en soldar dos tubos del mismo material del que está hecho el chasis, formando una unión a 90° (Véase Figura 47). Esta probeta debe ser sometida a un esfuerzo en el elemento vertical, provocando una falla fuera de la soldadura para que sea válida.

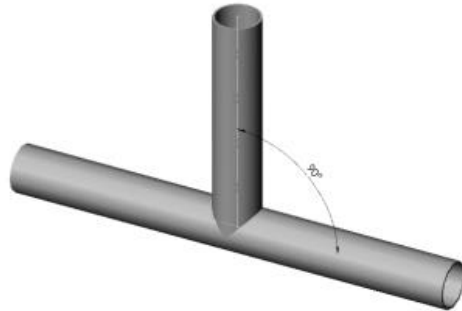


Figura 47.- Chasis monocasco, Muestra de Soldadura 1. [1].

En la Figura 48, se muestra la probeta soldada después de la prueba destructiva. Como se puede observar, la probeta falla fuera de la soldadura.



Figura 48.- Probeta después de la prueba 1.

3.7.2 Prueba 2.

Esta prueba consiste en soldar dos tubos a un ángulo de 30° y con una distancia mínima de 150mm de los bordes del segundo tubo (Véase Figura 49). El objetivo de esta prueba es verificar la correcta penetración de la soldadura en el material.

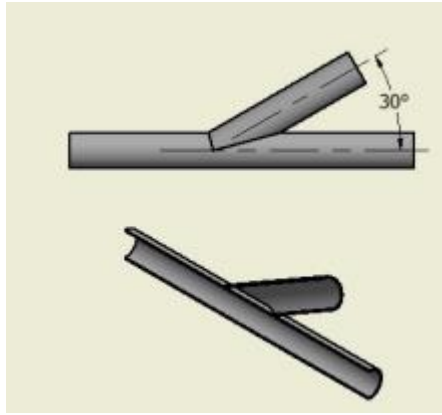


Figura 49.- Chasis monocasco, Muestra de Soldadura 2. [1].

En la Figura 50, se observa la probeta soldada y cortada por la mitad después de la prueba destructiva. Como se puede observar, la soldadura penetró en el material sin dejar huecos o discontinuidades.



Figura 50.- Probeta después de la prueba 2.

Estas dos pruebas garantizan la buena unión de los miembros del chasis.

Capítulo 4

4. Resultados

El siguiente capítulo se muestran las simulaciones de impacto en los 4 diferentes escenarios.

Al calcular la rigidez y resistencia a la flexión para dos tubos estructurales de sección transversal cuadrada y uno de sección circular con las características de los miembros primarios. La tabla# muestra los resultados obtenidos

Tabla 3.- Validación de propuesta de tubo de sección cuadrada.

Sección transversal del tubo estructural.	Momento de Inercia	Rigidez a la flexión (k_b)	Resistencia a la flexión (S_b)
Circular-primario	$1.36 \times 10^{-8} m^4$	$2788 Nm^2$	$829.23 Nm$
Cuadrado-1.65mm	$1.48 \times 10^{-8} m^4$	$3034 Nm^2$	$638.11 Nm$
Cuadrado-3mm	$2.28 \times 10^{-8} m^4$	$4674 Nm^2$	$983 Nm$

En la Figura 51 se muestra el resultado final del tipo de chasis monocasco que se manufacturó, el cual corresponde a una configuración de tipo refuerzo trasero. El chasis monocasco se desempeñó de manera funcional junto a los demás componentes del vehículo, resistiendo las cargas que estos aplican al chasis monocasco.



Figura 51.- Chasis monocasco final.

Se manufacturó el chasis monocasco y los soportes para los demás componentes del vehículo, por ejemplo: soporte del volante, soporte de amortiguador, soporte de asiento, soporte de la cremallera (Véase Figura 52).



Figura 52.- Soporte de volante y amortiguador.

4.1 Impacto Frontal.

En este escenario, se plantea que el vehículo BAJA SAE UAM 2024 impacta de forma frontal contra otro vehículo de características similares que se encuentra estático (Véase Figura 53), viajando a una velocidad de $8.33 \frac{m}{s}$, y el tiempo de impacto que toma es de 0.1 s.

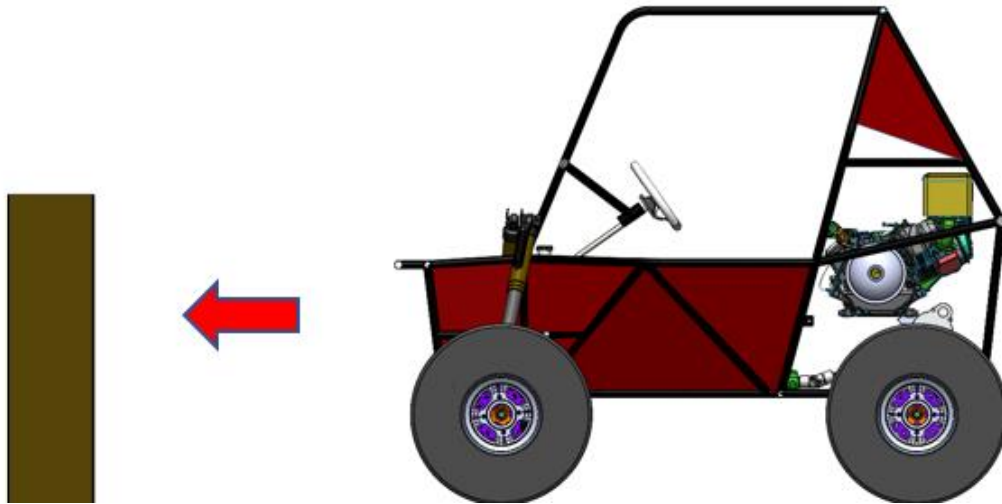


Figura 53.- Escenario de impacto frontal.

4.2 Impacto Lateral.

Para este escenario, se plantea que el vehículo BAJA SAE UAM 2024 está estacionado y es impactado de forma lateral por otro vehículo de dimensiones similares (Véase Figura 54). El vehículo viaja a una velocidad de $8.33 \frac{m}{s}$ y el tiempo de impacto es de 0.1 s.

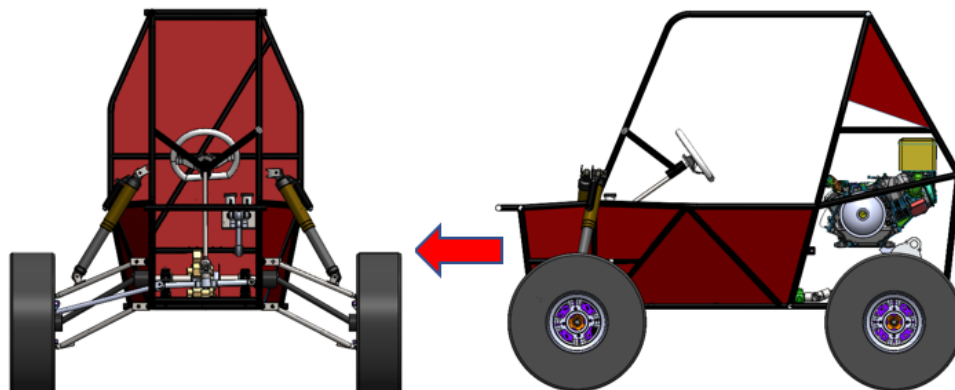


Figura 54.- Escenario de impacto lateral.

4.3 Impacto Trasero.

En el impacto trasero, se considera que el vehículo BAJA SAE UAM 2024 se encuentra estacionado, mientras que otro vehículo de tipo BAJA lo impacta por detrás (Véase Figura 55). Este escenario plantea que el vehículo circula a una velocidad de $8.33 \frac{m}{s}$ y el tiempo de impacto que toma es de $0.1 s$.

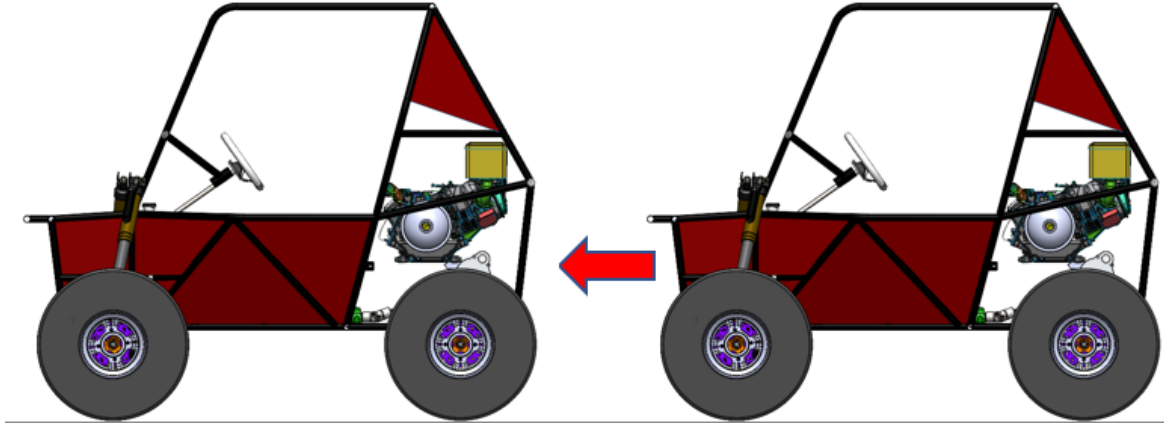


Figura 55.- Escenario de impacto trasero.

4.4 Volcadura.

Se considera que el vehículo vuelca, cayendo a una altura de $2.5 m$ hasta quedar completamente boca arriba, por lo que los elementos del chasis nombrados RHO impactan contra el suelo (Véase Figura 56), el tiempo de impacto que se considera es de $0.1 s$.

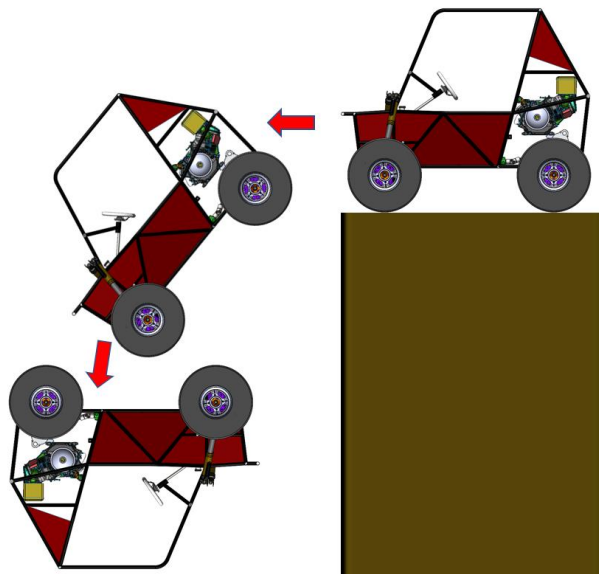


Figura 56.- Escenario de volcadura.

4.5 Resultados de las simulaciones de impacto en ANSYS.

Las simulaciones tienen como objetivo predecir el comportamiento del chasis bajo cargas aplicadas en distintos escenarios, con el fin de prever fallos o problemas que pudieran surgir, aprovechando la ventaja de experimentar con el diseño en condiciones extremas que son difíciles de replicar en un entorno físico.

Otros beneficios incluyen la mejora del diseño al probar diferentes configuraciones y materiales mediante diversas iteraciones, hasta encontrar la opción más eficiente, segura y de menor costo. Esto repercute en el tiempo de desarrollo, ya que no es necesario construir prototipos, además de mejorar la confiabilidad.

En el instante del impacto, cuando se tiene la velocidad máxima, se considera un tiempo de impacto de 0.1 segundos. Entonces:

Sustituyendo la Ec. (14):

$$d = \left(8.33 \frac{m}{s}\right) (0.1 s) = 0.833 [m]$$

Utilizando la Ec. (15), obtenemos la fuerza de impacto en los escenarios frontal, trasero y lateral:

:

$$f = -\frac{(350 \text{ kg}) \left(8.33 \frac{m}{s}\right)^2}{2(0.833 \text{ m})} = -14578 [N]$$

A continuación, se muestran a detalle las simulaciones para cada escenario de impacto planteado.

4.5.1 Impacto Frontal.

Datos:

$$\text{Fuerza de impacto } f = -14578 \text{ [N]}$$

Para realizar la simulación de impacto frontal, marcados en color azul, se fijaron miembros de la parte trasera del chasis (Véase Figura 57).

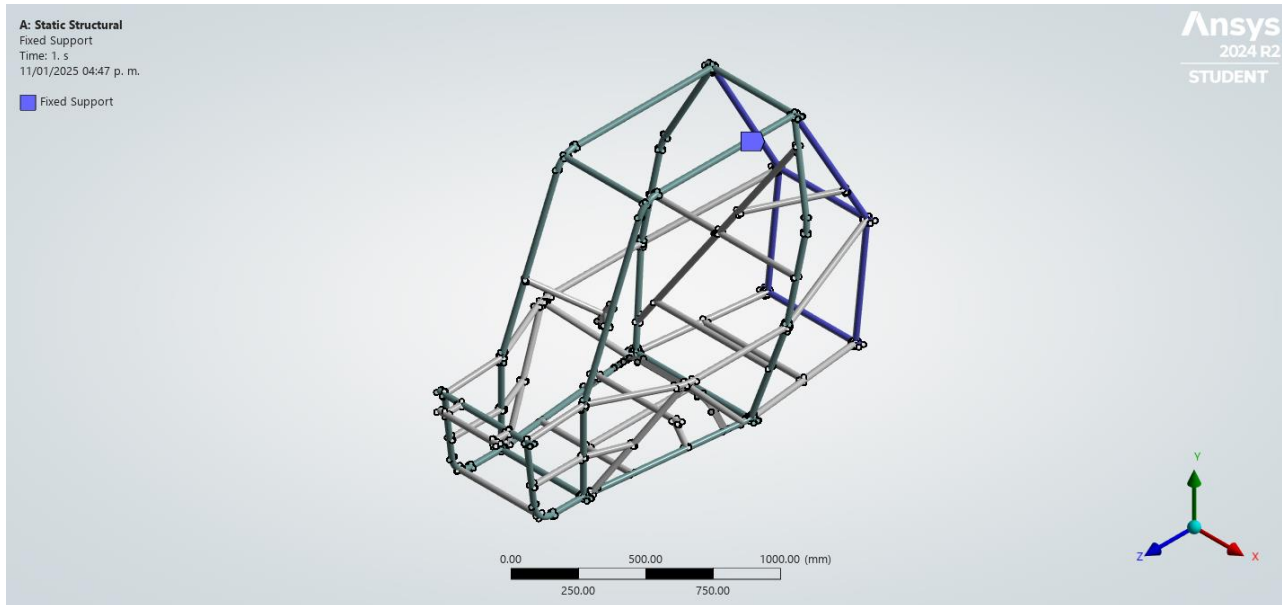


Figura 57.- Miembros de sujeción para impacto frontal.

Los miembros marcados en color rojo (Véase Figura 58), muestran la aplicación de la fuerza con la que el vehículo impacta, esta fuerza es aplicada en dirección $-z$.

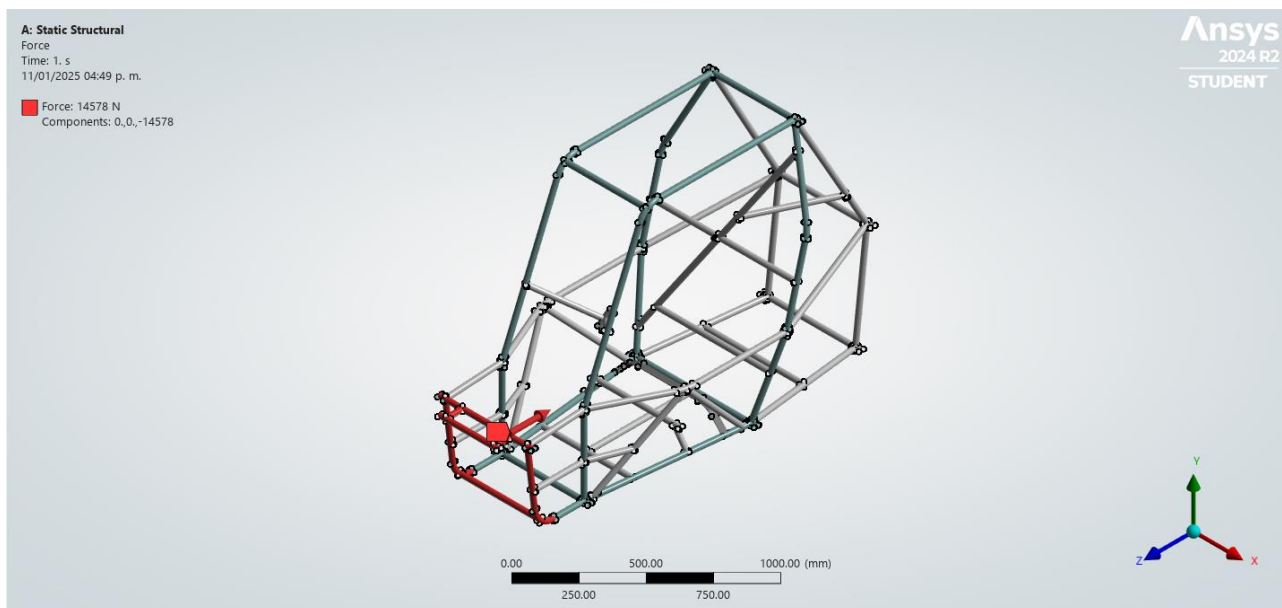


Figura 58.- Miembros con carga aplicada para impacto frontal

El análisis de von Mises muestra que el chasis puede soportar las cargas aplicadas sin fallar, deformándose sin llegar a una fractura (Véase Figura 59). Esto afirma que la estructura es segura.

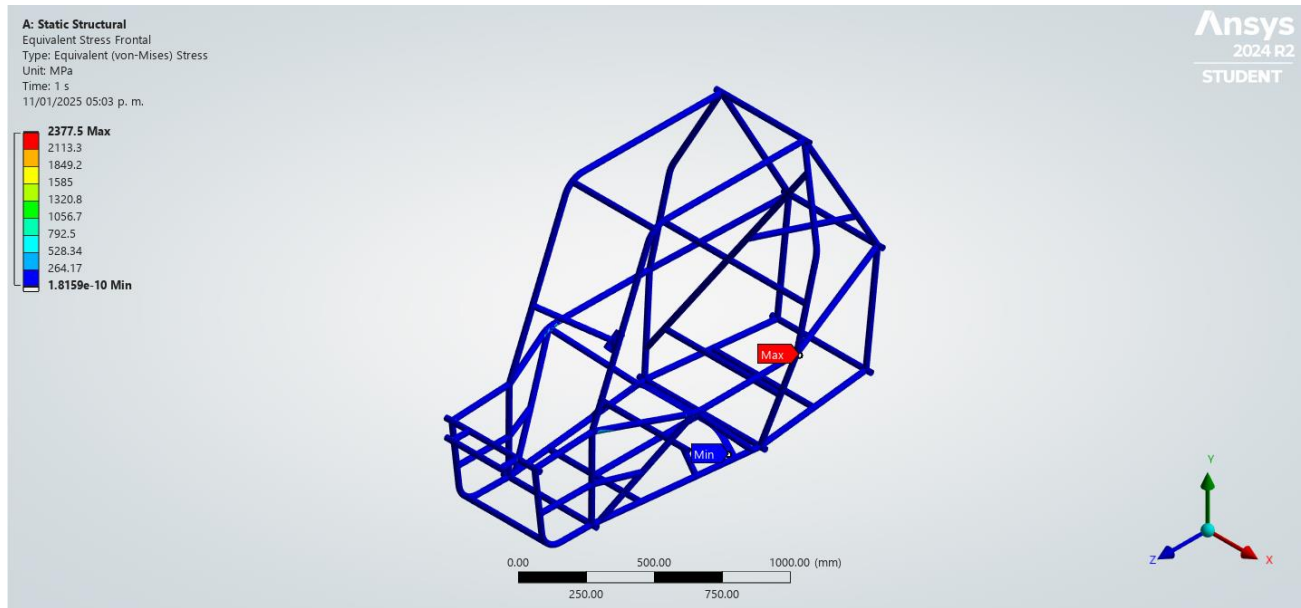


Figura 59.- von Mises (Impacto Frontal)

La Figura 60 indica que, en la zona frontal, específicamente en el miembro GLC, se encuentra el desplazamiento máximo, el cual es de 4.9344 mm.

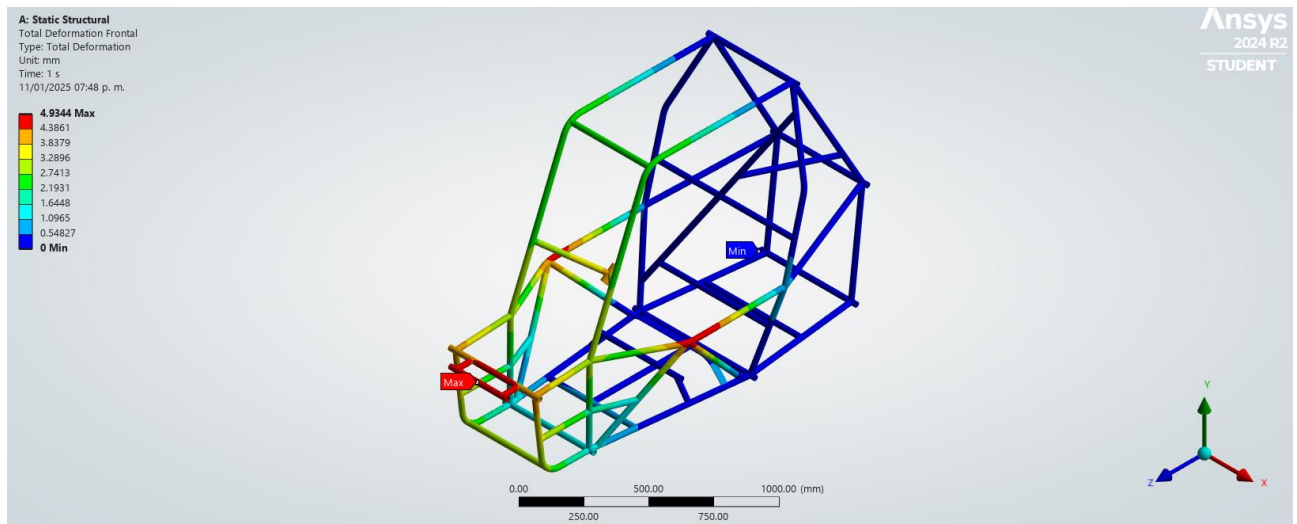


Figura 60.- Deformación Total (Impacto Frontal).

En el análisis del factor de seguridad, se observa que en la zona de unión entre el RRH y FAB Mid se encuentra el valor mínimo de 0.3257 (Véase Figura 61).

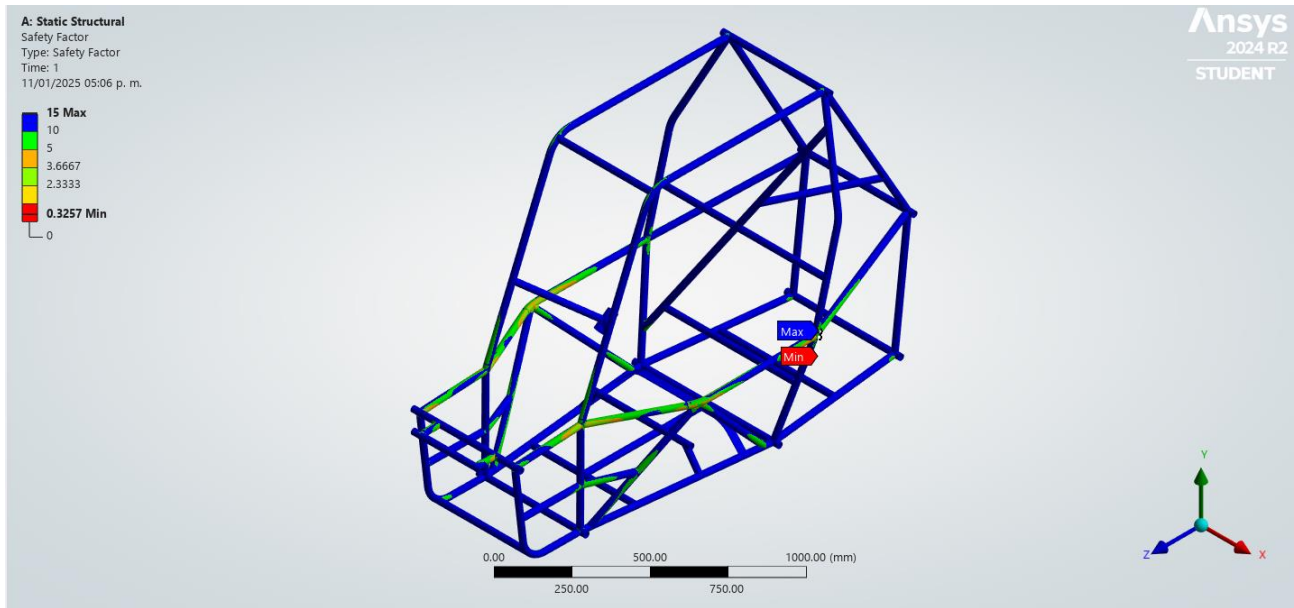


Figura 61.- Factor de Seguridad (Impacto Frontal).

4.5.2 Impacto Lateral.

Datos:

$$\text{Fuerza de impacto } f = -14578 \text{ [N]}$$

En la simulación de impacto lateral, en color azul, se fijaron miembros de un lateral del chasis (Véase Figura 62).

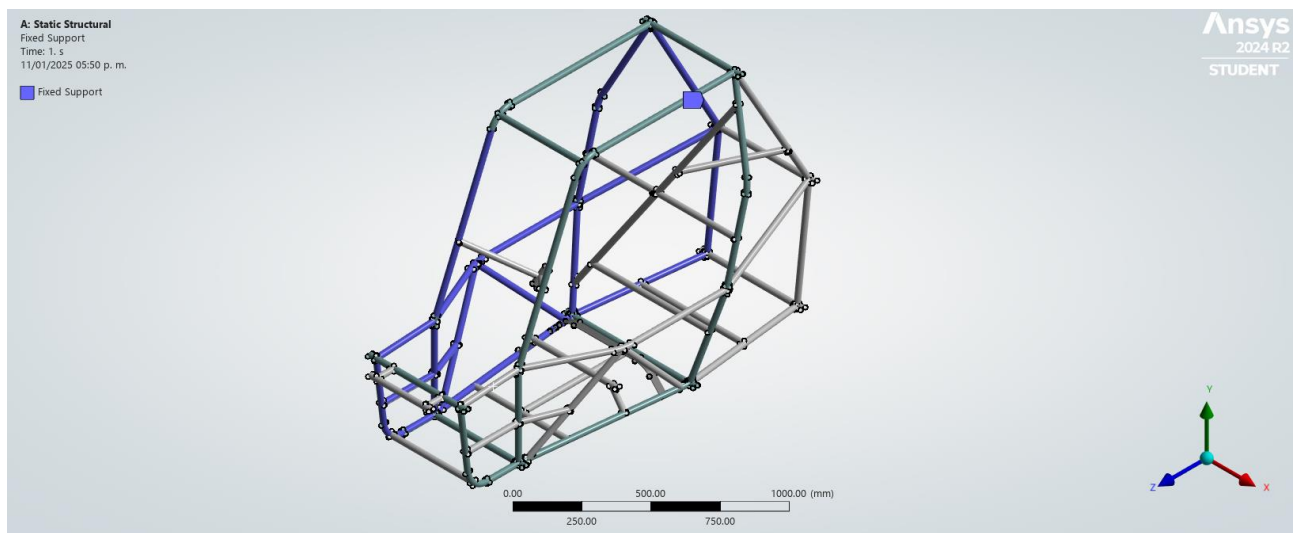


Figura 62.- Miembros de sujeción para impacto lateral

En color rojo (Véase Figura 63), se muestra la aplicación de la fuerza en dirección $-x$. Dicha fuerza se aplicó en el lateral contrario a los miembros fijados.

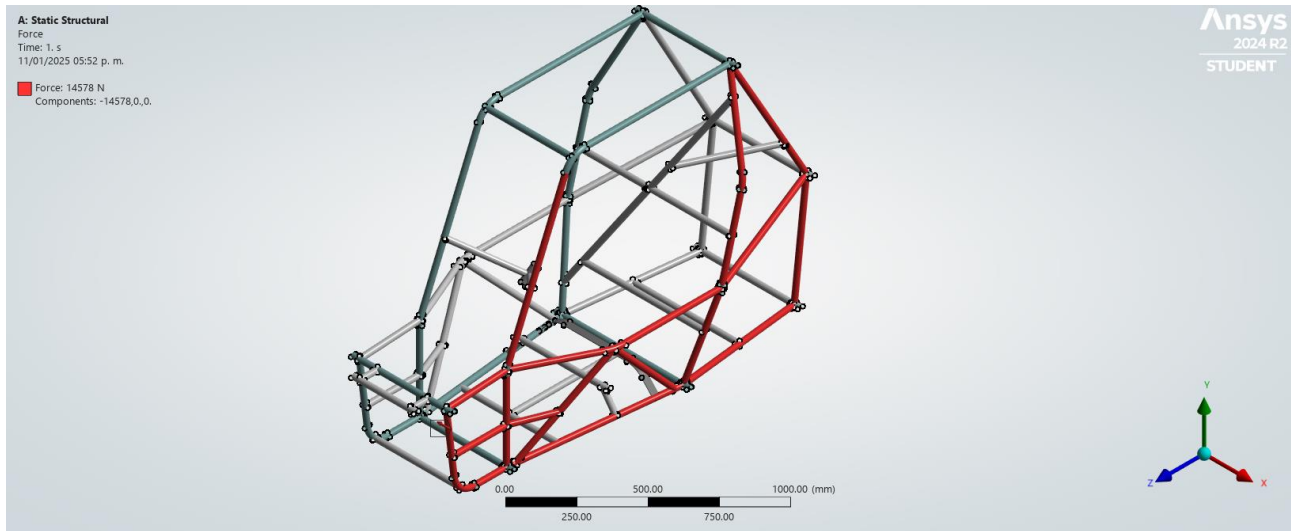


Figura 63.- Miembros con carga aplicada para impacto lateral.

El análisis de von Mises indica que el chasis puede deformarse sin llegar a una falla. Se observa que el valor máximo se encuentra en el nodo S (Véase Figura 64), sin afectar la estructura principal.

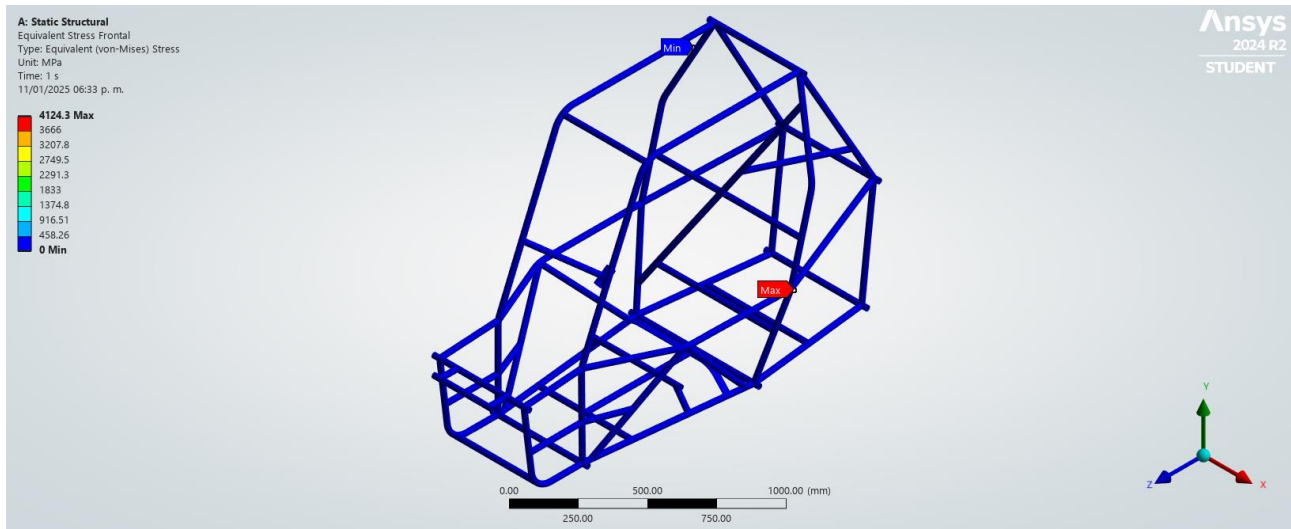


Figura 64.- von Mises (Impacto Lateral).

En la Figura 65, se muestran los desplazamientos que ocurren bajo un impacto lateral, teniendo como resultado un desplazamiento máximo de 7.7358 mm en el miembro denominado SIM.

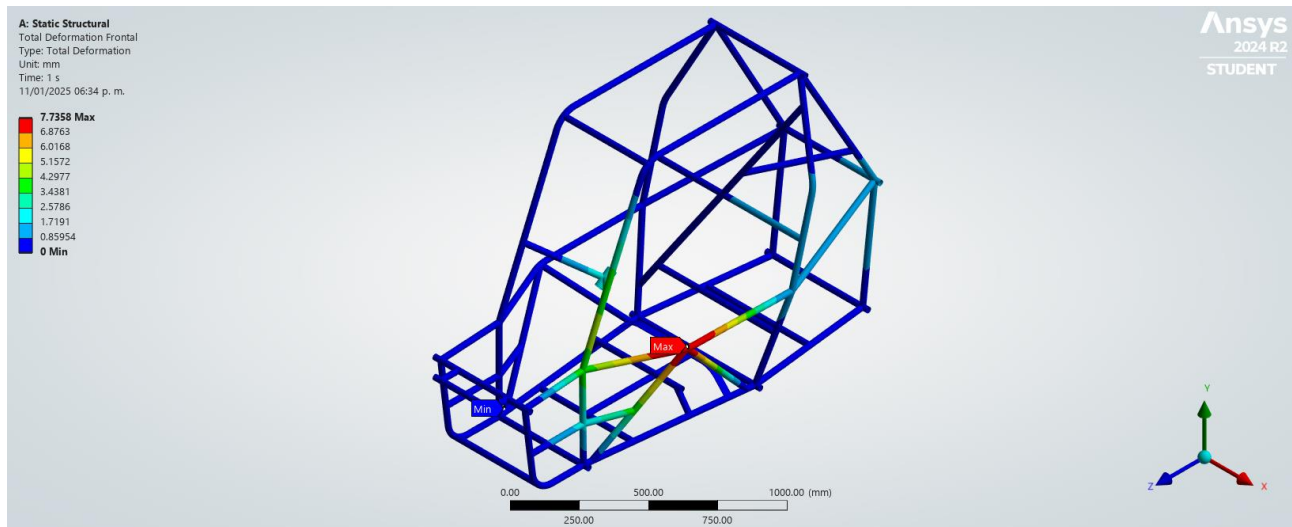


Figura 65.- Deformación Total (Impacto Lateral).

En la Figura 66, se muestra el factor de seguridad máximo y mínimo del chasis, teniendo un factor de seguridad mínimo de 0.18776 en el nodo S, el cual es puntual y no representa un riesgo para la estructura general.

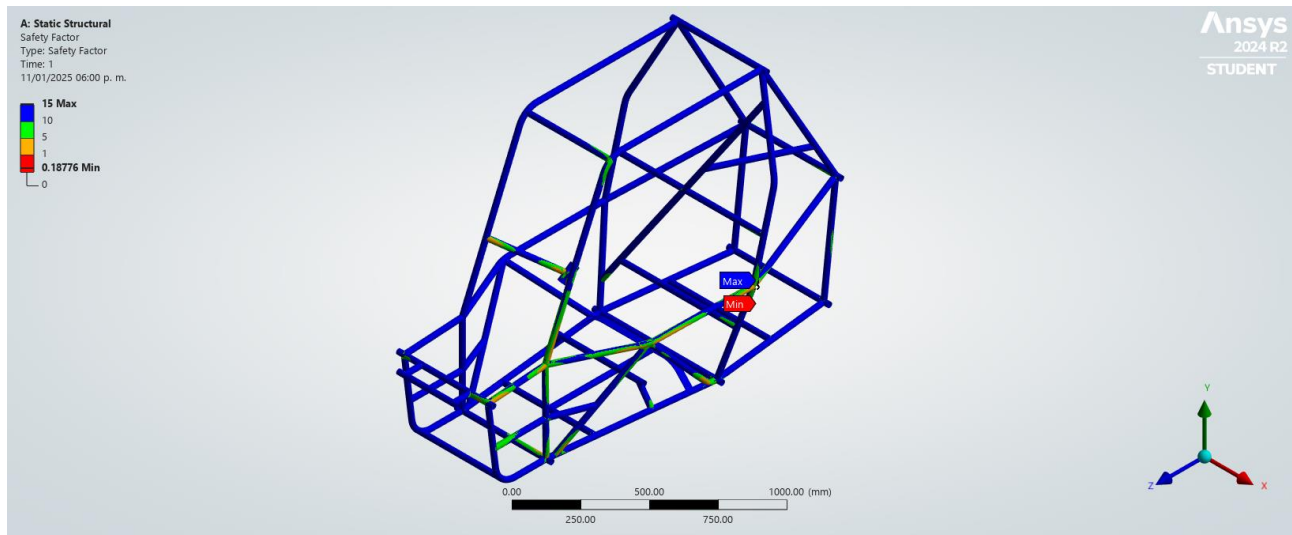


Figura 66.- Factor de Seguridad (Impacto Lateral)

4.5.3 Impacto Trasero.

Datos:

$$\text{Fuerza de impacto } f = -14578 \text{ [N]}$$

Para realizar la simulación de impacto trasero, se fijaron los elementos inferiores del chasis, marcados en color azul, específicamente los miembros denominados LFS y FAB Low (Véase Figura 67).

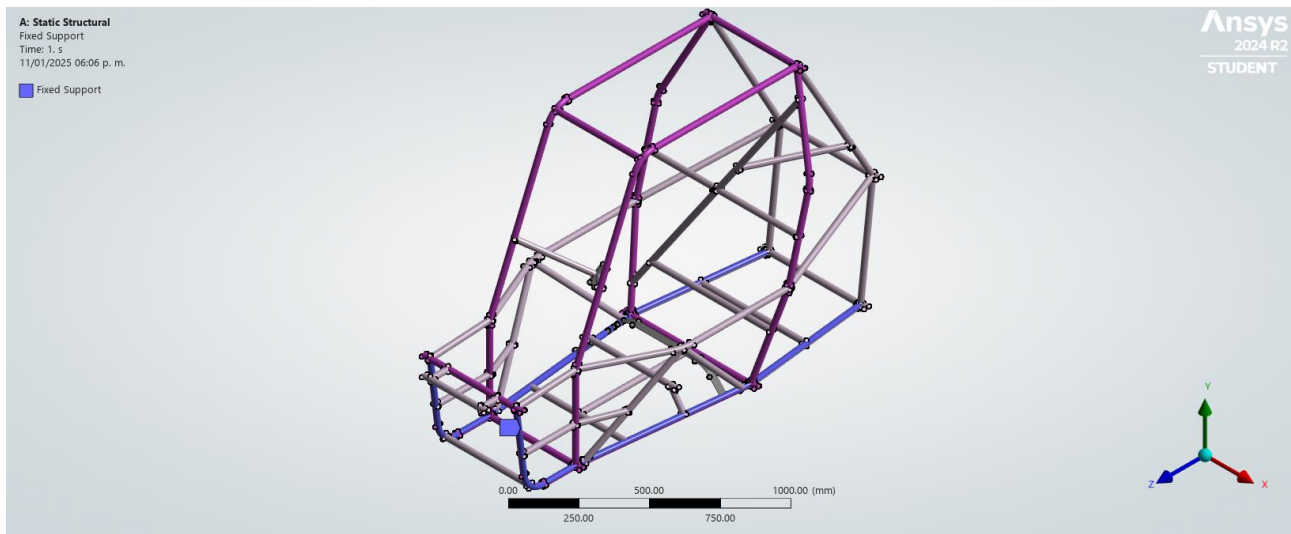


Figura 67.- Miembros de sujeción para impacto trasero.

Las fuerzas aplicadas para el impacto trasero fueron colocadas en la parte posterior del chasis marcadas en color rojo (Véase Figura 68).

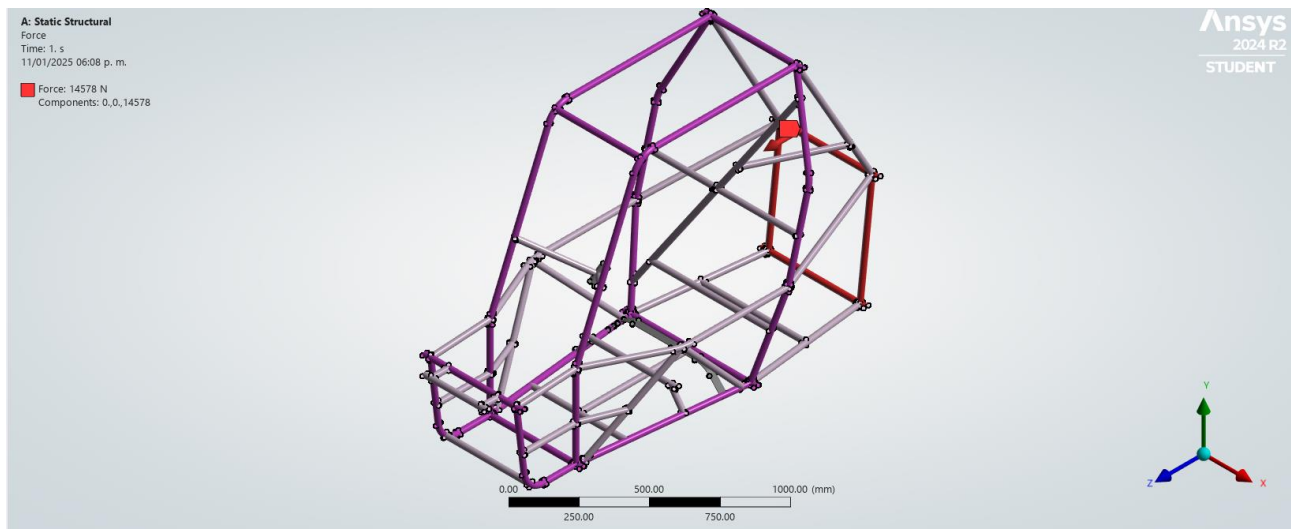


Figura 68.- Miembros con carga aplicada para impacto trasero.

El resultado de la simulación por von Mises, da como resultado que el esfuerzo máximo se encuentra en la unión entre los miembros que componen el sistema FAB Low (Véase Figura 69), deformándose sin llegar a la falla, por lo cual garantiza la integridad del chasis.

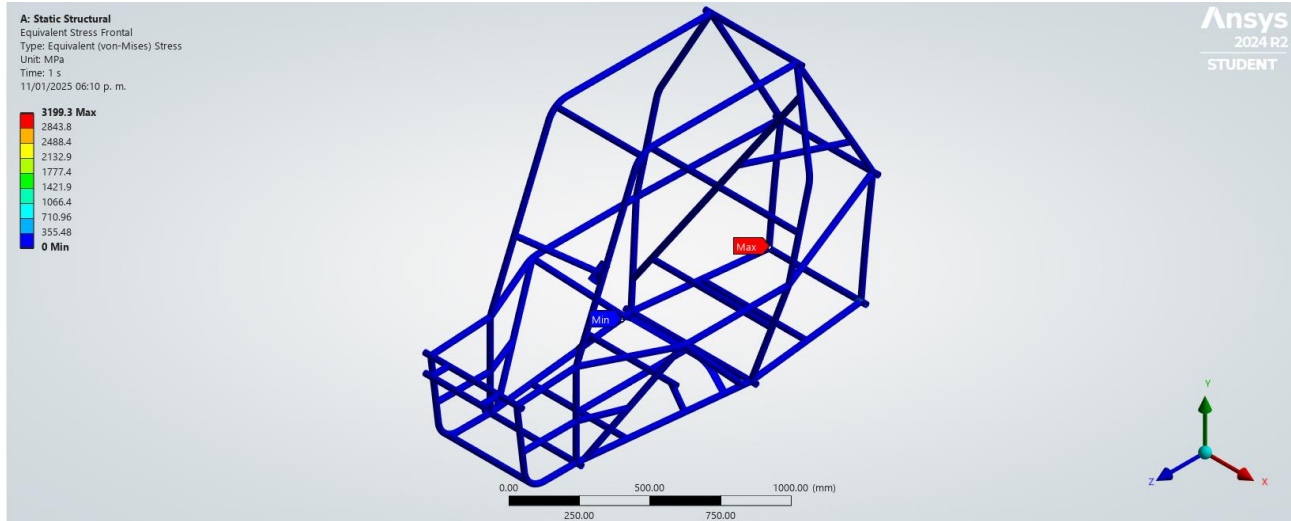


Figura 69.- von Mises (Impacto Trasero).

En la Figura 70, se puede observar la simulación para los desplazamientos en los miembros bajo un impacto trasero, con un desplazamiento máximo de 3.7134 mm en el elemento vertical que compone al FAB Low. Esto indica que, bajo un impacto trasero, los componentes que se encuentran ubicados en la parte trasera del chasis permanecerán protegidos.

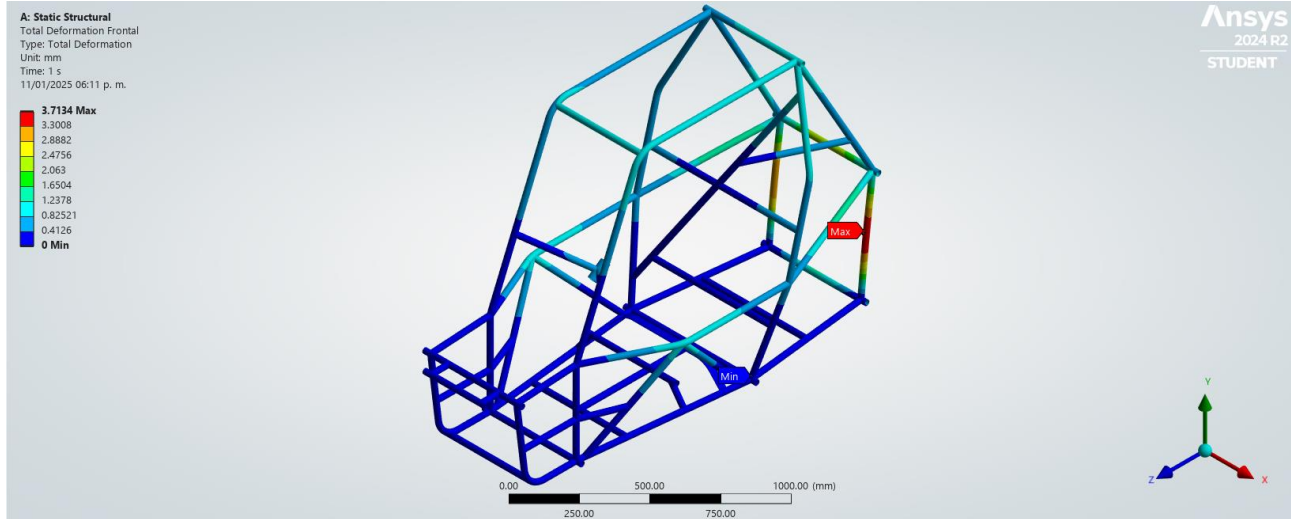


Figura 70.- Deformación Total (Impacto Trasero).

En la Figura 71, se indica que el valor mínimo para el factor de seguridad es de 0.24204, sin embargo, esto no compromete la seguridad del chasis en general.

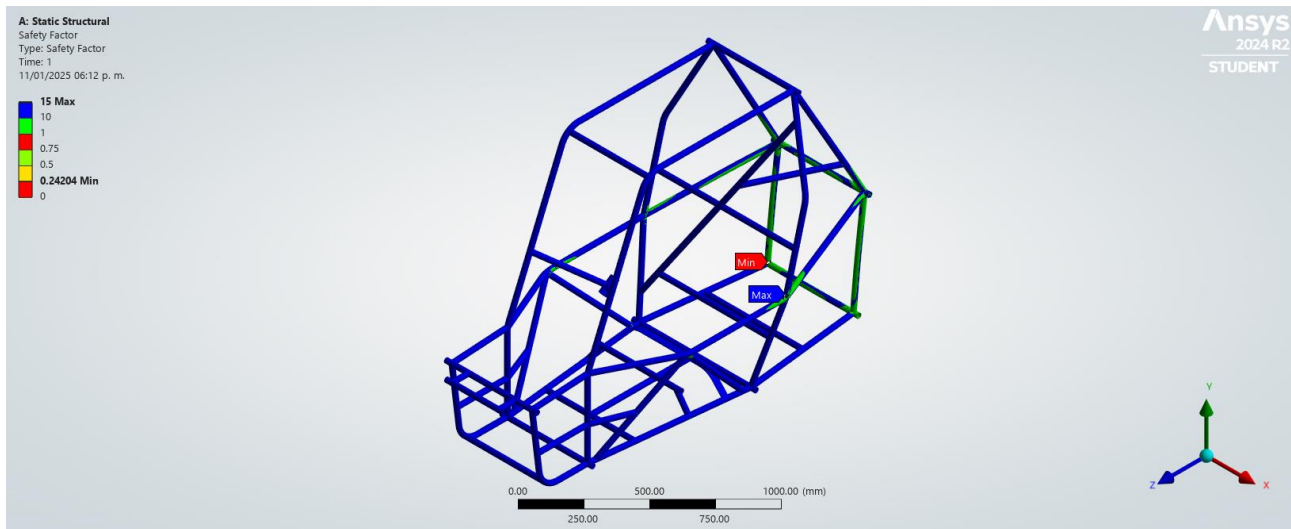


Figura 71.- Factor de Seguridad (Impacto Trasero).

4.5.4 Volcadura.

Para calcular la fuerza de impacto en el escenario de volcadura, y considerando que el vehículo cae desde una altura de 2.5m, esta altura es lo suficientemente baja para representar una caída de un vehículo desde una pendiente; se emplea la Ec. (16).

Sustituyendo tenemos:

$$f = \frac{(350 \text{ kg})\sqrt{(9.81 \text{ m/s}^2)(2.5 \text{ m})}}{0.1 \text{ s}} = 17333 \text{ [N]}$$

Para el escenario de una volcadura, se fijó la parte inferior del chasis marcado en color azul (Véase Figura 72).

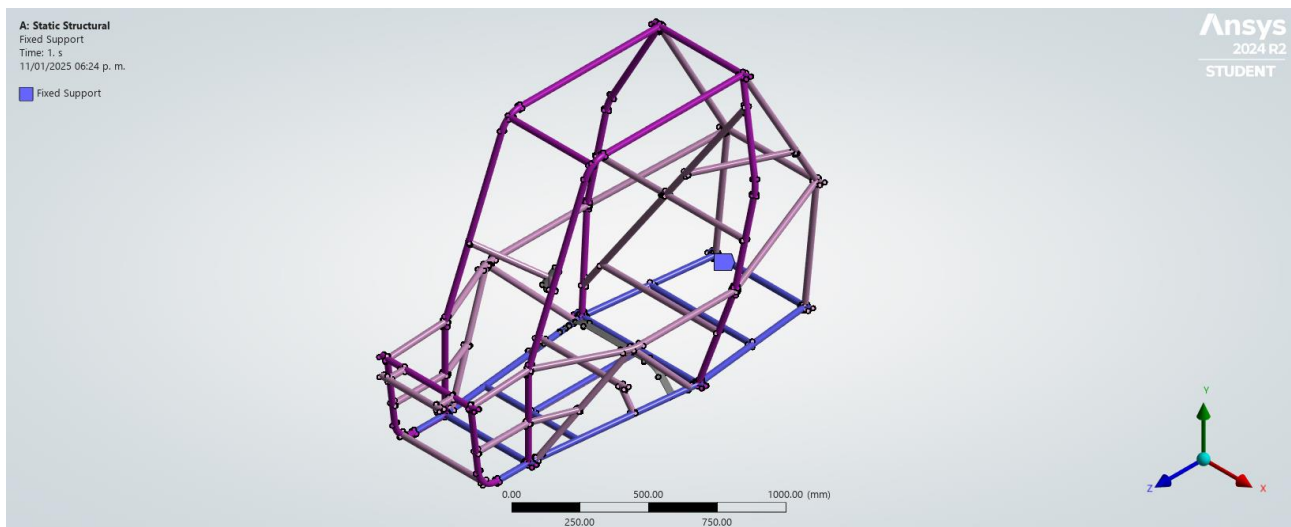


Figura 72.- Miembros de sujeción para volcadura.

En la Figura 47, los miembros identificados en color rojo (Véase Figura 73), fueron sometidos a una fuerza aplicada en dirección $-y$.

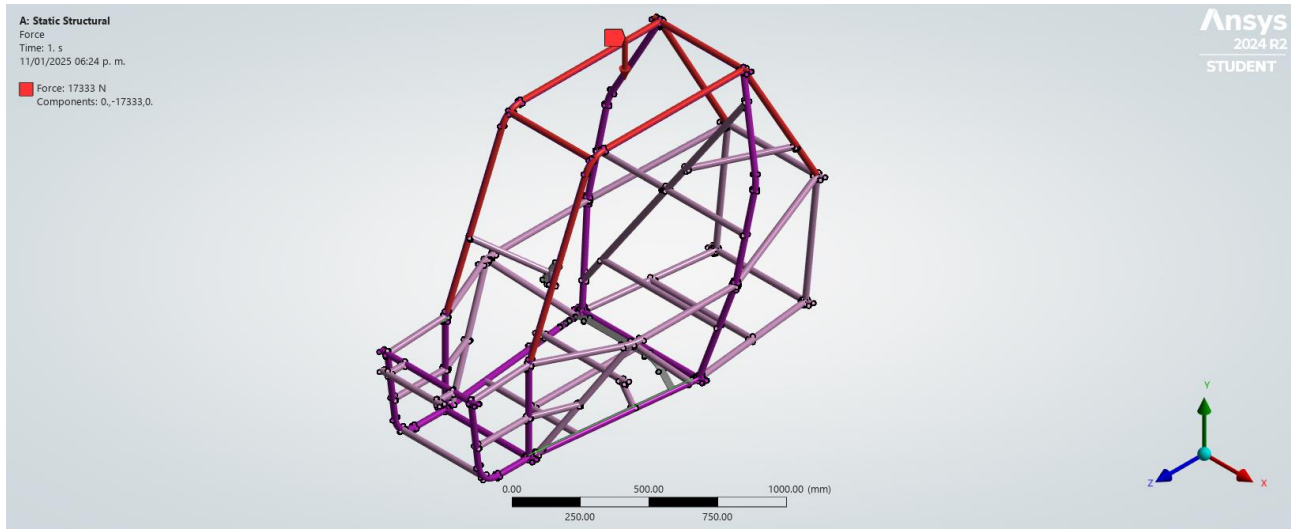


Figura 73.- Miembros con carga aplicada para volcadura.

En la Figura 74, se muestra la simulación para el análisis de von Mises, en la cual se indica un esfuerzo máximo ubicada en la parte central del miembro denominado FAB Up, por lo cual la deformación se dará sin llegar a la falla.

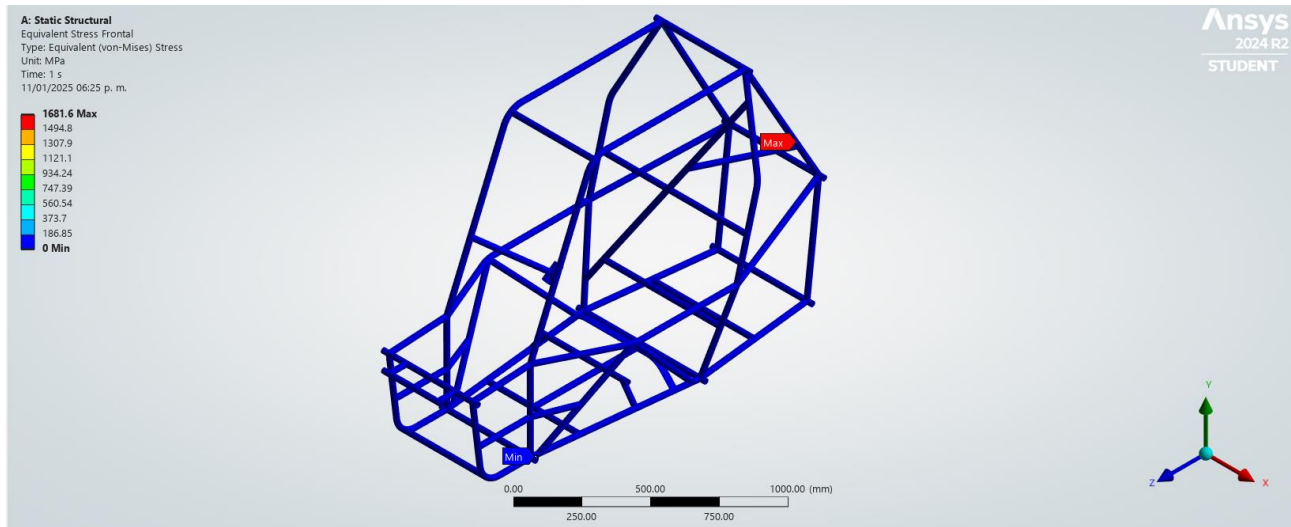


Figura 74.- von Mises (Volcadura).

La Figura 75, se presenta la simulación de deformación total para una volcadura. Los miembros llamados RHO presentan la mayor deformación, con un valor máximo de 2.557 mm, lo cual es un valor relativamente bajo y no representa un peligro para el piloto.

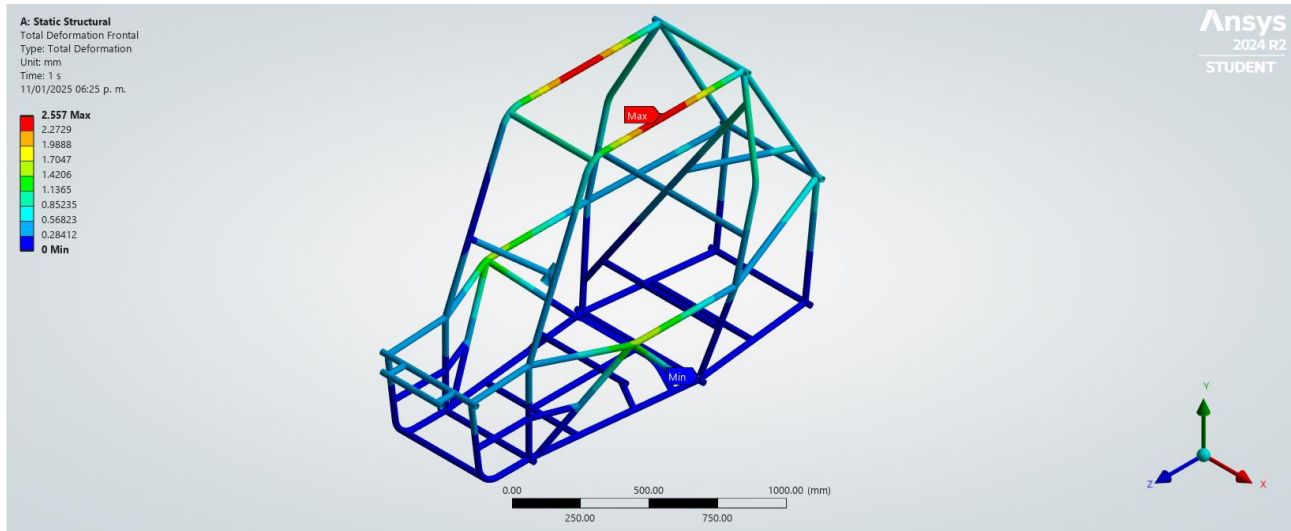


Figura 75.- Deformación Total (Volcadura).

En la Figura 76 se observa el factor de seguridad máximo y mínimo en el chasis. El valor mínimo, que es de 0.4609, está ubicado en el elemento FAB Up. Se considera que no es necesario colocar un refuerzo, ya que la integridad de la jaula no está comprometida.

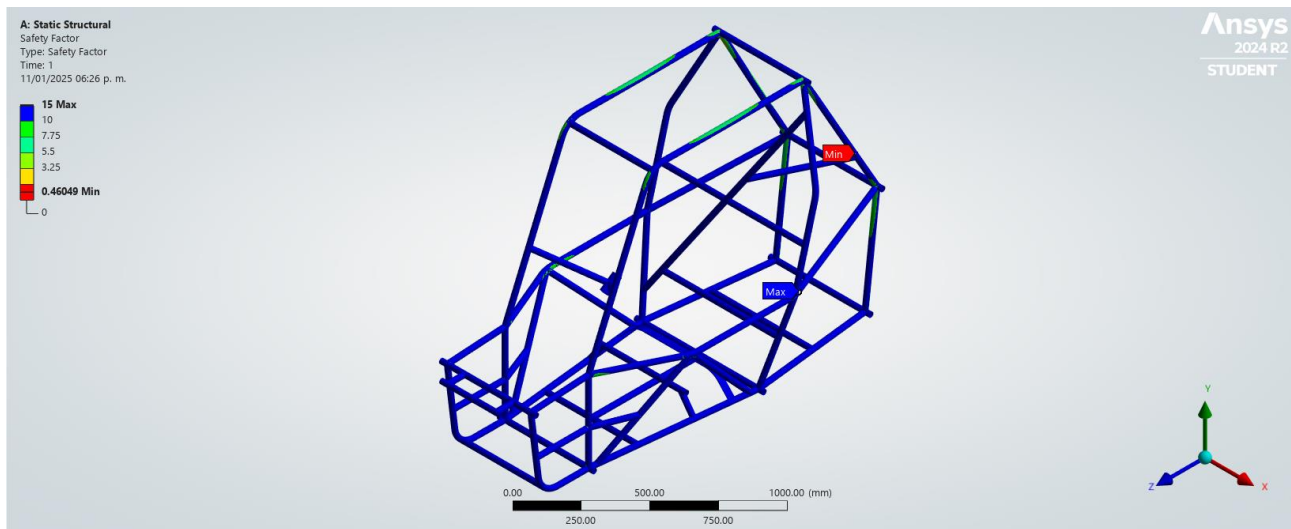


Figura 76.- Factor de Seguridad (Volcadura).

4.6 Relatoría.

El equipo llegó a la Universidad Autónoma de Nuevo León en dónde se llevó a cabo la prueba estática llamada “*Desing evaluation*”, la cual consiste en exposiciones separadas de cada sistema del vehículo a los jueces del evento, con el propósito de presentar y defender el diseño del vehículo (Véase Figura 77).



Figura 77.- Presentación de diseño.

Para que el piloto pueda realizar las pruebas dinámicas, es necesario que descienda del vehículo en un tiempo menor a 5 segundos (Véase Figura 78). Es por esta razón que se requirió que diferentes pilotos (con diferente complexión y altura) llevaran a cabo esta prueba.

Esta prueba ayudó verificar las nuevas dimensiones del habitáculo, al observar la movilidad que tiene el piloto al salir del vehículo.



Figura 78.- Salida del piloto.

En el estacionamiento de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, se llevó a cabo la prueba de arrastre, consistió en amarrar el punto de remolque del vehículo a una camioneta y acelerar el vehículo para arrastrar la camioneta. El vehículo pudo arrastrar con éxito la camioneta (Véase Figura 79).



Figura 79.- Prueba de arrastre.

El equipo usó el espacio del deportivo Reynosa, en donde se llevaron a cabo cuatro pruebas dinámicas las cuales fueron: frenos, aceleración, suspensión y maniobrabilidad.

Durante la primera prueba, se eligieron cuatro compañeros, esto con el propósito de que cada uno verificara que cada llanta del vehículo frenara. La prueba consistió en acelerar el vehículo a una distancia arbitraria para luego hacerlo frenar; el vehículo pasó esta prueba con éxito (Véase Figura 80).



Figura 80.- Prueba de frenado.

Para la segunda prueba, la prueba de aceleración. Esta prueba consiste en acelerar el vehículo en una distancia de 20m, se tomó el tiempo en el cual el vehículo recorrió esa distancia (Véase Figura 81).



Figura 81.- Prueba de aceleración.

En la tercera prueba, la prueba de suspensión, se tomaron troncos de madera y se posicionaron a cierta distancia entre cada uno para que el vehículo pasara por encima de ellos, el vehículo pasó exitosamente esta prueba porque la suspensión funcionó correctamente y soportes de los amortiguadores no sufrieron daños. (Véase Figura 82).



Figura 82.- Prueba de suspensión.

En la cuarta prueba, la prueba de maniobrabilidad, se pusieron objetos (conos de tránsito) que delimitaron una curva con un cierto radio, la prueba consistió en hacer pasar el vehículo sin tocar ningún cono de tránsito. Esta prueba no se logró, debido al radio de giro que se consiguió en el vehículo. (Véase Figura 83).



Figura 83.- Prueba de maniobrabilidad.

Capítulo 5

Análisis y discusión de resultados.

5.1 Análisis y discusión de resultados.

Para determinar la viabilidad de usar tubería con sección transversal cuadrada para la construcción del chasis monocasco se recurre a la Tabla 3 en la cual se describen los resultados obtenidos de los cálculos realizados en el capítulo 3. Para el cálculo se consideró una tubería estructural de sección transversal cuadrada con un espesor de 3mm y lado de 25.4mm, también se consideró una tubería estructural de sección transversal circular con un espesor de 3.048mm y un diámetro exterior de 25.4mm.

En la Figura 84 y la Figura 85 se puede observar la cotización que se hizo del material primario y el de sección transversal cuadrada con espesor de 1.65mm, se puede observar una comparación de costos de ambos materiales, resultando en un aumento del 385.71%.

La propuesta de un tubo estructural con sección transversal cuadrada y un espesor de 3mm, cumple con lo especificado en el reglamento BAJA SAE MÉXICO 2024, al comparar los dos materiales, el material primario y el que se propuso, la rigidez y la resistencia a la flexión del material propuesto superan al material primario; por lo que el resultado fue satisfactorio, ya que ambas propiedades mecánicas son superiores al de la tubería primaria.

En comparación del vehículo 2023, este año se decidió cambiar las dimensiones, se disminuyó la nariz y se amplió el largo del habitáculo para conseguir cumplir con la prueba del dummy, y lograr una salida rápida del piloto.

Para las simulaciones, en el impacto frontal, en la simulación se observó que los miembros más afectados del chasis monocasco es el *front tow point* y el esfuerzo se transmite hasta los miembros llamados SIM, provocando una deformación máxima de 4.9 mm sin llegar a afectar al piloto. La simulación del análisis de von Mises resultó en que la mayor concentración de esfuerzos se da en la unión de tres tubos, RRH vertical, SIM y FAB mid.

Para el impacto frontal, la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la misma unión que en el impacto frontal. La mayor deformación se encuentra en los miembros llamados SIM, estos se deforman 7.7mm.

En el impacto trasero, la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la intersección de los miembros, FAB Low 1, FAB Low 2 y FAB Low 3. El miembro RLC muestra que se deforma 1.6mm, este miembro fue sometido a esfuerzo durante la prueba de arrastre descrita en el capítulo 4, el miembro no mostró ninguna deformación evidente a simple vista.

Para la volcadura, la mayor concentración de esfuerzos ocurre en los miembros FAB up, la mayor deformación sucede en los miembros llamados RHO, con un valor de 2.56 mm.

5.2 Conclusiones.

Por los resultados obtenidos en la (tabla#), se puede concluir que la tubería estructural de sección transversal cuadrada con un espesor de 1.65mm, no cumple con el reglamento; sin embargo, la tubería estructural de sección cuadrada con el espesor de 3mm, sí cumple. Tomando en cuenta un estimado del costo de la tubería estructural cuadrada de espesor 1.65mm el costo de éste aumenta un 385.71%, con respecto al material primario, y su resistencia a la flexión aumenta un 15.64%, esta tubería estructural no es viable, debido a que los beneficios no compensan el costo para la construcción del chasis monocasco.

Se tomó la decisión de hacer el chasis monocasco con la geometría de refuerzo trasero, ya que esta permite una mejor distribución del espacio para los componentes del vehículo, además que se tiene un registro de vehículos anteriores que también usaron esta geometría. Por lo tanto, funcionó la geometría propuesta al ensamblar todos los componentes del vehículo dentro del chasis monocasco, y verificar que todos los componentes estén dentro del volumen del chasis monocasco.

Debido a que no hubo una prueba de impacto ni tampoco una manera de medir la deformación que pueda llegar a tener el chasis monocasco, no se pueden validar los resultados reales con los teóricos dados por la simulación; sin embargo, se realizaron las simulaciones de cada uno de los impactos y arrojó valores coherentes en cuanto a: deformación, esfuerzo y factor de seguridad.

En el capítulo 3 se describen las fallas al reglamento que sucedieron con el chasis monocasco del vehículo del año 2023, las cuales se lograron solucionar en el vehículo del año 2024, sin embargo, no se pudo comprobar esto, ya que el vehículo no logró estar listo para la inspección técnica.

En los resultados se describen algunos de los refuerzos que se manufacturaron, fueron diseñados en conjunto con otras secciones del equipo para lograr satisfacer las necesidades que requieren sus sistemas. Durante las pruebas que se llevaron a cabo y que se describen en el capítulo de resultados, no sucedió ningún problema con la fractura de alguno de estos soportes y en la soldadura del chasis monocasco.

Durante la competencia un juez realizó una inspección técnica al chasis monocasco encontrando un error, el soporte del asiento interfería con los cinturones; esto se solucionó durante la competencia, sin embargo, no fue durante el evento estático de inspección técnica.

6. Referencias bibliográficas.

- [1] BAJA SAE 2024, "Collegiate Design Series Baja SAE Rules, Revision B".
- [2] Cruz Barrios, J. D., Martínez Ricardo, G., Velázquez Rojas, A., 2023 "Diseño y construcción de una estructura ligera para un vehículo 4x4 BAJA SAE UAM 2023," Proyecto de Integración, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [3] Hassaan Abdullah S., 2018 "Computational Analysis for Optimisation of Baja SAE Roll Cage" International Journal for Scientific Research & Development.
- [4] Álvarez Salazar V. R., 2018 "Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo de competencia fórmula SAE eléctrico" tesis, Universidad Politécnica Salesiana.
- [5] Beer, F.P. et al. (2007) Mecánica de Materiales. México, D.F: McGraw Hill.
- [6] SolidWorks. Dassault Systemes. Criterio de maxima tension de von Mises. 13 de febrero 2023, https://help.solidworks.com/2010/spanish/solidworks/cworks/legacyhelp/simulation/checking_stresses/prot_vonm.html
- [7] Jeffus, L.F. (2021) Welding: Principles and applications. Boston, MA: Cengage.

7. Entregables.

Para los documentos, consultar con los asesores al correo bajasaeuam@azc.uam.mx.

8. Facturas y certificados de calidad de la tubería.


COTIZACION No. 8524	L.C. JORGE RODRIGO AVENDAÑO MORA AV. VILLANIS #186 SEVILLA RESIDENCIAL, C.P. 21378 MEXICALI, BAJA CALIFORNIA MÉXICO TEL. (888)106.7743 email: ram@chromomex.com RFC: AEMJ870224HG0			
FECHA: 30-8-2024				
CLIENTE UAM AZCAPOTZALCO	CONTACTO GABRIEL SANTIAGO RÍOS	ELABORADO POR: L.C. RODRIGO AVENDAÑO		
TELEFONO EMAIL (55)1425.5364 g1203032420@sac.uam.mx	ENTREGA NOBOTROS MISMOS	TIEMPO ENTREGA 8-12 DIAS HABLES		
	CONDICIONES DE VENTA CONTADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
Tubo redondo de acero grado 4130 (cromolloy) con las siguientes medidas: Diámetro exterior: 1" Diámetro interior: .930" Grosor pared: .035" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: España / Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	5	\$ 4,700.00	\$ 23,500.00
Tubo redondo de acero grado 4130 (cromolloy) con las siguientes medidas: Diámetro exterior: 1" Diámetro interior: .750" Grosor pared: .120" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: España / Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	5	\$ 3,850.00	\$ 19,250.00
Envío ocurre Paquetespress CP 02128 Peso aproximado: 148.67 lbs	Serv	1	\$ 2,650.00	\$ 2,650.00
CANTIDAD CON LETRA CINCUENTA Y DOS MIL NOVENTA Y SEIS PESOS 50/100 M.N. IVA INCLUIDO		SUBTOTAL	\$45,400.00	
		16% IVA	\$7,264.00	
		RETIRO 1.25%	\$567.50	
		TOTAL	\$53,231.50	
OBSERVACIONES		FIRMA AUTORIZACIÓN		
1. COTIZACIÓN VÁLIDA POR 10 DÍAS HABLES Y CONDICIONADA AL TOTAL DE LA COMPRA SALVO UN AUMENTO SIGNIFICATIVO EN EL TIPO DE CAMBIO DEL DÓLAR DE ESTADOS UNIDOS				
2. CON ENTREGA OCURRE EN LA CIUDAD DE AZCAPOTZALCO, CDMX				
3. DISPONIBLES SALVO PREVA VENTA				
4. EL MATERIAL NO CUENTA CON GARANTIA.				
5. LA MERCANCÍA SE EMBARCA 2-4 DÍAS HABLES DESPUÉS DE RECIBIDO EL PAGO, TIEMPO ESTIMADO DEL FLETE 5-7 DÍAS HABLES				
		L.C. RODRIGO AVENDAÑO M.		

Figura 84.- Cotización de chromolloy (Tubería de sección redonda).

COTIZACION
No. 81/24
FECHA:
12/08/2024

L.C. JORGE RODRIGO AVENDAÑO MORA
 AV. VILLASIS #196 SEVILLA RESIDENCIAL, C.P. 21378
 MEXICALI, BAJA CALIFORNIA MÉXICO
 TEL. (686)108.7743
 email: ram@cromomxl.com
 RFC: AEMJ870224HQ0



CLIENTE UAM AZCAPOTZALCO	CONTACTO GABRIEL SANTIAGO RÍOS	ELABORADO POR: L.C. RODRIGO AVENDAÑO
TELÉFONO EMAIL a12203032420@azc.uam.mx	ENTREGA NOSOTROS MISMOS	CONDICIONES DE VENTA CONTADO
	TIEMPO ENTREGA 8-10 DÍAS	

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	TOTAL
Tubo redondo de acero grado 4130 (cromolio) con las siguientes medidas: Diámetro exterior: 1" Diámetro interior: .930" Grosor pared: .035" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: España / Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	1	\$ 4,400.00 \$	4,400.00
Tubo cuadrado de acero grado 4130 (cromolio) con las siguientes medidas: Medida: 1" Grosor pared: .065" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	1	\$ 14,850.00 \$	14,850.00
Tubo cuadrado de acero grado 4130 (cromolio) con las siguientes medidas: Medida: 1" Grosor pared: .035" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	1	\$ 10,350.00 \$	10,350.00
Envío ocurre Paquetexpress CP 02128 Peso aproximado: 22.58 lbs	Serv	1	\$ 1,050.00 \$	1,050.00

CANTIDAD CON LETRA	SUBTOTAL	\$30,650.00
TREINTA Y TRES MIL CIENTO DOS PESOS 00/100 M.N. IVA INCLUIDO	10% IVA	\$2,452.00
	TOTAL	\$33,102.00

OBSERVACIONES	FIRMA AUTORIZACIÓN
<ol style="list-style-type: none"> COTIZACIÓN VÁLIDA POR 10 DÍAS Y CONDICIONADA AL TOTAL DE LA COMPRA SALVO UN AUMENTO SIGNIFICATIVO EN EL TIPO DE CAMBIO DEL DÓLAR DE ESTADOS UNIDOS CON ENTREGA OCURRE EN LA CIUDAD DE AZCAPOTZALCO, CDMX DISPONIBLES SALVO PREVIA VENTA TODO MATERIAL AMERICANO CUENTA CON CERTIFICADO DE ORIGEN LA MERCANCÍA SE EMBARCA 2-4 DÍAS DESPUÉS DE RECIBIDO EL PAGO, TIEMPO ESTIMADO DEL FLETE 5-7 DÍAS 	 L.C. RODRIGO AVENDAÑO M.

Figura 85.- Cotización de chromoly (Tubería de sección cuadrada).

Purchase Order: 911476
 Sales Order: 304713
 Material: A888100012006360 AMS-6360 1.0000D .120AW FinishLineCrMo®
 Delivery / File Nbr: 80537871

Description: AMS-6360P/AMS-T-6736B COND N./MIL-T-6736B ASTM A519-23
 AMS-T-6736B S4130

Test: NDT ELECTRIC TESTED TO ASTM A450 OR A1016 & APPLICABLE TEST METHOD E309 OR E426.
 MAGNETIC INSPECTED TO AMS2301.

Heat Number:		194928	638118
		%	%
CARBON	LDL	0.291	0.310
MANGANESE	LDL	0.470	0.540
PHOSPHORUS	LDL	0.008	0.009
SULFUR	LDL	0.002	0.002
SILICON	LDL	0.240	0.230
NICKEL	LDL	0.030	0.120
CHROMIUM	LDL	0.870	0.890
MOLYBDENUM	LDL	0.170	0.170
COPPER	LDL	0.030	0.140
NITROGEN	LDL	**	**

**Not Reported

Ultimate (PSI)	107751 / 108295	108355 / 108591
Yield (PSI)	89,175 / 89,854	92,041 / 92,407
Elongation (%)	26 / 26	23 / 24
Hardness (HRBW)	96 / 96	92 / 92
Grain Size	8.000	9.000
Frequency rate	0.000	0.020
Severity	0.000	0.015
Decarb OD Complete (IN)	PASSED	PASSED
Decarb ID Complete (IN)	PASSED	PASSED
Decarb OD Partial (IN)	PASSED	PASSED
Decarb ID Partial (IN)	PASSED	PASSED
Origin of Melt	Brazil	Germany

Figura 86-Certificado de calidad acero 4130 para miembros primarios.

Benteler SteelTube GmbH
 Postfach 13 40
 53043 Padarnborn
 Deutschland
 Tel.: + 49.5254.31-0 Fax: + 49.5254.13686

BENTELER
 SteelTube

ABNAHMEPRÜFZEUGNIS EN 10204-3.1
 INSPECTION CERTIFICATE EN 10204-3.1
 CERTIFICAT DE RECEPTION EN 10204-3.1
 EN 10204:2005-01

Benteler SteelTube GmbH - Postfach 1340 - 53043 Padarnborn - Deutschland

Benteler Steel & Tube Corporation
 3050 Post Oak Blvd., Suite 1130
 HOUSTON TX 77056
 USA

Dokument-Nr.: 41-1343253/001/E
 Document No.:
 No. du document:

Prüf-Nr.: Blatt: 1/ 4
 Inspection No.: Page:
 No. du certificat: Page:

Kunden-Bestell-Nr.: 48008832 TW M49480267/6
 Purchase Order No.:
 No. de commande du client:

Hergliger: WarmrohrwerkZienernd
 Manufacturer: (DIN EN ISO 9001, IATF 16949 CERTIFIED BY TÜV NORD CERT)
 Producteur: (PED 2014/68/EU CERTIFIED BY TÜV NORD SYSTEMS)

Benteler Auftrags-Nr.: 1694971
 Benteler Order No.:
 No. de commande Benteler:

Herstellerzeichen:
 Manufacturer's brand:
 Marque du producteur:

Versandanzahlen-Nr.: 4114124
 Dispatch Note No.:
 No. d'avis d'expédition:

Stempel des Abnahmebeauftragten: WA
 Stamp of the inspection representative:
 Poinçon du contrôleur:

Produkt: NAHTLOSE STAHLROHRE
 Product: SEAMLESS STEEL TUBES
 Produit: TUBES D'ACIER SANS SOUDURE

Stahlschmelzungsverfahren: ELEKTROSTAHL
 Steelmaking process: ELECTRIC FURNACE
 Procédé d'élaboration de l'acier: FOUR ELECTRIQUE

Lieferbedingungen: AMS-T-6736B-08 Type 1, MIL-T-6736B-95 Type 1, ASTM-A 519-2017, AMS 6360 rev. P, AMS 2301L, Cold
 Terms of delivery: draw n

Conditions de livraison:

Maße - Toleranzen: AMS 2253F-18, Aircraft Type, Seamless, Cold Finishet
 Dimensions-tolerances:

Stahlsorte: GRADE 4130
 Steel grade:

Lieferzustand: Condition N
 Delivery condition:

Produktkennzeichnung: FSD: BENTELER AMS 6360P-AMS-T-6738 B 1-MIL-T-6738 B 1-AMS 2301L 4130 Condition NHEAT-NO. CD
 Product marking:

Merquage du produit: AQ S DIMENSIONS WA GERMANY

ABZ = Auslieferungszustellung, Drawing ink marking, Drawing à l'encre, PK = Farblosenzeichnung, color marking, marquage par couleur, FS = Fabrikablenkung, paint etching, marquage par peinture, FSD = Farbstiftlöcher, Color jet pinholes, Instrumente à jet d'encre de couleur FS = Farbstiftlöcher, Color jet pinholes, Instrumente à jet d'encre de couleur mit UK = Laserkennzeichnung, Laser marking, Marquage laser, PK = Etikettenzeichnung, tag marking, marquage sur étiquette, FS = Prägestempel, die stamp, marquage par poinçonage, TS = Tintenstiftkennzeichnung, ink jet spray marking, Instrumente à jet d'encre.

Pos.	Stück	Maße	Gesamtlänge	Gewicht	Schmelzen-Nr.	Prüfdruck	Rohr-Nr.-Gruppe	Vielfachlängen
Item	Number	Dimensions	Length total	Weight	Heat No.	Test pressure	Tube number group	Multiple lengths
Positio	Nombre	Dimensions	Longueur totale	Poids	No. de coulée	Pression d'épreuve	Série de no. des tubes	Longueurs multiples
			feet	lbs				
0011	772	1.000" O.D. * 0.035" WT 17 FT - 19 FT	14367,78	5353	200422			



Figura 87.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 1 de 4.

Benteler Steel/Tube GmbH
 Postfach 13 40
 33043 Paderborn
 Deutschland
 Tel.: + 49.5254.81-0 Fax: + 49.5254.13686

BENTELER
 Steel/Tube

ABNAHMEPRÜFZEUGNIS EN 10204-3.1 Dokument-Nr.: 41-1343253/001/E Prüf-Nr.: Blatt: 2 / 4
 INSPECTION CERTIFICATE EN 10204-3.1 Document No.: Inspection No.: Page:
 CERTIFICAT DE RECEPTION EN 10204-3.1 No. du document: No. du certificat: Page:

Ort der Stahlherstellung / Country of melt and pour / Lieu de l'élaboration de l'acier
 BENTELER Steel/Tube GmbH, Lingen, Germany

Schmelzenanalyse [%] / Heat analysis [%] / Analyse sur coulée [%]

Pos.	Schmelzen-Nr.	C	SI	MN	P	S	CR	MO	NI	CU
Item	Heat No.	> = 0,2800	> = 0,1500	> = 0,4000			> = 0,8000	> = 0,1500		
Poste	No. de coulée	< = 0,3300	< = 0,2500	< = 0,6000	< = 0,0250	< = 0,0250	< = 1,1000	< = 0,2500	< = 0,2800	< = 0,3500
0011	200422	0,320	0,260	0,55	0,008	0,001	0,90	0,17	0,10	0,13

Produktanalyse [%] / Product analysis [%] / Analyse sur produit [%]

Pos.	Schmelzen-Nr.	C	SI	MN	P	S	CR	MO	NI	CU
Item	Heat No.									
Poste	No. de coulée									
0011	200422	0,318	0,271	0,57	0,013	0,003	0,88	0,16	0,10	0,13

Prüfresultate / Test results / Résultats des essais

Die Rohre wurden zerstörungsfrei geprüft: The tubes are non destructive tested: Les tubes ont passé un essai non destructif:	ET-test: acc. to ASTM-A 450; ET - Test method: acc. to ASTM-E 309; for imperfections; ET-test: ET with rotating pancake coils; according to EN 10246-3; imperfections; Notch depth: 0,30 mm; notch width < = notch depth; notch length min. 2 x transducer width (max. 50 mm)	PASSED
Augensichtkontrolle: Visual inspection: Examen visuel:	PASSED	PASSED
Materialverwechslungsprüfung: Material conformity test: Vérification de la nuance:	PASSED	PASSED
Maßkontrolle: Dimensions examination: Vérification des dimensions:	PASSED	PASSED

Ergebnisse der mechanischen Prüfung / Results of mechanical testing / Résultats des essais mécaniques

Die Probenahme erfolgte an Vielfachlängen.
 The sampling was carried out on multiple lengths.
 L'échantillonnage était réalisé aux longueurs multiples.

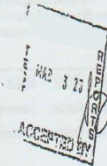


Figura 88.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 2 de 4.

Benteler SteelTube GmbH
 Postfach 13 40
 33043 Paderborn
 Deutschland
 Tel.: + 49.5254.81-0 Fax: + 49.5254.13666

BENTELER
 SteelTube

ABNAHMEPRÜFZEUGNIS EN 10204-3.1 Dokument-Nr.: 41-1343253/001/E Prüf-Nr.: Blatt: 3 / 4
 INSPECTION CERTIFICATE EN 10204-3.1 Document No.: Inspection No.: Page:
 CERTIFICAT DE RECEPTION EN 10204-3.1 No. du document: No. du certificat: Page:

Zugversuch längs bei RT, Vollprobe / Tensile test longitudinal at RT, Full section test specimen / Essai de traction longitudinale à TA, Eprouvette a section complete

Pos.	Proben-Nr.	Schmelzen-Nr.	Probenabmessung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Dehnung
Item	Specimen No.	Heat No.	Specimen dimensions	Yield strength	Tensile strength	Elongation
Poste	No. de l'éprouv.	No. de coulée	Dimensions de l'éprouv.	Limite élastique	Résistance à la traction	Allongement
Anforderungen				Rp 0,2 %	Rm	A2*
Requirements			mm	KSI		%
Exigences				MIN 75	MIN 95	MIN 12,00
						1. Formel
						1. Formule
0011	000001	200422	25,40 X 0,90	111	120	20,00
0011	000002	200422	25,40 X 0,90	108	123	20,00
0011	000003	200422	25,40 X 0,90	110	122	20,00
0011	000004	200422	25,40 X 0,90	112	120	20,00
0011	000005	200422	25,40 X 0,90	112	120	20,00
0011	000006	200422	25,40 X 0,90	110	120	20,00
0011	000007	200422	25,40 X 0,90	112	120	20,00
0011	000008	200422	25,40 X 0,90	115	120	20,00
0011	000009	200422	25,40 X 0,90	112	120	20,00
0011	000010	200422	25,40 X 0,90	115	120	20,00
0011	000011	200422	25,40 X 0,90	113	120	20,00
0011	000012	200422	25,40 X 0,90	116	123	20,00
0011	000013	200422	25,40 X 0,90	111	123	20,00
0011	000014	200422	25,40 X 0,90	114	120	20,00
0011	000015	200422	25,40 X 0,90	114	123	20,00
0011	000016	200422	25,40 X 0,90	112	121	20,00



Korngröße / Grain size / Grosseur de grain

nach ASTM-E 112, Längsschliff, am Vormaterial / acc. to ASTM-E112, Longitudinal structure micrography, on prematerial / svf. ASTM-E112, Micrographie longitudinale, sur prématriel

Pos.	Proben-Nr.	Schmelzen-Nr.	Korngröße
Item	Specimen No.	Heat No.	Grain size
Poste	No. de l'éprouv.	No. de coulée	Grosseur de grain
			MIN 5
0011	000001	200422	9,0

Randentkohlung / Surface decarburization / Décarburation superficielle

acc. to AMS-6360, acc. to ASTM-E 1077, partial decarburization outside max. 0.18T, partial decarburization inside max. 0.18T, partial decarburization outside and inside max. 0.25T, without total decarburization; partial decarb. out+ ins x Tmax: 0,250 mm

Figura 89.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 3 de 4.

Benteler Steel/Tube GmbH
Postfach 13 40
33043 Paderborn
Deutschland
Tel.: + 49.5254.81-0 Fax: + 49.5254.13666

BENTELER
Steel/Tube

ABNAHMEPRÜFZEUGNIS EN 10204-3.1 Dokument-Nr.: 41-1343253/001/E Prüf-Nr.: Blatt: 4 / 4
INSPECTION CERTIFICATE EN 10204-3.1 Document No.: Inspection No.: Page:
CERTIFICAT DE RECEPTION EN 10204-3.1 No. du document: No. du certificat: Page:

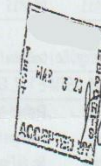
Vermerk / Remark / Remarque

Certificate remarks: The steel grade corresponds to MIL-6736B, AMS 6360P, material free from mercury contamination, FAR BAA: 52.225-1 CANNOT COMPLY, DFARS BAA: 252.225-7001 CAN COMPLY, FAR TAA: 52.225-5 CAN COMPLY, No weld repair has been carried out, Country of origin of the material and heat: Germany, All materials provided under this purchase order are free of conflict minerals in accordance with the Dodd-Frank Act Section 1502, Aircraft quality steel acc. to AMS 2301L; Semi finished product examination see appendix page 1 of 1.

Macroscopic examination: acc. to ASTM-E381

Magnetic particle inspec.: acc. to AMS 2301L/ASTM-E 1444, on prematerial

Verkäufer(in) / Sales Personnel / Personne chargée: Mrs Sehrbrock, Tel.: 05254 81-204276, Fax: 204279



Werk 41, Marienloher Str., 33104 Paderborn, 24.08.2022, TEL.: 05254.81-201765

Abnahmebeauftragter
Inspection representative

Contrôleur
i. A. THOMAS GOLLAN / WIE

Es wird bestätigt, dass die gelieferten Erzeugnisse den techn. Lieferbedingungen des Auftrages entsprechen. Dieses Dokument wurde mittels EDV erstellt und ist ohne Unterschrift rechtsgültig.
We certify that the supplied products comply with the order specifications. This document was prepared by means of electronic data processing and is valid without signature.
Nous attestons que les produits livrés sont conformes aux stipulations de la commande. Ce document a été établi par traitement électronique de l'information et est valide sans signature.

Figura 90.- Certificado de calidad acero 4130 para miembros secundarios (ASM-T-6736B-S4130) 4 de 4.