

**Licenciatura en Ingeniería Mecánica**

**Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I**

**Modalidad: Proyecto Tecnológico**

**Nombre del Proyecto de Integración:**

**Diseño y construcción de la estructura ligera para el vehículo**

**BAJA SAE UAM 2022**

**Alumnos:**

De Jesús Pérez Alejandro rodrigo  
Matricula: 2132003422

Ramos Crisóstomo daniel  
Matricula: 2133034681

**Asesores:**

Ing. Romy Pérez moreno  
M. en C. Iván González Uribe

Ciudad de México, enero de 2023

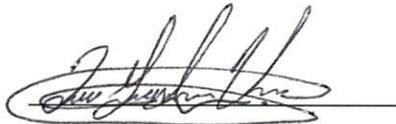
TRIMESTRE 22-O

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 la UAM Azcapotzalco.



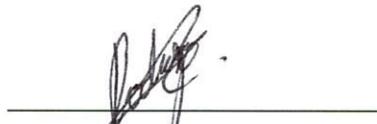
Ing. Romy Pérez Moreno

Yo, M. en C. Iván González Uribe, 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. Iván González Uribe

Yo, Alejandro Rodrigo De Jesús Pérez, 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 el Repositorio Institucional de la UAM Azcapotzalco.



Alejandro Rodrigo De Jesús Pérez

Yo, Daniel Ramos Crisóstomo, 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 el Repositorio Institucional de la UAM Azcapotzalco.



Daniel Ramos Crisóstomo

**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  Sí    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 <input type="text" value="22P"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	Término <input type="text" value="22O"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	

Nombre y firma del Coordinador de Estudios  
  
Ing. Romy Pérez Moreno

  
Sello de la Coordinación de Estudios

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 22-I

Fecha: 24/05/2022

PI-A-MEC 009-22-PT

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Alejandro Rodrigo De Jesús Pérez

Matrícula: 2132003422

Correo personal: al2132003422@azc.uam.mx

  
Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: Romy Pérez Moreno

No. económico: 23812 Adscripción/Departamento/Sección: Energía

Área de investigación: Grupo de investigación sistemas mecánicos de frontera

Correo institucional: romy@azc.uam.mx

  
Firma

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

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: Iván González Uribe

No. económico/Teléfono: 42095 Adscripción/Puesto: Energía

Área de investigación/Departamento: Grupo de investigación sistemas mecánicos de frontera

Correo electrónico: igu@azc.uam.mx

  
Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico  Proyecto de investigación  Estancia profesional  Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y construcción de la estructura ligera para el vehículo BAJA SAE UAM 2022

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

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir la estructura ligera de una jaula antivuelco para el vehículo de competencia BAJA SAE 2022 apegándose al reglamento establecido.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	SI	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		22P
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		Término
			22O

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

  
Ing. Romy Pérez Moreno



Sello de la Coordinación de Estudios

---

**Resumen**

El presente reporte se centra en el diseño y construcción de una estructura antivuelco para un vehículo todo terreno para la competencia BAJA SAE MÉXICO 2022.

El diseño de la jaula antivuelco se realizó a partir del reglamento BAJA SAE 2022, cumpliendo cada norma y restricción presente en el reglamento. Esto con el fin de poder realizar la construcción de la jaula antivuelco y que permita la seguridad del piloto. Así mismo, se presenta el desempeño durante cada una de las pruebas dinámicas que se realizaron en competencia.

Para el diseño de la jaula se tomó como punto de partida el diseño de la edición 2019, se tenía como objetivo principal la reducción de peso para poder así tener un mejor aprovechamiento de la potencia. Se observó que había que darle mayor atención al área de la cabina, no sólo por comodidad para el piloto sino también por las restricciones del reglamento, por lo cual se realizó un diseño conservador, es decir, todo se apegó a las dimensiones máximas del piloto más alto para no dar espacio a un posible incumplimiento en la inspección técnica. Asimismo, se disminuyó el diámetro de la tubería logrando un vehículo más esbelto y al mismo tiempo se redujo el peso de estructura en más de un 26% siempre cuidando que el acero utilizado cumpliera con sus certificados de calidad con lo cual se garantiza que el porcentaje de carbono no sea menor al 18% y cumpla con los factores de diseño establecidos en el Reglamento.

Para validar el diseño se realizaron pruebas estáticas de la estructura diseñada, simulando los impactos más comunes que se sufren en la pista a la hora de la competencia como son el impacto frontal y el de volcadura, los cuales arrojaron resultados satisfactorios, esto se hizo gracias al patrocinio que el grupo SCC proporcionó al equipo al dar acceso al software ANSYS Mechanical.

Así mismo se incluyen los certificados de calidad del acero utilizado, planos de los elementos utilizados para la construcción de la jaula con cada una de sus medidas, planos de las piezas ocupadas para la construcción del bastidor y planos de cada uno de los elementos de tubería que fueron mandados a doblar.

**ÍNDICE**

	Pág.
CAPITULO I. ....	1
I.1 Introducción .....	2
I.2 Antecedentes.....	3
I.3 Justificación .....	4
I.4 Objetivos .....	4
I.4.1 Objetivo general.....	4
I.4.2 Objetivos particulares .....	4
CAPITULO II. Marco	5
Teórico.....	
II.1 Resistencia a la flexión .....	6
II.2 Rigidez a la flexión .....	6
II.3 Modulo de Young.....	6
II.4 Segundo momento de área .....	7
II.5 Procesos de soldadura.....	7
II.5.1 Proceso de soldadura de micro alambre .....	7
II.5.2 Proceso de soldadura TIG.....	8
II.5.3 Proceso de soldadura por arco con núcleo fundente .....	9
II.5.4 Proceso de soldadura por electrodo revestido .....	10
II.6 Descripción técnica .....	11
CAPITULO III. Desarrollo del	14
proyecto.....	
III.1 Análisis de la jaula edición 2019.....	15
III.2 Selección de la geometría optima .....	16
III.3 Selección del material para la jaula .....	17
III.4 Diseño de la estructura (CAD) .....	21
CAPITULO IV.	22
Resultados.....	
IV.1.- Resultados.....	23
IV.2.- Impacto frontal, lateral y trasero.....	23
IV.3.- Impacto de suspensión (llanta delantera). .....	23
IV.4.- Impacto de volcadura.....	24
IV.5.- Resultados de simulaciones en los diferentes escenarios.....	24
IV.6.- Resultados de simulaciones en ANSYS®.....	25
IV.6.1-Impacto frontal.....	25
IV.6.2-Impacto lateral.....	28
IV.6.3.- Impacto de volcadura .....	31
IV.6.4.- Impacto trasero .....	34
IV.6.5.- Impacto de suspensión (una llanta) .....	37
IV.7.- Proceso de fabricación de la jaula.....	40
IV.7.1.- Fabricación del bastidor.....	41
IV.7.2.- Doblado de tubos.....	42
IV.7.3.- Preparación de juntas (bocas de pescado) .....	43
IV.7.4 Ensamble de los elementos de la jaula 2022.....	47

IV.7.4.1 Soldadura.....	50
IV.7.5.- Relatoría.....	52
IV.7.5.1 Jueves 1 de diciembre 2022.....	54
IV.7.5.2 Viernes 2 de diciembre 2022.....	54
IV.7.5.3 Sábado 3 de diciembre 2022.....	56
IV.7.5.4 Domingo 4 de diciembre 2022.....	57
CAPITULO V. Análisis y discusión de resultados	59
V.1 Discusión de resultados .....	60
V.2 Conclusiones .....	61
V.3 Referencias bibliográficas .....	62
ANEXOS I .....	63
Tabla A. Cotización de Chromoly (Obtenida de la empresa CroMo) .....	64
Tabla B. Catalogo proporcionado por Max Acero Monterrey .....	65
Tabla C. Factura de acero A36 donado por ITW .....	66
Tabla D. Certificado de calidad de la tubería de acero A36, con 0.065% de contenido de Carbono .....	67
Tabla E. Fragmento de un certificado de calidad (cortesía de CroMo) en donde se expresa la cantidad de carbono mínima del acero 1020 .....	67
Tabla F. Certificado de calidad acero 1020 para miembros primarios (ASTM A513 Type 5 SRA) .....	68
Tabla G. Certificado de calidad de acero 1020 para miembros secundarios (ASTM A513 Type 5 SRA) .....	69
ANEXOS II .....	70
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 1-6) .....	71
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 7,11-15) .....	72
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 13-14) .....	73
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 16-18) .....	74
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 12,19-22) .....	75
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 23-24) .....	76
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 27-29) .....	77
Plano de piezas MDF para bastidor (Piezas 25-26) .....	78
Explosionado de zona trasera de bastidor .....	79
Explosionado de zona de cabina de bastidor .....	80
Explosionado de zona de Nariz de bastidor .....	81
Plano de elemento RHO right .....	82
Plano de elemento RHO left .....	83
Plano de elemento RRH .....	84
Plano de elemento SIM .....	85
Plano de elemento Nariz .....	86
Plano de elemento Remolque .....	87
Plano de elemento FAB low .....	88
Plano de elemento Refuerzos RRH-RHO .....	89
Plano de elemento LFS .....	90
Explosionado de componentes del piso de la cabina .....	91
Explosionado de componentes de la zona de Nariz .....	92

---

Explosionado de componentes de la zona de cabina	.....	93
Explosionado de elementos de la zona trasera	.....	94
Explosionado de elementos componentes de la estructura total	.....	95

**INDICE DE FIGURAS**

	Pág.
Figura I.1 Vehículo BAJA SAE 2019.....	2
Figura I.2 CAD Vehículo BAJA SAE 2019.....	2
Figura I.3 Modelo propuesto BAJA SAE 2022.....	2
Figura II.1 Proceso MIG.....	8
Figura II.2 Procesos TIG.....	9
Figura II.3 Micro alambre Flux Core .....	10
Figura II.4 Proceso electrodo revestido .....	11
Figura II.5 Miembros componentes de la jaula antivuelco .....	13
Figura III.1 Zona de pedalera jaula edición 2019.....	15
Figura III.2 Zona de pedalera jaula edición 2022.....	15
Figura III.3 Inclinación de pared de fuego y respaldo edición 2019..	16
Figura III.4 Inclinación de pared de fuego y respaldo edición 2022..	16
Figura III.5 Modelo elegido edición 2022.....	16
Figura III.6 Primer diseño generado (CAD).....	21
Figura III.7 Diseño final considerando refuerzos (en color naranja)..	21
Figura IV.1. Diseño final de la jaula antivuelco 2022 (CAD).....	24
Figura IV.2 Análisis estático de impacto frontal.....	25
Figura IV.3 Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto frontal.....	26
Figura IV.4 Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión de Remolque).....	27
Figura IV.5 Análisis estático de impacto lateral.....	28
Figura IV.6 Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto lateral.....	29
Figura IV.7 Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión SIM- refuerzos)	30
Figura IV.8 Análisis estático de impacto de volcadura .....	31
Figura IV.9 Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto de volcadura	32
Figura IV.10 Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión FLC- FAB)	33
Figura IV.11 Análisis estático de impacto trasero .....	34
Figura IV.12 Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto trasero	35
Figura IV.13 Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión FLC- FAB)	36
Figura IV.14 Análisis estático de impacto de suspensión .....	37
Figura IV.15 Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto de suspensión	38
Figura IV.16 Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión FLC-LFS)	39
Figura IV.17 Recolección de tubos en paquetería .....	40
Figura IV.18 Corte manual de plantillas para el bastidor .....	41

Figura IV.19 Montaje de piezas de bastidor	.....	42
Figura IV.20 Montaje final de bastidor	.....	42
Figura IV.21. Rectificación de dobles en tubo	.....	43
Figura IV.22 Bocas de pescado en fresadora	.....	44
Figura IV.23 Cortador recomendado	.....	45
Figura IV.24 Bocas de pescado con plantilla	.....	45
Figura IV.25. Corte de boca con esmeril	.....	45
Figura IV.26 Montaje de tubos inferiores en bastidor	.....	46
Figura IV.27 Montaje de tubos superiores	.....	46
Figura IV.28 Tubos mal doblados, marcados en color azul.	.....	47
Figura IV.29. Unión de elementos inferiores	.....	48
Figura IV.30 Ensamble RRH	.....	48
Figura IV.31 Colocación de nariz, remolque y RHO	.....	49
Figura IV.32 Colocación de travesaños	.....	49
Figura IV.33 Colocación de miembros laterales de impacto	.....	50
Figura IV.34 Unión de elementos traseros	.....	50
Figura IV.35 Ensamble LBD y refuerzos	.....	51
Figura IV.36 Máquina de soldar "Miller continuum Soldadora de 350"	.....	51
Figura IV.37 Unión de tubos (soldados completamente)	.....	52
Figura IV.38 Estructura final completamente soldada	.....	52
Figura IV.39 Pesado de jaula final	.....	53
Figura IV.40 Encintando soporte de switch	.....	54
Figura IV.41 Colocación de refuerzos	.....	54
Figura IV.42 Probetas realizadas en competencia	.....	54
Figura IV.43 Calcomanía PASS TECH	.....	56
Figura IV.44 Calcomanía de frenos	.....	56
Figura IV.45. Calcomanía maniobrabilidad	.....	57
Figura IV.46 Amortiguadores rotos	.....	57
Figura IV.47 Vehículo BAJA UAM 2022 saliendo a pits	.....	58

---

**INDICE DE TABLAS**

	Pág.
Tabla III.1. Aceros considerados para la fabricación de la estructura de la jaula antivuelco	18
Tabla III.2 Validación de material adquirido.....	20
Tabal IV.1 Resultados de la simulación del impacto frontal.....	25
Tabal IV.2 Resultados de la simulación del impacto lateral.....	28
Tabal IV.3 Resultados de la simulación del impacto de volcadura.....	31
Tabal IV.4 Resultados de la simulación del impacto trasero.....	34
Tabal IV.5 Resultados de la simulación del impacto de suspensión.....	37

# CAPÍTULO I

## Introducción

En este capítulo se presenta la introducción sobre el proyecto planteado. Se expresan los objetivos a alcanzar y los antecedentes, así como la justificación empleada para la elaboración de este.

## I.1- Introducción

El objetivo de la competencia BAJA SAE es poner a prueba los conocimientos adquiridos por estudiantes de ingeniería para diseñar, construir y probar un vehículo todo terreno. Cada una de las pruebas es evaluada por los jueces de la competencia [I.1].

El vehículo BAJA SAE UAM 2019 (véase Figura I.1) presenta un exceso de peso porque el material utilizado fue un acero SAE 1020. En este proyecto se propone realizar el diseño y la construcción de una estructura ligera (también llamada jaula antivuelco) empleando el acero AISI 4130 también conocida como Chromoly. Las propiedades mecánicas del 4130 son semejantes a las del 1020, pero con una densidad menor. El diseño de la jaula será realizado garantizando la seguridad estructural y favoreciendo la ergonomía para el piloto. Esta disminución de peso también mejorará la relación potencia/peso del vehículo.

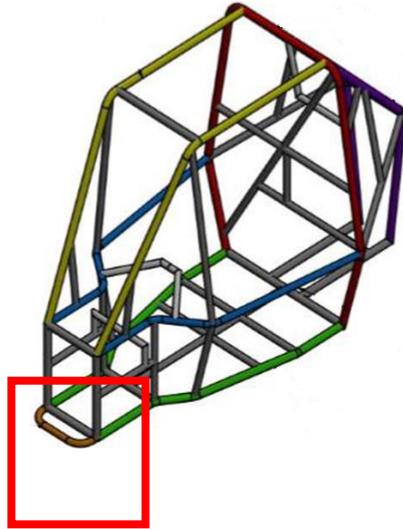


**Figura I.1** Vehículo BAJA SAE 2019

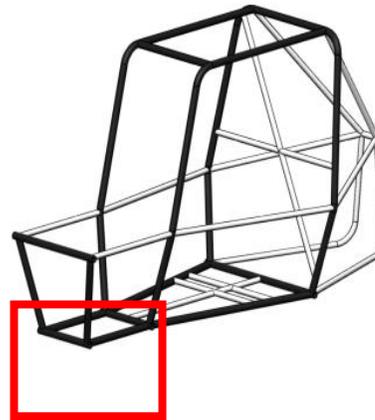
Como se muestra en el rectángulo rojo de la Figura I.2, el espacio del vehículo BAJA SAE 2019 en la zona de pedales es muy reducido, lo cual no favorece la ergonomía del vehículo. Por esta razón se propone cambiar el diseño de la jaula por uno de tipo nariz como el mostrado en la Figura I.3 para BAJA SAE 2022 **Figura I.3.**

Se realizará un estudio antropométrico para mejorar la ergonomía de la cabina, analizando las dimensiones de los diferentes conductores para lograr la holgura suficiente para maniobrar con facilidad el vehículo.

Para el análisis estructural de la jaula será utilizado el software ANSYS<sup>®</sup>, proporcionado en patrocinio por Grupo SSC, distribuidor exclusivo directo de ANSYS<sup>®</sup> en México.



**Figura I.2** CAD vehículo  
BAJA SAE 2019



**Figura I.3** Modelo  
propuesto BAJA SAE  
2022

## I.2.- Antecedentes

En 2013 en la universidad de Cincinnati se realizó una estructura de jaula antivuelco utilizando tubería de acero AISI 4130 Chromoly [I.2]. Para los elementos primarios de la jaula se utilizaron tubos con diámetro exterior de 1.25 pulgadas y un grosor de pared de 0.065 pulgadas, mientras que para los elementos secundarios se utilizaron tubos de diámetro exterior de una pulgada y un grosor de pared de 0.035 pulgadas. De este trabajo resulta relevante el análisis para la selección de los diámetros, el cual se tomará en cuenta para la selección de la tubería de la jaula 2022, debido a que lo principal es disminuir el peso de la estructura manteniendo la rigidez estructural.

En 2020, Yogesh Chandra [I.3] realizó un comparativo entre acero AISI 4130 y AISI 1018 sobre la base de su relación fuerza-peso, propiedades de elongación y su disponibilidad para obtener un equilibrio óptimo de diseño. Se dedujo que el acero AISI 4130 tuvo una mejor relación fuerza-peso, y que también se garantizó una reducción de peso del 17% por longitud del tubo sin comprometer su fuerza. Este estudio soporta la selección del acero 4130 Chromoly para elaborar la jaula.

En 2016, Ana María Campoverde y Santiago Paúl Galarza, alumnos de la Universidad Politécnica Salesiana, desarrollaron probetas de prueba con soldadura MIG y TIG las cuales fueron evaluadas mediante ensayos destructivos [I.4]. Llegaron a la conclusión de que la soldadura tipo MIG obtuvo mejores resultados manteniendo buena relación entre las propiedades mecánicas y el costo. Tomando estos resultados como referencia, se considerará usar soldadura tipo MIG para la unión de los miembros de la estructura de la jaula.

### **I.3.- Justificación**

El peso total del vehículo es un tema crucial para el mejor aprovechamiento de la potencia del motor, y una mejor ergonomía de la cabina ayudará a evitar lesiones en el piloto. Considerando que la estructura de la jaula antivuelco está construida en su totalidad por metal, se propone diseñar y construir todos los elementos de la jaula antivuelco con acero 4130, manteniendo la rigidez especificada en el reglamento correspondiente BAJA SAE México 2022. Se propone también modificar la geometría general del vehículo para proporcionar más espacio al piloto.

### **I.4.- Objetivos**

#### **I.4.1.- Objetivo general**

Diseñar y construir la estructura ligera de una jaula antivuelco para el vehículo de competencia BAJA SAE 2022 apegándose al reglamento establecido.

#### **I.4.2.- Objetivos particulares**

Comparar el modelo de la jaula 2019 con los datos experimentales.

Realizar pruebas experimentales al vehículo BAJA SAE UAM 2019 para recolectar información útil que valide la simulación de la jaula antivuelco a construir para la competencia de 2022.

Diseñar una estructura más ligera que el modelo 2019, acorde a lo permitido en el reglamento de BAJA SAE 2022 con ayuda del software ANSYS.

Simular la geometría de la jaula antivuelco y los sistemas a los que dará soporte para verificar que no haya interferencias.

Construir un soporte estructural para el armado correcto de la jaula.

Construir la jaula antivuelco.

Probar el funcionamiento y corregir lo necesario en la competencia BAJA SAE México 2022.

# CAPÍTULO II

## Marco teórico

En esta sección se presenta un marco de referencia para sustentar los cálculos que se van a utilizar, además de conceptos y datos útiles para la comprensión del proyecto.

### II.1.- Resistencia a la flexión (Bending strength = $S_b$ )

Es la propiedad que tiene cada una de las partes que conforman un material determinado para oponerse a la deformación cuando se le está aplicando una fuerza externa. Además, es la medida que incluye tanto la resistencia a la compresión como a tracción, que se define como la cantidad de falla del material [II.1]. Por lo tanto, cuanto mayor sea la resistencia de dicho material, mayor carga podrá soportar. Dicha propiedad se calculará de la siguiente manera:

$$S_b = \frac{S_y I}{C} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$S_b$  = Resistencia a la flexión

$S_y$  = Esfuerzo de fluencia

$C$  = Distancia entre el eje neutro a la fibra extrema

### II.2.- Rigidez a la flexión (Bending stiffness = $K_b$ )

Es la medida que relaciona tanto la fuerza como la deformación estructural (medida de la rigidez N/m), en otras palabras, es la cantidad de deformación que se genera por una fuerza a la que está sujeta la estructura. Por lo tanto, la rigidez se calculará de la siguiente manera:

$$K_b = EI \quad \text{Ec. (2)}$$

$K_b$  = Rigidez a la flexión

$E$  = Módulo de Young

$I$  = Segundo momento de área

### II.3.-Módulo de Young / Módulo de elasticidad ( $E$ )

El módulo de Young ( $E$ ) es la medida característica de un material que indica la relación de los aumentos de tensión aplicados ( $d\sigma$ ) contra los aumentos de deformación unitaria ( $d\epsilon$ ) en la zona de comportamiento elástico durante el ensayo de tracción, así mismo nos indica que cuanto mayor es su módulo de elasticidad presentara una mayor rigidez [II.2]. Por lo cual:

$$E = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \quad \text{Ec.(3)}$$

Donde:  $E = 205$  GPa para todos los aceros

## II.4.- Segundo Momento de Área (I)

Es la propiedad geométrica de una sección transversal, donde se relaciona tensiones vs deformaciones máximas que aparecen por flexión en un cuerpo estructural [II.4].

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

Donde:

$I$  = momento de área

$d_e$  = diámetro exterior de tubería

$d_i$  = diámetro interior de tubería

## II.5.-Procesos de soldadura

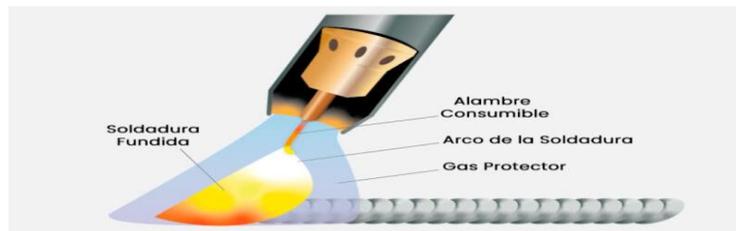
En la actualidad existen distintos tipos y procesos de soldadura, para poder escoger el proceso más óptimo dependerá de diversas condiciones, como lo son [II.3]:

- Tipo de material que se requiere soldar
- Tipo de alimentación que se tenga en el espacio de trabajo
- Calibre del material a soldar
- Tiempo continuo de trabajo

A continuación, se mencionan algunos de los procesos de soldadura más utilizados en la industria, entre los cuales podemos encontrar:

### II.5.1.- Proceso de soldadura de micro alambre (Soldadura de arco con protección de Gas - MIG)

Se establece por medio de un arco eléctrico entre un metal base y un electrodo (rollo de alambre continuo alimentado desde un carrete), así como un gas de protección. Primeramente, se crea un arco desde la punta del micro alambre hasta el metal base, posteriormente el micro alambre se derrite convirtiéndose así en el metal de relleno y creando posteriormente la soldadura [II.1].



**Figura II.1.** Proceso MIG [II.8].

Ventajas

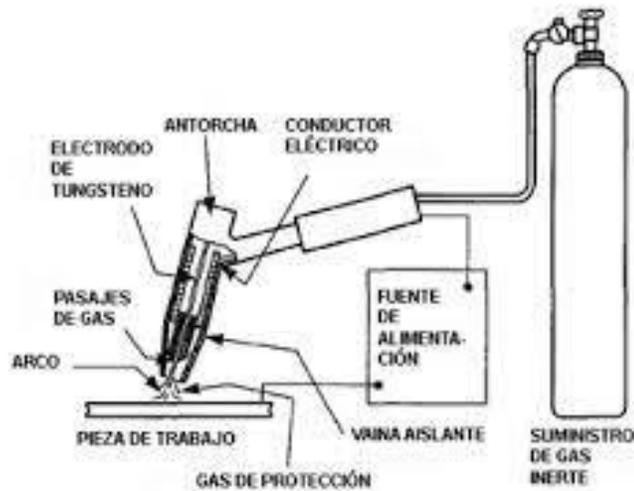
- Produce una soldadura suave
- Permite una velocidad cómoda para el soldador
- Visualmente tiene un mejor acabado
- Facilidad de soldar en cualquier posición

Desventajas

- El equipo puede llegar a ser más costoso
- El equipo podría requerir de demasiado mantenimiento

**II.5.2.- Proceso de soldadura TIG (Arco de Soldadura con Tungsteno con protección de gas-GTAW)**

Este proceso de soldadura consiste en un arco que se produce a partir del choque de la pieza de trabajo y en un electrodo que no se consume, dicho electrodo está hecho de tungsteno o de aleaciones de tungsteno, esta soldadura nos ofrece cordones tanto de alta calidad como precisos, dicha soldadura no requiere limpieza ya que se necesita un flujo constante gas que proteja la soldadura [II.2].



**Figura II.2.** Proceso TIG [II.9].

Ventajas

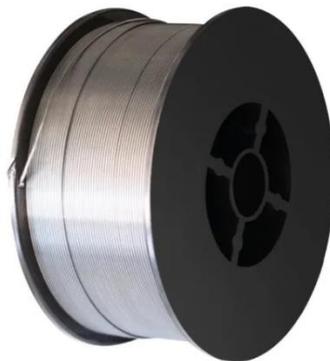
- La soldadura se puede realizar sin material de relleno ya que el electrodo no se consume
- Es adecuada para soldar en cualquier posición
- Puede soldar en piezas de milímetros de grosor
- No requiere limpieza la soldadura ya que no produce escoria

Desventajas

- Es ineficiente a la hora de soldar materiales gruesos
- Se necesita experiencia y habilidad para la ejecución de soldadura

**II.5.3.- Proceso de soldadura por arco con núcleo fundente (Flux Cored Arc Welding – FCAW)**

Este tipo de soldadura es similar al proceso de soldeo MIG, ya que consiste en un proceso donde el arco eléctrico se genera a partir de un metal de aporte (electrodo continuo) alimentado a través de su boquilla y el material base. Dicho alambre al tener un núcleo fundente crea por sí mismo una protección de gas, eliminando así la necesidad de tener un tanque con gas externo y volviéndolo un proceso de soldadura de bajo costo [II.3].



**Figura II.3.** Micro alambre Flux Core [II.10].

Ventajas

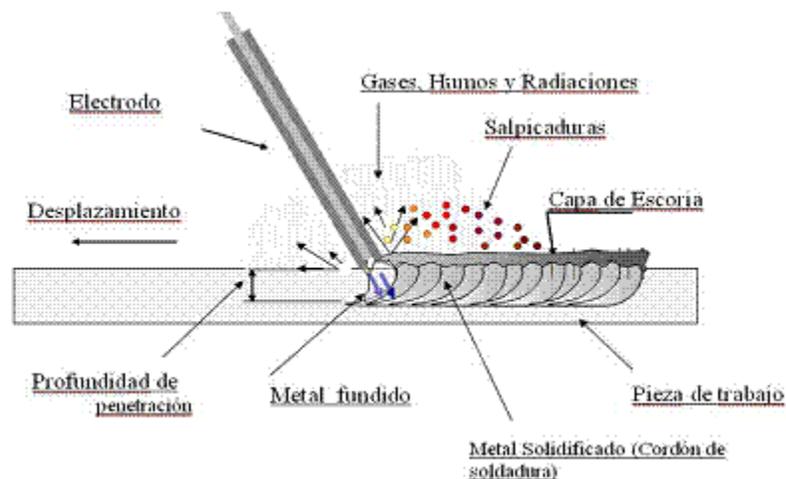
- Proceso más adecuado para soldar materiales gruesos
- Proceso de bajo costo
- No requiere gas

#### Desventajas

- Genera escoria
- Equipo más costoso
- No recomendable para materiales delgados

#### II.5.4.- Proceso de soldadura por electrodo revestido

Dicho proceso de soldadura es el más común y utilizado, consiste en un electrodo que funciona como metal de aporte, el cual crea un arco eléctrico al hacer contacto entre el electrodo y la pieza de trabajo. Para dicho proceso el soldador deberá tener conocimiento tanto del amperaje a utilizar como de la manera de soldar un material, ya que esta requiere experiencia del soldador, conocimientos previos tanto de posición de soldeo como de distintos electrodos para una soldadura adecuada para cada material [II.4].



**Figura II.4.** Proceso electrodo revestido [II.11].

#### Ventajas

- Bajo costo
- No requiere gas
- Se puede utilizar en distintos espacios y climas
- No es necesario limpiar la superficie donde soldará

#### Desventajas

- Produce escoria
- Produce humo
- Requiere habilidad por parte del soldador

## II.6.- Descripción técnica

Las dimensiones permitidas de la jaula antivuelco para la competencia BAJA SAE México 2022 son las siguientes:

1620 mm de ancho

2740 mm de largo

Según se establece en el reglamento [I.1], el vehículo debe ser capaz de transportar a una persona de 190 cm de altura máxima con un peso máximo de 113 kg.

Los miembros de la jaula antivuelco deberán estar hechos de un acero que contenga como mínimo 0.18 % de carbono, ya sean rectos o doblados.

Los miembros rectos no deberán exceder de 1016 mm de longitud entre puntos clave, que son la intersección de las líneas centrales de dos o más miembros.

Los miembros doblados no deberán exceder de 30 grados y no deberán ser mayores de 838 mm de longitud entre puntos clave.

El casco del conductor deberá tener un espacio libre de 152 mm, mientras que los hombros, el torso, las caderas, los muslos, las rodillas, los brazos, los codos y las manos del conductor deberán tener un espacio libre de 76 mm.

En la Figura se aprecian los miembros primarios, destacados de color negro, los miembros secundarios en color blanco y los puntos clave son azules.

Los miembros primarios son:

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

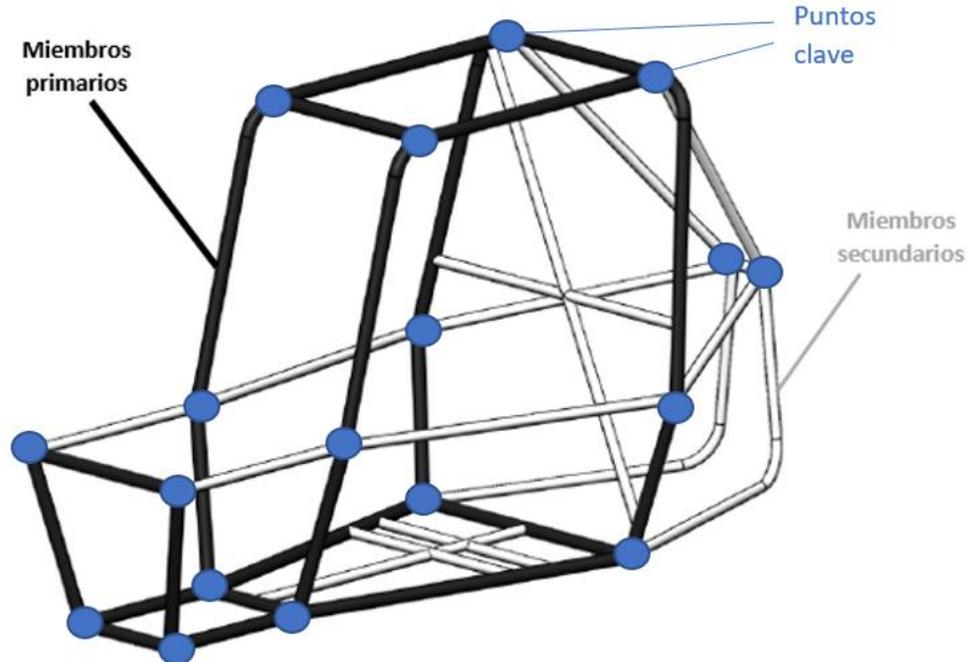
Estos miembros están conformados por tubería circular con un diámetro exterior de 25 mm y un espesor de pared de 3 mm.

Los miembros secundarios son:

- LDB: Refuerzo diagonal lateral (del inglés Lateral Diagonal Bracing)
- SIM: Miembros de Impacto Lateral (del inglés Side Impact Members)
- FAB: Miembros de Refuerzo Traseros (del inglés Aft Bracing Members)
- USM: Miembro Bajo del Asiento (del inglés Under Seat Member)
- RLC: Miembro Lateral Trasero (del inglés 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.

Estos miembros deberán tener un espesor de pared mínimo de 0,89 mm y un diámetro exterior mínimo de 25.4 mm.

Tanto miembros primarios como miembros secundarios se observan en la Figura II.5.



**Figura II.5.** Miembros componentes de la jaula antivuelco  
Adaptado de “Collegiate Design Series Baja SAE Rules 2022” [I.1].

# CAPÍTULO III

## **Desarrollo del proyecto**

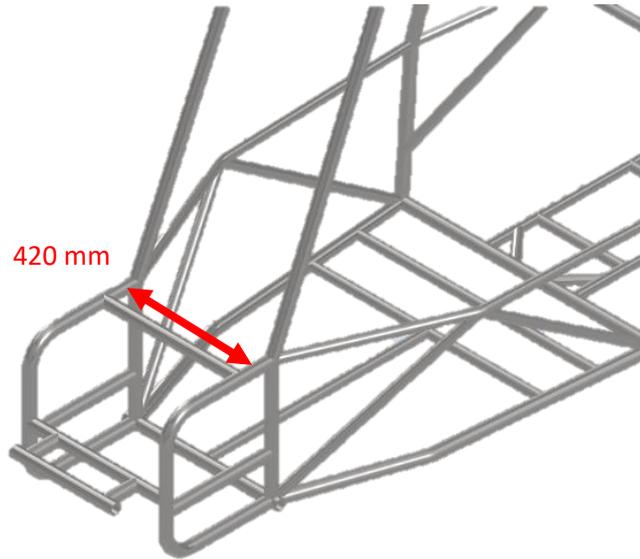
En esta sección se discute el diseño final de la estructura y se desarrolla el proceso de construcción de la jaula antivuelco. También se realizan los cálculos correspondientes para la validación de la jaula.

### III.1.- Análisis de la jaula edición 2019.

El espacio destinado a la pedalera que a su vez sirve de protección para los pies del piloto (Figura III.1) era muy reducido, lo cual limitaba el movimiento para poder conducir cómodamente. Para la edición 2022 se aumentó tal espacio para la comodidad del piloto, como puede apreciarse en la Figura III.2.



**Figura III.1.** Zona de pedalera jaula edición 2019



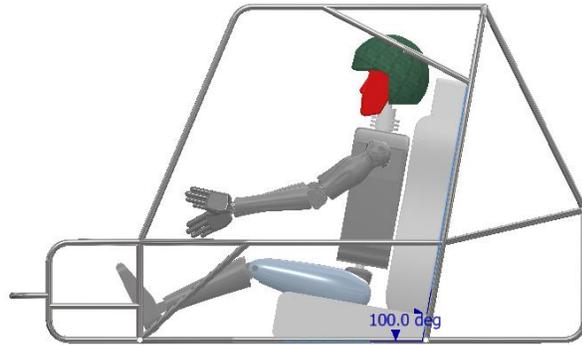
**Figura III.2.** Zona de pedalera jaula edición 2022

La pared de fuego (cubierta que divide la zona de la cabina con la zona del motor) esencialmente era perpendicular al piso, mientras que el respaldo del asiento tenía un cierto ángulo de inclinación respecto a la vertical; lo que resultaba en un espacio no aprovechado. (Figura III.3)

Para esta edición se consideró tomar un ángulo de  $10^\circ$  respecto a la vertical tanto en la pared de fuego como en el respaldo del asiento. (Figura III.4)



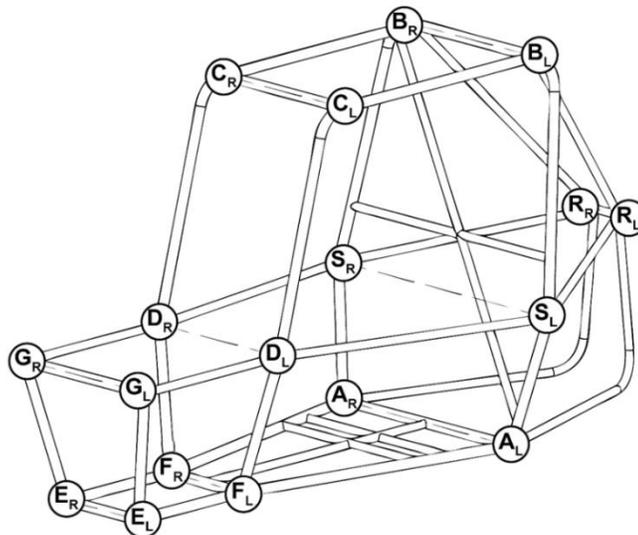
**Figura III.3.** Inclinación de pared de fuego y respaldo edición 2019



**Figura III.4.** Inclinación de pared de fuego y respaldo edición 2022

### III.2.- Selección de la geometría óptima.

Tomando las consideraciones arriba mencionadas para esta edición se eligió un diseño diferente al del año 2019. El modelo seleccionado fue una jaula antivuelco con “nariz”, como puede apreciarse en la Figura III.5, existe una diferencia sutil en la zona delantera del vehículo.



**Figura III.5.** Modelo elegido edición 2022.

Tomado de “Collegiate Design Series Baja SAE Rules 2022” (p. 28).

### III.3.- Selección del material para la jaula

Para la elaboración de la estructura de la jaula se tomó como punto de partida lo establecido en el reglamento BAJA SAE 2022 [I.1], que dicta la composición, diámetros y espesores mínimos para la tubería.

$$\begin{aligned} C &\geq 0.18 \% \\ \textit{Elementos primarios} &\rightarrow \textit{diametro exterior} \geq 25 \textit{ mm} \\ &\textit{espesor} \geq 3 \textit{ mm} \end{aligned}$$

Con estos valores y tomando el acero AISI 1018 como referencia (estipulado también por el reglamento) se obtuvieron los cálculos que indican los valores mínimos para una correcta selección del material.

$$\textit{Diametro exterior} = 0.0125 \textit{ m}$$

$$\textit{Diametro interior} = 0.0190 \textit{ m}$$

De la Ec. (4)

$$I = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{64} [(0.0250 \textit{ m})^4 - (0.0190 \textit{ m})^4] = 1.278 \times 10^{-8} \textit{ m}^4$$

Por lo que se puede utilizar este valor en la Ec.(2)

$$k_b = (205 \times 10^9 \textit{ N/m}^2) (1.278 \times 10^{-8} \textit{ m}^4) = 2,619.416 \textit{ N} * \textit{m}^2$$

Utilizando la Ec. (1) y conociendo que

$$\begin{aligned} S_y &= 365 \times 10^6 \textit{ N/m}^2 \\ c &= 0.0127 \textit{ m} \end{aligned}$$

Se obtiene

$$S_b = \frac{(365 \times 10^6 \textit{ N/m}^2) (1.278 \times 10^{-8} \textit{ m}^4)}{0.0125 \textit{ m}} = 373.176 \textit{ N} * \textit{m}$$

Se consiguió el patrocinio del corporativo ITW (empresas: Miller y Hobart) que además de prestarnos una máquina de soldar de alta capacidad y proporcionarnos el material de aporte, nos facilitaron un par de cursos introductorios enfocados al funcionamiento de la máquina. Interesados en el proyecto se familiarizaron con el propósito de este y aconsejaron prescindir del acero 4130. Fue tal el compromiso del patrocinador que se ofreció a pagar por el material en caso de tratarse de acero estructural.

En la Tabla A se puede observar la cotización del acero 4130; se cotizaron dimensiones cercanas a las mínimas permitidas en el reglamento en función de lo que ofrecía el proveedor (no hubo catalogo), lo anterior para planear y gestionar adecuadamente el presupuesto. Como ya se pronosticaba, resultaba bastante caro adquirirlo.

Con lo anterior se desistió del Chromoly, por lo tanto, se consideró el AISI 1020 y el acero estructural A36. Se procedió a la búsqueda de proveedores cercanos y se encontró a Max Acero Monterrey ubicada en Tultitlan, Estado de México. En la Tabla B se muestra el catálogo para acero estructural proporcionado por dicha empresa. Las dimensiones más acordes al propósito fueron las indicadas a continuación

*Elementos primarios (cedula 40) → diámetro exterior = 33.4 mm  
espesor = 3.38 mm*

*Elementos secundarios (cedula 40) → diámetro exterior = 26.7 mm  
espesor = 2.87 mm*

Debido a la dificultad de localizar proveedores cercanos de acero 1020 y en vista de que no se obtuvo buena respuesta del patrocinador PEASA de BAJA SAE UAM edición 2019, quien dono el material en ese entonces. Se tomaron en cuenta las dimensiones utilizadas en esa edición para poder realizar una comparación y hacer una buena elección de material.

Como lo indica la Tabla III.1, la mejor opción resulto ser el acero estructural A36, con resultados satisfactorios que superaban los valores de bending strength y bending stiffness del acero 1018 por lo que se inició el pedido del material con las dimensiones arriba indicadas.

**Tabla III.1.** Aceros considerados para la fabricación de la estructura de la jaula antivuelco

MATERIAL	E [GPa]	Sy [MPa]	Density [g/cc]	Do [mm]	Thickness [mm]	c [m]	I [m <sup>4</sup> ]	Bending stiffness [N*m <sup>2</sup> ]	Bending strength [N*m]	\$/tramo de 6m
1018 Steel	205	370	7.87	25.0	3.00	0.012	1.27776E-08	2619.41	378.21	1,850-2,400
A36 steel	205	250	7.85	33.4	3.38	0.016	3.63647E-08	7454.75	544.38	250-500
1020 steel	205	350	7.87	33.4	2.23	0.016	2.67053E-08	5474.58	559.69	1,850-2,400

En la Tabla C se observa la factura del pedido, sin embargo, aún quedaba esperar el certificado de calidad del material que por reglamento es indispensable porque con él se avala la cantidad de carbono que contiene el material.

A dos días de la adquisición llegó el certificado de calidad (véase Tabla D) que resultó tener un porcentaje de carbono de 0.065%, siendo un tercio de lo que se exige por reglamento, por lo cual, el material no se utilizó.

Con el tiempo en nuestra contra, se contactó al proveedor CroMo para saber si contaban con acero 1020 (ASTM A513 Type 5 SRA), se tuvo una respuesta positiva y las dimensiones ofrecidas fueron las siguientes

$$\text{Miembros primarios} \rightarrow \begin{array}{l} \text{diámetro exterior} = 25.4 \text{ mm} \\ \text{espesor} = 3 \text{ mm} \end{array}$$

$$\text{Miembros secundarios} \rightarrow \begin{array}{l} \text{diámetro exterior} = 25.4 \text{ mm} \\ \text{espesor} = 1.651 \text{ mm} \end{array}$$

Para proceder con el pedido, fue necesario asegurar que el material tuviese una cantidad de carbono superior a 0.18% para lo cual se solicitó al proveedor una referencia, amablemente nos compartió un fragmento de un certificado de calidad (véase Tabla E) en el cual se expresa este parámetro. Como se observa en el fragmento del certificado, el material garantizaba la cantidad de carbono mínima y un límite elástico superior al acero 1018.

En aras de lograr la reducción de peso para la estructura y en el entendido de que el material era del mismo tipo que en la edición anterior, se solicitó el material con las dimensiones ofrecidas por CroMo.

La cantidad de material solicitada al proveedor se hizo con base a la jaula edición 2019; se midieron los miembros componentes de toda la estructura y además se estimó un porcentaje extra para

- Pruebas de soldadura
- Pruebas destructivas
- Errores de manufactura
- Pruebas de doblado
- Llevar a la competencia.

En la Tabla F del Anexo 1, se observa el certificado de calidad del material que se utilizó para los elementos primarios y en la Tabla G del Anexo 1, el certificado del material que se utilizó para los elementos secundarios.

Del certificado de calidad (Tabla G del Anexo 1), los datos de interés particular son

$$\begin{aligned}
 \text{Porcentaje de carbono} &= 0.19 \% \\
 \text{Tensile strength (T.S.)} &= 90 \text{ Ksi} = 620 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \\
 \text{Plastic yielding (Y.P.)} &= 72.67 \text{ Ksi} = 501.042 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \\
 \text{diametro} &= 1 \text{ in} = 0.0254 \text{ m} \\
 \text{Espesor} &= 0.120 \text{ in} = 0.003 \text{ m}
 \end{aligned}$$

De los valores anteriores y con las ecuaciones Ec. (2) y Ec. (4) se obtuvo el siguiente valor para Bending stiffness

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{64} [(0.0254 \text{ m}^4) - (0.0194 \text{ m}^4)] = 1.348 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \\
 k_b = EI &= (205 \times 10^9 \text{ N/m}^2) (1.348 \times 10^{-8} \text{ m}^4) = 2763.400 \text{ N m}^2
 \end{aligned}$$

Y con la ecuación Ec. (1), el siguiente valor Bending strength

$$S_b = \frac{S_y I}{c} = \frac{(501.042 \times 10^6 \text{ N/m}^2) (1.348 \times 10^{-8} \text{ m}^4)}{0.0127 \text{ m}} = 531.815 \text{ N m}$$

Como se ve en la Tabla III.2, los resultados superan los valores de referencia del acero 1018, tanto en bending strength como en bending stiffness.

**Tabla III.2** Validación de material adquirido

	Acero 1018	Acero DOM 1020
Bending stiffness [N m <sup>2</sup> ]	2619.4 17	<b>2763.400</b>
Bending strength [N m]	378.218	<b>531.815</b>

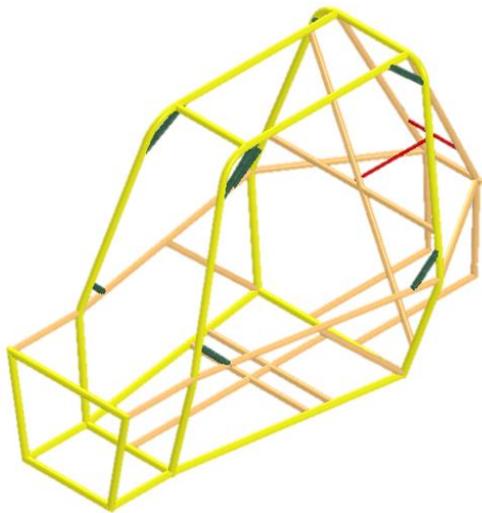
### III.4.- Diseño de la estructura (CAD)

Para el diseño de la estructura se utilizó el programa Inventor Professional® Inicialmente se dibujó la estructura de manera conservadora basándose de manera general en las dimensiones de la estructura edición 2019 (véase Figura III.6). Se fue puliendo el diseño de manera paulatina dándole énfasis a la ergonomía para el confort del piloto.

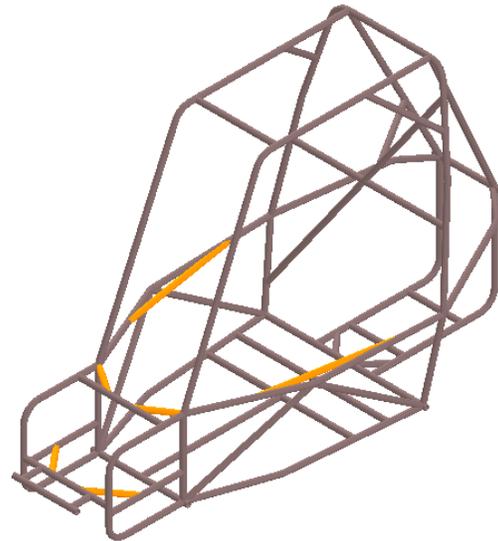
William B. Riley y Albert R. George [III.1] señalan que el primer paso para diseñar la estructura de un vehículo es identificar los principales modos de deformación que se pueden experimentar en la pista, por ello la estructura se analizó en diversas condiciones como

- impacto frontal
- impacto lateral
- volcadura
- impacto trasero
- impacto de suspensión

Se consideraron refuerzos (véase Figura III.7) con el propósito de brindar mayor seguridad al piloto. Para los escenarios anteriores se calcularon las fuerzas de impacto y se consideraron los soportes fijos adecuados.



**Figura III.6.** Primer diseño generado (CAD)



**Figura III.7.** Diseño final considerando refuerzos (en color naranja)

# CAPÍTULO IV

## Resultados

En este capítulo se aborda el procedimiento de la construcción de la estructura y se aprecian simulaciones en los escenarios críticos.

También se relata lo acontecido en la competencia BAJA SAE México 2022.

#### IV.1.- Resultados

Como se sugiere en DESIGN, ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF A MULTI-TUBULAR SPACE FRAME [IV.1], en condiciones reales, un auto puede chocar con un árbol u otro auto que son cuerpos deformables, aquí consideraron un vehículo que se movía con una velocidad de 45 km/h y un tiempo de impacto de 0,13 segundos.

Tomando consideraciones similares para el análisis de la estructura se utilizaron los siguientes parámetros para impacto frontal, lateral y trasero.

#### IV.2.- Impacto frontal, lateral y trasero.

$$\text{masa total estimada} = 360 \text{ kg}$$

$$\text{Velocidad maxima alcanzada (BAJA SAE UAM 2019)} = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$$

Teniendo en cuenta los valores anteriores, para una colisión inelástica tenemos

$$W_{neto} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = f * d \quad \text{Ec. (5)}$$

La velocidad final del vehiculo despues del impacto es  $v_f = 0$ , de lo cual resulta

$$W_{neto} = -\frac{1}{2}mv_i^2 = f * d$$

En el momento del choque (velocidad máxima) se considera un tiempo de impacto estimado de 0.1 segundos, por lo que

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow d = v * t \quad \text{Ec. (6)}$$

$$d = (10 \text{ m/s}) * (0.1 \text{ s}) = 1 \text{ m}$$

Entonces la fuerza de impacto es

$$F = -\frac{mv_i^2}{2d} = \frac{(360 \text{ kg})(10 \text{ m/s})^2}{2(1 \text{ m})} = 18,000 \text{ N}$$

#### IV.3.- Impacto de suspensión (llanta delantera)

Considerando una distribución del peso total de 40-60%, se obtiene para este análisis una fuerza de

$$\text{fuerza total} = 18,000 \text{ N}$$

$$\text{fuerza (llanta delantera)} = (18,000 \text{ N}) * \left(\frac{0.4}{2}\right) = 3,600 \text{ N}$$

Para el anlasis en ANSYS® se considerara una fuerza de 4,000 N.

#### IV.4.- Impacto de volcadura

Teniendo la masa total se calcula la fuerza de impacto, se toman como parámetros una altura de caída de 3,0 m y un tiempo de impacto de 0,15 s.

$$F = \frac{m \cdot \sqrt{g \cdot h}}{t} \quad \text{.Ec. (7)}$$
$$F = \frac{(360 \text{ kg}) \cdot \sqrt{(9.81 \text{ m/s}^2) \cdot (3.0 \text{ m})}}{0.15 \text{ s}} = 13,019.862 \text{ N}$$

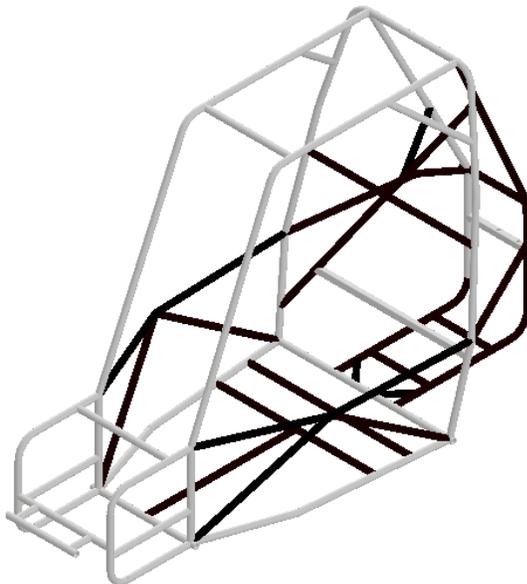
Para el análisis numérico se utilizó el programa ANSYS®, licencia patrocinada por Grupo SSC. En el diseño de la jaula se involucraron los puntos de sujeción de la suspensión para tener valores más precisos. Se exporto la estructura en formato IGES para la correcta lectura en ANSYS®.

Para el mallado fue necesario insertar un método (*patch conforming*) y un *body sizing* de 7 mm (debido a la capacidad de memoria de la PC) con los cuales se logra un mallado tetraédrico homogéneo para toda la estructura independientemente del tipo de unión existente entre los elementos.

Una vez calculadas las fuerzas involucradas se simulo cada escenario, se estudiaron los resultados y se incorporaron los cambios necesarios en el diseño. A continuación, se observan los resultados respectivos.

#### IV.5.- Resultados de simulaciones en los diferentes escenarios

Como ya se hizo mención, inicialmente se consideraron algunos refuerzos con el propósito de aumentar la seguridad del piloto, sin embargo, los análisis de los diferentes escenarios en ANSYS® mostraron resultados similares en ambos conjuntos de simulaciones (con refuerzos y sin refuerzos) lo que sugirió no considerarlos en el diseño final de la estructura como se observa en la Figura IV.1.

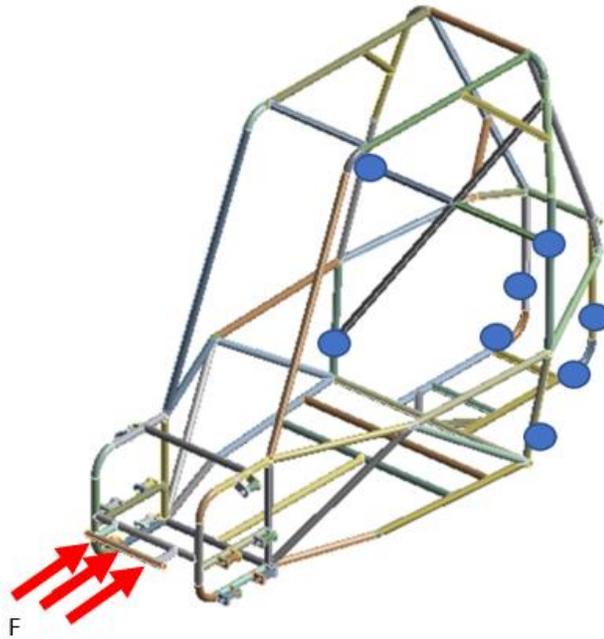


**Figura IV.1.** Diseño final de la jaula antivuelco 2022 (CAD)

## IV.6.- Resultados de simulaciones en ANSYS®

### IV.6.1- Impacto frontal

Los valores obtenidos en la sección IV.2 se introdujeron en el software ANSYS®. El análisis estático para este escenario se observa en la Figura IV.2.



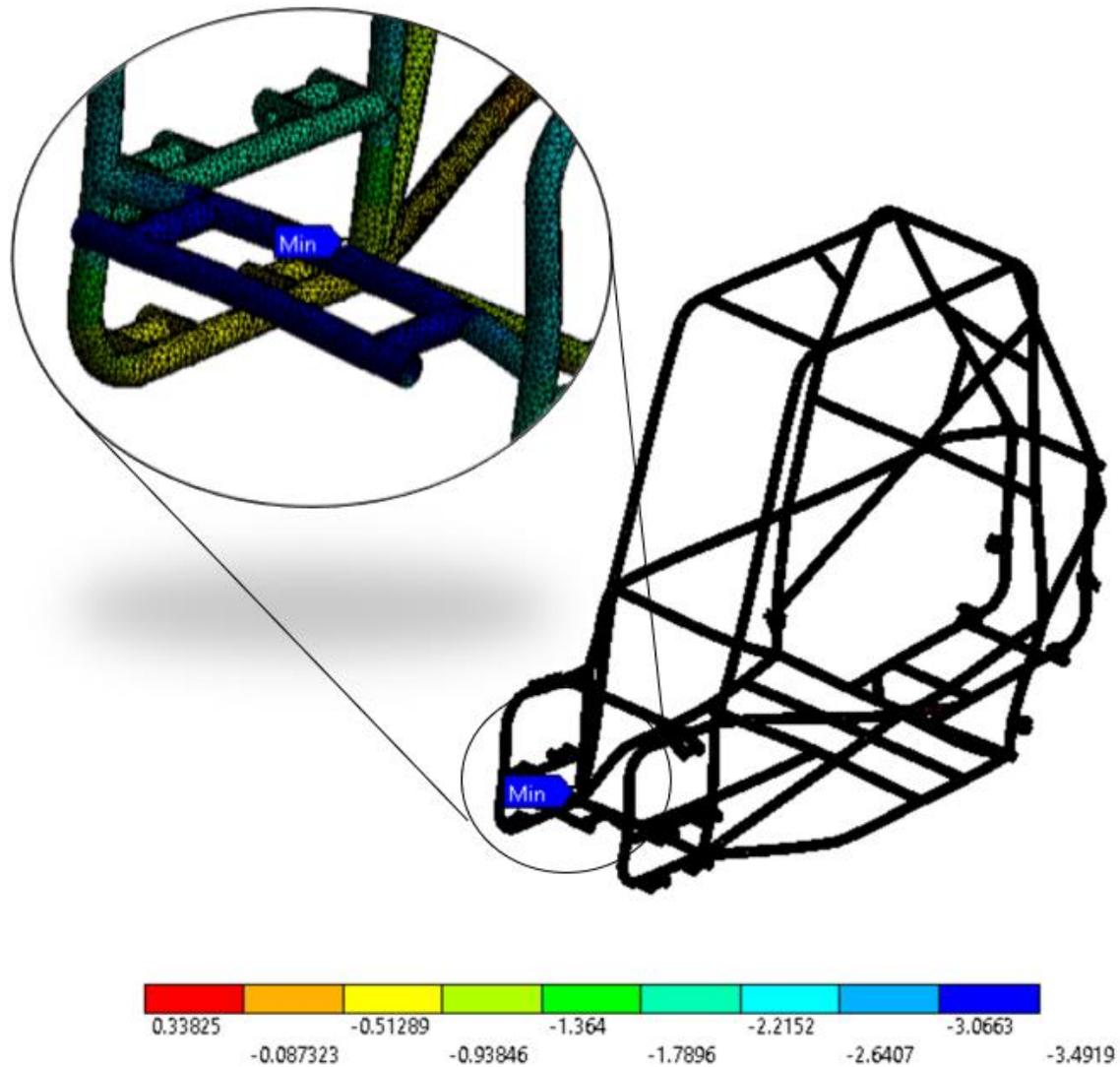
**Figura IV.2** Análisis estático de impacto frontal

Los resultados para este escenario se precian en la Tabla IV.1, donde también se colocaron los resultados obtenidos en las simulaciones con refuerzos (diseño mostrado en Figura III.7).

**Tabla IV.1** Resultados de la simulación del impacto frontal

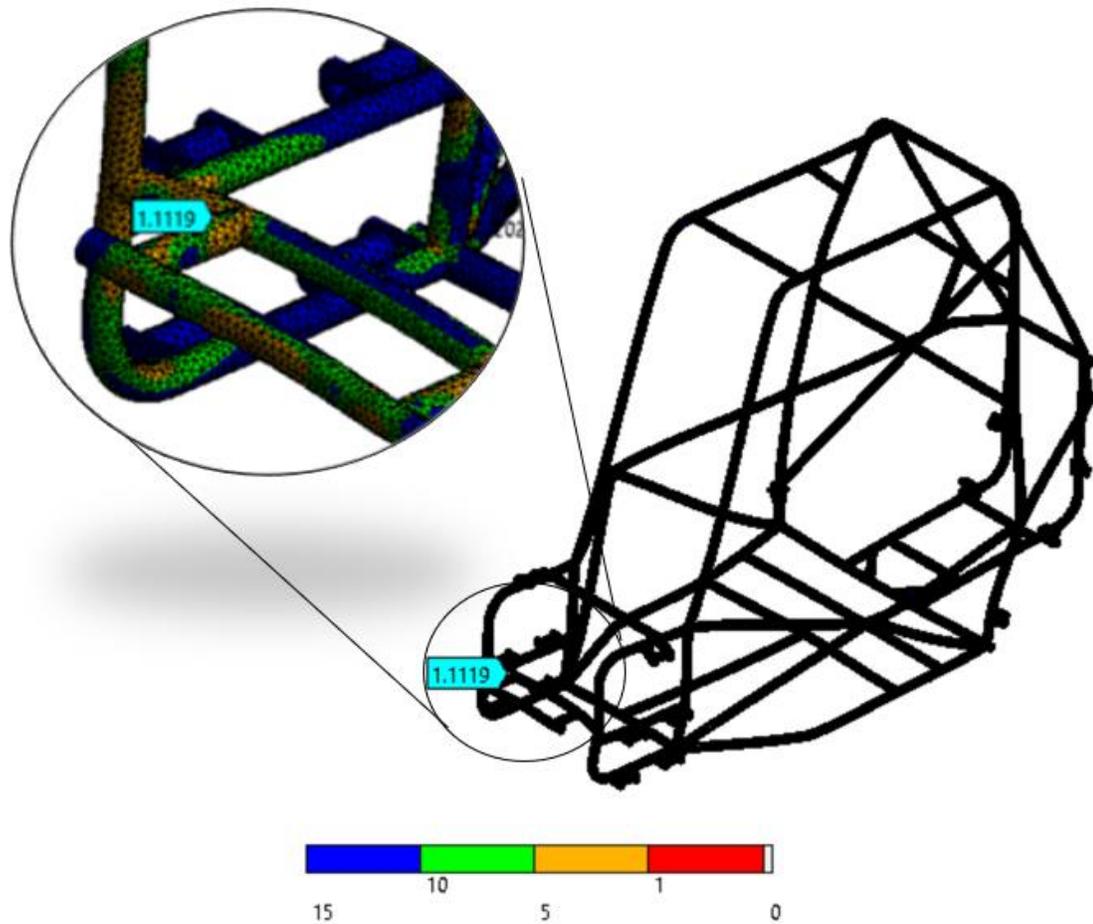
	Fuerza de impacto [N]	Aplicación de la fuerza	Soporte fijo	Factor de seguridad mínimo	Desplazamiento máximo [mm]
Simulación <b>CON</b> refuerzos	18,000	Eje longitudinal del remolque delantero	Suspensión trasera	1.0685	2.4279
Simulación <b>SIN</b> refuerzos	18,000	Eje longitudinal del remolque delantero (flechas en rojo Figura IV.2)	Suspensión trasera (puntos azules Figura IV.2)	1.1119 (Figura IV.4)	3.4919 (Figura IV.3)

En la Figura IV.3 se observa el desplazamiento máximo que sufre la estructura con el impacto frontal. Este desplazamiento con un valor de 3.49 mm se da en la zona del impacto (remolque).



**Figura IV.3** Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto frontal

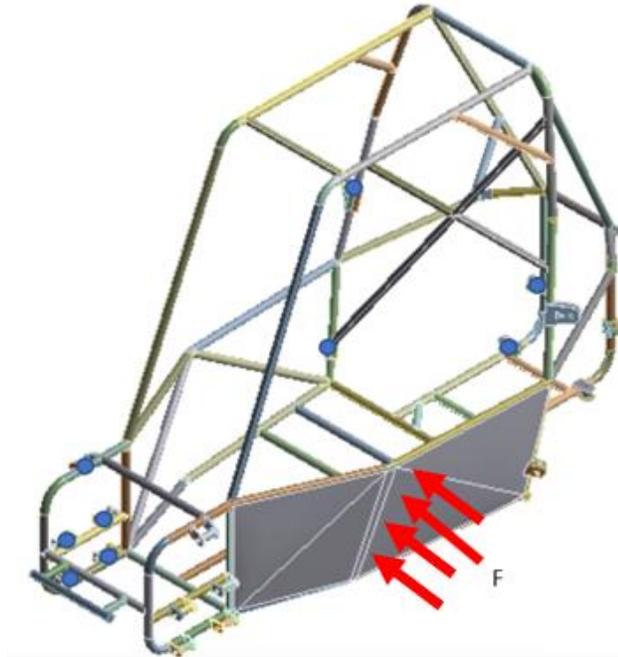
En la Figura IV.4 se observa que el factor de seguridad mínimo de la estructura se da en la unión del elemento ELC y el remolque, con un valor de 1.1119.



**Figura IV.4** Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión de Remolque)

#### IV.6.2-Impacto lateral

Para este impacto se colocó la carga (obtenida en sección IV.2) en la zona lateral de la estructura considerando una lámina de aluminio de 1 mm de espesor para apreciar las deformaciones propias de la estructura. El análisis estático para este escenario se observa en la Figura IV.5.



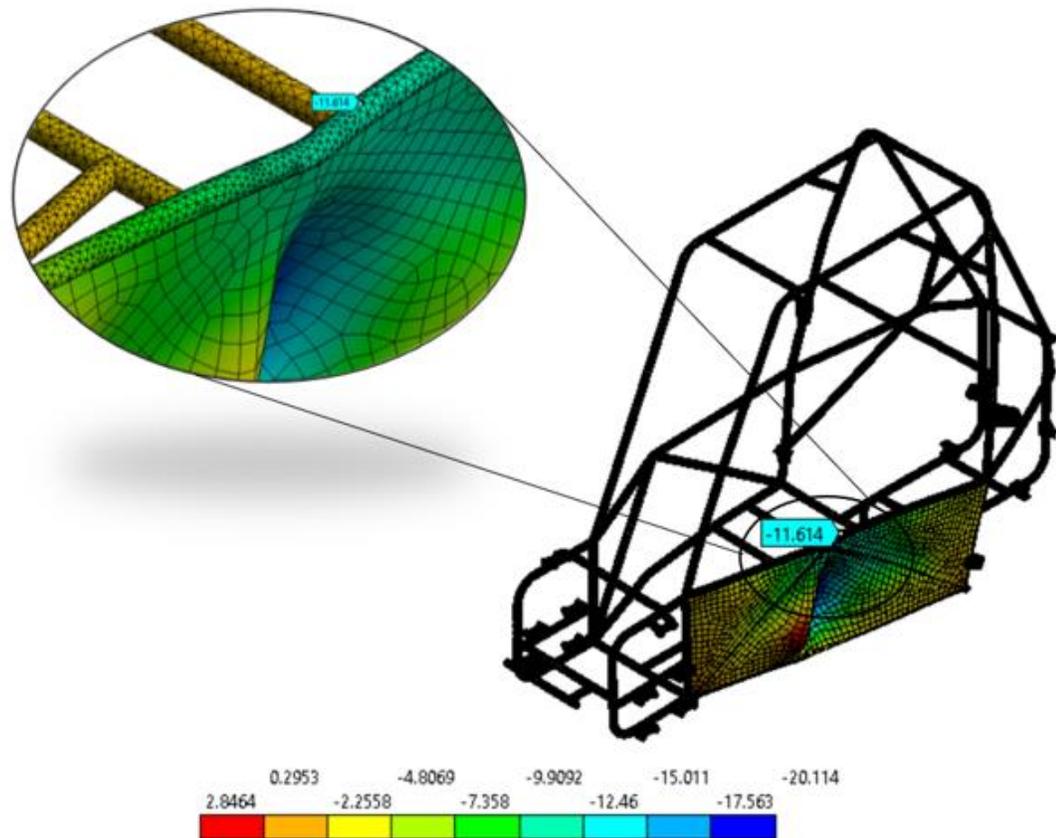
**Figura IV.5** Análisis estático de impacto lateral

Los resultados para este escenario se precian en la Tabla IV.2, donde también se colocaron los resultados obtenidos en las simulaciones con refuerzos (diseño mostrado en Figura III.7).

**Tabla IV.2** Resultados de la simulación del impacto lateral

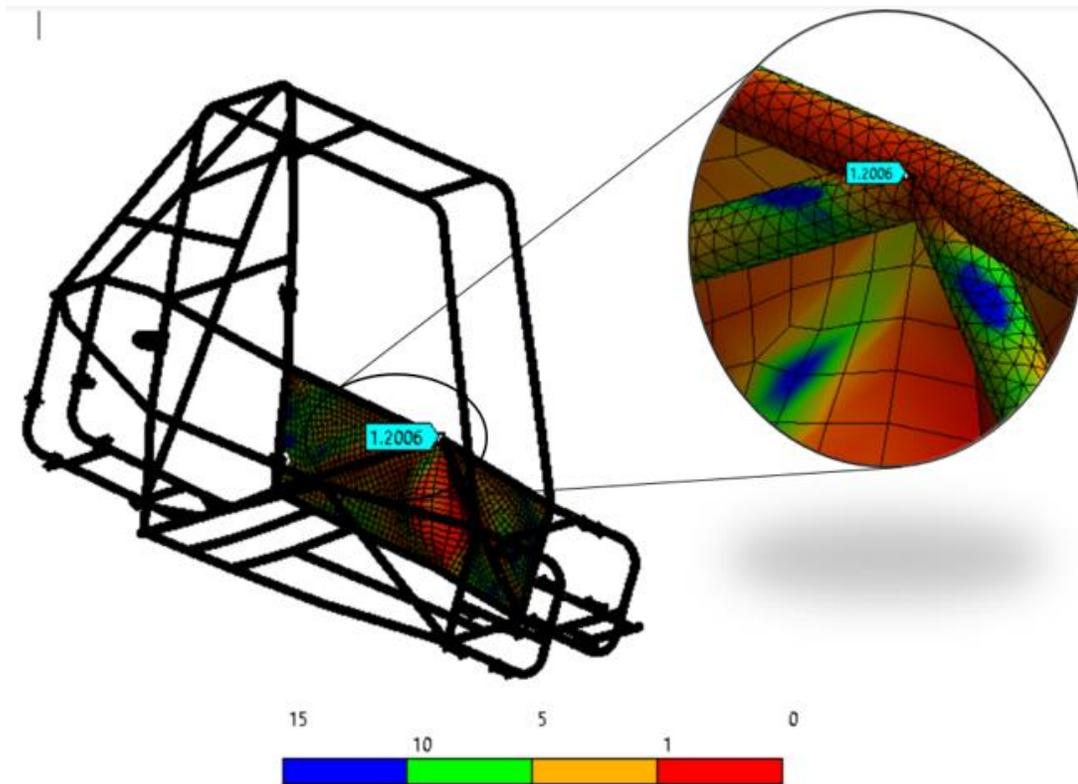
	<b>Fuerza de impacto [N]</b>	<b>Aplicación de la fuerza</b>	<b>Soporte fijo</b>	<b>Factor de seguridad mínimo</b>	<b>Desplazamiento máximo [mm]</b>
Simulación <b>CON</b> refuerzos	18,000	Lamina aluminio	Suspensión trasera/delanterera Lado opuesto al impacto	1.0924	6.5567
Simulación <b>SIN</b> refuerzos	18,000	Lamina aluminio (flechas en rojo Figura IV.5)	Suspensión trasera/delanterera Lado opuesto al impacto (puntos azules Figura IV.5)	1.2006 (Figura IV.7)	11.614 (Figura IV.6)

En la Figura IV.6 se observa el desplazamiento máximo que sufre la estructura con el impacto lateral. Este desplazamiento con un valor de 11.614 mm se da en la zona del impacto (SIM).



**Figura IV.6** Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto lateral

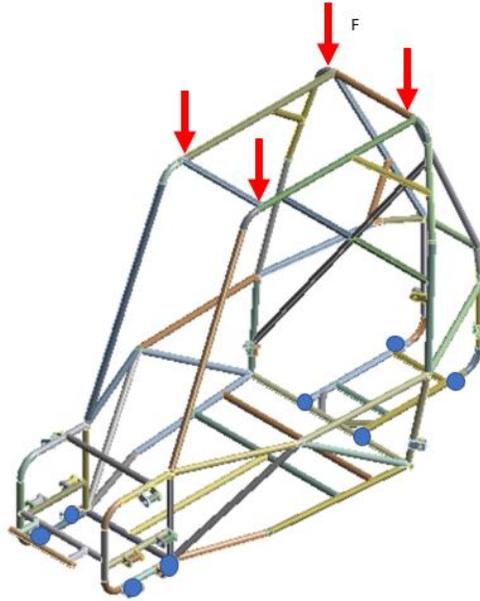
En la Figura IV.7 se observa que el factor de seguridad mínimo de la estructura se da en la unión del elemento SIM con los refuerzos con el elemento LFS, con un valor de 1.2006.



**Figura IV.7** Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión SIM- refuerzos)

### IV.6.3.- Impacto de volcadura

Los valores obtenidos en la sección IV.4 se introdujeron en el software ANSYS®. El análisis estático para este escenario se observa en la Figura IV.8.



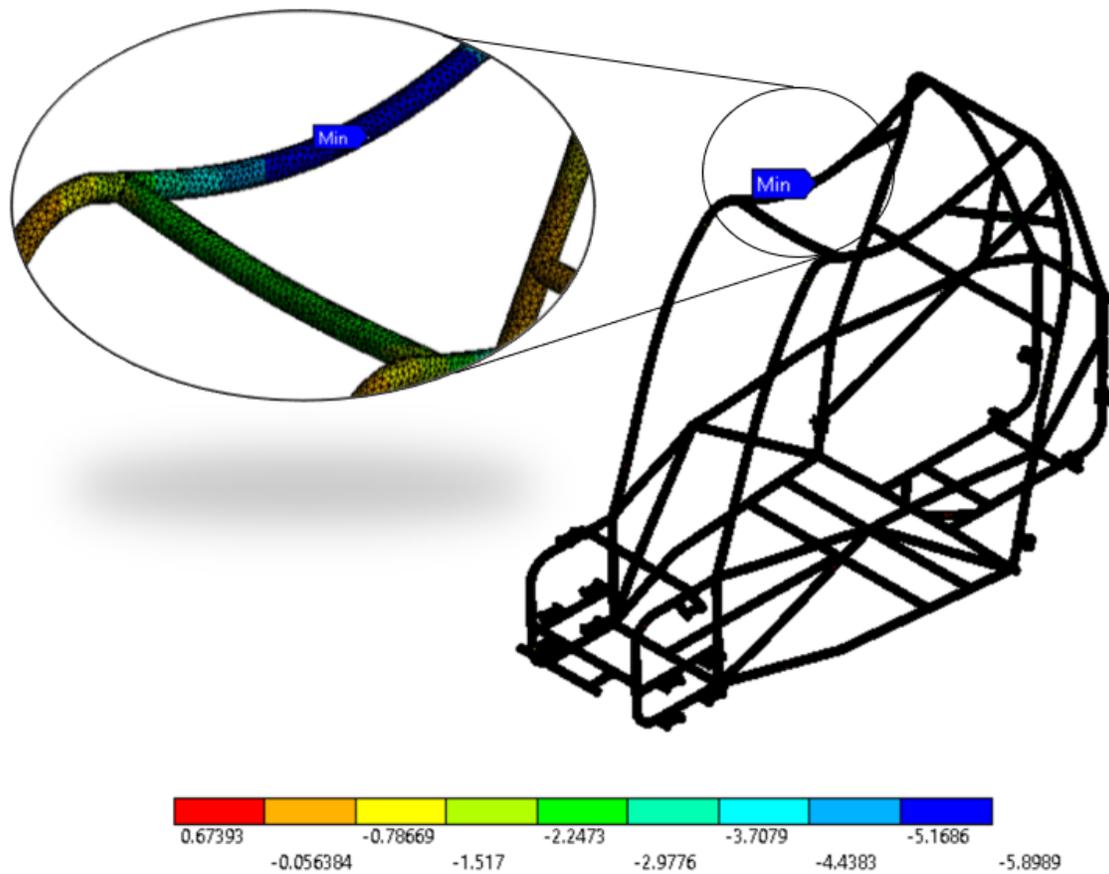
**Figura IV.8** Análisis estático de impacto de volcadura

Los resultados para este escenario se precian en la Tabla IV.3, donde también se colocaron los resultados obtenidos en las simulaciones con refuerzos (diseño mostrado en Figura III.7).

**Tabla IV.3** Resultados de la simulación del impacto de volcadura

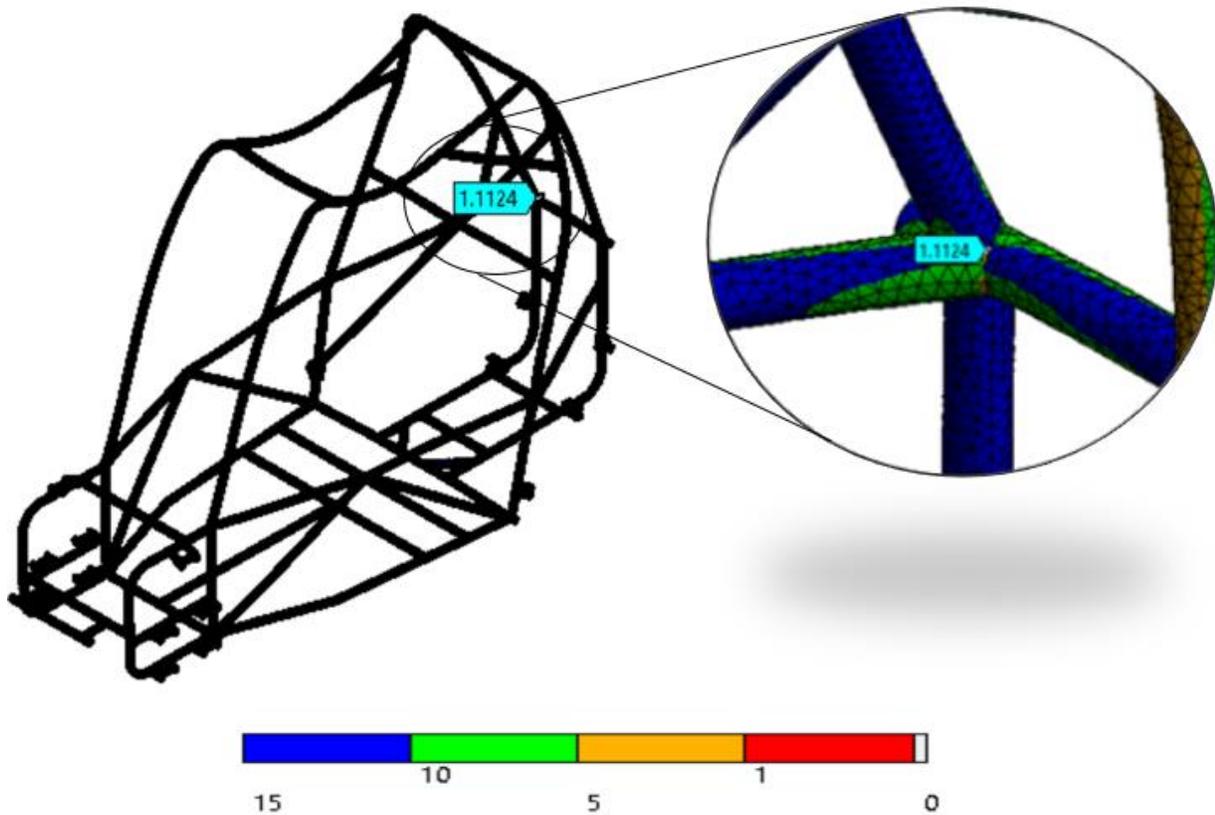
	<b>Fuerza de impacto [N]</b>	<b>Aplicación de la fuerza</b>	<b>Soporte fijo</b>	<b>Factor de seguridad mínimo</b>	<b>Desplazamiento máximo [mm]</b>
Simulación <b>CON</b> refuerzos	13,500	Miembros RHO	Base exterior a la cabina	1.1015	5.7129
Simulación <b>SIN</b> refuerzos	13,500	Miembros RHO (flechas en rojo Figura IV.8)	Base exterior a la cabina (puntos azules Figura IV.8)	1.1124 (Figura IV.10)	5.8989 (Figura IV.9)

En la Figura IV.9 se observa el desplazamiento máximo que sufre la estructura con el impacto volcadura. Este desplazamiento con un valor de 5.89 mm se da en la zona del impacto (Elementos RHO).



**Figura IV.9** Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto de volcadura

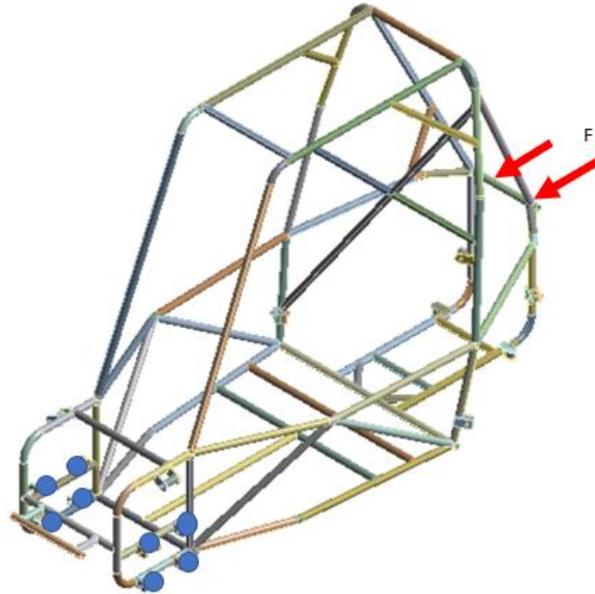
En la Figura IV.10 se observa que el factor de seguridad mínimo de la estructura se da en la unión del elemento RLC y el elemento FAB, con un valor de 1.1124.



**Figura IV.10** Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión FLC- FAB)

#### IV.6.4.- Impacto trasero

Los valores obtenidos en la sección IV.2 se introdujeron en el software ANSYS®. El análisis estático para este escenario se observa en la Figura IV.11.



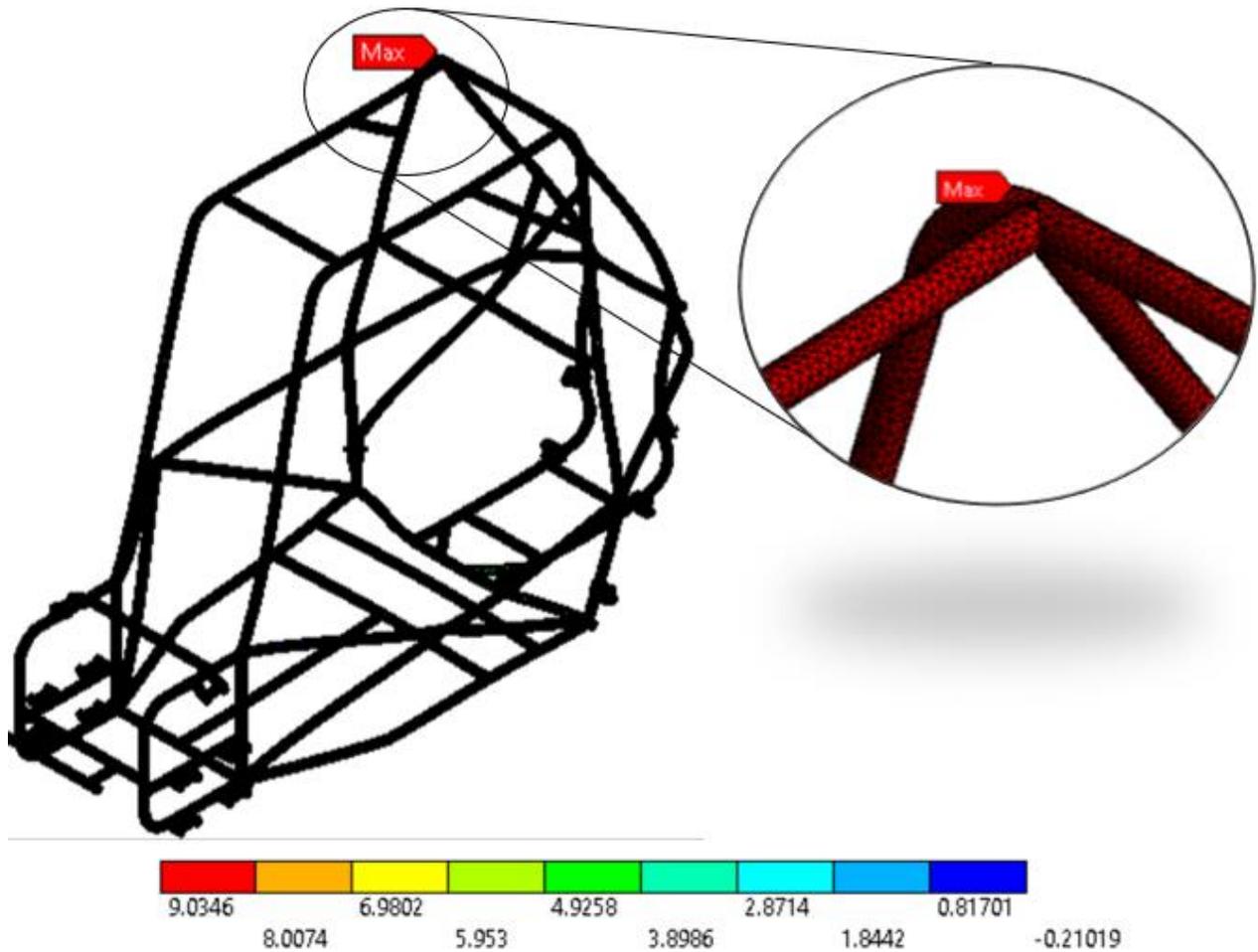
**Figura IV.11** Análisis estático de impacto trasero

Los resultados para este escenario se precian en la Tabla IV.4, donde también se colocaron los resultados obtenidos en las simulaciones con refuerzos (diseño mostrado en Figura III.7).

**Tabla IV.4** Resultados de la simulación del impacto trasero

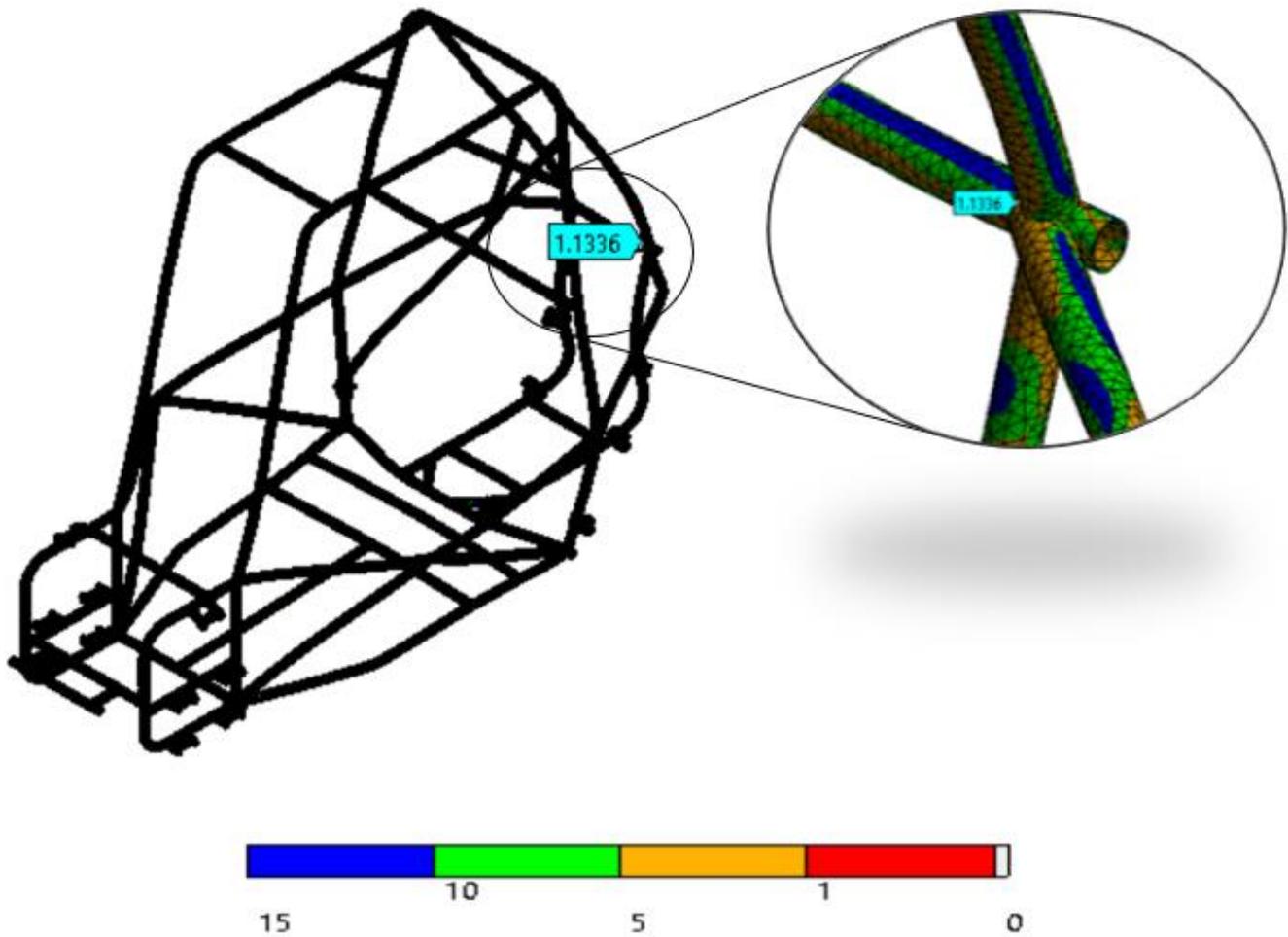
	<b>Fuerza de impacto [N]</b>	<b>Aplicación de la fuerza</b>	<b>Soporte fijo</b>	<b>Factor de seguridad mínimo</b>	<b>Desplazamiento máximo [mm]</b>
Simulación <b>CON</b> refuerzos	18,000	Tubería FAB/low	Suspensión delantera	1.0898	7.5557
Simulación <b>SIN</b> refuerzos	18,000	Tubería FAB/low (flechas en rojo Figura IV.11)	Suspensión delantera (puntos azules Figura IV.11)	1.1336 (Figura IV.13)	9.0346 (Figura IV.12)

En la Figura IV.12 se observa el desplazamiento máximo que sufre la estructura con el impacto trasero. Este desplazamiento con un valor de 9.03 mm se da en la zona superior, en la unión entre los elementos FAB up y RRH.



**Figura IV.12** Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto trasero

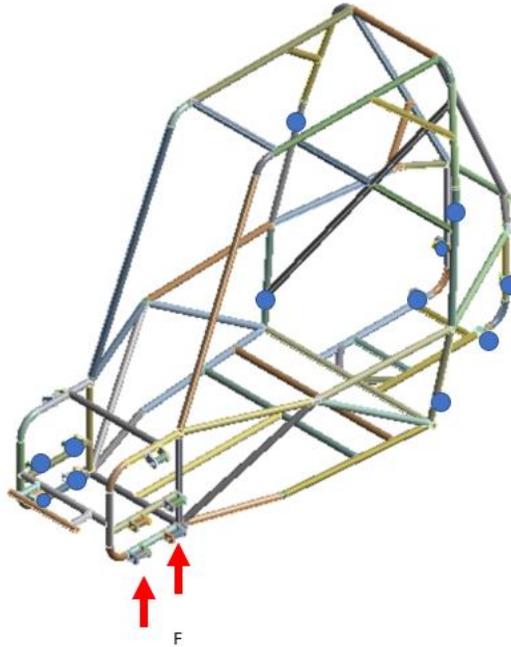
En la Figura IV.13 se observa que el factor de seguridad mínimo de la estructura se da en la unión del elemento RLC y el elemento FAB, con un valor de 1.1336.



**Figura IV.13** Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión FLC- FAB)

**IV.6.5.- Impacto de suspensión (una llanta)**

Los valores obtenidos en la sección IV.3 se introdujeron en el software ANSYS®. El análisis estático para este escenario se observa en la Figura IV.14.



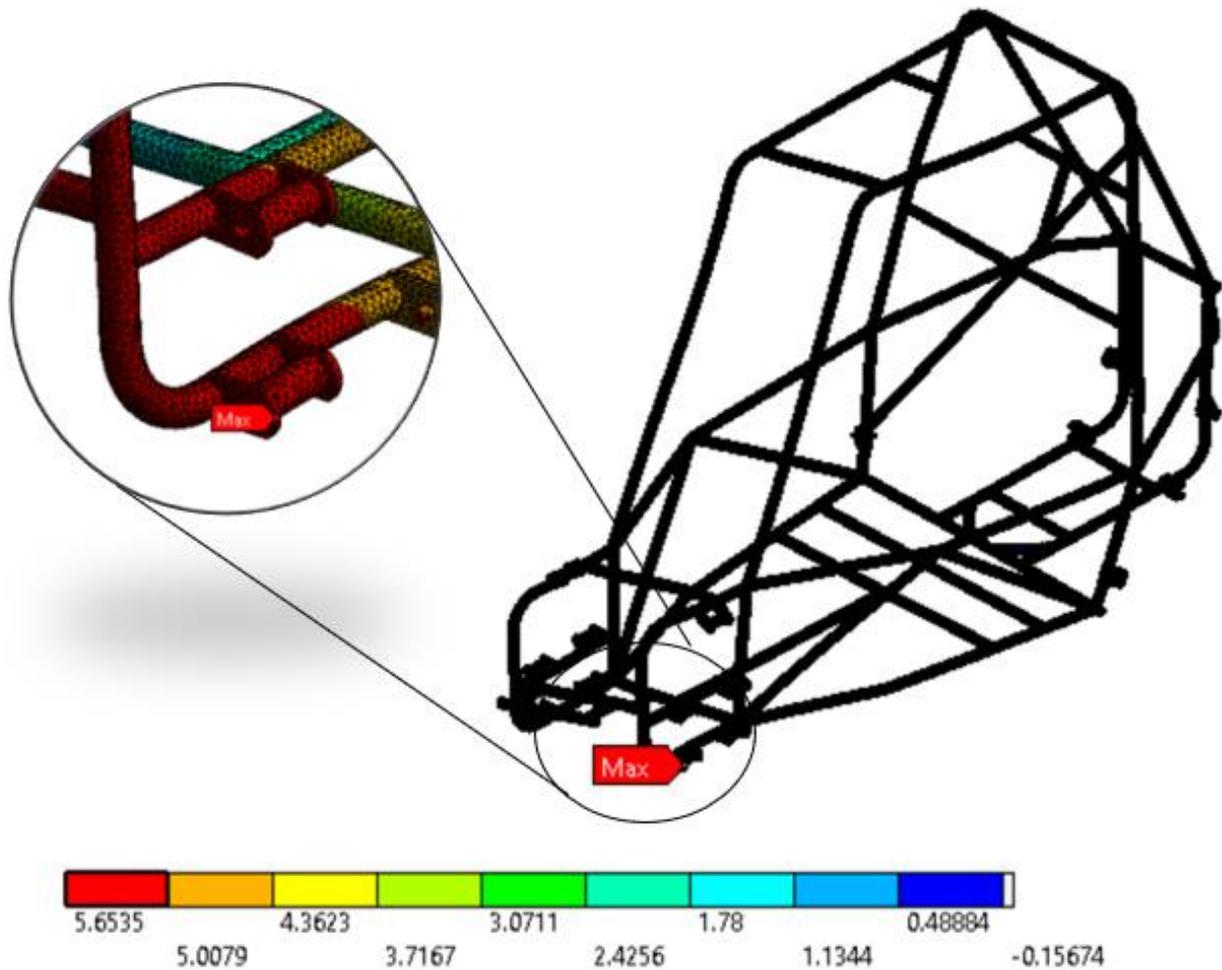
**Figura IV.14** Análisis estático de impacto de suspensión

Los resultados para este escenario se precian en la Tabla IV.5, donde también se colocaron los resultados obtenidos en las simulaciones con refuerzos (diseño mostrado en Figura III.7).

**Tabla IV.5** Resultados de la simulación del impacto de suspensión

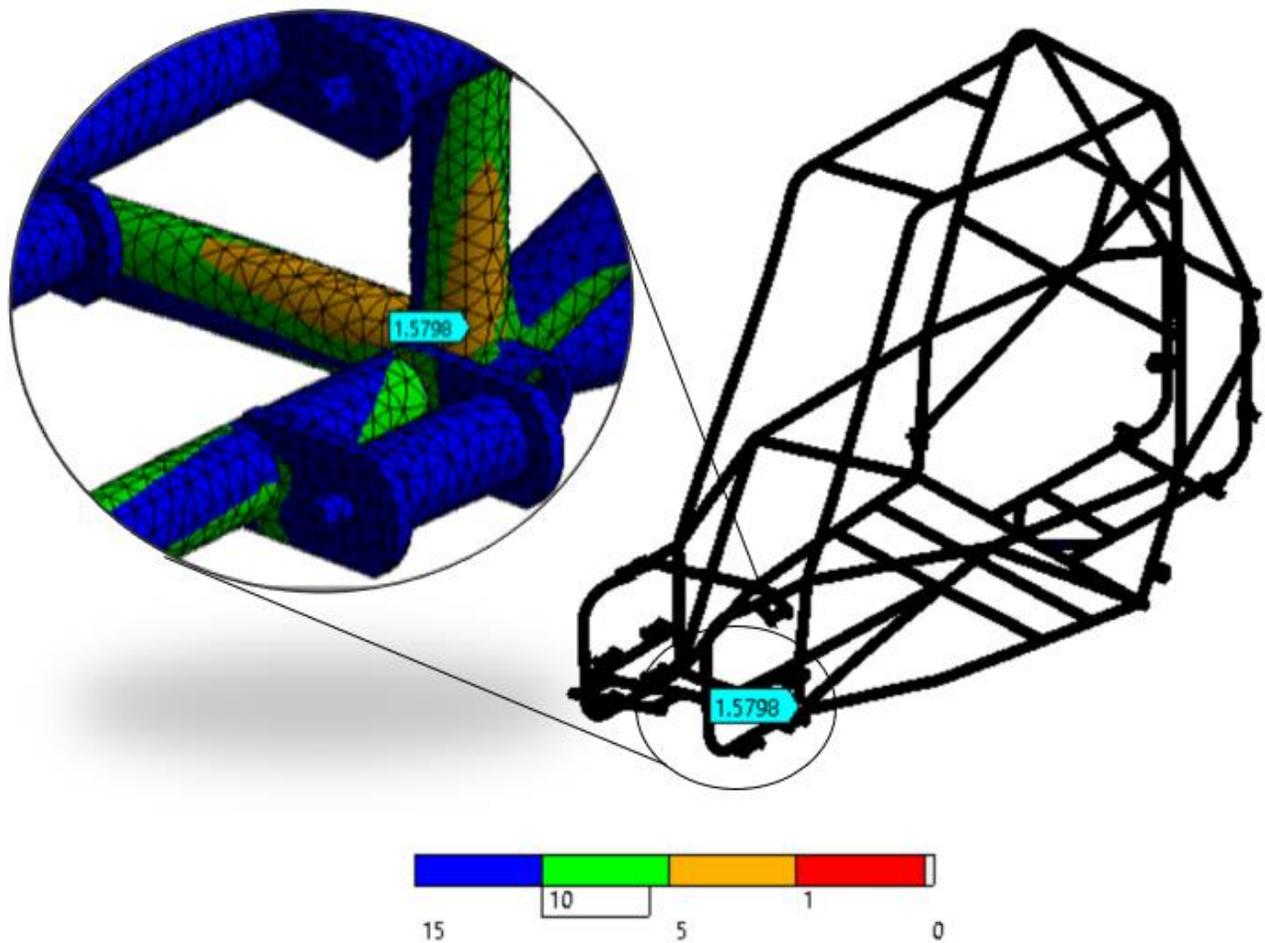
	<b>Fuerza de impacto [N]</b>	<b>Aplicación de la fuerza</b>	<b>Soporte fijo</b>	<b>Factor de seguridad mínimo</b>	<b>Desplazamiento máximo [mm]</b>
Simulación <b>CON</b> refuerzos	4,000	Suspensión delantera	Suspensión restante	1.0468	3.7257
Simulación <b>SIN</b> refuerzos	4,000	Suspensión delantera (flechas rojas Figura IV.14)	Suspensión restante (puntos azules Figura IV.14)	1.5798 (Figura IV.16)	5.6335 (Figura IV.15)

En la Figura IV.15 se observa el desplazamiento máximo que sufre la estructura con el impacto de suspensión. Este desplazamiento con un valor de 5.65 mm se da en la zona del impacto, en los puntos de sujeción de la suspensión.



**Figura IV.15** Desplazamiento en la dirección de la carga aplicada impacto de suspensión

En la Figura IV.16 se observa que el factor de seguridad mínimo de la estructura se da en la unión del FLC y el elemento FBM, con un valor de 1.5798.



**Figura IV.16** Factor de seguridad mínimo (en la zona de unión FLC-LFS)

#### IV.7.- Proceso de fabricación de la jaula

Una vez adquirido el material (ASTM A513 Tipo SRA 1020) se procedió a recoger los tubos en paquetería (véase Figura IV.17).



**Figura IV.17** Recolección de tubos en paquetería

Una vez finalizado el diseño de la jaula (véase Figura IV.1), se procedió a iniciar el siguiente proceso de construcción, que implica:

- Fabricación de bastidor
- Corte de tubos
- Doblado de tubos
- Preparación de juntas (bocas de pescado)
- Soldadura
- Montaje final

#### IV.7.1.- Fabricación del bastidor

Primero se diseñó un bastidor en el programa Inventor Professional® 2022 para dar soporte al momento del montaje de los tubos. El material empleado para la elaboración de este fue MDF con espesor de 5.5 mm. Las piezas generadas para tal soporte se aprecian en el Anexo II Planos.

Las piezas se imprimieron en tamaño real, se recortaron y pegaron en los paneles MDF para proceder con los cortes que se hicieron de manera manual (véase Figura IV.18). Posteriormente cada pieza recortada se fue montando en la estructura (bastidor) como se muestra a en la Figura IV.19.



**Figura IV.18** Corte manual de plantillas para el bastidor



**Figura IV.19** Montaje de piezas de bastidor

El resultado final del bastidor se puede ver en la Figura IV.20



**Figura IV.20** Montaje final de bastidor

#### **IV.7.2.- Doblado de tubos**

Para cortar los tubos, se utilizó una sierra cortadora de metal de 14”, para tener un corte más preciso y rápido.

Posteriormente, para realizar el doblado de tubos, el material a doblar tuvo que ser llevado a una empresa a cargo de dicha labor, ya que la universidad no tiene el equipo adecuado para doblarlos. Además, con estos doblados se aumentó el número de tubos que se doblaron para que el diseño también nos permitiera reducir el peso de la jaula.

Después de encontrar la empresa encargada de doblar los tubos la cual fue “Roladora de tubo”, la cual para poder realizar el trabajo necesitaba cada uno de los planos de cada elemento, así entonces los planos que se proporcionaron a la empresa de doblado de tubo pueden apreciarse en el Anexo II Planos.

Datos de la empresa dobladora

Roladora de tubo

Tel: 55-35-03-06-82

Dirección: Calz. Ignacio Zaragoza 379, Valentín Gómez Farías, Venustiano Carranza, 15010, Ciudad de México, CDMX

Ya que algunos tubos no presentaban las dimensiones mostradas en los planos y la empresa dobladora no se hizo cargo de dicho trabajo se tuvieron que reparar tales tubos como se muestra a continuación (Figura IV.21).



**Figura IV.21.** Rectificación de dobles en tubo

#### **IV.7.3.- Preparación de juntas (bocas de pescado)**

Una vez teniendo cada elemento de la jaula se procedió a la preparación de los tubos (bocas de pescado), las cuáles se hicieron de dos maneras:

Con la ayuda de un cortador anular (hueco del centro) montado en una fresadora: la cual nos permitía realizar cortes más simples, con cortes rápidos y precisos, aunque el uso de esta máquina se limitaba para las uniones que solo involucraban dos elementos. En la FiguraIV.22, se muestra el cortador anular (1"x2 1/2") realizando una boca de pescado (a 90°) en un elemento recto de la jaula:



**Figura IV.22** Bocas de pescado en fresadora

Desgraciadamente ya que el cortador sufría demasiado desgaste, así como calentamiento continuo y en una ocasión éste se quebró, por lo cual un técnico propuso utilizar un cortador que tuviera las mismas características pero que fuera de un material sólido (véase Figura IV.23) o bien utilizar una broca del tamaño requerido, ya esto permitiría trabajar más eficazmente y sobre todo que tienen un costo más bajo a comparación del cortador anular (hueco).



**Figura IV.23** Cortador recomendado

En la Figura IV.24 se observan las plantillas generadas en CAD colocadas en el tubo para realizar los cortes con la ayuda de un esmeril de mano.



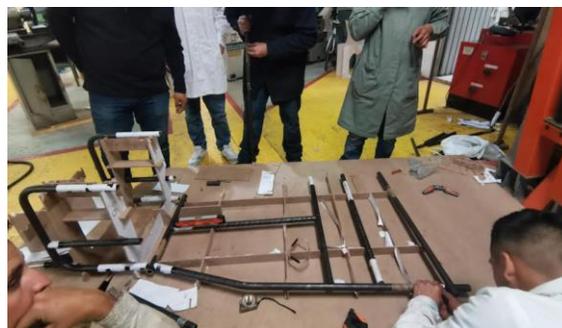
**Figura IV.24** Bocas de pescado con plantilla

En la Figura IV.25 se observa el corte manual con ayuda de un esmeril de mano



**Figura IV.25.** Corte de boca con esmeril

Después de la llegada de los tubos que se mandaron a doblar, se procedió con la preparación de las uniones de tales elementos y poder montarlos al bastidor junto con los demás elementos rectos (véase Figura IV.26).



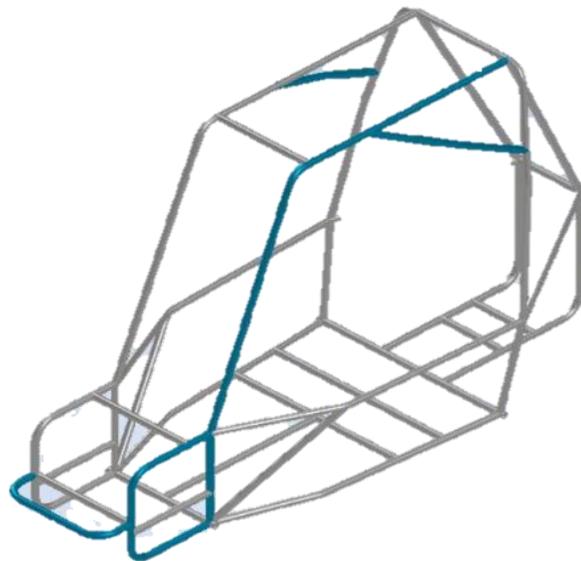
**Figura IV.26** Montaje de tubos inferiores en bastidor

Posteriormente se realizó el montaje de los tubos superiores de la jaula (véase Figura IV.27) en el bastidor para visualizar la perspectiva de como quedaría el montaje final de la jaula



**Figura IV.27** Montaje de tubos superiores

Hubo errores de doblado por parte de la empresa en cinco elementos: ambos refuerzos superiores, parte de la nariz, el remolque y el elemento RHO derecho. En la Figura IV.28 se observan tales miembros resaltados en color azul.



**Figura IV.28** Tubos mal doblados, marcados en color azul.

Debido al poco tiempo que se contaba para la competencia se hicieron los ajustes pertinentes para la elaboración de la jaula. Se resolvió realizar nuevos refuerzos superiores, esta vez dejándolos completamente rectos, mientras que los tubos doblados destinados para este fin se utilizaron para los elementos FAB mid (parte central trasera).

Los elementos de la nariz y el RHO tuvieron que ser recortados para que pudieran ser de utilidad, mientras que el remolque se realizó sin dobleces. Lo anterior derivó en problemas con el bastidor de MDF, por lo que gran parte del bastidor no fue utilizado.

#### IV.7.4 Ensamble de los elementos de la jaula 2022

Para el ensamble de los elementos de la jaula se comenzó por un inicio con la nivelación de piso (elementos inferiores de la estructura: ELC, FLC, ALC, (véase Figura IV.29), punteando con soldadura cada uno de ellos y verificando que cumpliera en medidas tanto en CAD como en estructura física.



**Figura IV.29.** Unión de elementos inferiores

Posteriormente se procedió a colocar el miembro RRH (véase Figura IV.30) tomando en consideración los grados que marcaba el reglamento (no mayor a  $20^\circ$  de la vertical)



**Figura IV.30** Ensamble RRH

Después teniendo tanto la base de la estructura, así como el RRH se siguió con la colocación de los elementos como: Nariz de la jaula RHO RIGHT/LEFT (véase Figura IV.31)



**Figura IV.31** Colocación de nariz, remolque y RHO

A continuación, se procedió a montar y puntear los elementos: GLC, CLC, BLC en la estructura, como se ve en la Figura IV.32.



**Figura IV.32** Colocación de travesaños

Así mismo se fueron uniendo y soldando tanto el miembro de impacto lateral izquierdo como el derecho en la jaula, como se observa en la Figura IV.33.



**Figura IV.33** Colocación de miembros laterales de impacto

Ya teniendo toda la parte delantera de la estructura se siguió con el ensamble de elementos de la parte trasera (FAB UP, FAB MID Y FAB LOW) como se aprecia en la Figura IV.34



**Figura IV.34** Unión de elementos traseros

Finalmente se colocó y se punteo el arriostramiento trasero LBD (véase Figura IV.35), así como refuerzos a la estructura



**Figura IV.35** Ensamble LBD y refuerzos

#### **IV.7.4.1 Soldadura**

La máquina utilizada fue una "Miller continuum Soldadora de 350" la cual se puede apreciar en la Figura IV.36, esta máquina utiliza gas mixto (CO<sub>2</sub>-ARGON) y un micro alambre de núcleo metálico de 0,045 pulgadas y con el que se realizó la mayor parte del trabajo de soldadura.



**Figura IV.36** Máquina de soldar "Miller continuum Soldadora de 350"

Una vez teniendo la estructura completamente ensamblada (hasta este momento únicamente punteada, véase Figura IV.35) se procedió a soldar por completo alrededor de todas las uniones de la estructura (véase Figura IV.37).



**Figura IV.37** Unión de tubos (soldados completamente)

Obteniendo como resultado final la estructura de la Figura IV.38.



**Figura IV.38** Estructura final completamente soldada

Al terminar la estructura se procedió a pesar toda la estructura completa para poder compararla con la jaula del 2019. (véase Figura IV.39)



**Figura IV.39** Pesado de jaula final

#### **IV.7.5.- Relatoría**

En esta sección se explica lo que se vivió en cada uno de los días de la competencia BAJA SAE MÉXICO 2022,

##### **IV.7.5.1 Jueves 1 de diciembre 2022**

En este día, se llegó aproximadamente a las 12 del día a la Universidad UniverMilenium, posteriormente se realizó el Pre Tech por parte de los jueces, en la cual se hicieron las siguientes correcciones antes de la revisión oficial:

- Reforzar toda la carrocería
- Cubrir todos los fillos de remaches, así como de la carrocería con cinta
- Cubrir todos los cables y que ninguno estuviera suelto
- Cubrir con cinta el soporte para switch de las luces
- Realizar nuevamente las probetas por parte del soldador

Posteriormente se procedió a la realizar las correcciones mencionadas por parte de los jueces, en la cual primeramente se comenzó por desmontar todas las láminas que cubrían la jaula, después se comenzó por reforzar la carrocería con ayuda de solera, ya que según los jueces la soldadura aplicada en dicha jaula no tenía la penetración suficiente para estar segura, por lo cual se soldaron pequeñas soleras en forma de triángulos en las uniones los miembros primarios de dicha jaula (véase Figura IV.41), principalmente la tubería que cubría toda la cabina, asimismo se procedió a encintando soporte para el switch de las luces (véase Figura IV.40).



**Figura IV.40** Encintando soporte de switch



**Figura IV.41** Colocación de refuerzos

Así mismo se hicieron de nueva cuenta las probetas por parte del soldador las cuales se aprecian en la Figura IV.42, ya que si no se tenían con la penetración y soldadura adecuada serían nuevamente rechazadas por los jueces.



**Figura IV.42** Probetas realizadas en competencia

Después al no terminar en las instalaciones de La universidad se procedió a retirarse de la Universidad y terminar de trabajar durante toda la noche en el hotel donde se hospedó todo el equipo hasta el siguiente día.

#### **IV.7.5.2 Viernes 2 de diciembre 2022**

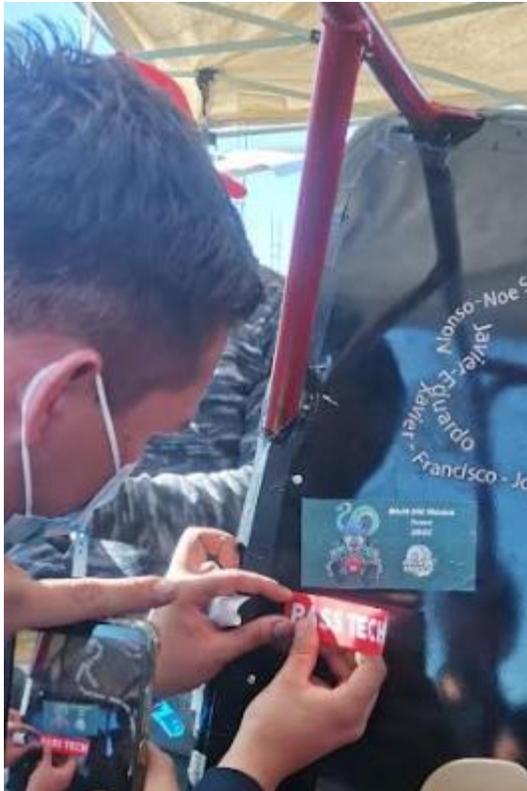
En éste día se amaneció trabajando y ultimando detalles en el hotel, tanto de reforzamiento de jaula como de eliminación de filos de la estructura mientras , posteriormente se realizó la exposición de costos y ventas de parte de alumnos de Diseño industrial en dicha Universidad, así mismo después cada equipo expuso frente a los jueces cada diseño de cada sistema que conformaban el vehículo con ayuda de láminas, mostrando las simulaciones que se habían realizado para llegar al diseño final , así como los análisis hechos durante competencias anteriores. Por parte de los jueces se recomendó que para presentaciones de años posteriores se podían incluir más laminas que incluyeran más tablas, comparaciones con los sistemas anteriores, así como más simulaciones.

Después se procedió calibrar el motor por parte de un técnico, obteniendo sin ningún problema la calcomanía de dicha revisión.

Finalmente, después de arreglar algunos detalles del vehículo se procedió a retirarse de la Universidad alrededor de las 7 de la noche para la inspección final, sin embargo, durante el trayecto el remolque donde se llevaba el vehículo sufrió un daño y no se pudo llegar en el horario establecido, por lo cual el capitán del equipo informó a miembros de la competencia permitiéndonos hacer la revisión al día siguiente.

#### **IV.7.5.3 Sábado 3 de diciembre 2022**

Durante este día se inició aproximadamente como a las 9 y media de la mañana con la revisión oficial de cada detalle del vehículo final la cual fue más minuciosa, pasándola sin ningún problema y obteniendo la calcomanía de Pass Tech (véase Figura IV.43), asimismo se realizó la prueba de los 5 segundos que consiste en que el piloto debía salir del vehículo en dicho tiempo y así poder seguir realizando cada una de las pruebas siguientes. Durante el día se realizaron distintas pruebas, empezando por la de frenado, donde se batalló un poco, ya que se tuvo que pasar varias veces y regresar a pits a calibrar los frenos nuevamente, ya que no se lograba que las 4 llantas del vehículo se quedaran amarradas al mismo tiempo al frenar por completo, hasta que después de varios intentos se logró superar y se pudo obtener la calcomanía de esa prueba (véase Figura IV.44).



**Figura IV.43** Calcomanía PASS TECH



**Figura IV.44** Calcomanía de frenos

Posteriormente se pasó a la prueba de aceleración, donde se aceleró con pedal a fondo en una pista de aproximadamente 100 ft y en la cual se observó la máxima velocidad del vehículo.

Después se pasó a la prueba de pendiente, en la cual solo se realizó un intento ya que al ser un poco grande y pesado a comparación de los otros vehículos de la competencia no podía llegar más allá de la distancia obtenida en el intento realizado, además de que no se revisó que el vehículo ya no tenía gasolina.

Luego se siguió a la prueba de arrastre donde se observó el mejor rendimiento del vehículo puesto que jalo a la camioneta de prueba con mucha facilidad a comparación de otros vehículos de la competencia que realizaron la misma prueba. Asimismo, al pasar a la prueba de lodo se notó que el vehículo se iba librando poco a poco de la pista hasta obtener un a distancia considerable a comparación de otros equipos.

Finalmente se pasó a la prueba de maniobrabilidad en donde solo se tuvo un intento. Y se observó que al tener un radio de giro demasiado grande el vehículo le costaba demasiado ir librando cada obstáculo y aunque se tardó en completar el circuito se pudo terminar, lo que ayudó fue la reversa del vehículo, así como la tenacidad del piloto para completar la prueba.

Se terminó la prueba y se obtuvo la calcomanía d dicha prueba (véase Figura IV.45), sin embargo, se observó que los amortiguadores traseros se habían roto (véase Figura IV.46), por lo cual se tuvieron que reparar y soldar y por cuestiones de tiempo no se pudo competir en la prueba de suspensión.



**Figura IV.45.** Calcomanía maniobrabilidad



**Figura IV.46** Amortiguadores rotos

#### **IV.7.5.4 Domingo 4 de diciembre 2022**

Finalmente, en el último día de pruebas, se participó en la prueba de endurance, la cual consistía en dar el mayor número de vueltas durante 4 horas en la pista, cada vehículo se fue acomodando de acuerdo al número asignado, por lo cual se salió en el lugar número 14.

Al comenzar la competencia se pudieron dar sin problemas 3 vueltas completas, hasta que se presentó una falla en el sistema de suspensión, ya que la barra estabilizadora se había roto, por lo cual, se intentó soldar y modificar para seguir compitiendo , sin embargo después de varias entradas y salidas (véase Figura IV.47) se seguían presentando fallas.



**Figura IV.47** Vehículo BAJA UAM 2022 saliendo a pits

Debido a lo anterior el vehículo no pudo continuar con la prueba de endurance y solo se pudieron dar 6 vueltas en total a la pista.

Después de los resultados publicados en la página oficial de Baja SAE los resultados finales de la competencia, se obtuvo el lugar 11 de 21 vehículos que participaron en el evento. Obteniendo así también un 1er lugar en la prueba de arrastre y un 3er lugar en la prueba de lodo.

# CAPÍTULO V

## Análisis y discusión de resultados

En esta sección se analizan los resultados obtenidos por medio de las simulaciones, se discute la relación entre los valores calculados con ecuaciones y lo obtenido en el software.

## V.1 Discusión de resultados

El objetivo principal del proyecto era bajar el peso de la estructura en comparación de la estructura edición 2019, lo cual se cumplió ya que la jaula edición 2019 registró un peso total de 60.4 kg en comparación con la estructura actual 2022 que obtuvo un peso de 43 kg.

El doblado de tubos no fue el adecuado, varios elementos tuvieron que reemplazarse o bien recortarse para poder realizar el ensamble adecuadamente.

Un detalle muy importante a la hora de la competencia fueron las pruebas destructivas pues estas no contaban con la coloración requerida por los jueces, lo que indicaba una mala penetración del material. Lo anterior debido a que el amperaje utilizado al soldar no fue el suficiente. Al contar con el apoyo de la planta de soldar de alta capacidad por parte de la empresa Miller consideramos no tocar la configuración realizada por los técnicos y confiamos en su experiencia.

En la prueba de endurance hubo un choque con una roca que dañó la barra estabilizadora por lo que la dirección tuvo que ser reparada. La colocación del elemento ELC no tenía previsto un tipo de choque como el que se presentó por lo cual se descuidó la parte baja de la nariz, al no colocar un elemento que protegiera tal sección.

El piso de la cabina tuvo problemas puesto que el piloto no utilizaba el tubo transversal que conecta el elemento USM con el elemento FLC. Por lo que constantemente había que colocar cinchos.

De las Tablas IV.1-IV.5, se observa que no fue necesario agregar los refuerzos que en un principio se habían considerado debido a que el factor de seguridad y los desplazamientos eran similares tanto en las simulaciones en las que se consideraron los refuerzos como en las que no se tomaron en cuenta. Lo anterior también ayudó al objetivo principal (disminución de peso) porque no se agregó más peso a la jaula.

Los factores de seguridad reflejan el mínimo encontrado en la estructura, estos valores son bajos porque se encuentran en las uniones de los miembros que ANSYS maneja como superficies debido a lo delgado del material en esa zona, lo anterior será compensado con la soldadura.

Así mismo el simular la geometría de la jaula antivuelco tanto en impacto frontal, lateral y volcadura y los sistemas a los que dio soporte a la estructura ayudó para que la seguridad del piloto fuera integra, donde además ayudó éste año el material empleado (Acero 1020 DOM) ya que es resistente, más ligero y sobre todo cumple con las normas para la competencia.

## V.2 Conclusiones

Finalmente podemos concluir que se tuvieron resultados positivos en la competencia BAJA SAE, se cumplió el objetivo principal planteado al inicio del proyecto, el cual era lograr reducir el peso de la estructura para el mejor aprovechamiento de la potencia ya que comparándolo con el diseño 2019 se determinó que el diseño actual se redujo un 26% esto a partir de hacerlo más esbelto siempre cumpliendo la normativa del reglamento.

El cumplimiento del objetivo fue posible a que se consiguieron diámetros menores a los utilizados en la edición 2019 y a que no se requirieron refuerzos adicionales que pudieron aumentar el peso final de la jaula, así mismo el tener mayores elementos doblado ayudó a reducir el peso.

Se logró un diseño con la geometría adecuada que permitió una conducción cómoda para el piloto al aumentar el espacio de la cabina y de la pedalera. Alguna consideración que se puede tomar en vehículos siguientes es que los pilotos sean de menor tamaño, que esto reduciría aún más el tamaño total de la cabina y se seguirían cumpliendo con las normas del reglamento. Sin embargo, al tener una jaula más grande a comparación de varios equipos de mayor experiencia éste se vio afectado en distintas pruebas como en la de pendiente y aceleración.

Un punto importante que se concluyó en competencia es que primeramente se deben de realizar probetas de soldadura antes de empezar a soldar completamente toda la estructura, esto con el fin de poder determinar cual es el amperaje adecuado para una mejor penetración de soldadura, ya que si bien la estructura no se rompió ni presentó desprendimiento de alguno de sus elementos sí se reforzó la cabina a partir del Pre tech de parte de los jueces donde mencionaron este punto de soldadura.

También es importante mencionar que, si bien el Acero Cromoly 4130 es menos pesado, el material utilizado en este año (acero 1020 DOM) funcionará perfectamente para la reducción de peso ya que es más barato y además si se disminuyen las dimensiones al máximo (hecho para pilotos de menor talla) podrá ser un vehículo más competitivo para las distintas pruebas de la competencia.

Además, el utilizar un software como el de ANSYS Mechanical para la simulación de impacto ayudó mucho, ya que al simular mostró puntos clave para poner refuerzos y sobre todo ayudó a que este año no se rompiera ningún elemento de la jaula.

Así mismo se demuestra que se cumplieron los objetivos planteados desde un inicio para este proyecto.

### V.3 Referencias bibliográficas

- [I.1] BAJA SAE 2022, ““Collegiate Design Series Baja SAE® Rules”, Revision A.
- [I.2] Biteman, B., 2013. “Baja SAE frame desing” Bachelor’s degree thesis, Collage of Engineering and Applied Science, University of Cincinnati.
- [I.3] Chandra, Y., 2020, “Desing, Analisis and Optimization of a BAJA-SAE Frame”, International Journal of Science and Research (IJSR), 9(2).
- [I.4] Campoverde Maldonado, A. M. and Galarza Serrano, S.P., 2016, “Propuesta del proceso de soldadura para el chasis del vehículo monoplaza tipo Fórmula SAE”, Bachelor’s degree thesis, Universidad Politécnica Salesiana.
- [II.1] WIKIPEDIA (2022), “Resistencia flexional” de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia\\_flexional](https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_flexional)
- [II.2] Mecapedia (2022), “Módulo de elasticidad” de: [http://www.mecapedia.uji.es/pages/modulo\\_de\\_elasticidad.html](http://www.mecapedia.uji.es/pages/modulo_de_elasticidad.html)
- [II.3] OXGASA(2022), “MANUAL DEL SOLDADOR” de: <https://www.infrasal.com/industria/phocadownloadpap/manual%20del%20soldador.pdf>
- [II.4] PARTcommunity (2022), “Segundo momento de área” de: <https://b2b.partcommunity.com/community/knowledge/es/detail/213/Second+moment+of+area>
- [II.5] WALTER (2022), “Soldadura TIG” de: [https://www.walter.com/es\\_MX/surfox/soldadura-tig](https://www.walter.com/es_MX/surfox/soldadura-tig)
- [II.6] FERREPRO (2022), “FCAW” de: <http://ferrepro.mx/fcaw-ventajas-y-desventajas/#:~:text=Los%20precios%20de%20producci%C3%B3n%20son,gasta%20en%20gas%20de%20protecci%C3%B3n.&text=Como%20no%20se%20requiere%20gas,Desventajas%20del%20m%C3%A9todo%20FCAW%3A&text=No%20se%20recomienda%20para%20materiales%20muy%20finos.>
- [II.7] Fronius (2022), ”Soldadura por electrodo” de: <https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/el-mundo-de-la-soldadura/soldadura-por-electrodo>
- [II.8] Soldadoras (2022), “Soldadoras MIG” de: <https://soldadoras.com.ar/soldadoras-mig/>
- [II.9] Sapiensman (2022), “Soldadura TIG” de: [https://www.sapiensman.com/tecnoficio/soldadura/soldadura\\_TIG\\_1.php](https://www.sapiensman.com/tecnoficio/soldadura/soldadura_TIG_1.php)
- [II.10] Sargsuministrosindustriales (2022), “Flux core” de: <https://www.sargsuministrosindustriales.com/MLM-1498108375-soldadura-microalambre-flux-core-0035mm-4-rollos-de-1-kilo- JM>
- [II.11] STARGAS (2022), “PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO” de: <https://www.stargas.com.ve/blog/proceso-de-soldadura-por-arco-electrico-con-electrodo-revestido-smaw/>

[III.1] William B. Riley and Albert R. George, “Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis”, SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2002-01-3300.

[IV.1] ARU, SURAJ & JADHAV, PRAVIN & Jadhav, Vinay & KUMAR, AKOOL & ANGANE, PRATIM. (2014). DESIGN, ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF A MULTI-TUBULAR SPACE FRAME. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). 4. 37-48.

# ANEXOS I

**Facturas y certificados de calidad de la tubería**

**Tabla A.** Cotización de Chromoly (Obtenida de la empresa CroMo)

**COTIZACIÓN:**  
No. 64/22

**FECHA:**  
22/05/2022

**L.C. JORGE RODRIGO AVENDAÑO MORA**

AV. VILLASIS #196 SEVILLA RESIDENCIAL, C.P. 21378  
MEXICALI, BAJA CALIFORNIA MÉXICO  
TEL. (686)108.7743  
email: ram@cromomx.com



<b>CLIENTE</b>
UAM AZCAPOTZALCO
<b>TELÉFONO   EMAIL</b>
leoleoleo655k@gmail.com

<b>CONTACTO</b>	
LEONARDO GONZALEZ	
<b>ENTREGA</b>	<b>TIEMPO ENTREGA</b>
NOSOTROS MISMOS	7-9 DÍAS

<b>ELABORADO POR:</b>
L.C. RODRIGO AVENDAÑO
<b>CONDICIONES DE VENTA</b>
CONTADO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
Tubo redondo de acero grado 4130 (cromolio) con las siguientes medidas: Diámetro exterior: 1.125" o 1 1/8" Diámetro interior: .885" Grosor pared: .120" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	3	\$ 5,950.00	\$ 17,850.00
Tubo redondo de acero grado 4130 (cromolio) con las siguientes medidas: Diámetro exterior: 1" Diámetro interior: .810" Grosor pared: .095" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	3	\$ 4,600.00	\$ 13,800.00
Tubo redondo de acero grado 4130 (cromolio) con las siguientes medidas: Diámetro exterior: 1" Diámetro interior: .760" Grosor pared: .120" Largo tramo: 17-24 pies Técnica: Normalizado Cold Drawn sin costura Origen: Estados Unidos Norma: SAE AMS T 6736	Tramo	2	\$ 3,950.00	\$ 7,900.00
Envío a CP 02000 Azcapotzalco Paquetexpress	Serv	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00

<b>CANTIDAD CON LETRA</b>
CUARENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS SETENTA Y OCHO PESOS 00/100 M.N. IVA INCLUIDO

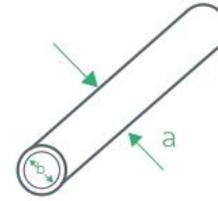
SUBTOTAL	\$42,050.00
16% IVA	\$6,728.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$48,778.00</b>

**Tabla B.** Catalogo proporcionado por Max Acero Monterrey

Max Acero Monterrey | Catálogo de Productos

## Tubo Cédula

TUBERÍA							
Diámetro nominal	Diámetro exterior pulg	mm	Espesor de pared pulg		cédula	Peso lb/pie	kg/m
	a		b				
1/2"	0.84	21.3	0.075	1.90	30	3.87	5.76
			0.109	2.77	40	5.46	8.13
3/4"	1.05	26.7	0.075	1.9	30	4.56	6.78
			0.113	2.87	40	7.27	10.82
1"	1.31	33.4	0.075	1.90	30	6.05	9.00
			0.133	3.38	40	10.75	16.00
1 1/4"	1.66	42.2	0.900	2.28	30	9.47	14.10
			0.145	3.56	40	14.58	21.70
1/2"	1.90	48.3	0.090	2.28	30	10.89	16.20
			0.145	3.68	40	17.42	25.92
2"	2.37	60.3	0.105	2.66	30	15.93	23.70
			0.154	3.91	40	23.4	34.82
2 1/2"	2.87	73.0	0.105	2.66	30	18.67	27.78
			0.203	5.16	40	37.11	55.23
3"	3.50	88.9	0.120	3.04	30	27.01	40.20
			0.216	5.49	40	48.56	72.26
4"	4.50	114.3	0.120	3.04	30	35.08	52.20
			0.237	6.02	40	69.11	102.85
			3/16	4.78		13	19.35
6"	6 5/8	168.3	7/32	5.60		15.1	22.47
			1/4	6.35		17.17	25.55
			9/32	7.10	40	18.96	28.22
			3/8	9.50		25	37.20
			3/16	4.78		17.05	25.37
			7/32	5.60		19.81	29.48
			1/4	6.35	20	22.56	33.57
8"	8 5/8	219.1	5/16	7.04	30	24.74	36.82
			5/16	7.90		27.64	41.14
			0.322	8.20	40	28.66	42.65
			3/8	9.50		32.99	49.10
			1/2	12.70	80	43.99	65.47
			3/16	4.78		21.34	31.76
			7/32	5.60		24.82	36.94
			1/4	6.35	20	28.28	42.09
10"	10 3/4	237.1	0.307	7.80	30	34.29	51.03
			0.365	9.27	40	40.65	60.50
			3/8	9.50		41.1	61.16
			1/2	12.70	60	54.8	81.55
			3/16	4.78		25.38	37.77
			7/32	5.60		29.54	43.96
			1/4	6.35	20	33.67	50.11
			3/8	9.50		49.49	73.65
			13/32	10.3	40	53.52	79.65
			1/2	12.7		65.5	97.47
			0.210	5.30		30.76	45.78
			1/4	6.35	10	37.03	55.11
14"	14	355.6	5/16	7.90	20	45.52	67.74
			3/8	9.50	30	54.48	81.08
			7/16	11.00	40	63.37	94.30
			1/2	12.70		72.16	107.39
			7/32	5.60		37.19	55.35
			1/4	6.35	10	42.42	63.13
			9/32	7.14		46.49	69.19
			5/16	7.90	20	52.16	77.63
			3/8	9.50	30	62.48	92.98
			1/2	12.70	40	82.85	123.30
			1/4	6.35	10	47.79	71.120
18"	18	457.2	5/16	7.90	20	58.79	87.490
			3/8	9.50		70.45	104.84
			1/2	12.70		93.5	139.15
			1/4	6.35	10	53.19	79.16
			5/16	7.90		65.47	97.43
			3/8	9.50	20	78.47	116.78
			1/2	12.70	30	104.24	155.12
			1/4	6.35	10	64.01	95.26
24"	24	609.6	3/8	9.50	20	94.53	140.68
			1/2	12.70		125.70	187.06
			1/4	6.35	10	80.13	119.25
			3/8	9.50	20	118.46	176.29
			1/2	12.70	30	157.69	234.67
			3/4	19.05		234.54	349.04
			5/16	7.90	10	118.62	176.52
			3/8	9.50		142.39	211.90
36"	36	914.4	1/2	12.70	20	189.68	282.27
			3/4	19.05	40	282.53	420.45



Terminado Liso				
CÉDULA 40				
Tamaño nominal	Diámetro exterior	Diámetro interior	Peso	Piezas por atado
	a	b		
pulg	pulg	pulg	kg X pza	
1	1.315	1.049	16	70
1 1/4	1.66	1.38	1.62	51
1 1/2	1.9	1.61	25.91	44
2	2.375	2.067	34.86	30
2 1/2	2.875	2.468	5.35	30
3	3.5	3.068	72.2	19
4	4.5	4.26	102.88	19

Terminado Ranurado				
Cédula 10				
Tamaño nominal	Diámetro exterior	Diámetro interior	Peso	Piezas por atado
	a	b		
pulg	pulg	pulg	kg X pza	
1 1/4	1.66	1.53	11.64	61
1 1/2	1.9	1.728	17.57	61
2	2.375	2.203	22.19	37
2 1/2	2.875	2.705	26.76	30
3	3.5	3.334	32.02	19
4	4.5	4.31	47.32	19
6	6.625	6.369	83.82	10

Norma ASTM A135 y ASTM A795 Interior protegido por el recubrimiento antibacterial "Eddy Guard II". Presión hasta de 300 PSI Índice de Resistencia a la corrosión 1. Largo estándar de 6.40 m

**Tabla C. Factura de acero A36 (adquirido por ITW)**

**MAX ACERO MONTERREY, S.A. DE C.V.**

RFC: MAM160114M23 Régimen fiscal: (601)General de Ley Personas Morales  
 JAIME TORRES BODET No. 46 Int: 2, Col. BARRIO NATIVITAS, CP: 54900, TULTITLAN, ESTADO DE MEXICO, MÉXICO



Datos del cliente		Comprobante fiscal digital	
ITW WELDING PRODUCTS GROUP	( 14365 )	Serie: A	Folio: 4238
RFC: IWP980220V87		Fecha y hora: 2022-07-20T10:52:18	
C.P.: 11000		Lugar de expedición: 54900	
Uso de CFDI: (G03)Gastos en general		Forma de pago: (03)Transferencia electrónica	
		Método de pago y Cuenta:	
		(PUE)Pago en una sola exhibición	

Enviar a:  
 Dirección envío:

Vendedor : 54

Cantidad	Unidad	Clave	Descripción	% Desc	P/U	Importe
	Clave Unidad	Clave Producto				
3.000000	pz	TUBO AC-CARBON	TUBO ACERO AL CARBON	0.00	315.040000	945.1200
	H87	40171602	TUBO CED 40 DE 3/4" A 6 MTS			
5.000000	pz	TUBO AC-CARBON	TUBO ACERO AL CARBON	0.00	502.730000	2,513.6500
	H87	40171602	TUBO AC CED 40 DE 1" A 6 MTS			
2.000000	pz	TUBO AC-CARBON	TUBO ACERO AL CARBON	0.00	289.710000	579.4200
	H87	40171602	TUBO AC CED 30 DE 1" A 6 MTS			
1.000000	No	MANDECARGA	MANIOBRAS DE CARGA	0.00	1,500.000000	1,500.0000
	E48	78121601	FLETE EN ALCALDIA AZCAPOZALCO CDMX CP. 02200 INCLUYE MANIOBRA DE DESCARGA		NO	



EJECUTIVA. LESLIE NALLELY  
 ELABORÓ. VIANEY VILLADA

Subtotal	5,538.19
Descuento	0.00
I.E.P.S.	0.00
I.V.A.	886.11
<b>Total</b>	<b>6,424.30</b>

SEIS MIL CUATROCIENTOS VEINTICUATRO PESOS 30/100 M.N.

**Tabla D.** Certificado de calidad de la tubería de acero A36, con 0.065% de contenido de Carbono



**CERTIFICADO DE CALIDAD / MILL TEST REPORT**

CLIENTE / SOLD TO	DESTINATARIO/SHIP TO	FACTURA/INVOICE 628021
Tultitlan MEX C.P. 54900		FECHA/DATE 06/09/2022

O.C./ P.O.	PEDIDO/ ORDER	ROLLO/ COIL	LOTE/ PACKAGE	CODIGO/ CODE	DESCRIPCION DEL MATERIAL/ MATERIAL DESCRIPTION	LONGITUD/ LENGTH	ANALISIS				
							%C	%Mn	%P	%S	%Si
4500352304	10389307-530	0020163367	0020176785	300328	RED 2.375 0.1350 CCCSDN STK CX 6.401	6401 mm	0.0920	0.3400	0.0130	0.0140	0.0300
4500352304	10389307-530	0020163367	0020176764	300328	RED 2.375 0.1350 CCCSDN STK CX 6.401	6401 mm	0.0920	0.3400	0.0130	0.0140	0.0300
4500352304	10389307-530	0020150766	0020175327	300328	RED 2.375 0.1350 CCCSDN STK CX 6.401	6401 mm	0.0940	0.3400	0.0090	0.0140	0.0100
4500352304	10389307-530	0020150766	0020175349	300328	RED 2.375 0.1350 CCCSDN STK CX 6.401	6401 mm	0.0940	0.3400	0.0090	0.0140	0.0100
4500352304	10389307-530	0020163468	0020176218	300328	RED 2.375 0.1350 CCCSDN STK CX 6.401	6401 mm	0.0920	0.3600	0.0100	0.0100	0.0100
4500352304	10389307-530	0020150766	0020175314	300328	RED 2.375 0.1350 CCCSDN STK CX 6.401	6401 mm	0.0940	0.3400	0.0090	0.0140	0.0100
4500352304	10389307-530	0020150766	0020175319	300328	RED 2.375 0.1350 CCCSDN STK CX 6.401	6401 mm	0.0940	0.3400	0.0090	0.0140	0.0100
4500352304	10389307-450	0020143748	0020163795	300364	RED 1.050 0.0747 CCCSDN STK C30 6.096	6096 mm	0.0650	0.3570	0.0040	0.0040	0.0140
4500352304	10389307-450	0020143748	0020163858	300364	RED 1.050 0.0747 CCCSDN STK C30 6.096	6096 mm	0.0650	0.3570	0.0040	0.0040	0.0140
4500352304	10389307-450	0020143748	0020163857	300364	RED 1.050 0.0747 CCCSDN STK C30 6.096	6096 mm	0.0650	0.3570	0.0040	0.0040	0.0140
4500352304	10389307-340	0019515258	0019956562	300544	CUAD 5.000 0.2500 CGBSDN 6.096	6096 mm	0.0840	1.2600	0.0120	0.0050	0.0160
4500352304	10389307-420	0020128232	0020172853	311210	CUAD 2.500 0.0747 CCCSDN STK 6.000	6000 mm	0.0630	0.3700	0.0060	0.0040	0.0100

**Tabla E.** Fragmento de un certificado de calidad (cortesía de CroMo) en donde se expresa la cantidad de carbono mínima del acero 1020

Heat Number	% C	%Mn	%S	%P
Requirements	0.180 –	0.300 –	0.000 –	0.000-
min - max	0.230	0.600	0.035	0.035
1B0426	0.212	0.419	0.005	0.014

**Tabla F.** Certificado de calidad acero 1020 para miembros primarios (ASTM A513 Type 5 SRA)

## INSPECTION CERTIFICATE



Certificate No : SNLE20210831 -06 SNL Enterprise Co., Ltd.

Order No.: #9932 Date of issue : Aug., 31, 2021

Size : 1.000 x 0.120 x 24.000' Spec : ASTM A513 Type5 SRA(1020)

Test Item	Dimension				Appearance	T.S. (Ksi)	Y.P. (ksi)	Elongation (%)	Hardness (HBR)	Flattening Test	Roughness
	O.D(inch)	I.D(inch)	Thickness(inch)	Length(ft)							
Based on	1.000	0.003 -0.003	0.120 -0.003	24.000 0.500 0.000	Good	65min	55min	15min	-	Good	
Results	1	1.000	0.120	24.000	Good	90.21	72.81	18.8		Good	
	2	1.000	0.120	24.000	Good	90.36	72.96	18.9		Good	
	3	1.001	0.122	24.000	Good	89.92	72.67	18.8		Good	
	4										
	5										

Chemical Composition ( % )						Quantity		
Test Item	C	SI	Mn	P	S	PCS	Length(ft)	Lbs(NET)
Standard	Max	0.230	0.100	0.600	0.035	253	6,072	6,854.8
	Min	0.170	-	0.300	-			
Results	0.190	0.013	0.440	0.014	0.006			

The proof that they have passed the tests and inspections specified in the relevant standard in this product.  
 Test Certificate is issued according to ISO 10474 / EN 10204 3. 1.  
 Country of Melt : Korea

Quality Assurance *Seong-su, Kim*

SNL Enterprise Co., Ltd.

**Tabla G.** Certificado de calidad de acero 1020 para miembros secundarios (ASTM A513 Type 5 SRA)

TPI Work Test Certificate



Customer :  
 Order No. : TP21021 /04-MAY-21  
 Description :  
 Specification : ASTM A513/A513M-15 T5 C1020  
 Condition : SRA  
 Bundle No's : TP21021-13-2 (220004455)

TC No : CDW2150986  
 Date : 31-MAY-21  
 Invoice No : 3001020000408  
 Invoice Date : 29-MAY-21  
 Job /Batch No : ANL215B02540005

Cust Part No :  
 Bundle : CUSTOMER SIZE /CONDITION /QUANTITY /GROSS WEIGHT /TAG MARKING / WO.NO. / SPEC &  
 Tagging : GRADE /DESTINATION / BUNDLE NO /COUNTRY OF ORIGIN.  
 Tube Marking : P.O.NO. /TPI-ED /SIZE /SPEC /CONDITION/ TAG MARKING/ HEAT NO.  
 P. Uom : Inches  
 Size : 1.00 X .870 X .065 X 20' / 22' -SRA

Quantity In : 3161.942 Ft

**LADLE ANALYSIS :**

Process	Heat No.	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Cr	%Ni	%Cu	%NiO
Min		.18	.3								
Max		.23	.6	.035	.035						
Obs	C462747	.198	.48	.016	.003	.076	.035				

**Full Section Longitudinal Tensile Test at Room Temp**

Test	Heat No	Y.S	T.S	Elong.
Min		55000	65000	10
Max				
		PSI	PSI	%
OBS	C462747	85978	93692	20

**Rockwell Hardness**

Rockwell Hardness	OD	ID
75		
HRB		
92		-

**Dimensions in : Inches**

Spec	OD	ID	WT	Len
Min	1	.865		240
Max	1.005	.87		264
OBS-Min	1.002	.867	0	251.969
OBS-Max	1.003	.868	0	252.165

**Technological Tests :**

Test	Spec	Result
Crushing		-
Flaring		-
Flattening		-
Flanging		-
Rev. Flang.		-
Elong.Gaug.Len		

**Non-Destructive Tests :**

Test	Spec	Result
Straightness	0.03 IN / 3 FT MAX	0.015
Eddy Current	100	100% Testing and Found Okay
Visual	Surface	Satisfactory
Ultrasonic Test		-

This is to certify that the goods are supplied as per the purchase order and specification Requirements

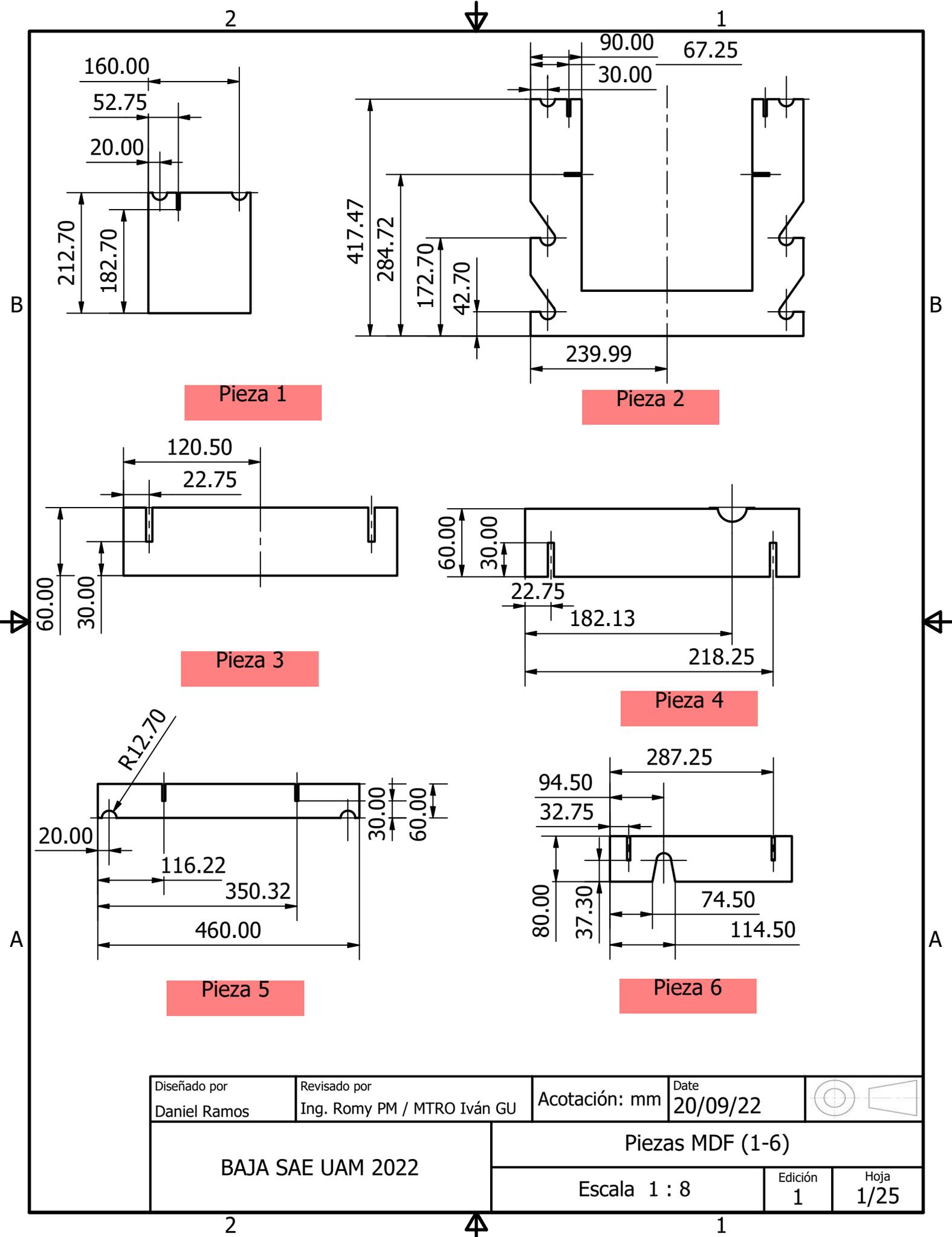
Prepared by :

Quality Shift Incharge Signature:

Raghu.P  
 Sr.Engineer Quality Control

# **ANEXOS II**

## **Planos**



Pieza 1

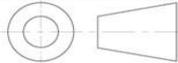
Pieza 2

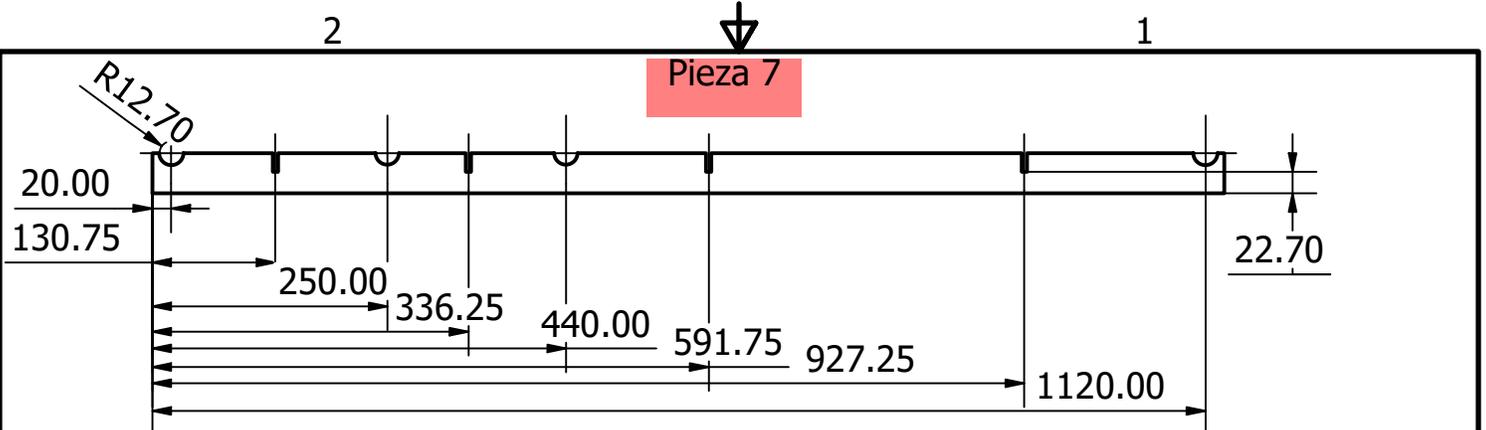
Pieza 3

Pieza 4

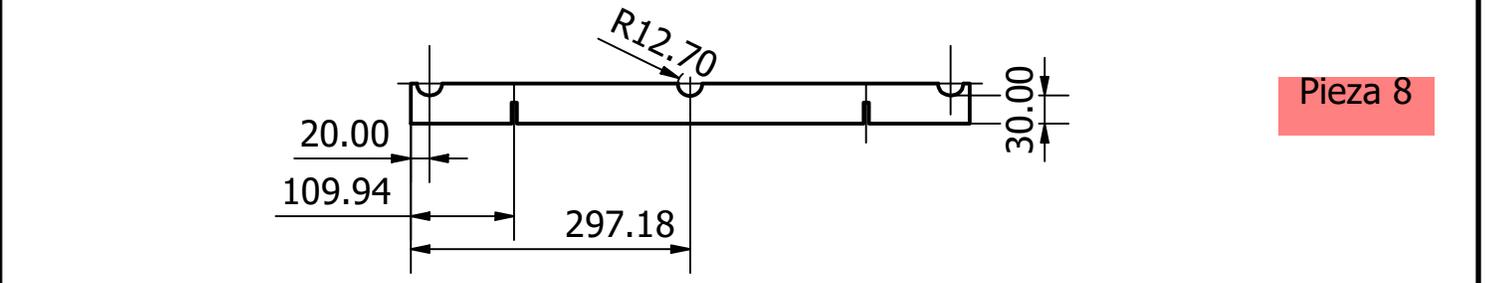
Pieza 5

Pieza 6

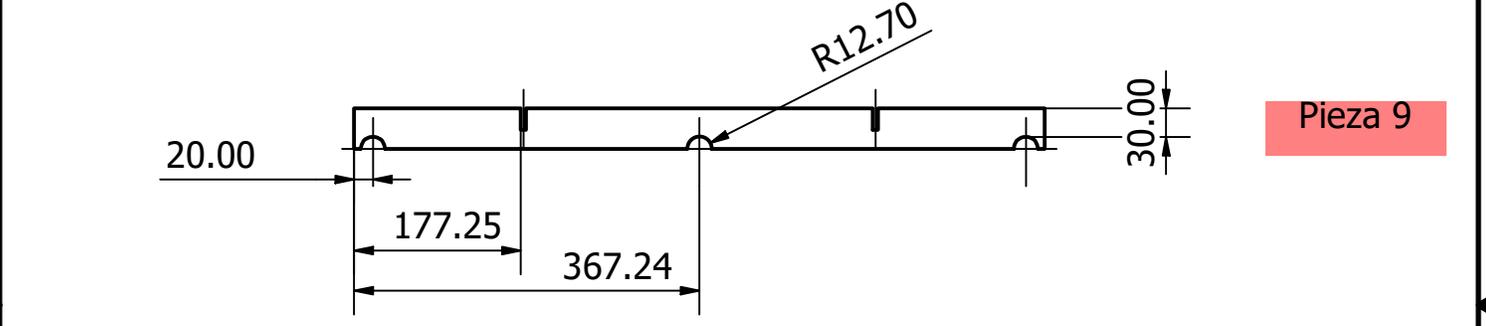
Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (1-6)		
		Escala 1 : 8	Edición 1	Hoja 1/25



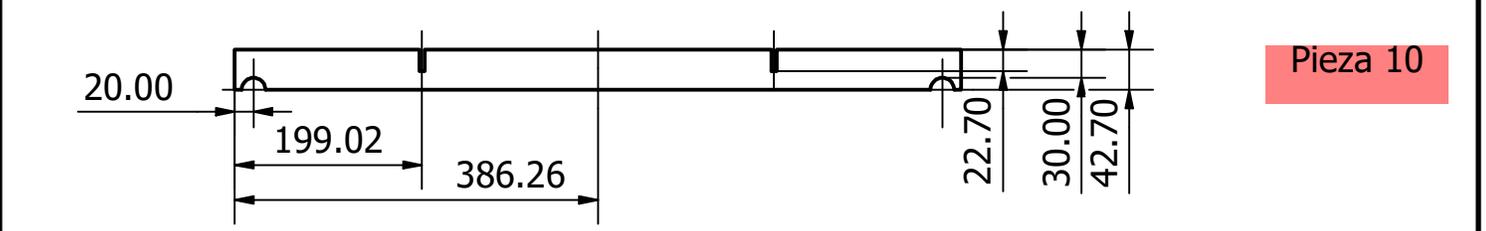
Pieza 7



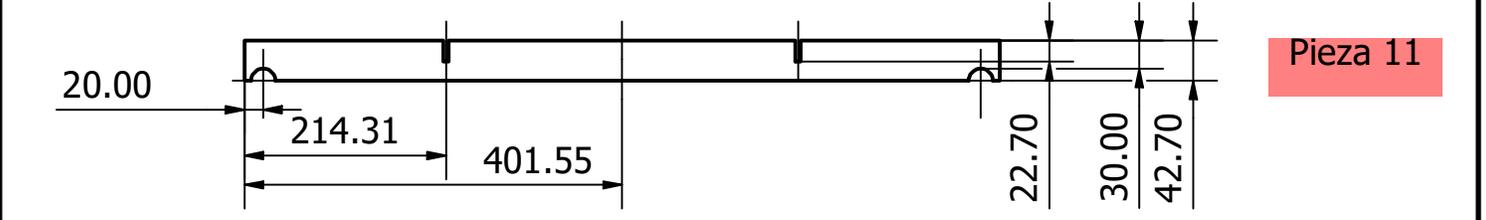
Pieza 8



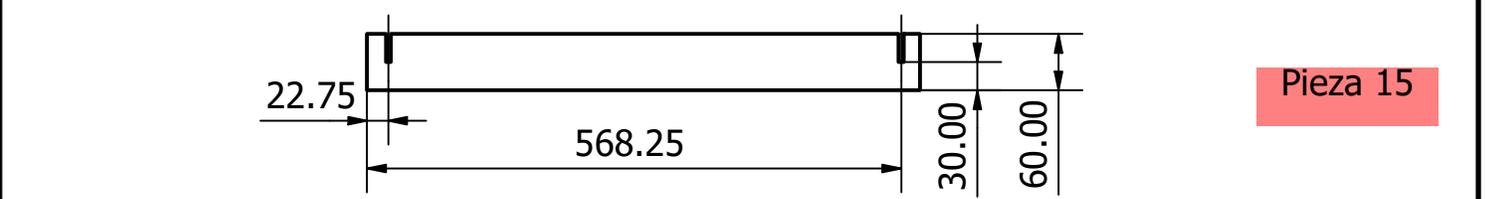
Pieza 9



Pieza 10



Pieza 11



Pieza 15

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (7-11,15)		
		Escala 1 : 8	Edición 1	Hoja 2/25

2

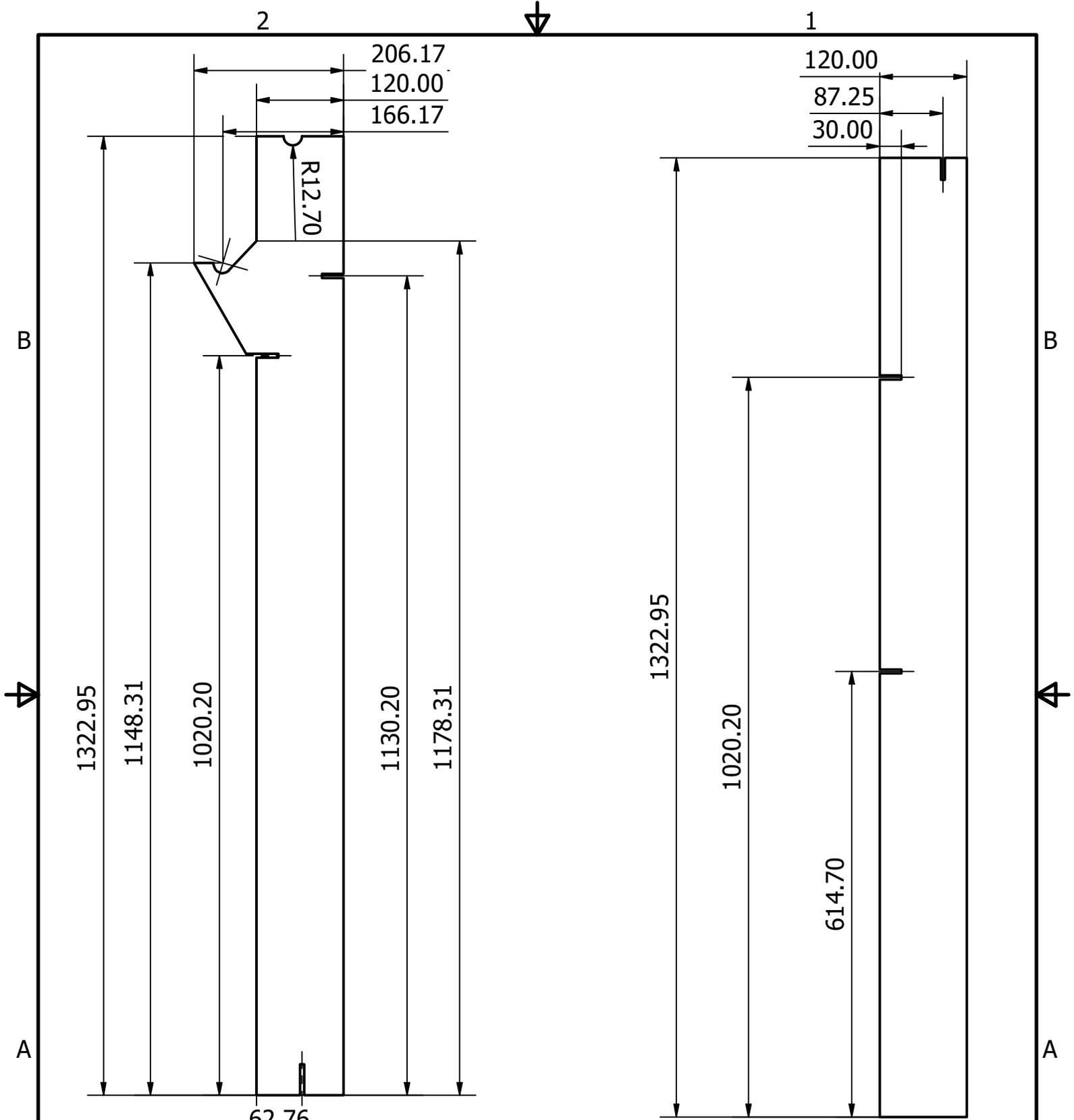
1

B

B

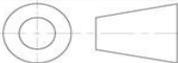
A

A



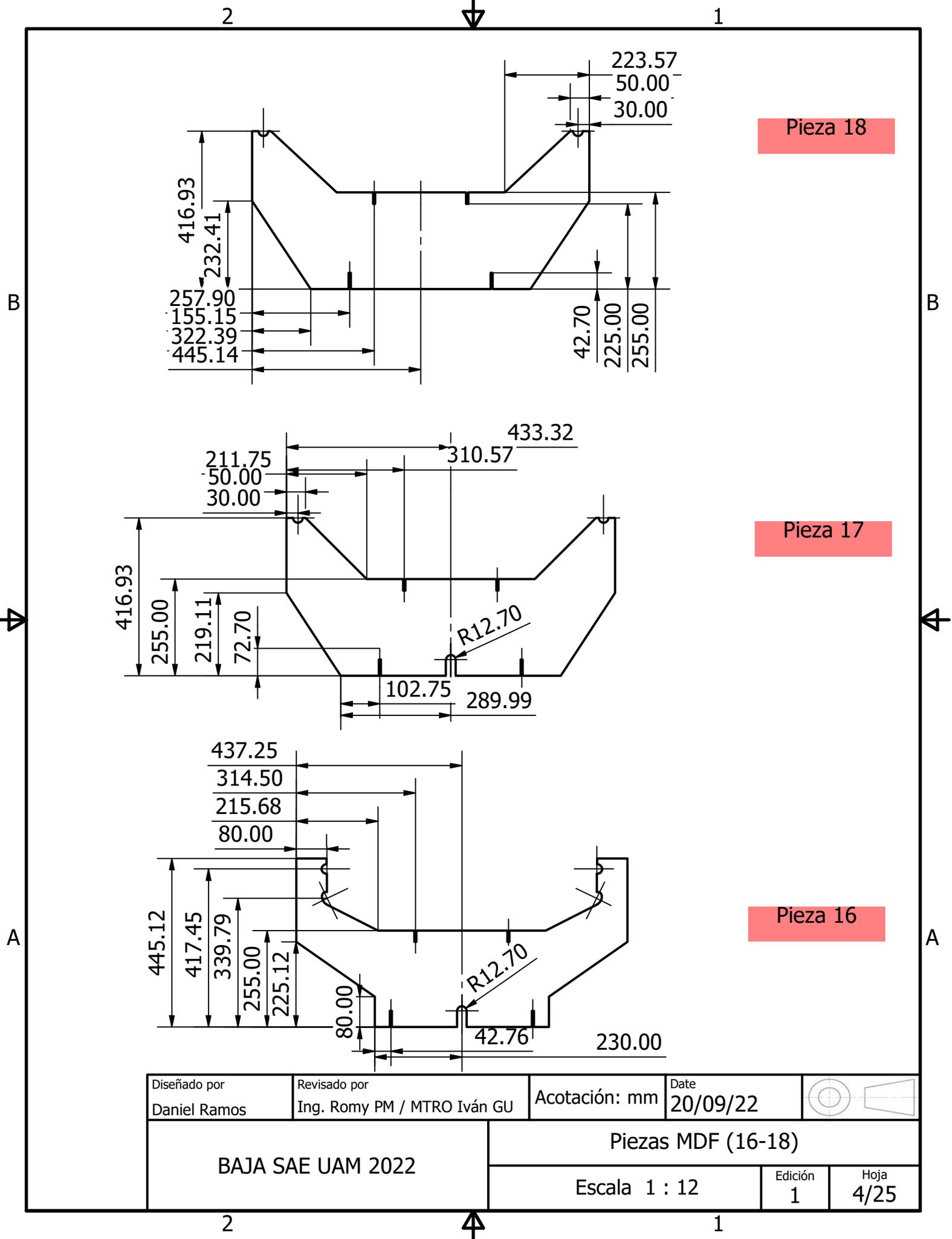
Pieza 14

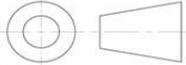
Pieza 13

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (13-14)		
		Escala 1 : 8	Edición 1	Hoja 3/25

2

1

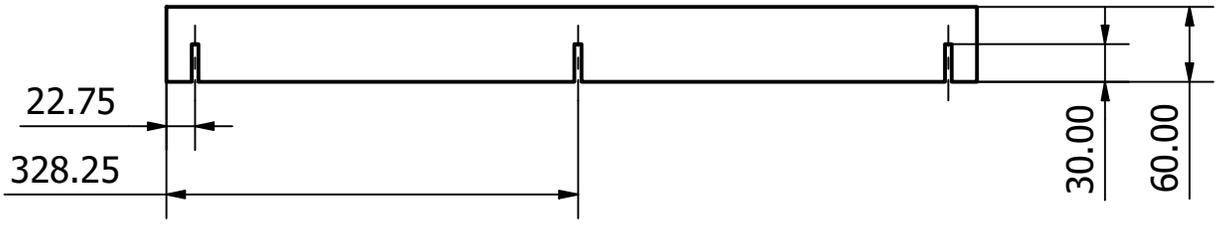


Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (16-18)		
		Escala 1 : 12	Edición 1	Hoja 4/25

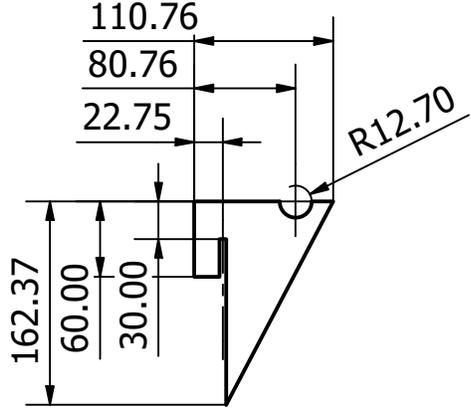
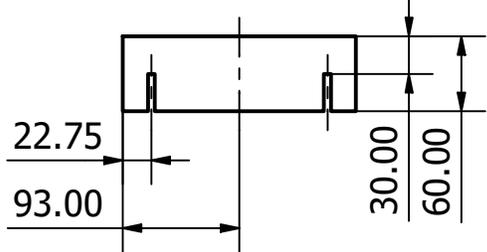
2

1

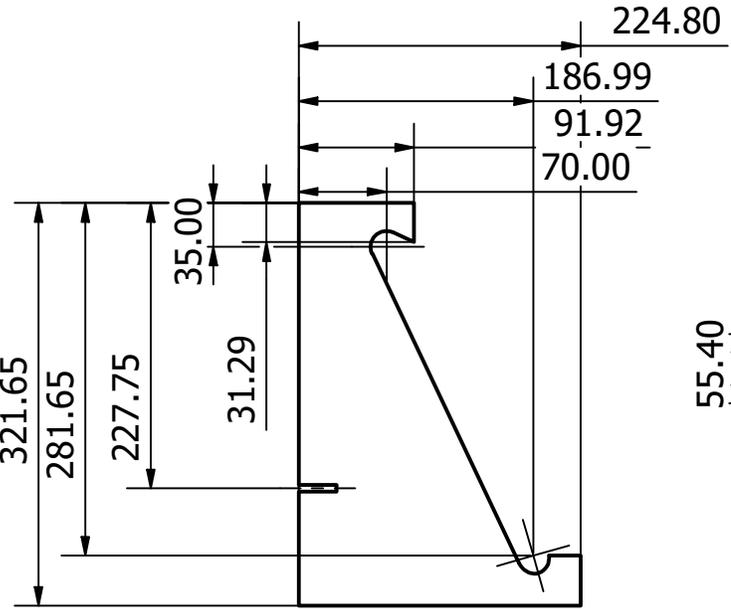
Pieza 19



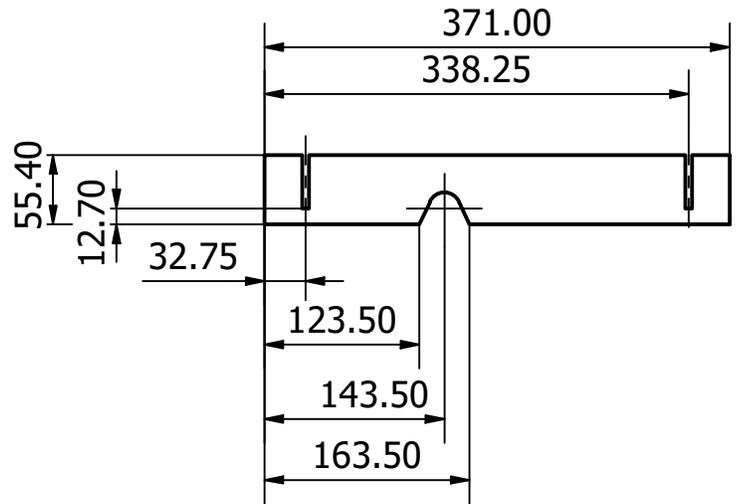
Pieza 21



Pieza 20



Pieza 22



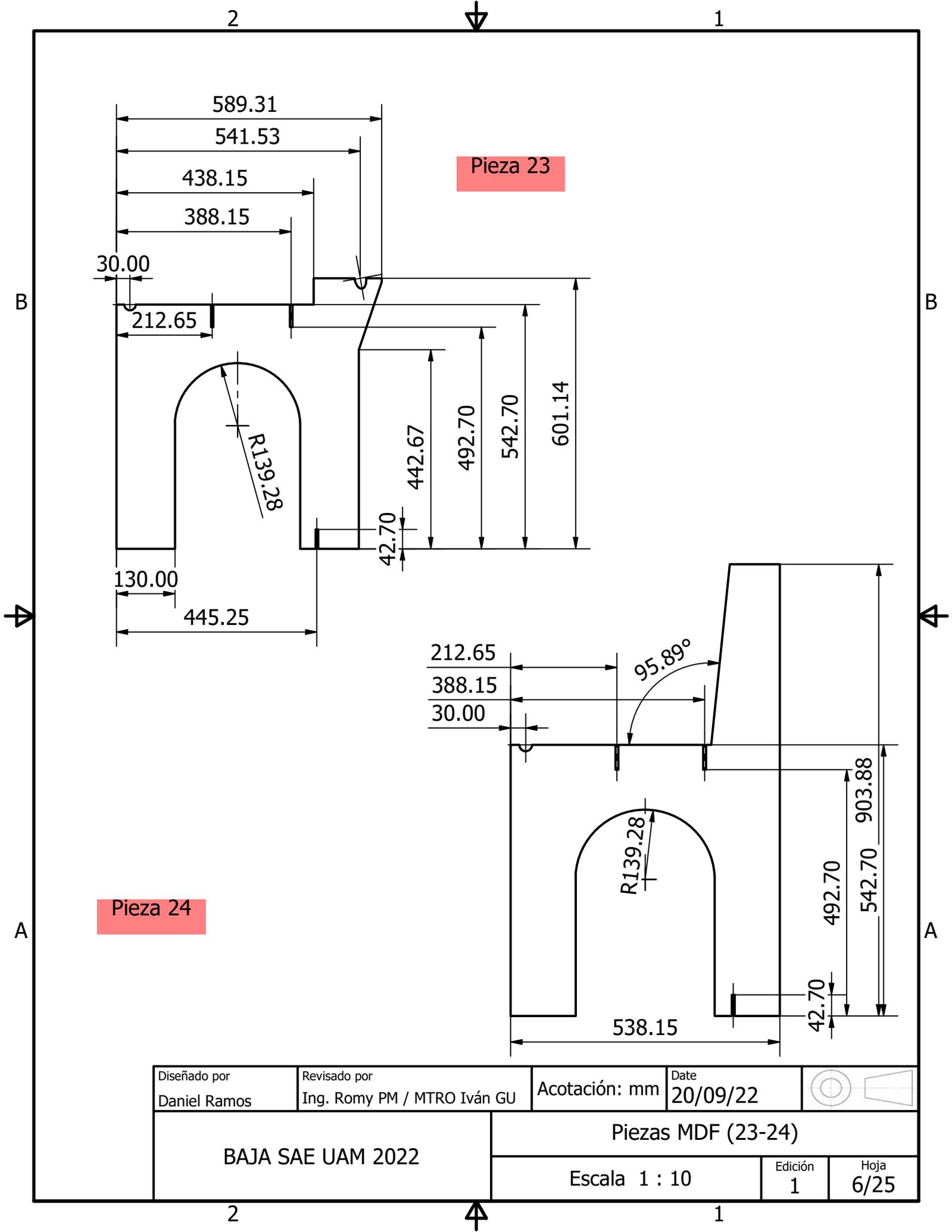
Pieza 12

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (12, 19-22)		
		Escala 1 : 6	Edición 1	Hoja 5/25

2

1





Pieza 23

Pieza 24

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (23-24)		
		Edición 1	Hoja 6/25	

Escala 1 : 10

Edición  
1

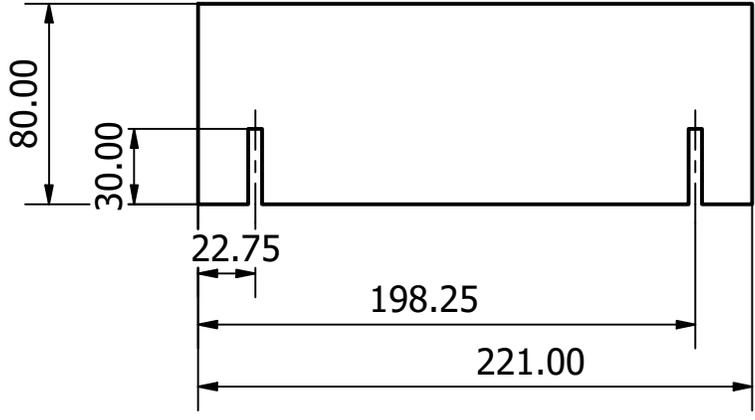
Hoja  
6/25

2

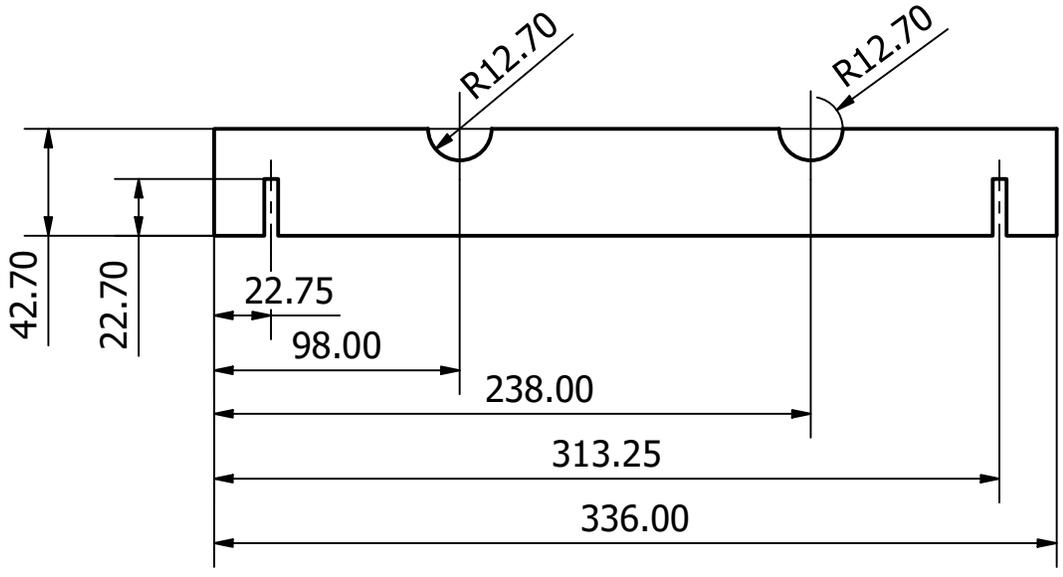
1

B

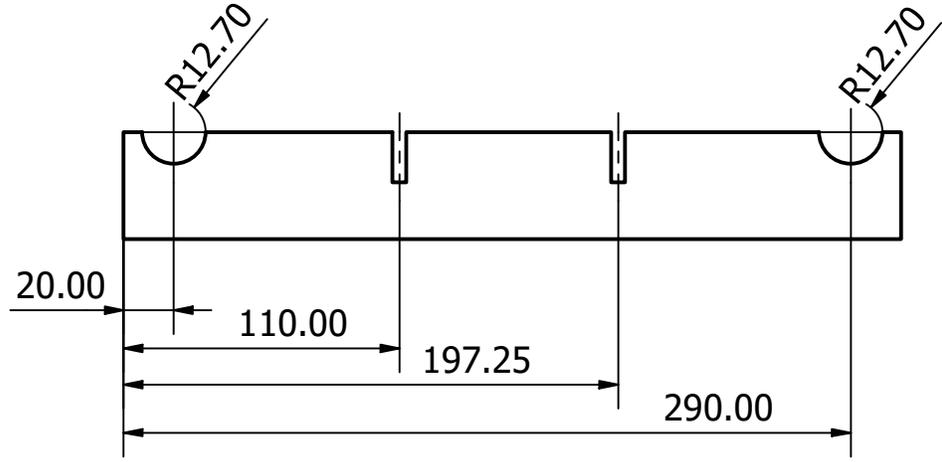
B



Pieza 27



Pieza 28



Pieza 29

A

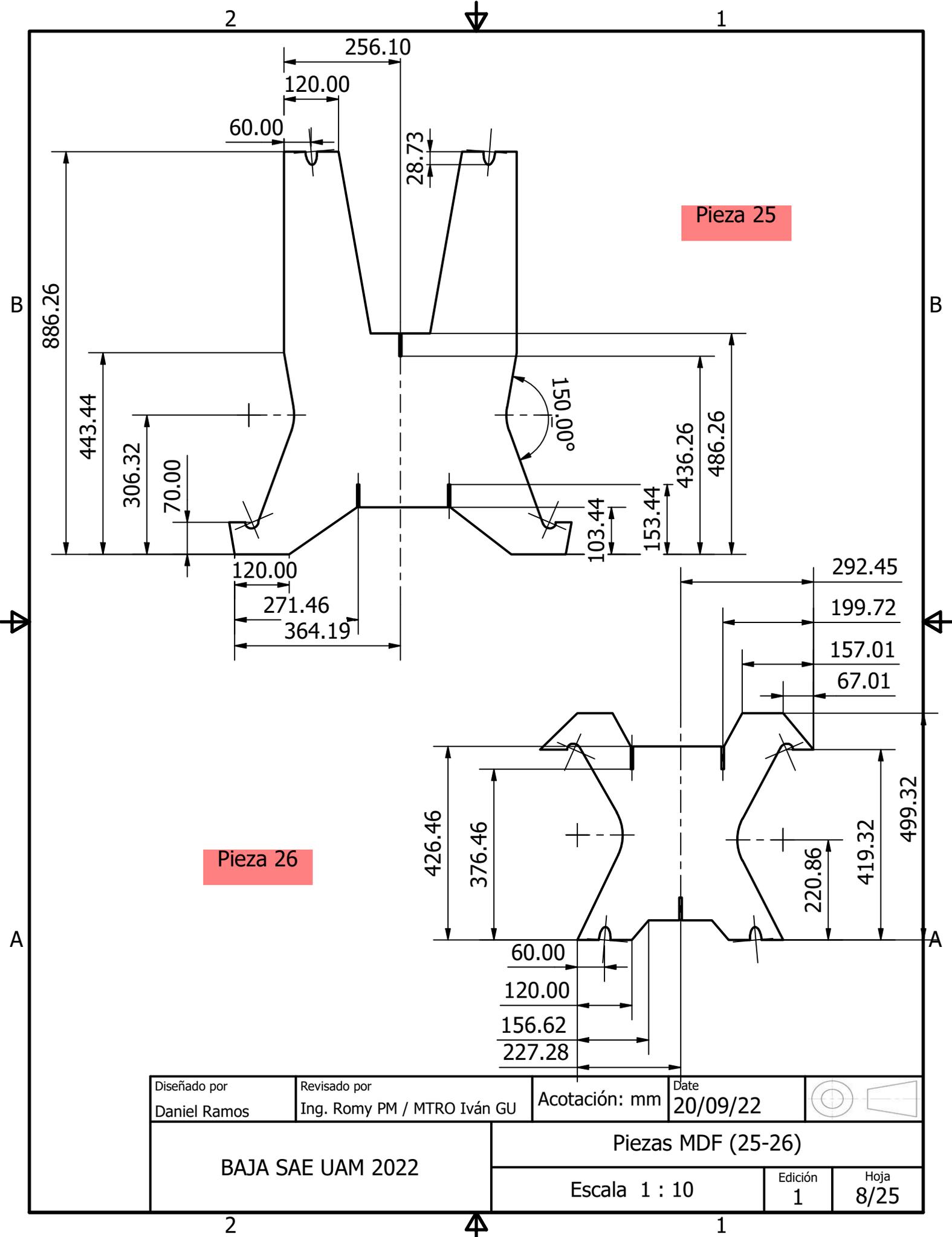
A

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (27-29)		
		Escala 1 : 3	Edición 1	Hoja 7/25

2

1





Pieza 25

Pieza 26

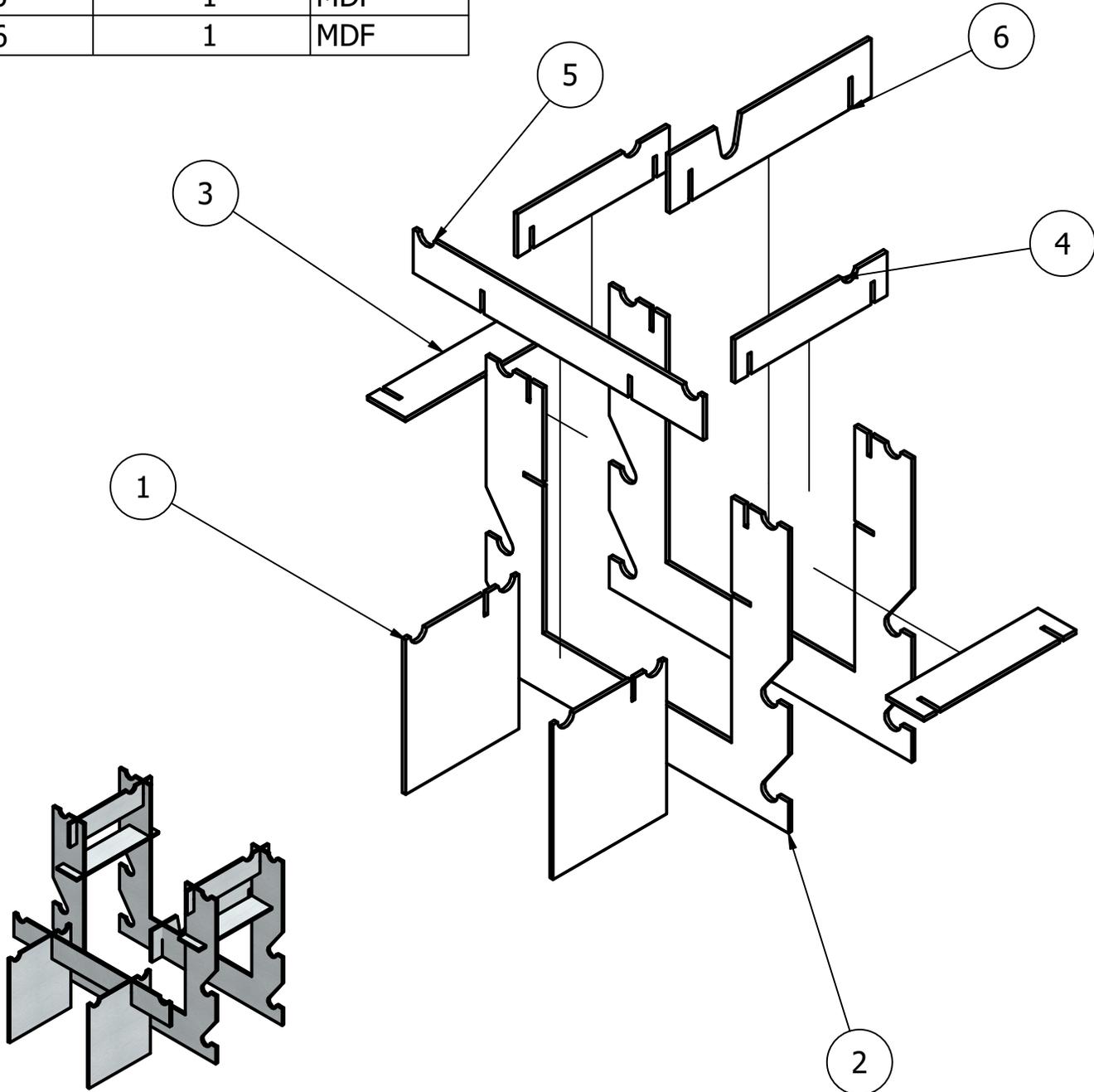
Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Piezas MDF (25-26)		
		Edición 1	Hoja 8/25	Escala 1 : 10

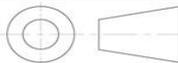
2

1

LISTA DE PARTES (NARIZ)

NUMERO	ELEMENTOS	MATERIAL
1	2	MDF
2	2	MDF
3	2	MDF
2	2	MDF
5	1	MDF
6	1	MDF



Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		EXPLOSIONADO NARIZ		
		Escala 1 : 7	Edición 1	Hoja 9/25

2



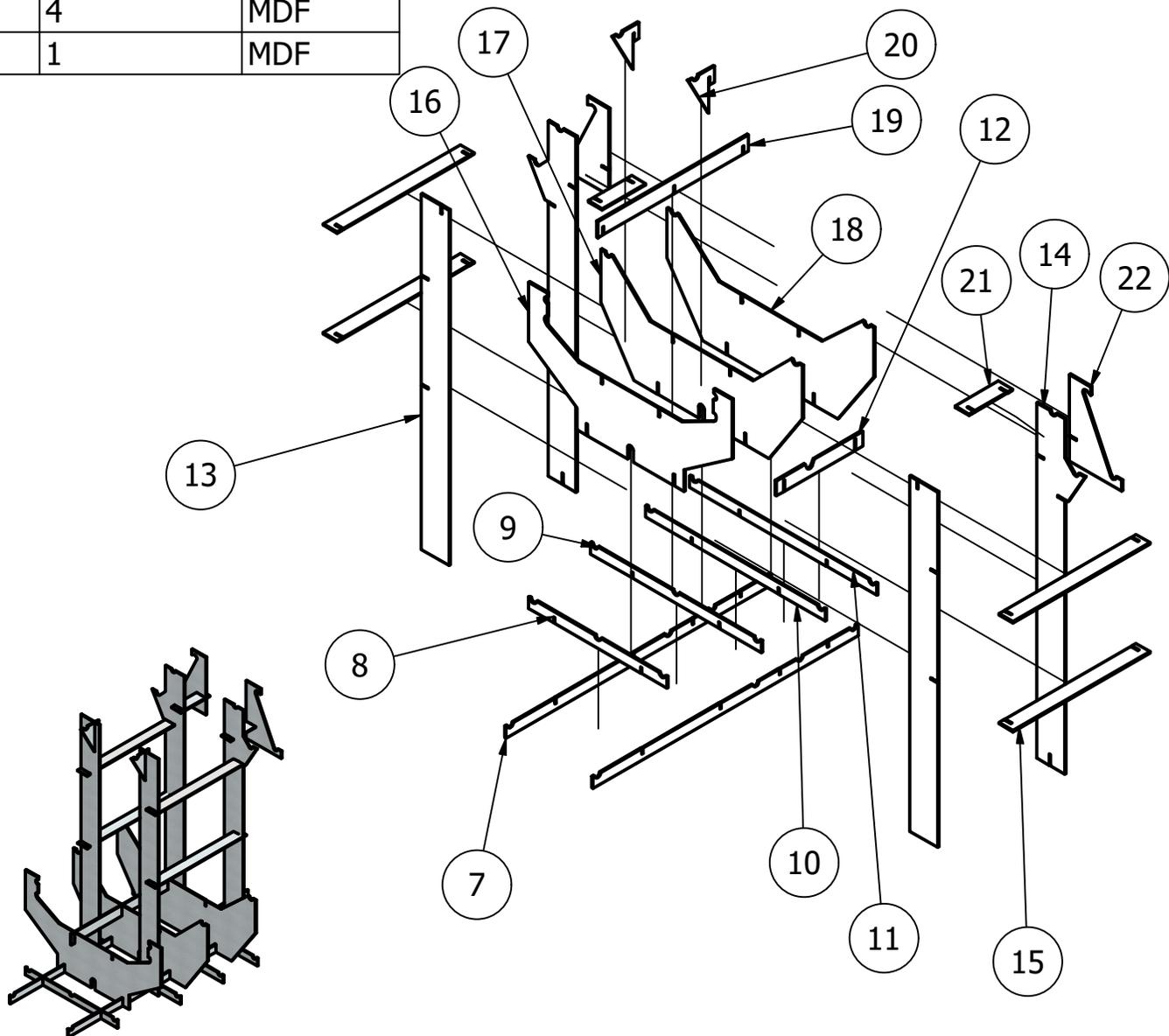
1

LISTA DE PARTES (CABINA)		
NUMERO	ELEMENTOS	MATERIAL
7	2	MDF
8	1	MDF
9	1	MDF
10	1	MDF
11	1	MDF
12	1	MDF
13	2	MDF
14	2	MDF
15	4	MDF
16	1	MDF

17	1	MDF
18	1	MDF
19	1	MDF
20	2	MDF
21	2	MDF
22	2	MDF

B

B



A

A

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		EXPLOSIONADO CABINA		
		Escala 1 : 20	Edición 1	Hoja 10/25

2



1

2

1

### LISTA DE PARTES (ZONA TRASERA)

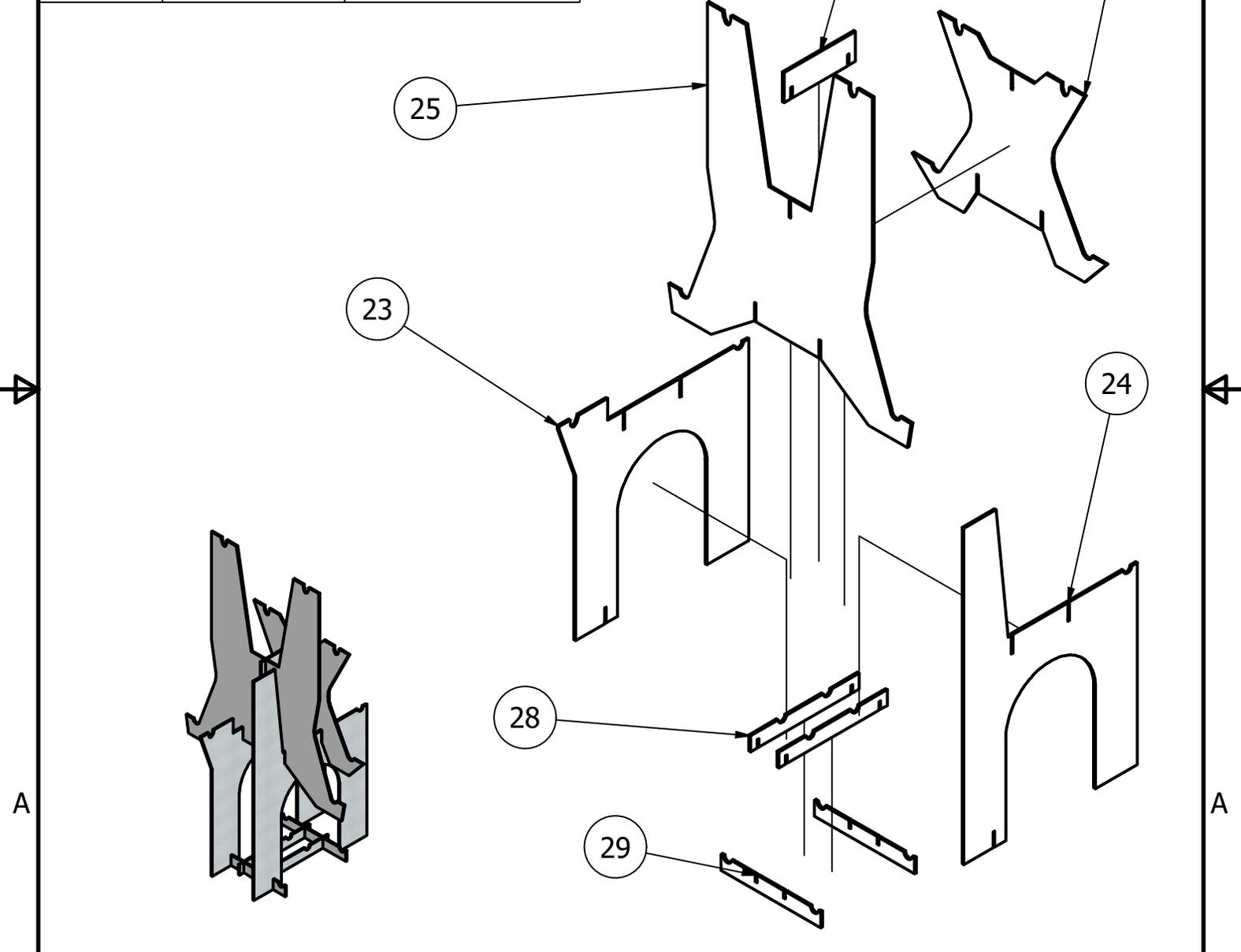
NUMERO	ELEMENTOS	MATERIAL
23	1	MDF
24	1	MDF
25	1	MDF
26	1	MDF
27	1	MDF
28	2	MDF
29	2	MDF

B

B

A

A



Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		EXPLOSIONADO ZONA TRASERA		
		Escala 1 : 13	Edición 1	Hoja 11/25

2

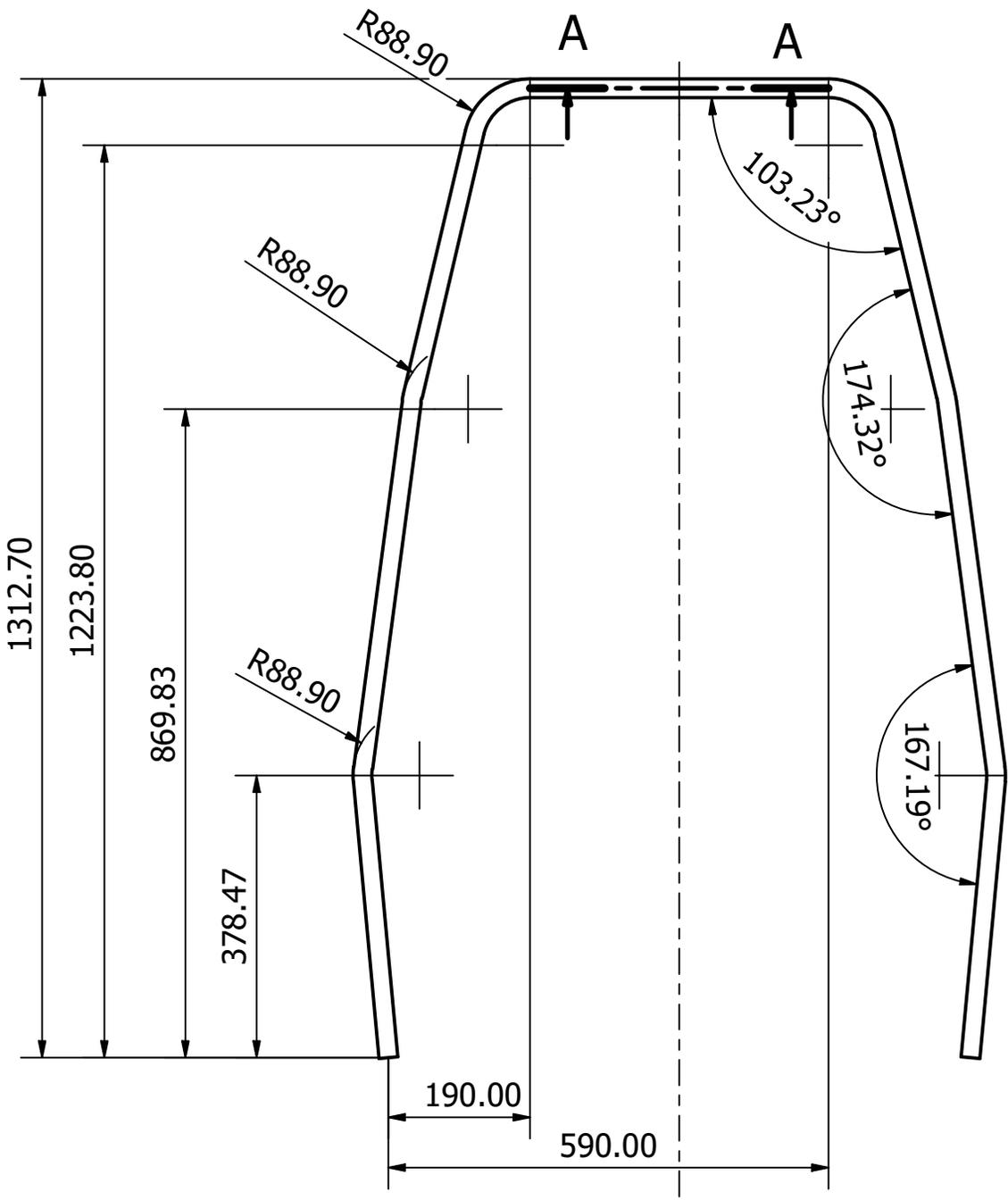
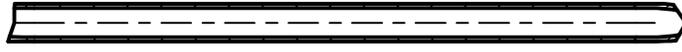
1



2

1

# A-A ( 1 : 5 )

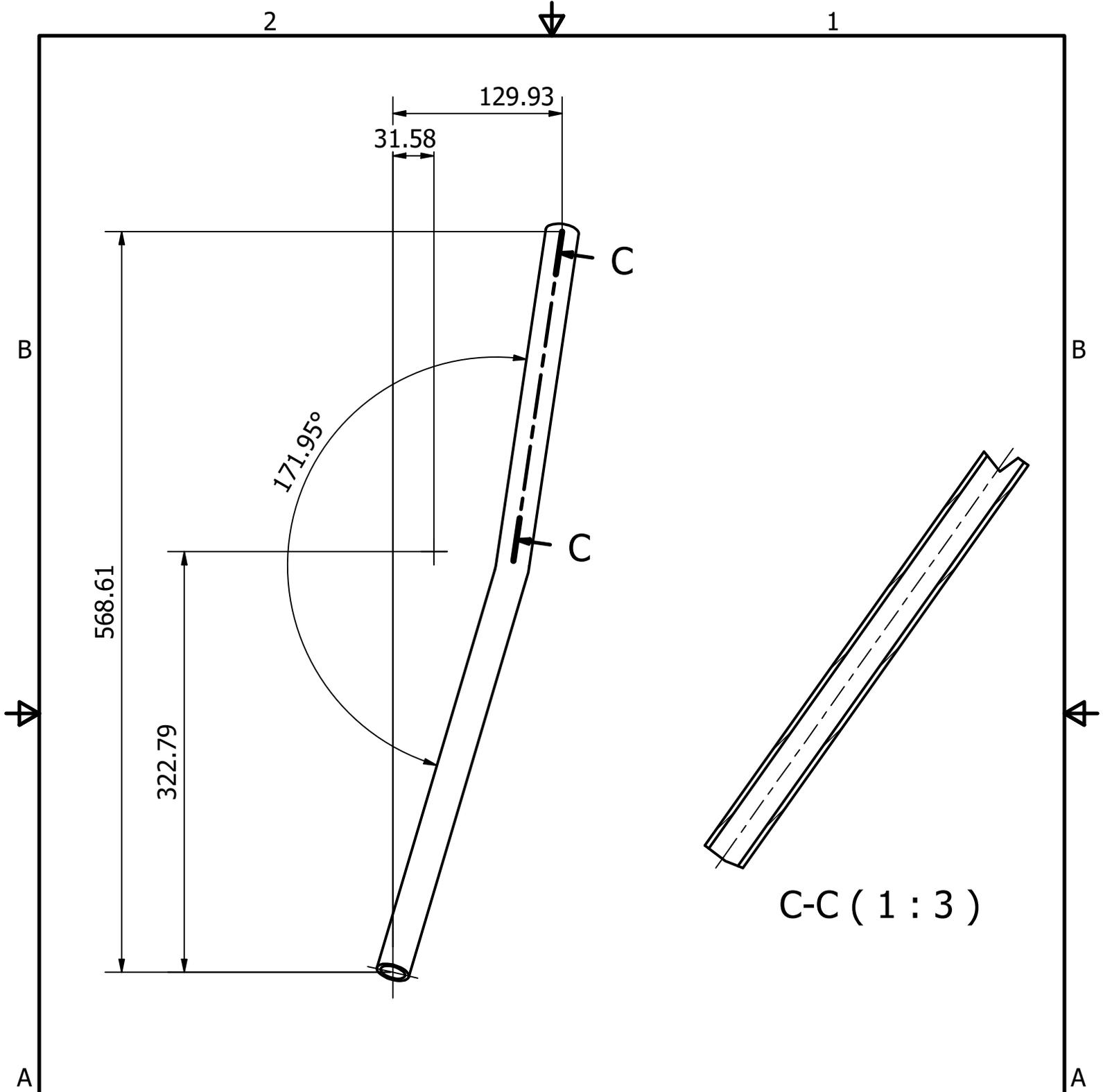


NOTA: Material primario (espesor = 3 mm)  
1 Pieza

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
RRH	Escala 1 : 9	Edición 1	Hoja 12/25	

2

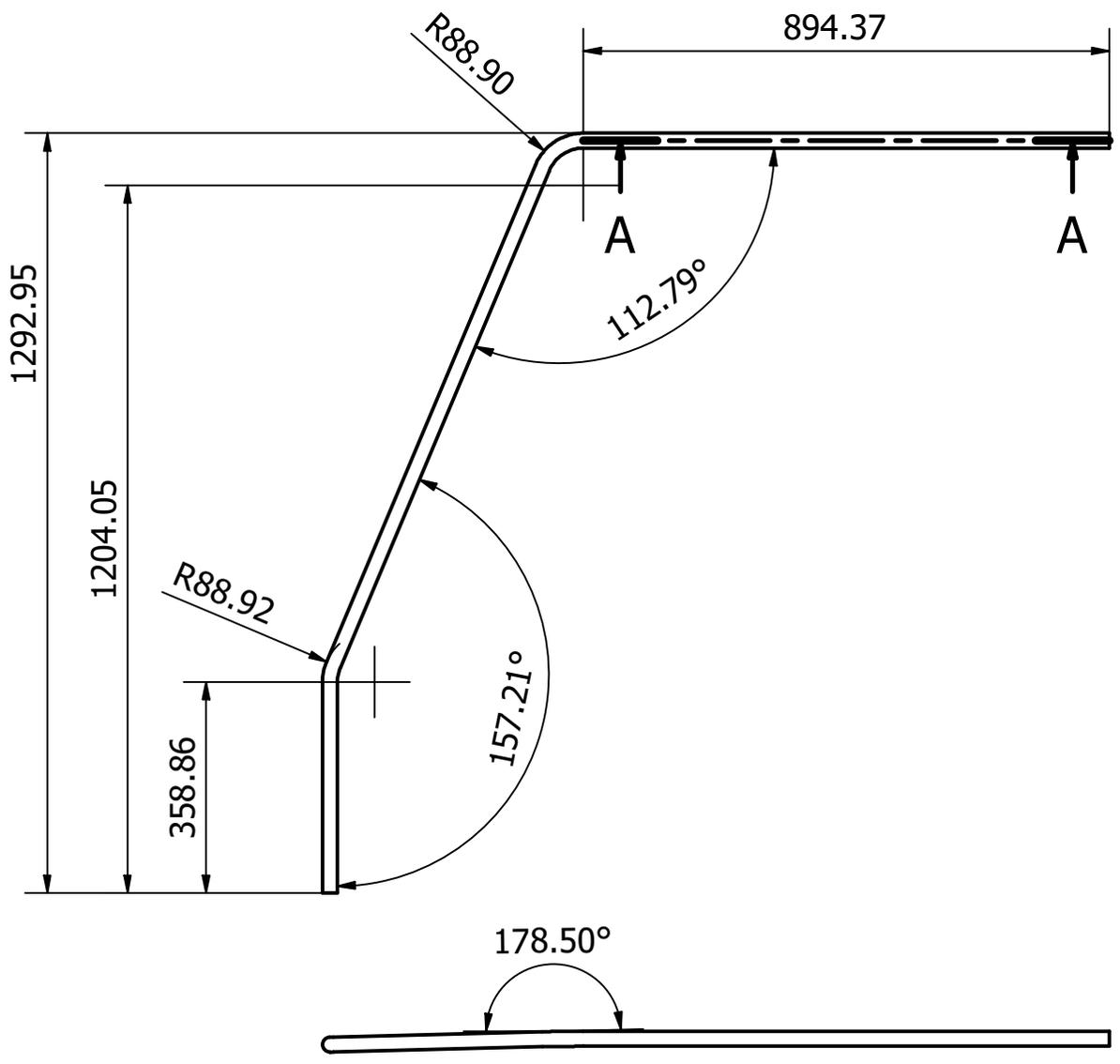
1



NOTA: Material primario (espesor = 3 mm)  
2 Piezas

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
		RRH-RHO	Escala 1 : 4	Edición 1 Hoja 13/25

A-A ( 1 : 5 )



NOTA: Material primario (espesor = 3 mm)

1 Pieza

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
		RHO righ	Escala 1 : 14	Edición 1 Hoja 14/25

2

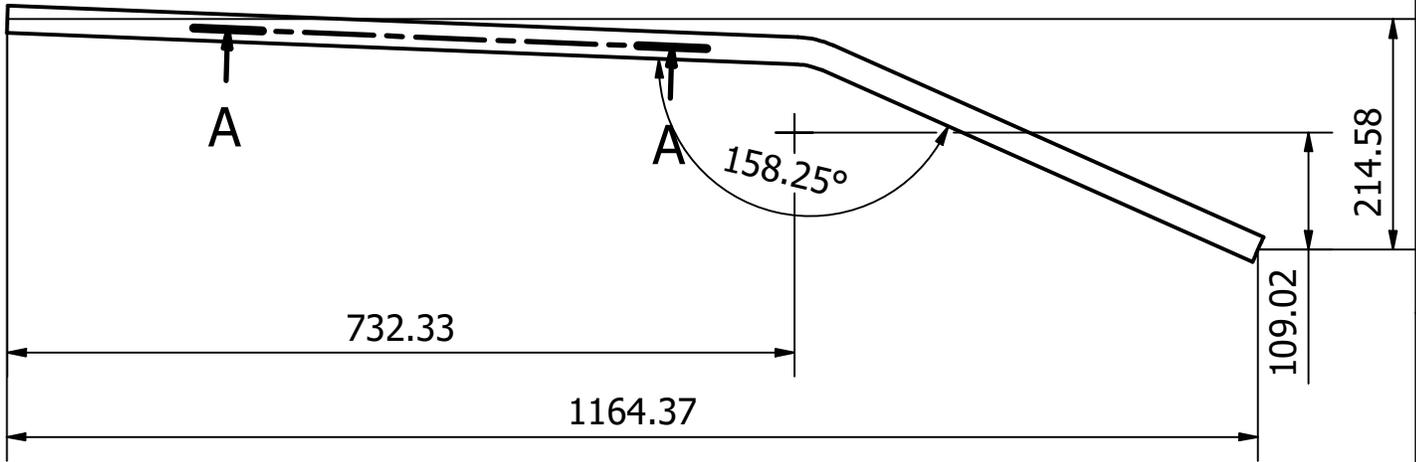
1

# A-A ( 1 : 5 )



B

B



NOTA: Material secundario (espesor = 1.651 mm)  
2 Piezas

A

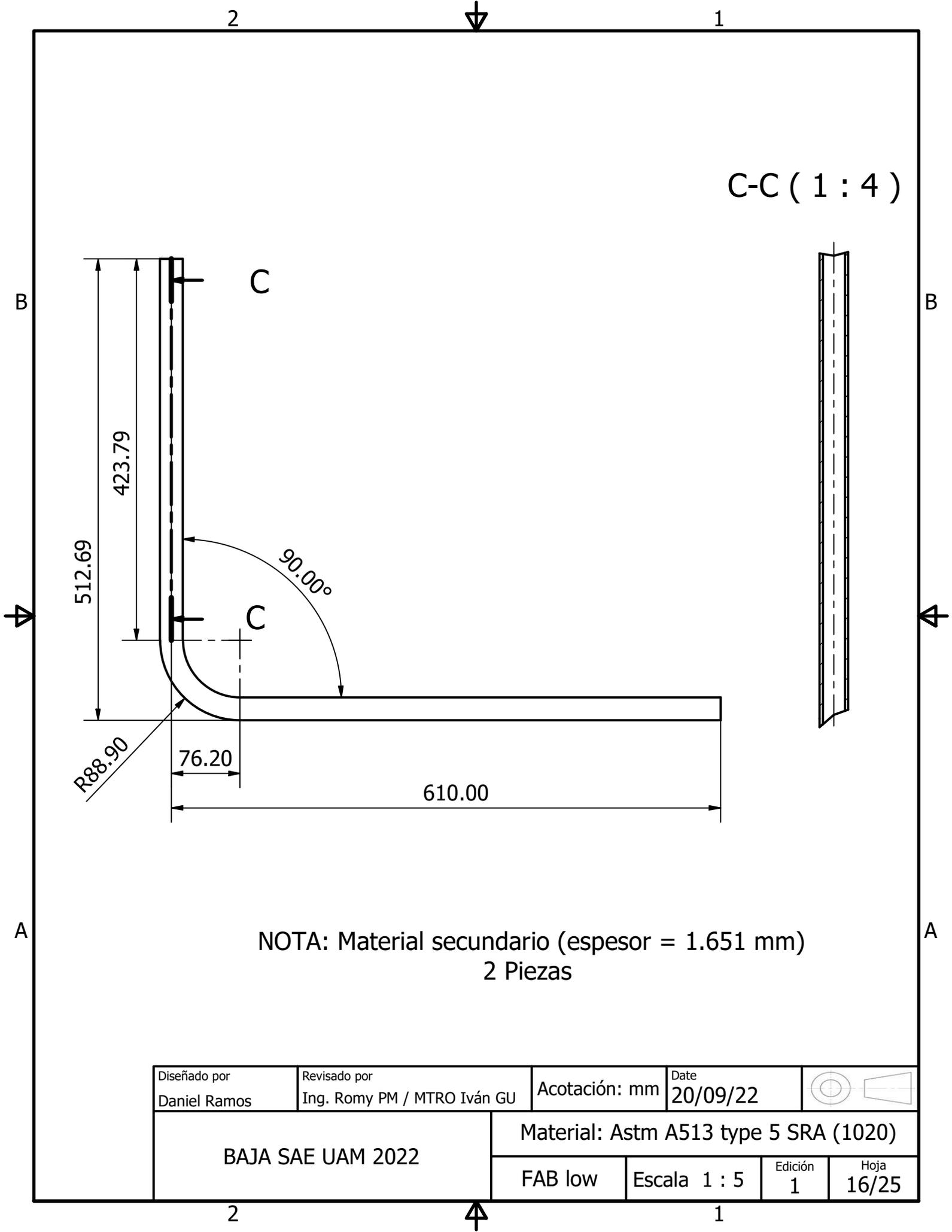
A

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
		SIM	Escala 1 : 7	Edición 1
				Hoja 15/25

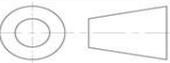
2

1





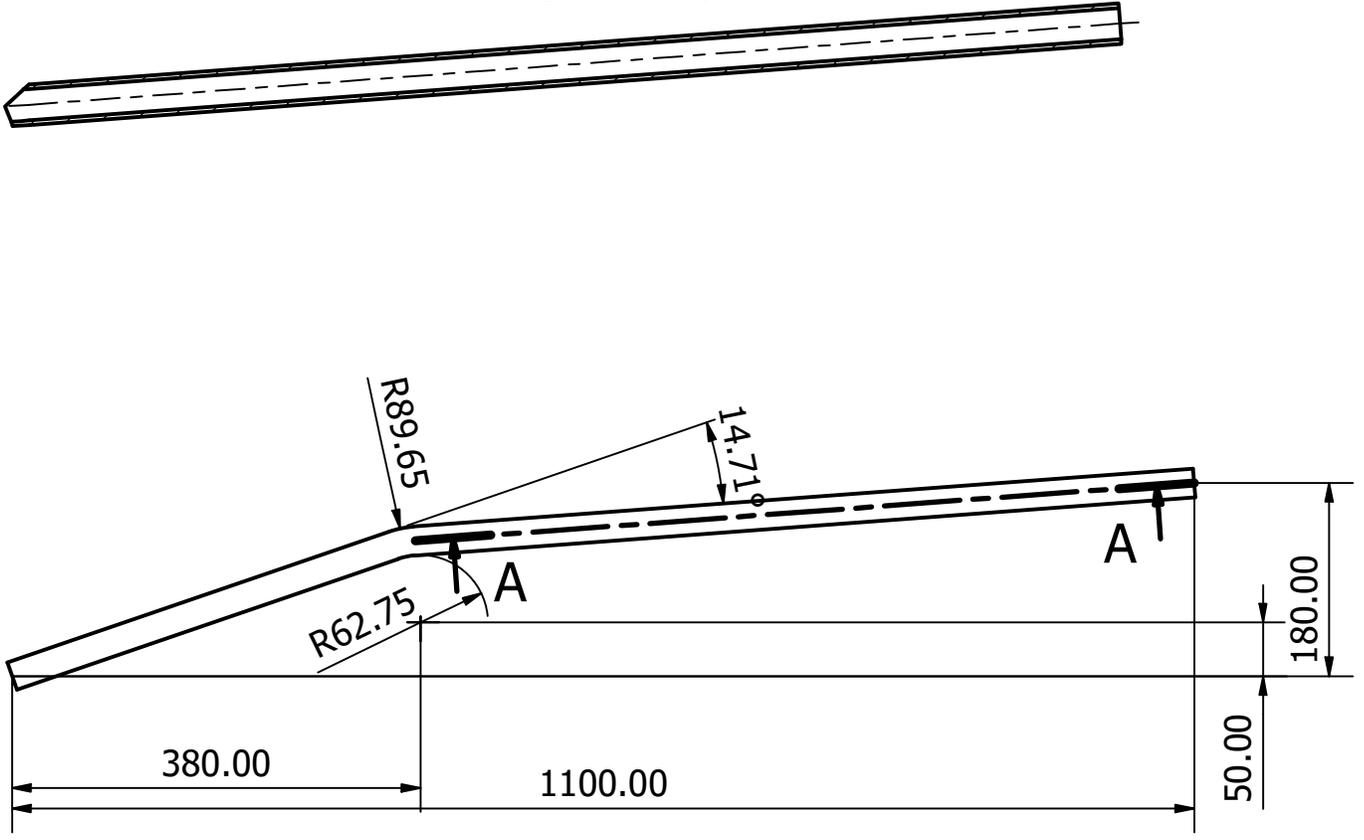
NOTA: Material secundario (espesor = 1.651 mm)  
2 Piezas

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
		FAB low	Escala 1 : 5	Edición 1
			Hoja 16/25	

2

1

### A-A ( 1 : 5 )



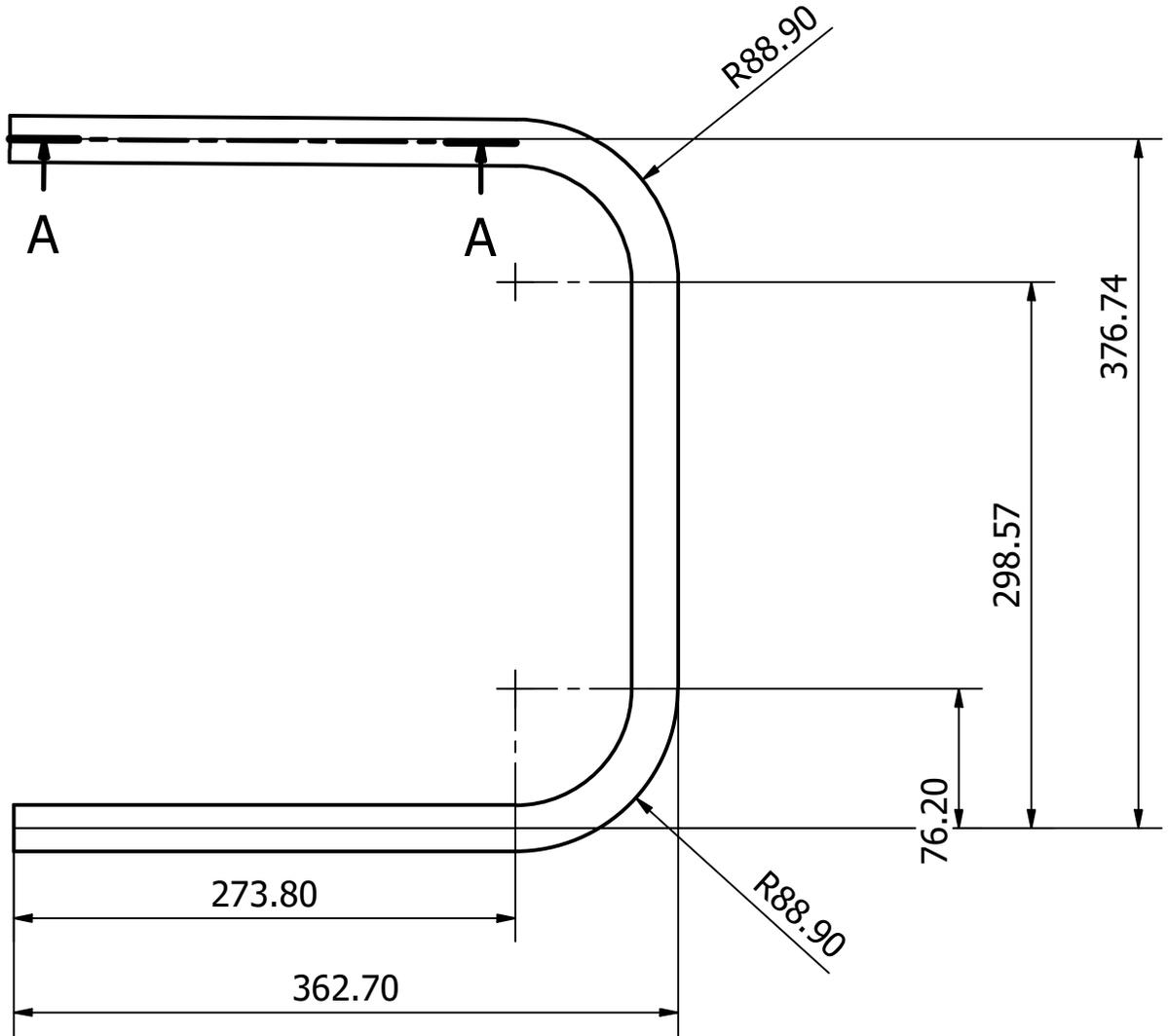
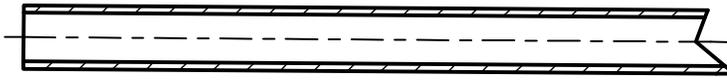
NOTA: Material primario (espesor = 3 mm)  
2 Piezas

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
		LFS	Escala 1 : 7	Edición 1 Hoja 17/25

2

1

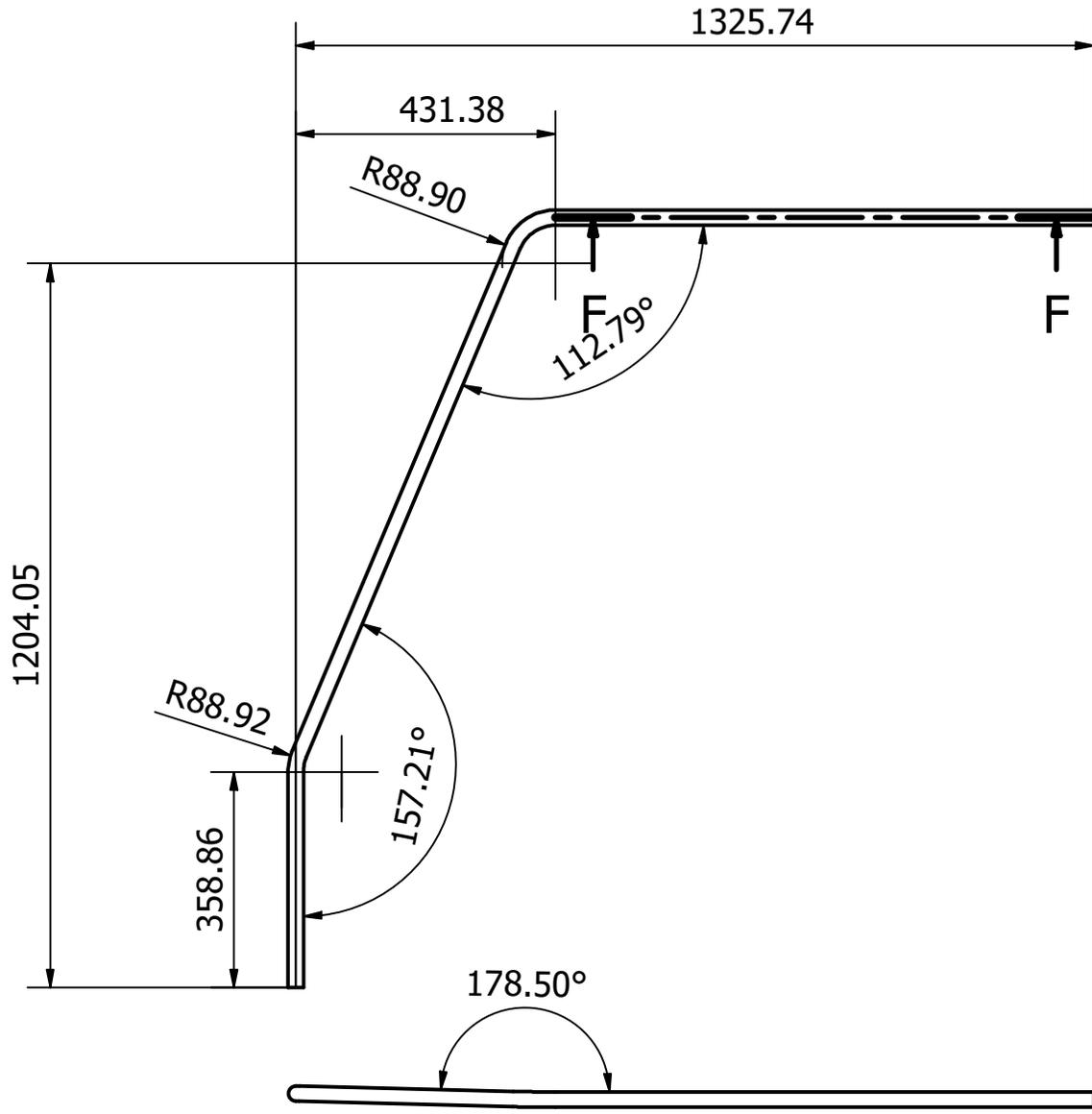
A-A ( 1 : 3 )



NOTA: Material primario (espesor = 3 mm)  
2 Piezas

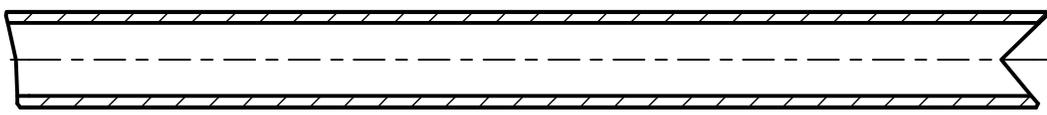
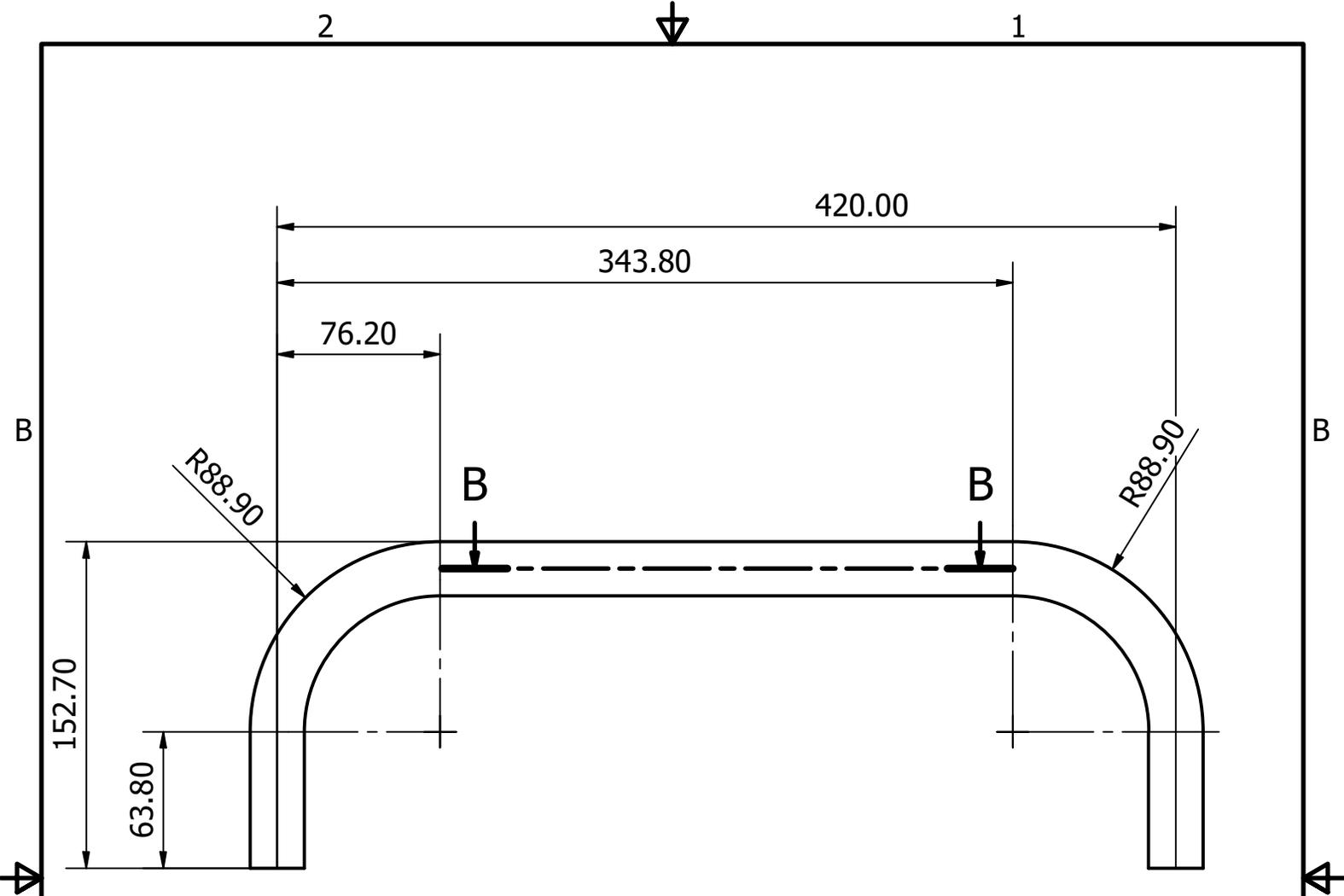
Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
		Nariz	Escala 1 : 4	Edición 1 Hoja 18/25

F-F ( 1 : 6 )



NOTA: Material primario (espesor = 3 mm)  
1 Pieza

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
RHO left	Escala 1 : 12	Edición 1	Hoja 19/25	



B-B ( 1 : 2 )

NOTA: Material primario (espesor = 3 mm)  
1 Pieza

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		Material: Astm A513 type 5 SRA (1020)		
		Remolque	Escala 1 : 3	Edición 1
			Hoja 20/25	

2



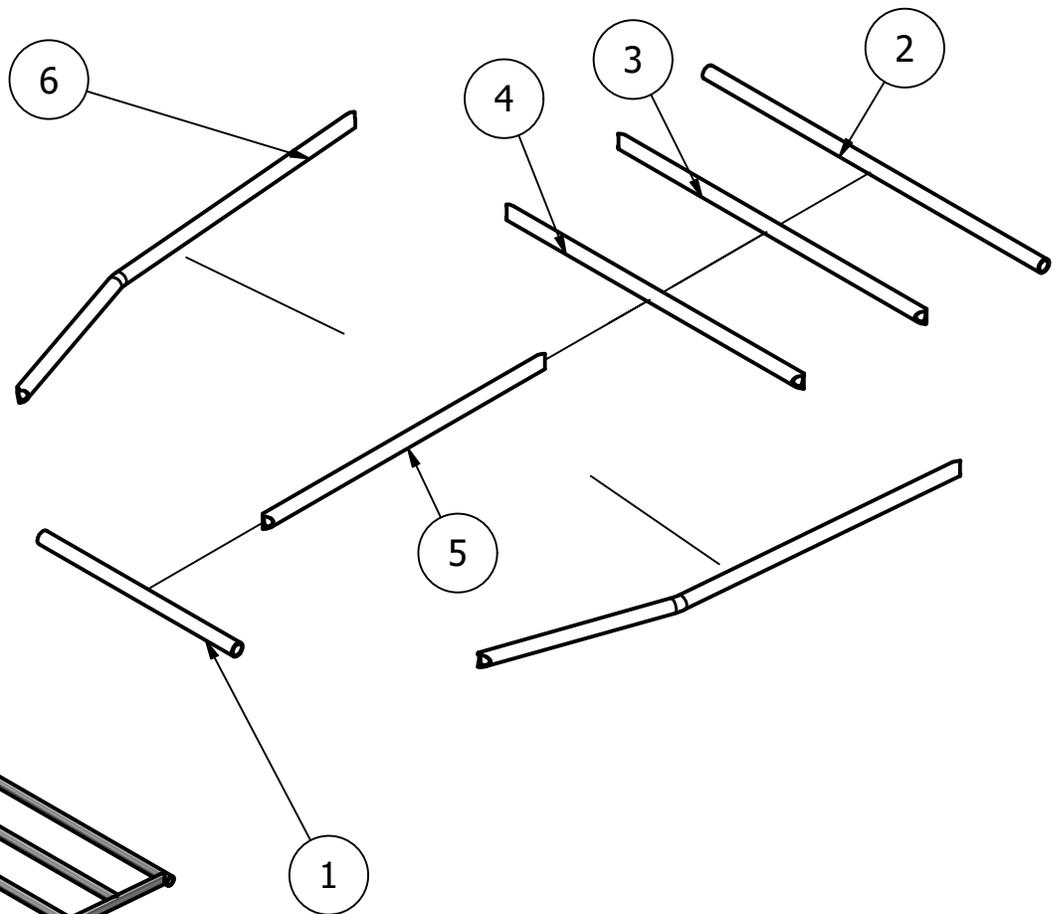
1

## LISTA DE PARTES

NUMERO	ELEMENTOS	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	FLC	material primario
2	1	ALC	material primario
3	1	USM 1	material secundario
4	1	USM 2	material secundario
5	1	USM 3	material secundario
6	2	LFS	material primario

B

B



A

A

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		EXPLOSIONADO DEL PISO		
		Escala 1 : 13	Edición 1	Hoja 21/25

2



1

2



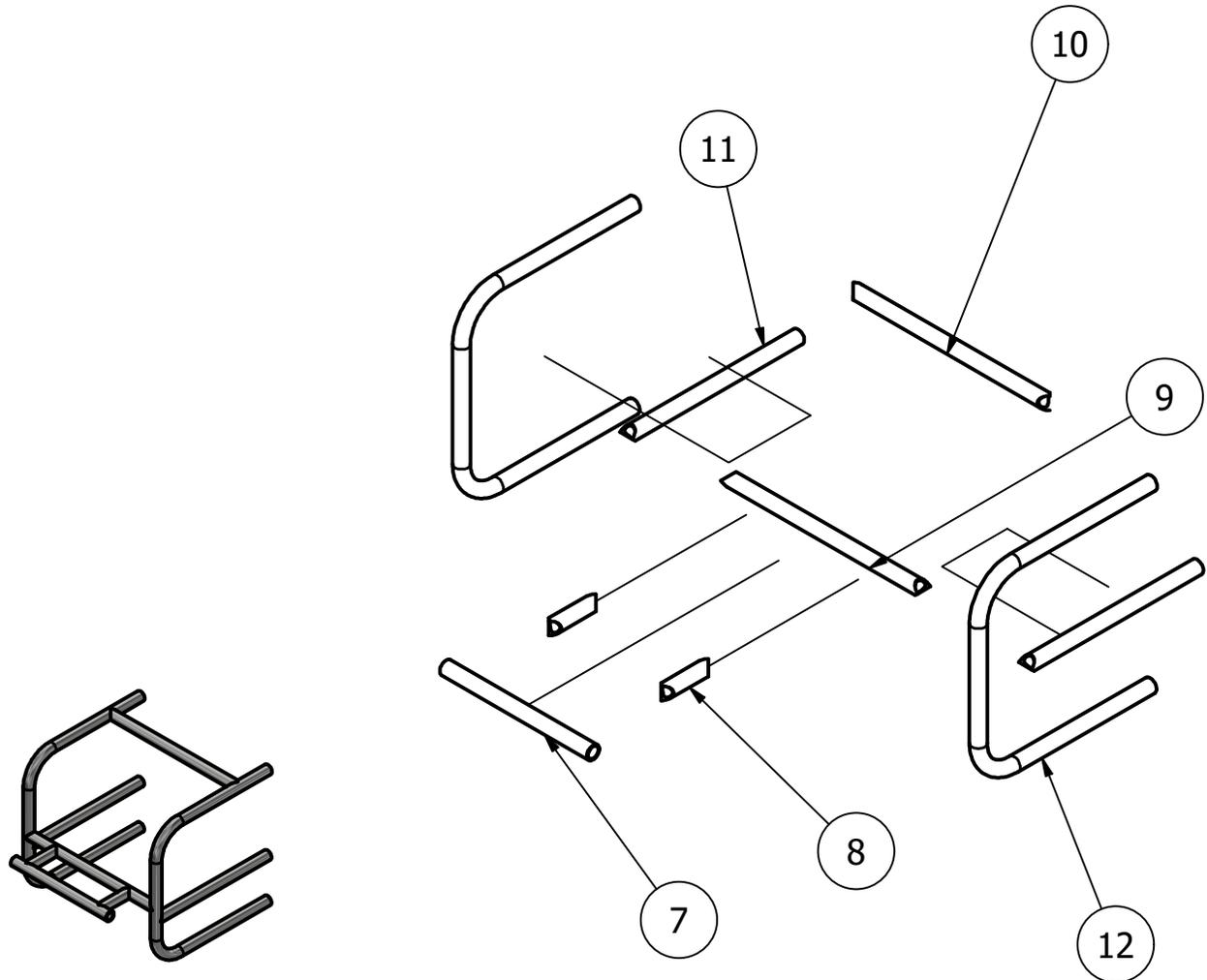
1

## LISTA DE PARTES

NUMERO	ELEMENTOS	NOMBRE	DESCRIPCION
7	1	Remolque 1	material primario
8	2	Remolque 2	material primario
9	1	ELC	material primario
10	1	GLC	material primario
11	2	Tubo de suspensión	material primario
12	2	Nariz	material primario

B

B



A

A

Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		EXPLOSIONADO DE LA NARIZ		
		Escala 1 : 11	Edición 1	Hoja 22/25

2



1

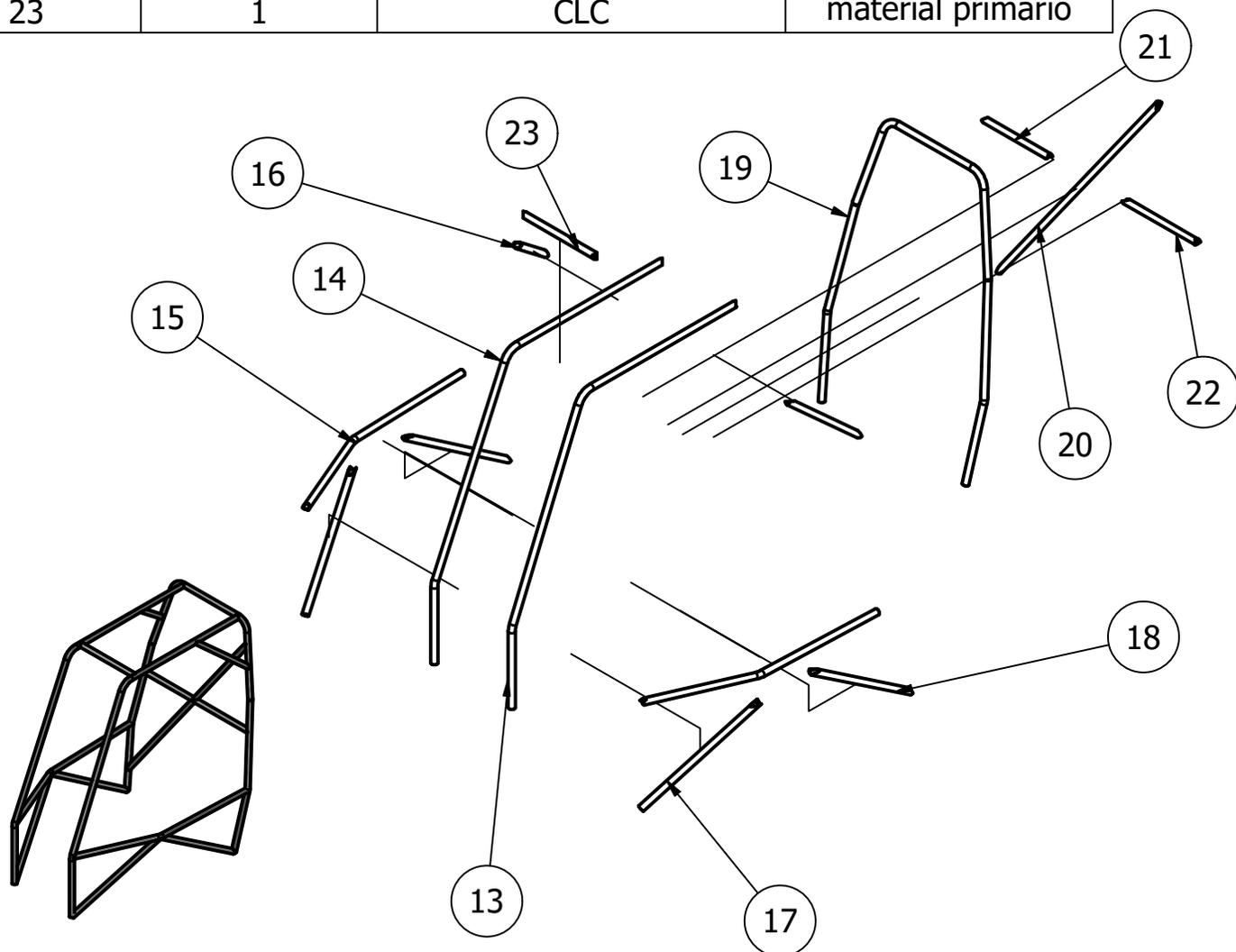
2



1

## LISTA DE PARTES

NUMERO	ELEMENTOS	NOMBRE	DESCRIPCION
13	1	RHO-FBM up right	material primario
14	1	RHO-FMB up left	material primario
15	2	SIM	material secundario
16	2	Refuerzo RHO-RHH	material primario
17	2	Refuerzo SIM-LFS (front)	material primario
18	2	Refuerzo SIM-LFS (back)	material primario
19	1	RRH	material primario
20	1	LDB	material secundario
21	1	Mounting belt 1	material secundario
22	1	Mounting belt 2	material secundario
23	1	CLC	material primario



Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
------------------------------	---	---------------	------------------	--

BAJA SAE UAM 2022

EXPLOSIONADO DE LA CABINA

Escala 1 : 26

Edición  
1Hoja  
23/25

2



1

2



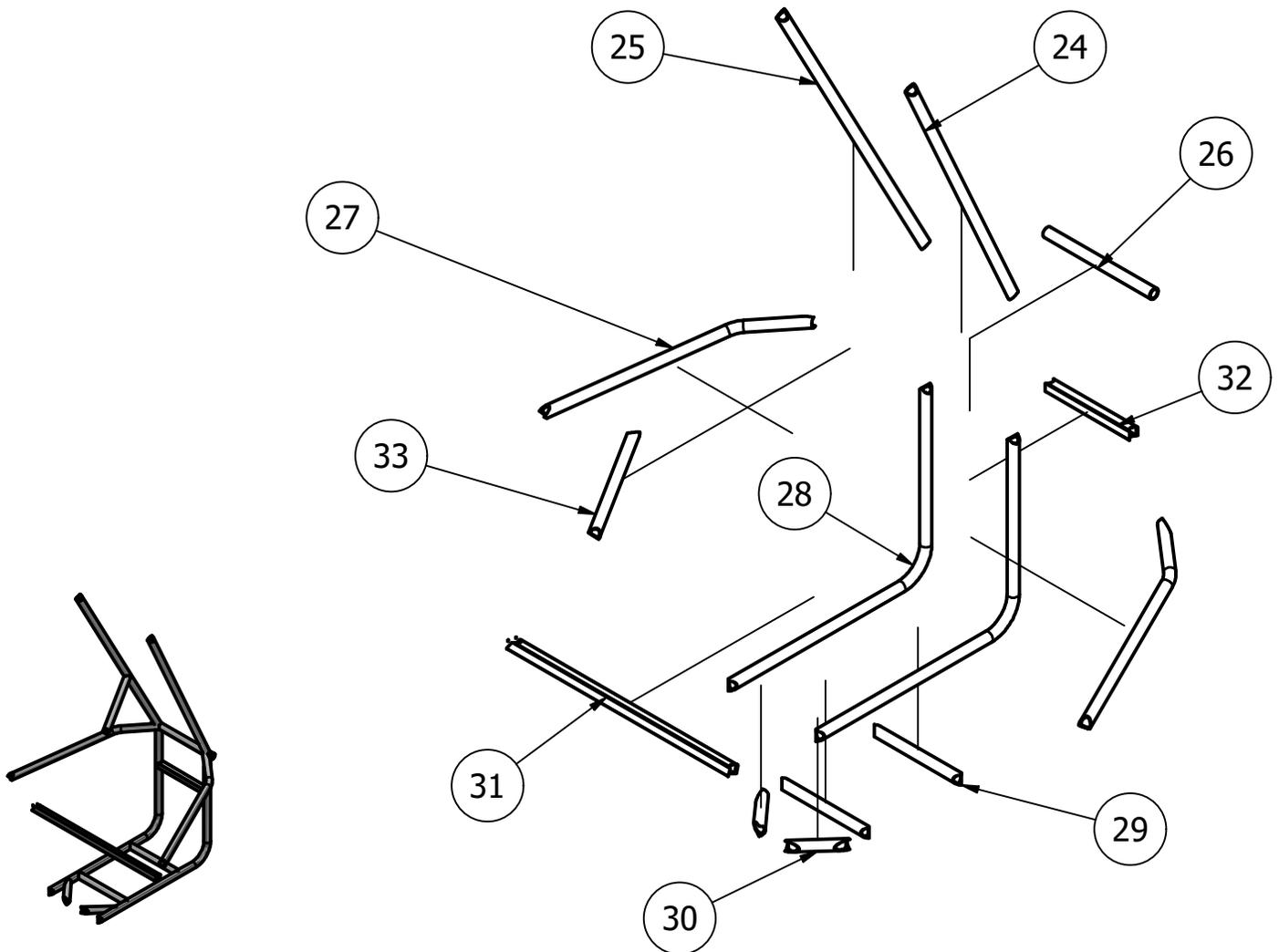
1

## LISTA DE PARTES

NUMERO	ELEMENTOS	NOMBRE	DESCRIPCION
24	1	FAB up right	material secundario
25	1	FAB up left	material secundario
26	1	RLC	material secundario
27	2	FAB mid	material secundario
28	2	FAB low	material secundario
29	2	Soporte de diferencial 1	material secundario
30	2	Soporte de diferencial 2	material secundario
31	1	Soporte de motor	PTR 1"
32	1	Soporte de motor	PTR 1"
33	1	Soporte de tanque	material secundario

B

B



A

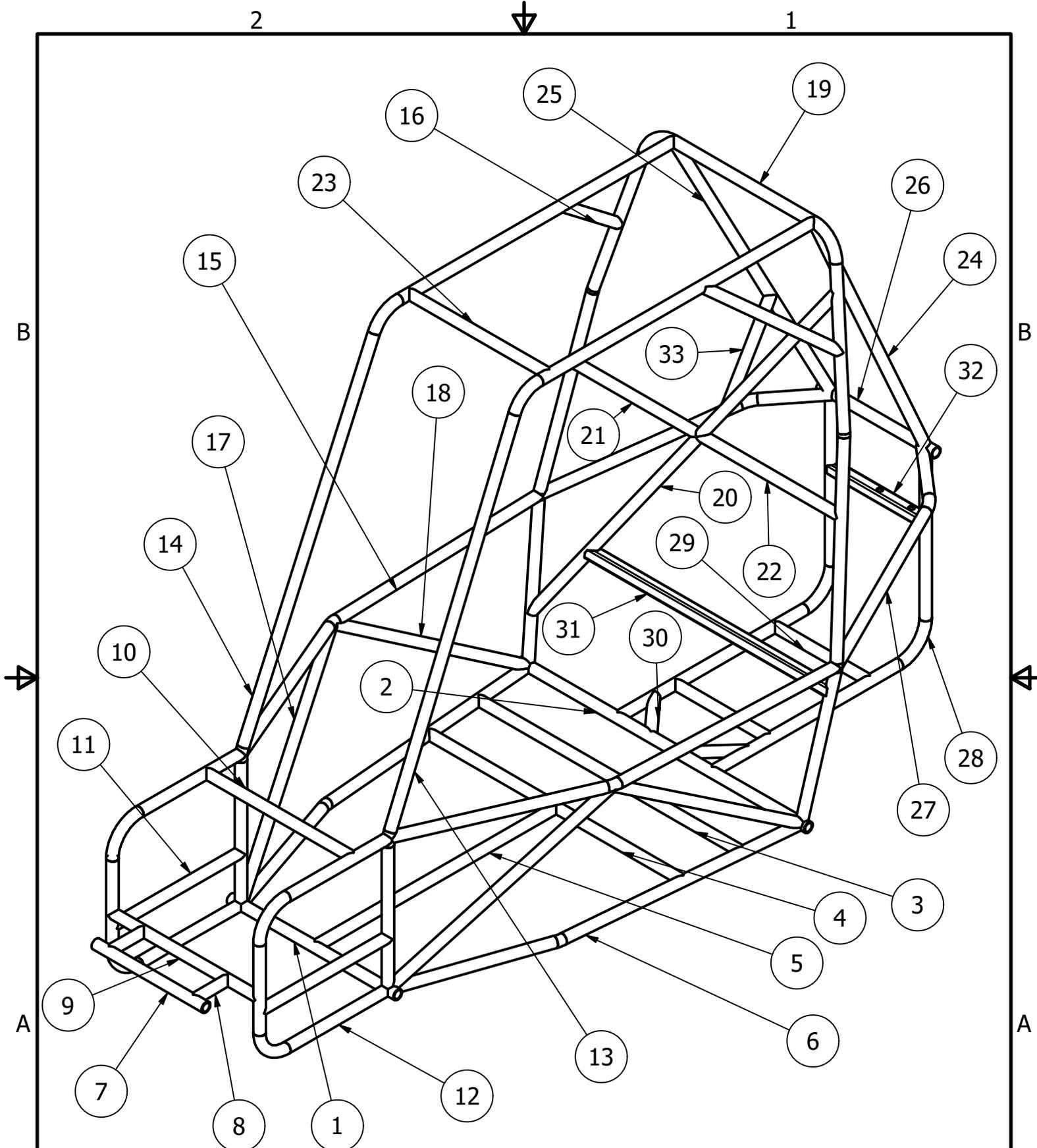
A

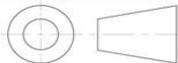
Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		EXPLOSIONADO ZONA TRASERA		
		Escala 1 : 15	Edición 1	Hoja 24/25

2



1



Diseñado por Daniel Ramos	Revisado por Ing. Romy PM / MTRO Iván GU	Acotación: mm	Date 20/09/22	
BAJA SAE UAM 2022		JAULA COMPLETAMENTE ENSAMBLADA		
		Escala 1 : 10	Edición 1	Hoja 25/25

2 1

Otorga la presente  
**Constancia**

a: **Alejandro Rodrigo De Jesús Pérez**

Por su destacada participación con el equipo Escuadrón UAM durante la competencia Baja SAE México 2022, la cual se realizó del 1 al 4 de diciembre de 2022 teniendo como sedes la Universidad UniverMilenium Plantel Ciencias de la Salud y la pista La Cabaña MX Park.

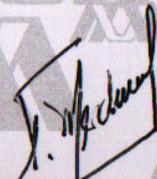
El Escuadrón UAM obtuvo el 1er lugar en la prueba Sled Pull y el 3er lugar en la prueba Mud Bath, ubicándose en el 11vo lugar general.

Ciudad de México, a 9 de diciembre de 2022.



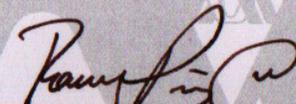
---

**Dr. Óscar Lozano Carrillo**  
Rector de la  
Unidad Azcapotzalco



---

**Dra. Teresa Merchand Hernández**  
Directora de la  
División de Ciencias Básicas e Ingeniería



---

**Ing. Romy Pérez Moreno**  
Faculty Advisor del  
Escuadrón UAM



Otorga la presente  
**Constancia**

a: **Daniel Ramos Crisóstomo**

Por su destacada participación con el equipo Escuadrón UAM durante la competencia Baja SAE México 2022, la cual se realizó del 1 al 4 de diciembre de 2022 teniendo como sedes la Universidad UniverMilenium Plantel Ciencias de la Salud y la pista La Cabaña MX Park.

El Escuadrón UAM obtuvo el 1er lugar en la prueba Sled Pull y el 3er lugar en la prueba Mud Bath, ubicándose en el 11vo lugar general.

Ciudad de México, a 9 de diciembre de 2022.

---

**Dr. Óscar Lozano Carrillo**  
Rector de la  
Unidad Azcapotzalco

---

**Dra. Teresa Merchand Hernández**  
Directora de la  
División de Ciencias Básicas e Ingeniería

---

**Ing. Romy Pérez Moreno**  
Faculty Advisor del  
Escuadrón UAM