



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



"POR MI PATRIA Y POR MI BIEN"

TESIS

**Diseño y simulación de columpio para terapias multisensoriales.**

Para obtener el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERIA MECÁNICA**

Presenta

**Ing. Sergio Andrés García Velasco**

**CVU N° 1194146 de CONAHCYT**

Director de Tesis

M.C. Javier Reséndiz Hidalgo

Co-Director de Tesis

M.C. Marcela Castillo Juárez

Ciudad Madero, Tamaulipas, México

Junio 2024

Ciudad Madero, Tamaulipas, **08/mayo/2024**

**OFICIO No.:** U.059/2024  
**ASUNTO:** Autorización de impresión de tesis

**C. SERGIO ANDRÉS GARCÍA VELASCO**  
**No. DE CONTROL G12070854**  
**P R E S E N T E**

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su Examen de Grado de Maestría en Ingeniería Mecánica, se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE COLUMPIO PARA TERAPIAS MULTISENSORIALES”**

El Jurado está integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE:	MTRO. JAVIER RESENDIZ HIDALGO
SECRETARIA:	MTRA. MARCELA CASTILLO JUÁREZ
VOCAL:	MTRO. RICARDO LÓPEZ DE LARA GONZÁLEZ
SUPLENTE:	MTRO. MACARIO LÓPEZ MEZA
DIRECTOR DE TESIS:	MTRO. JAVIER RESENDIZ HIDALGO
CO-DIRECTORA:	MTRA. MARCELA CASTILLO JUÁREZ

Es muy satisfactorio para la División de Estudios de Posgrado e Investigación compartir con usted el logro de esta meta. Espero que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica®*

*“Por mi patria y por mi bien”®*



**MARCO ANTONIO CORONEL GARCÍA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p.- Archivo

MACG



Av. 1º de Mayo y Sor Juana I. de la Cruz S/N Col. Los Mangos C.P. 89440 Cd. Madero, Tam.  
Tel. 01 (833) 357 48 20, ext. 3110, e-mail: [depi\\_cdmadero@tecnm.mx](mailto:depi_cdmadero@tecnm.mx)  
[tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [cdmadero.tecnm.mx](http://cdmadero.tecnm.mx)



## DEDICATORIAS

## **AGRADECIMIENTOS**

*A dios, por este sendero que estoy recorriendo.*

*A mis padres, por su apoyo y consejo.*

*A mi esposa, por su paciencia y apoyo incondicional.*

*A mis hijos, por su amor incondicional.*

*Al ITCM, por permitir la continuidad en el programa de posgrado.*

*A mis maestros, M.C. Eduardo Gallegos Silva, M.C. Macario López Meza, Dr. Juan Pablo León, M.C. Javier Reséndiz Hidalgo, M.C. Ricardo López de Lara González y a la M.C. Marcela Castillo Juárez, por su consejo y guía para la culminación de este proyecto.*

## RESUMEN

La tesis siguiente es un trabajo de investigación, donde se buscó resolver un problema en la sociedad. Por lo que se diseñó y simulo un columpio para terapias multisensoriales para el uso de niños en el Centro de Atención Múltiple Tzehuali, donde no cuentan con el equipo necesario para dichas terapias.

Por ser usado con niños que presentan discapacidades, debe ser seguro para ellos y terceras personas, por lo tanto, se diseñó con materiales ligeros como polímeros (ABS, Polipropileno) y aleación no ferrosa (AA3003-H12). Donde el marco que resiste los esfuerzos principales se diseñó con perfil cuadrado (40x40x4 y 20x20x2.6) de aleación de aluminio 3003-H12, mientras que los complementos como la base del asiento y las carcasas se usó ABS por sus buenas propiedades mecánicas, mientras que para el asiento se usó polipropileno en este caso igual presenta buenas propiedades mecánicas y es un termoplástico que comúnmente es usado para asientos de todo tipo. Para que los elementos tengan una fácil instalación todos van atornillados con tornillo tipo allen M6 de acero 1020, esto para que si presentan daños o fracturas puedan ser reemplazados y no se dañen otras estructuras.

El desarrollo de este trabajo consta de las siguientes secciones: **Introducción**; Donde se presentará el objetivo de proyecto, la problemática a resolver y el desarrollo seguido. **Antecedentes**; Donde se describirán conceptos y definiciones necesarias para la comprensión de los temas de interés y trabajos relacionados. **Metodología**; Esta es la sección donde presentamos los pasos seguidos para el desarrollo de la tesis. **Modelo analítico, diseño y simulación**; Aquí se presentarán los modelos CAD y análisis CAE pertinentes hasta a ver alcanzado un resultado adecuado, y presentar el modelo final. **Resultados**; En esta sección se hablará de los resultados obtenidos de los análisis CAE presentados anteriormente. **Conclusiones**; Al final se presentan las conclusiones sobre lo establecido por esta tesis, las recomendaciones que se deben realizar y trabajos a futuro para continuar con este proyecto y tener innovaciones respecto a esté.

## **ABSTRACT**

The following thesis is a research work, which sought to solve a problem in society. Therefore, a swing for multisensory therapies was designed and simulated for the use of children at the Tzehuali Multiple Care Center, where they do not have the necessary equipment for such therapies.

Because it is used with children who have disabilities, it must be safe for them and third parties, therefore, it was designed with light materials such as polymers (ABS, Polypropylene) and non-ferrous alloy (AA3003-H12). Where the frame that resists the main forces was designed with a square profile (40x40x4 and 20x20x2.6) made of 3003-H12 aluminum alloy, while the accessories such as the seat base and the shells were used ABS for its good mechanical properties, while Polypropylene was used for the seat, in this case it still has good mechanical properties and is a thermoplastic that is commonly used for seats of all types. So that the elements have easy installation, they are all screwed with an M6 allen screw made of 1020 steel, so that if they present damage or fractures they can be replaced and other structures are not damaged.

The development of this work consists of the following sections: Introduction; Where the project objective, the problem to be solved and the development followed will be presented. Background; Where concepts and definitions necessary for understanding the topics of interest and related works will be described. Methodology; This is the section where we present the steps followed to develop the thesis. Analytical model, design and simulation; Here the relevant CAD models and CAE analysis will be presented until an adequate result is achieved, and the final model will be presented. Results; This section will discuss the results obtained from the CAE analyzes presented previously. Conclusions; At the end, the conclusions are presented on what is established by this thesis, the recommendations that must be made and future work to continue with this project and have innovations regarding it.

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Discapacidad.....</b>	<b>3</b>
2.1.1. Historia de personas con discapacidades.....	5
2.1.2. Conceptos generales.....	7
2.1.3. Equipos para terapias .....	9
2.1.4. Metodologías multisensoriales.....	10
<b>2.2. Diseño .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1. Introducción .....</b>	<b>19</b>
2.2.2. Diseño Mecánico.....	20
2.2.3. Herramientas computacionales .....	21
2.2.4. Diseño de elementos de máquinas .....	29
2.2.5. Seguridad en el diseño mecánico .....	29
2.2.6. Predicción de fallas .....	31
2.2.7. Diseño Óptimo .....	32
<b>CAPITULO 3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1. Metodología .....</b>	<b>35</b>
3.1.1. Requerimientos y especificaciones.....	37
3.1.2. Diseño inicial .....	47
<b>CAPITULO 4. MODELO ANALITICO, DISEÑO Y SU SIMULACIÓN.....</b>	<b>49</b>
4.1. Esqueleto .....	49
4.2. Carcasa.....	99
4.3. Asiento.....	106
4.4 Soporte para Asiento. ....	115
<b>CAPITULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>124</b>
5.1. Resultados del análisis estático.....	124
<b>CAPITULO 6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.</b>	
<b>.....</b>	<b>130</b>

6.1. Conclusiones.....	130
6.2. Recomendaciones.....	130
6.3. Trabajos futuros .....	131
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>A</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>A</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>D</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Personas discapacitadas en tiempos antiguos.....	5
Figura 2.2 Personas discapacitadas en manicomiales.....	6
Figura 2.3 Personas discapacitadas reconocidas como héroes.....	7
Figura 2.4 Ejemplo de tecnología de apoyo (silla de ruedas).....	9
Figura 2.5 Estimulación Propioceptivas.....	11
Figura 2.6 Estimulación visual.....	12
Figura 2.7 Estimulación Auditiva.....	12
Figura 2.8 Estimulación háptica.....	13
Figura 2.9 Estimulación olfativa-gustativa.....	13
Figura 2.10 Estimulación vestibular.....	14
Figura 2.11 Sala blanca para estimulación multisensorial.....	16
Figura 2.12 Sala oscura para estimulación multisensorial.....	17
Figura 2.13 Sala activa para estimulación multisensorial.....	17
Figura 2.14 Fases del proceso de diseño.....	20
Figura 2.15 Representación CAD, CAE, CAM.....	21
Figura 2.16 Dibujo en programa CAD.....	22
Figura 2.17 Sólido discretizado por MEF.....	23
Figura 2.18 Modelo de proceso CAM.....	25
Figura 2.19 Modelo sencillo de 4 etapas del proceso de diseño.....	26
Figura 2.20 Modelo de French del proceso de diseño.....	27
Figura 2.21 Metodología del proceso de diseño óptimo.....	33
Figura 3.1 Metodología del proceso de diseño óptimo.....	35
Figura 3.2 Método de diseño por Nigel Cross.....	36
Figura 3.3 Pasos para definir el problema.....	36
Figura 3.4 Árbol de objetivos.....	38
Figura 3.5 Casa de la calidad.....	40
Figura 3.6 Asiento portabebés.....	46
Figura 3. 7 Asiento orientado hacia adelante con arnés.....	46
Figura 3.8 Asiento elevador.....	47

Figura 3. 9 Modelo CAD del diseño inicial (esqueleto).....	47
Figura 4.1 Medidas de Esqueleto.....	50
Figura 4.2 Condiciones de frontera. Sujeción- Punto fijo (geometría fija) y carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	51
Figura 4.3 Dimensiones del Esqueleto 2.....	54
Figura 4.4 Condiciones de frontera. Sujeción- Punto fijo (geometría fija) y Carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	55
Figura 4.5 Dimensiones de Esqueleto 3.....	59
Figura 4.6 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	60
Figura 4.7 Dimensiones de Esqueleto 3-2.....	64
Figura 4. 8 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	65
Figura 4.9 Dimensiones de Esqueleto 3-3.....	69
Figura 4. 10 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	70
Figura 4.11 Dimensiones del Esqueleto 4-1.....	74
Figura 4. 12 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	75
Figura 4.13 Dimensiones del Esqueleto 4-2.....	79
Figura 4. 14 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	80
Figura 4.15 Dimensiones de Esqueleto 4-3.....	84
Figura 4.16 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	85
Figura 4.17 Dimensiones del Esqueleto 5.....	90
Figura 4.18 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	90
Figura 4.19 Dimensiones de Esqueleto 6.....	95

Figura 4.20 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.....	95
Figura 4.21 Dimensiones de Carcasa. ....	100
Figura 4.22 Dimensiones de Carcasa 2. ....	101
Figura 4.23 Dimensiones de Lateral 1.....	102
Figura 4.24 Dimensiones de Lateral 2.....	102
Figura 4.25 Dimensiones de Lateral 3.....	103
Figura 4.26 Dimensiones de Base. ....	104
Figura 4.27 Dimensiones de Trasera-1. ....	104
Figura 4.28 Dimensiones de Trasera-2. ....	105
Figura 4.29 Dimensiones de Trasera-3. ....	106
Figura 4.30 Diseño del asiento con vista frontal y trasera. ....	108
Figura 4.31 Condiciones de frontera. Sujeción: punto fijo (geometría fija), Carga aplicada: Presión de 1500 N/mm <sup>2</sup> . Usando mallado basada en curvatura. ....	108
Figura 4.32 diseño de Asiento- conf. 2. ....	112
Figura 4.33 Condiciones de Frontera. Sujeción: punto fijo (geometría fija), Carga: carga distribuida de 1500 N/m <sup>2</sup> , usando mallado basado en curvatura. ....	112
Figura 4.34 Condiciones de frontera. Carga aplicada: 1524.5 N/m <sup>2</sup> , Fijaciones: Punto fijo, Mallado: basado en curvatura. ....	115
Figura 4.35 Vista ortogonales del ala agregada al soporte del asiento. a) Vista isométrica, b) vista posterior, c) vista planta, d) vista lateral.....	119
Figura 5.1 Esqueleto 6 resultados del esfuerzo de Von Mises. a) vista posterior, b) vista lateral, c) vista planta, d) vista isométrica. ....	124
Figura 5.2 Áreas del esfuerzo en el marco.....	124
Figura 5.3 Esqueleto 6 resultados de los desplazamientos. a) vista posterior, b) vista lateral, c) vista planta (sección), d) vista isométrica. ....	125
Figura 5.4 Resultados de análisis estático del soporte del asiento, a) esfuerzo de Von Mises, b) deformación unitaria, c) deformación, d) factor de seguridad. ....	126
Figura 5. 5 Vista de sección del soporte del asiento. visualización del comportamiento de los desplazamientos.....	127

Figura 5. 6 Resultados de análisis estático del asiento. a) esfuerzo de Von Mises, b) deformación unitaria, c) deformación, d) factor de seguridad..... 127

Figura 5.7 Vista de sección del asiento. Visualización del comportamiento de los desplazamientos. .... 128

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Características de la pregunta 2.....	37
Tabla 3.2 Fijación de requerimientos.....	39
Tabla 3.3 Importancia porcentual para el consumidor. ....	40
Tabla 3.4 Importancia porcentual de requerimientos funcionales.....	41
Tabla 3.5 Diagrama morfológico.....	43
Tabla 3.6 Aplicaciones típicas de aleaciones de aluminio seleccionadas.....	44
Tabla 3.7 Propiedades mecánicas de diversos materiales a T ambiente. ....	45
Tabla 3.8 Propiedades mecánicas de diversos materiales. ....	45
Tabla 4.1 Características del Esqueleto. ....	49
Tabla 4.2 Resultados Análisis estático - Esqueleto. ....	51
Tabla 4.3 Características del Esqueleto 2. ....	54
Tabla 4.4 Resultados Análisis estático- Esqueleto 2. ....	55
Tabla 4.5 Características del Esqueleto 3. ....	58
Tabla 4.6 Resultados Análisis estático- Esqueleto 3. ....	60
Tabla 4. 7 Características del Esqueleto 3-2. ....	63
Tabla 4.8 Resultados Análisis estático - Esqueleto 3-2. ....	65
Tabla 4.9 Características del Esqueleto 3-3. ....	68
Tabla 4.10 Resultados Análisis estático - Esqueleto 3-3. ....	70
Tabla 4.11 Características del Esqueleto 4-1. ....	74
Tabla 4.12 Resultados Análisis estático - Esqueleto 4-1. ....	75
Tabla 4.13 Características del Esqueleto 4-2. ....	78
Tabla 4.14 Resultados Análisis estático - Esqueleto 4-2. ....	80
Tabla 4.15 Características del Esqueleto 4-3. ....	83
Tabla 4.16 Resultados Análisis estático - Esqueleto 4-3. ....	85
Tabla 4.17 Características del Esqueleto 5. ....	89
Tabla 4.18 Resultados Análisis estático - Esqueleto 5. ....	91
Tabla 4.19 Características del Esqueleto 6. ....	94
Tabla 4.20 Resultados Análisis estático - Esqueleto 6. ....	96

Tabla 4.21 Características de Carcasa.....	99
Tabla 4.22 Características de Carcasa 2.....	100
Tabla 4.23 Características del Lateral 1. ....	101
Tabla 4.24 Características del Lateral 2. ....	102
Tabla 4.25 Características del Lateral 3. ....	103
Tabla 4.26 Características de Base.....	103
Tabla 4.27 Características de Trasera-1.....	104
Tabla 4.28 Características de Trasera-2.....	105
Tabla 4.29 Características de Trasera-3.....	105
Tabla 4.30 Total del peso en las piezas individuales. ....	106
Tabla 4.31 Características del Asiento.....	107
Tabla 4.32 Resultados Análisis estático- Asiento.....	108
Tabla 4.33 Características del Asiento- conf. 2.....	111
Tabla 4.34 Resultados Análisis estático - Asiento- conf. 2.....	112
Tabla 4.35 Características de Soporte de Asiento.....	116
Tabla 4.36 Resultados Análisis estático- Soporte de Asiento. ....	116
Tabla 4.37 Características de ala agregada al soporte de asiento. ....	119
Tabla 4.38 Resultados Análisis estático - Soporte de Asiento. ....	120
Tabla 5.1 Masa total de los elementos principales. ....	128
Tabla 5.2 Masa total de los elementos secundarios. ....	129

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Atención Múltiple Tzehuali es un centro especializado en terapias a niños que presentan discapacidades, por ello cuentan con los espacios necesarios para realizar diferentes tipos de terapias. En donde un área designada para las terapias corresponde a estimulación multisensorial, aquí es donde se presenta esta área de oportunidad para poder atribuir a la sociedad y resolver un problema en específico.

Se presentará la propuesta de un diseño de un columpio para terapias multisensoriales, con el objetivo de diseñar y simularlo, con sus accesorios para asegurar la integridad física durante las terapias de las personas con discapacidad. Donde específicamente se busca cumplir con un diseño que soporte hasta 150 kg de peso, evitando que falle por los esfuerzos aplicados y diseñar los accesorios que aseguren la seguridad del usuario.

Siguiendo una metodología adaptada a este tipo de diseño, donde por parte del área de interés- el plantel CAM Tzehuali o cliente- nos proporcionaban poca información con respecto a la forma, funciones, características y requerimientos esperados, se realizan varios métodos de diseño para definirlos de manera clara y concisa, y poder modelar a un modelo CAD.

Primero veremos los antecedentes de los temas involucrados en este trabajo, como *discapacidad*, *terapia*, *tipos de terapia*, etc. Ya definidos estos conceptos pasaremos a ver conceptos de *diseño* y *simulación* para entender cómo se realizarán los análisis con los cuales obtendremos los resultados y que interpretaremos.

Posteriormente, se utilizarán las herramientas computacionales necesarias para este proceso de diseño y simulación, específicamente softwares CAD y CAE, para modelar y analizar adecuadamente el prototipo. Además, se usarán criterios de falla para determinar si el prototipo es adecuado.

El prototipo se evaluará en base al criterio de energía de deformación (ED), donde los componentes son el esfuerzo de Von mises, el factor de seguridad y la

resistencia de fluencia del material, de donde se deducirá el factor de seguridad y comprobar que es adecuado el prototipo.

Por último, veremos las conclusiones a las que se llegó tras analizar los resultados presentados de los análisis



## CAPITULO 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Discapacidad

Las personas con discapacidad son aquellas que tienen deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, en interacción con diversas barreras, pueden obstaculizar su participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones con los demás.

Según la Organización Mundial de Salud (OMS), la discapacidad está calculada en más de mil millones de personas, esto corresponde al 15% de personas en el mundo (Organización Mundial de la Salud, 2021). La discapacidad plantea problemas de derechos humanos porque las personas afectadas ven que sus derechos no se cumplen de múltiples formas, en particular siendo víctimas de discriminación.

En el artículo 25 de la **Convención sobre los derechos de las personas con Discapacidad** (Comisión Nacional de los Derechos Humanos, 2020), se establece que *las personas con discapacidad tienen derecho a gozar el más alto nivel posible de salud sin discriminación*. La realidad, es que pocos países presentan servicios de calidad suficientes a las personas con discapacidad.

Hay barreras que limitan el acceso a la atención de salud, como:

- **Barreras ligadas a cuestiones de actitud:** En general, es que el personal de salud presenta prejuicios sobre las personas con discapacidad e incluyendo que no todos están debidamente enterados de los derechos y necesidades de las personas discapacitadas.
- **Barreras físicas:** Se refiere al limitado acceso que las personas con discapacidad pueden tener a las instalaciones pertinentes, como la ubicación de está puede estar demasiado lejana o que haya pocas en una urbe o localidad, además, los accesos a ella como rampas, señalizaciones correspondientes, etc.
- **Barreras que dificultan la comunicación:** Suele presentarse este tipo cuando las personas con deficiencia auditiva, visual, cognitiva no comprenden adecuada mente las instrucciones, ya sea por escasez de material escrito,

intérpretes de lenguajes o las recetas médicas no sean legibles o el personal de salud use jerga que la persona discapacitada no comprenda.

- **Barreras económicas:** Esta es cuando las personas con discapacidades no pueden costear los tratamientos, servicios y/o tecnologías de apoyo. Esto se presenta en aproximadamente el 50% de las personas con discapacidades.

Además, se estima que casi el 12% de la población de América Latina y el Caribe vive con al menos una discapacidad, de lo que representa alrededor de 66 millones de personas.

De acuerdo, al INEGI “*del total de población en el país (126,014,024), el 5.7% (7,168,178) tienen discapacidad y/o algún problema o condición mental*”, en el censo de Población y Vivienda 2020.

El 16% (20,838,108) tiene discapacidad, limitación en la actividad cotidiana o algún problema. De este el 10.3 % (637,113) son niños entre 0-14 años.

Tamaulipas cuenta con 3,527,735 personas censadas, donde el 16.4% (577,731) son personas con alguna discapacidad y el 10.7% (18,232) son niños con edades de 0-14 años.

El INEGI identifica personas con discapacidad como aquellas que tienen dificultad para llevar a cabo actividades consideradas básicas como; **ver, escuchar, recordar o concentrarse, realizar su cuidado personal y comunicarse.**



**Caminar, subir o bajar:** Hace referencia a la dificultad de una persona para moverse, caminar, desplazarse o subir escaleras debido a la falta de toda o una parte de sus piernas; incluye también a quienes tienen sus piernas no tienen movilidad de ellas, de tal manera que necesitan ayuda para moverse.



**Ver:** Abarca la pérdida de la vista en uno o ambos ojos, así como la debilidad visual y a los que usando lentes no pueden ver por lo avanzado de sus problemas de vista.



**Oír:** Incluye a las personas que no pueden oír, así como las que tiene dificultad para escuchar (debilidad auditiva), en uno o ambos oídos, a las personas con aparatos auditivo.



**Hablar o comunicarse:** Hacer referencia a las personas que no pueden comunicarse con los demás, debido a las limitaciones para hablar o porque no pueden comunicarse de forma comprensible.



**Recordar o concentrarse:** Incluye las limitaciones o dificultades para aprender algo nuevo o para poner atención, así como limitaciones para recordar información o actividades de su vida cotidiana.



**Dificultad para bañarse, vestirse o comer:** Son los problemas que tiene una persona para desarrollar tareas del cuidado personal o de su salud.

Una persona puede tener más de una discapacidad, por ejemplo: los sordomudos tienen una limitación auditiva y otra de lenguaje o quienes sufren de parálisis cerebral presentan problemas motores y de lenguaje (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], S/F).

### 2.1.1. Historia de personas con discapacidades

El concepto de *discapacidad* ha experimentado una extraordinaria evolución a lo largo de nuestra historia, remontándonos tiempo atrás, las culturas antiguas asociaban la discapacidad a intervenciones de poderes sobre humanos o castigos divinos, siendo una condición que generaba rechazo y asilamiento. Para empezar, la discapacidad no existía como palabrea. Mas bien, la gente era ciega, muda, tonta, lunática, tonta o coja, como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Personas discapacitadas en tiempos antiguos.

En el siglo XV la **discapacidad** se seculariza y aparecen las primeras instituciones denominadas **manicomiales** (Gil, 2018), donde se recluía a las personas con discapacidades apartándolos del resto de la población, (Figura 2.2).



Figura 2.2 Personas discapacitadas en manicomiales.

Posteriormente, en el siglo XX se comienza a percibir la discapacidad desde un enfoque asistencial, el estado se implica y se crean los primeros centros de educación especial, con una perspectiva paternalista que refuerza la dependencia y las actitudes de discriminación social y laboral. Esta tendencia de protección se refuerza tras la segunda Guerra Mundial, con la aparición de numerosas discapacidades, posteriormente se dio por primera vez, que algunas personas con discapacidad son consideradas héroes, (Figura 2.3).

Sin embargo, no es sino hasta la década del 2000 cuando se comienza a dejar atrás la perspectiva asistencial y paternalista, que concibe a la persona con discapacidad como dependiente, inactiva e improductiva, para evolucionar hacia un enfoque en el que las personas con discapacidades cuentan con habilidades, competencias, recursos y potencialidades, si se les brindan los apoyos necesarios.



Figura 2.3 Personas discapacitadas reconocidas como héroes.

### 2.1.2. Conceptos generales

Conforme con la NOM-015-SSA3-2012, (Secretaria de Salud [SSA], 2012):

#### 2.1.2.1. Discapacidad.

1. Discapacidad es *“la deficiencia auditiva, intelectual, neuromotora o visual, ya sea de naturaleza permanente o temporal, que limita la capacidad de realizar una o más actividades de la vida diaria”*.
2. Persona con discapacidad, *“aquella que tenga deficiencias auditivas, intelectuales, neuromotoras o visuales que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás personas.”*.
3. Grado de discapacidad, *“a la magnitud de la restricción o ausencia de la capacidad para realizar una actividad o función necesaria”*.

#### 2.1.2.2. Tipos de discapacidad.

1. Discapacidad auditiva, *“a la restricción en la función de percepción de los sonidos externos, alteración de los mecanismos de transmisión, transducción, conducción e integración del estímulo sonoro, que a su vez pueden limitar la capacidad de comunicación. La deficiencia abarca al oído, pero también a las estructuras y funciones asociadas a él”*.

2. Discapacidad intelectual, *“aquella caracterizada por limitaciones en el funcionamiento intelectual y en la conducta adaptativa a su entorno.”*.
3. Discapacidad neuromotora, *“a la secuela de una afección y sus efectos secundarios o tardíos en el sistema nervioso central, periférico o ambos, así como en el sistema musculoesquelético”*.
4. Discapacidad visual, *“a la deficiencia del órgano de la visión, las estructuras y funciones asociadas con él. Es una alteración de la agudeza visual, campo visual, motilidad ocular, visión de los colores o profundidad, que determinan una deficiencia de la agudeza visual y que una vez corregida, en el mejor de los ojos es igual o menor de 20/200 o cuyo campo visual es menor de 20 grados”*.

#### 2.1.2.3. **Terapias**

1. Prevención de discapacidad, *“a las acciones emprendidas por un grupo multidisciplinario dirigidas a evitar la aparición y estructuras de secuelas que impliquen la restricción o ausencia de la capacidad de realizar una actividad dentro del margen que se considera normal para el ser humano”*.
2. Rehabilitación, *“al conjunto de procedimientos de atención médica encaminados a mejorar la capacidad de una persona para realizar por sí misma, actividades de la vida diaria”*.
3. Habilitación, *“a los procesos terapéuticos en el ámbito de la atención médica, que permiten la adquisición de capacidades y destrezas a personas que presentan una discapacidad”*.

#### 2.1.2.4. **Tipos de terapias**

1. Terapia física, *“a la aplicación de los medios físicos con fines terapéuticos”*.
2. Terapia del lenguaje, *“al conjunto de acciones dirigidas a restaurar las discapacidades de la comunicación humana en audición, voz, lenguaje, aprendizaje y habla”*.
3. Terapia ocupacional, *“al conjunto de acciones que contribuyen a la utilización de las capacidades funcionales y al logro de la máxima independencia en actividades de la vida diaria”*.

4. Estimulación temprana, *“es la atención brindada a los menores de entre 0 y 6 años, para potenciar y desarrollar al máximo sus posibilidades físicas, intelectuales, sensoriales y afectivas, mediante programas sistemáticos y secuenciados que abarquen todas las áreas del desarrollo humano, sin forzar el curso natural de su maduración”*.

Tecnologías de apoyo; se llaman así, a todo tipo de equipo, objeto, sistema, producto, máquina, instrumento, programa o servicio que puede ser usado para suplir, aumentar, mantener, compensar o mejorar las capacidades funcionales de las personas con impedimento o discapacidad. Algunos ejemplos son; el bastón, el andador, la silla de ruedas, perros de asistencia, etc. (Figura 2.4).



Figura 2.4 Ejemplo de tecnología de apoyo (silla de ruedas).

### 2.1.3. Equipos para terapias

En la historia de la rehabilitación hay ejemplos de personas que a través de la ingeniería han buscado la forma de aportar en soluciones para equipos de terapia y rehabilitación. Un ejemplo el francés *Gabriel Bidou* quien aportó las bases para nuevas ideas y soluciones en instrumentos de terapia y rehabilitación.

Para practicar la rehabilitación es necesario considerar el tipo de discapacidades, clasificándolas como:

1. **Incapacitados de los órganos de los sentidos:** débiles visuales, auditivos, ciegos y sordos.

2. **Incapacitados del sistema motriz:** alteraciones paralíticas, óseas, articulares, etc.
3. **Incapacitados mentales:** psicopatías, psicosis, oligofrenias, etc.
4. **Incapacitados de otros órganos y sistemas:** los cardiacos, los renales, los pulmonares, etc.

#### 2.1.3.1. **Equipos de rehabilitación y fisioterapia**

El tratamiento en las fisioterapias es útil para recuperar la forma física del cuerpo después de una lesión o cirugía. Ayuda a restaurar la movilidad del paciente para realizar las funciones diarias. En ocasiones, el tratamiento puede eludir una cirugía. Estos tratamientos se utilizan para aliviar el dolor después de una lesión o daño severo a los tejidos, músculos o nervios. Se han desarrollado varios tipos de equipos en función de su uso, como:

- Estimulador eléctrico
- Estimulador de ultrasonido
- Diatermia
- Electroterapia
- Estimulación magnética

Los dispositivos terapéuticos son instrumentos o aparatos destinados a diagnosticar, tratar o prevenir enfermedades, así como mantener o restaurar la salud. El propósito terapéutico significa: Prevenir, diagnosticar, controlar, aliviar, tratar, curar o compensar una enfermedad, dolencia, defecto o lesión.

#### 2.1.4. **Metodologías multisensoriales**

En el ámbito educativo, uno de los métodos que más beneficios se ha reportado a los alumnos con múltiples discapacidades es el método o las **metodologías multisensoriales**.



“la metodología multisensorial contribuye al desarrollo de los sentidos a través de los órganos sensoriales, aportando al individuo una percepción de estímulos proporcionados y recibidos por el mundo exterior” (Pérez Saez, 2016).

La metodología multisensorial se basa en “estimular a la persona con discapacidad a través de sus sentidos”. Esta metodología se relaciona con el proceso de aprendizaje del niño sobre la base de la estimulación sensorial y se ajusta al tipo de discapacidad que se presente.

#### 2.1.4.1. La estimulación de los sentidos.

La estimulación puede ser espontánea, pero se pueden usar algunas variables para controlar los efectos de una estimulación preparada.

- **Estimulación propioceptiva:** Se refiere a todo aquello que aporta estimulación al sistema nervioso, ver Figura 2.5.

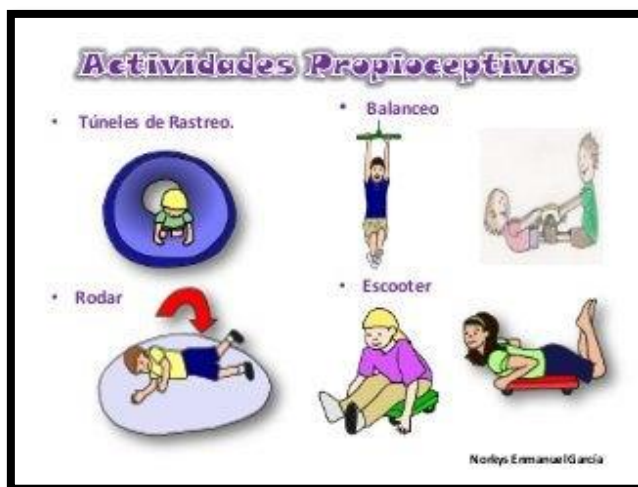


Figura 2.5 Estimulación Propioceptivas.

- **Estimulación Visual:** Estimular esta área desarrolla una fijación visual, un movimiento visual, así como percibir los objetos y genera el desarrollar una coordinación viso motriz, ver Figura 2.6.



Figura 2.6 Estimulación visual.

- **Estimulación Auditiva:** Este tipo entra en acción la reacción, localización e identificación auditiva, ver Figura 2.7.



Figura 2.7 Estimulación Auditiva.

- **Estimulación Háptica:** Estas se perciben por el tacto, a través de las extremidades y el movimiento intencional, ver Figura 2.8.



Figura 2.8 Estimulación háptica.

- **Estimulación Olfativa-Gustativa:** El olfato se le atribuyen 2 percepciones; el olor y el aroma. Además, el gusto permite diferenciar sabores, ver Figura 2.9.



Figura 2.9 Estimulación olfativa-gustativa.

- **Estimulación Vestibular:** Regula el sentido del movimiento y el equilibrio, ver Figura 2.10.



Figura 2.10 Estimulación vestibular.

#### 2.1.4.2. Estimulación multisensorial.

Las salas de estimulación multisensorial o Snoezelen, son una terapia que provoca un despertar sensorial, favoreciendo la comprensión de los otros, del mundo y de sí mismos, a través de estímulos y actividades significativas, y partiendo siempre de las necesidades básicas del paciente, así como del desarrollo real.

Fue desarrollado a finales de 1970 por los holandeses Ad Verheul y Jan Hulsegge, el concepto proviene de la contracción de 2 verbos en holandés “Snoeffelen” (oler) y “Doezelen” (dormir o dormirar), ya que el objetivo es que la persona pueda relajarse buscando que sus sentidos se encuentren alerta y aprenda a través de la exploración.

Como objetivo de la estimulación multisensorial, es el de mejorar las condiciones de vida de las personas con discapacidad, trabajar las sensaciones, la percepción y lo sensorial que son capacidades básicas del ser humano. En un ambiente con estímulos controlados, se trabajan las sensaciones teniendo, la persona, la libertad para explorar, descubrir y disfrutar de diversas experiencias sensoriales.

La estimulación multisensorial se convierte en estimulación temprana cuando se realiza en los primeros años de vida del paciente (niños). Aunque, la estimulación multisensorial se distingue de la temprana por los objetivos terapéuticos que tiene.

“Las salas de estimulación multisensorial son un espacio habilitado para que los alumnos con algún tipo de deficiencia puedan despertar los sentidos e interactuar con el medio, dentro de un entorno favorecedor” (Carbajo Vélez, 2014).

#### 2.1.4.2.1. **Agentes y contexto.**

A. En la sala multisensorial vemos 2 relaciones:

1. Relación terapeuta-usuario; Se genera una relación individualizada, la cual provoca un sentimiento de confianza mutua.
2. Relación usuario-ambiente; La persona o usuario de esta sala se desenvuelve en este espacio con su propio nivel y a partir del desarrollo sensorial produce una reacción motriz.

B. Componentes:

1. Podio para columna de luz y burbujas.
2. Columna de burbujas.
3. Mazo de fibras ópticas.
4. Cama de agua musical.
5. Equipo de audio.
6. Elemento de espuma.
7. Cojín vibro-masaje.
8. Conjunto para estimulación sensomotriz.
9. Panel interactivo de luz y sonido.
10. Panel táctil “looping”.
11. Luz UV y accesorios.
12. Foco y bola reflejantes.
13. Paneles de fibra óptica.

C. Espacios

Dentro del aula o salón, se pueden trabajar con diferentes discapacidades, estas discapacidades se trabajan teniendo sus

características, dentro de este salón habrá subáreas para actividades determinadas:

1. Espacio visual
2. Espacio de proyección
3. Espacio de olores y gustos
4. Espacio táctil
5. Espacio auditivo.

#### 2.1.4.2.2. Tipos de salas

1. Salas blancas: Son aquellas que están compuestas por estímulos de color blanco. Su objetivo es la seguridad y confort del paciente mediante tonalidades de color neutras como el blanco, para así estimular a la persona mediante el descubrimiento y la espontaneidad del momento con el ambiente. Tiene una participación, PACIVA. (Figura 2.11).



Figura 2.11 Sala blanca para estimulación multisensorial.

2. Salas oscuras: Son aquellas que se caracterizan por colores oscuros, los cuales contrastan con los estímulos fluorescentes. Su principal característica es que los objetos fluorescentes contrastan con el entorno. Su objetivo es la participación, ACTIVA. (Figura 2.12).



Figura 2.12 Sala oscura para estimulación multisensorial.

3. Salas de aventuras: Esta se caracteriza por ser del tipo blanco en general, pero con colores llamativos en el interior. Cuenta con elementos colgados o que requieren de mayor interacción psicomotora. Se enfocan a la actividad motora y sensorial de la persona. Tiene una participación, ACTIVA. (Figura 2.13)



Figura 2.13 Sala activa para estimulación multisensorial.

Las salas de estimulación múltiple (Snoezelen), van dirigidas a una población en específico, pero esto no implica que puedan ser utilizadas por la población en general. Por su alto contenido terapéutico y por sus buenos resultados tras su uso, esta población es:

- Personas con **TEA** (Trastorno del Espectro Autista) o **TDAH** (Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad).
- Personas con dificultades motrices y de coordinación.
- Personas con dificultades en el equilibrio.
- Personas con dificultades en el habla o lenguaje.
- Personas con discapacidad moderada o severa.
- Personas con bajo control de impulsos.
- Personas con limitada capacidad de imitación de conductas.

#### 2.1.4.2.3. **Formas de utilización**

La Sala de estimulación multisensorial puede utilizarse como instrumentos de evaluación, de intervención, de comunicación y de ocupación.

- Como instrumento de evaluación es perfecto para evaluar las respuestas a los diferentes estímulos.
- Como instrumento de intervención porque es un apoyo útil y de libre disposición.
- Como instrumento de comunicación ya que permite a las personas expresarse.
- Como instrumento de ocupación es adaptado a las necesidades de las personas y a sus capacidades, para así adaptarse a cada alumno.



## 2.2. Diseño

### 2.2.1. Introducción

Durante las décadas de los 50 y 60, muchos países comenzaban a publicar escritos sobre el proceso de diseño, pero anterior a esa época se entendía por *Diseño* la labor que los arquitectos, ingenieros y diseñadores llevaban a cabo con objeto de producir dibujos, planos, croquis, etc., con la intención de llevarlo a producir. (Jones, 1978)

Como tal, la palabra diseño puede significar muchas cosas para diferentes personas, pero en este caso diseño lo tomaremos como **diseño de ingeniería**, donde diseño proviene del latín *designare*, que significa diseñar.

*Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema particular.* (Dudynas & Nisbett, 2012)

*Diseño es la transformación de conceptos e ideas en maquinaria útil.* (Hamrock, 2000)

*El deseo de diseñar cosas es propio a los seres humanos y diseñar en tiempos antiguos no se diferenciaba a fabricar.* (Cross N. , MÉTODOS DE DISEÑO: ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO DE PRODUCTOS, 2015)

El diseño, es un proceso innovador y altamente repetitivo, donde a veces deben tomarse decisiones con mucha o poca información. Esta es una actividad que requiere mucha comunicación tanto en palabras como imágenes, ya que al comunicarse de forma eficaz se logra trabajar de forma eficiente con personas de otras disciplinas.

El proceso de un diseño comienza con la intención de resolver una necesidad y termina con la decisión de resolverla, ver Figura 2.14. (Dudynas & Nisbett, 2012)

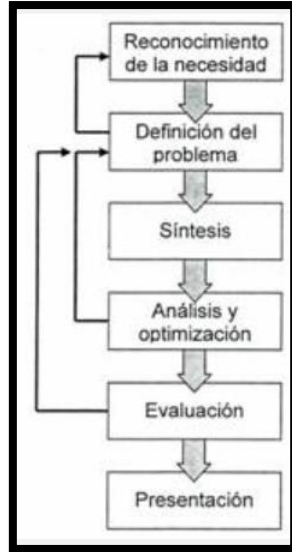


Figura 2.14 Fases del proceso de diseño.

### 2.2.2. Diseño Mecánico

Consiste en el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica; piezas, estructuras, mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos. Hace uso de las matemáticas, ciencias de los materiales y asignaturas aplicadas a la ingeniería mecánica.

De manera similar, se tienen conceptos como *diseño de máquinas*, *diseño de elementos de máquinas*, *diseño de componentes de máquinas*, *diseño de sistemas*, etc. Todos estos son ejemplos un poco más enfocados que otros en ciertos temas, pero son lo mismo, ya que tienen los mismos fundamentos, se estructuran similarmente y requieren las mismas habilidades.

Podemos definir entonces, que una **Máquina** es un conjunto de mecanismos que transforman la energía en trabajo útil. Un **Mecanismo** es un conjunto de elementos que transmiten movimiento, desarrollan fuerzas de baja intensidad y transmiten poca potencia a una salida. Las **Barras o Eslabones** son elementos que conforman los mecanismos y son los encargados de transmitir movimiento y fuerza. (Myszka, 2012)

En el diseño mecánico se tienen herramientas actualmente que ayudan a la solución de problemas de diseño. Las computadoras y los softwares ofrecen un gran apoyo para diseñar, analizar y simular componentes mecánicos.

### 2.2.3. Herramientas computacionales

El software de *diseño asistido por computadora* (CAD), permite el desarrollo de modelos 3D a partir de los cuales se pueden producir vistas ortográficas convencionales en 2D.

El software de *ingeniería asistida por computadora* (CAE), permite realizar los cálculos pertinentes en los diseños que se realizan en el CAD, además de generar las simulaciones de las piezas para saber con exactitud los comportamientos que tendrían las piezas al ser fabricadas, todo esto sin tener que gastar tiempo y dinero en sus pruebas. (Figura 2.15).



Figura 2.15 Representación CAD, CAE, CAM.

Algunos softwares son:

- AUTOCAD (CAD)
- SOLIDWORKS (CAD)
- ANSYS (CAE)
- NASTRAN (CAE)

Mientras que otros programas para hacer cálculos y soluciones matemáticas que se utilizan en ingeniería son:

- MathCAD
- MATLAB

#### 2.2.3.1. *Diseño Asistido por Computadora, CAD.*

El *Diseño Asistido por Computadora* (CAD, por sus siglas en inglés), es el uso de softwares para ayudar en la creación, modificación, análisis y optimización de un diseño. En otras palabras, las herramientas en CAD pueden variar desde herramientas

de geometría hasta herramientas para manipular formas en un extremo, optimizar aplicaciones en programas, tanto como para análisis y optimización, en el otro extremo.

Estas herramientas, típicamente disponen de análisis de tolerancias, propiedades de masa y modelado y visualización de elementos finitos de los resultados de los análisis mencionados. El rol más básico de un programa CAD es definir la geometría del diseño (un elemento mecánico, estructura arquitectónica, circuitos eléctricos, planos de construcción, etc.) porque la geometría del diseño es esencial a todas las subsecuentes actividades en los ciclos de productos. Esto es por lo que este sistema es considerado un software CAD. Además, la geometría creada por este sistema puede ser usada como una base para otras funciones en CAE y CAM. Otro de sus veneficios es el ahorro de tiempo y reducción de errores de lo contrario se tiene que modificar la geometría del diseño. (Lee, 1999). Se presenta como ejemplo el plano de un sólido y sus vistas posterior, lateral y superior, Figura 2.16.

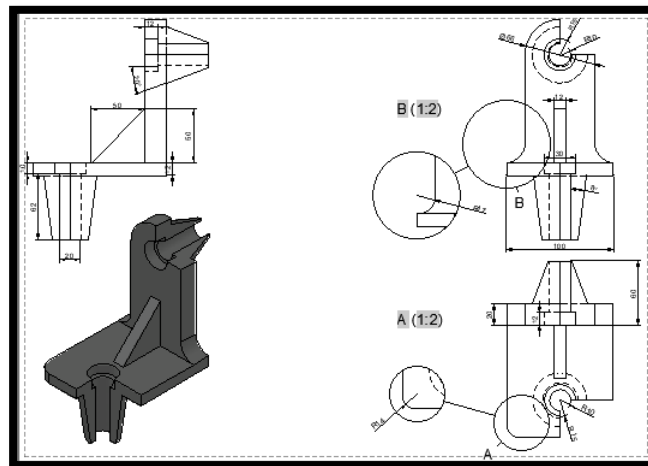


Figura 2.16 Dibujo en programa CAD.

### 2.2.3.2. Ingeniería Asistida por Computadora, CAE.

La *Ingeniería Asistida por Computadora* (CAE, por sus siglas en ingles), es una tecnología concerniente con el uso de sistemas computarizados para analizar la geometría CAD, permitiendo al diseñador simular y estudiar como el producto se

comportará y entonces poder refinarlo y optimizarlo. Las herramientas CAE están disponibles para un amplio rango de análisis. Probablemente el método más usado de análisis computacional en ingeniería es el *Método de elemento finitos (FEM)*. Esta aproximación es usada para determinar esfuerzo, deformación, transferencia de calor, distribución de campo magnético, flujo de fluidos y otros problemas de campos continuos. En el FEA, la estructura es representada por un modelo de análisis hecho por elementos conectados que divide los problemas en pedazos manejables para la computadora. (Figura 2.17). (Lee, 1999)

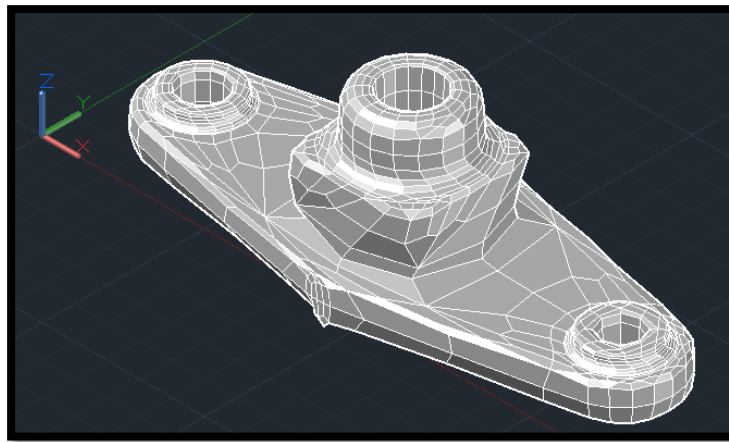


Figura 2.17 Sólido discretizado por MEF.

#### 2.2.3.2.1. Método de Elementos Finitos.

El método de los elementos finitos involucra el modelado de estructuras usando pequeños elementos conectados llamados *elementos finitos*. Cada elemento está conectado por *nodos*, y estos toman la forma de cuadros o triángulos que tendrán aristas las cuales se les conoce como *condiciones de frontera*. (Figura 2.17).

El MEF tiene una serie de pasos para poder realizar un análisis de manera eficiente y correcta. (Logan, 2017)

**Paso 1:** *Discretizar y seleccionar el tipo de elementos.* Se refiere a dividir un sólido en partes rectangulares o triangulares iguales para modelar lo más exacto el comportamiento físico.

**Paso 2:** *Seleccionar la función de desplazamientos.* La función es definida sin los elementos usando los valores nodales de los elementos. Las funciones más frecuentemente usadas son lineal, cuadrática y cubica, porque son simples para trabajar con una formulación de FEM.

**Paso 3:** *Definir las relaciones deformación-desplazamiento y esfuerzo-deformación.* Las relaciones de deformación-desplazamiento y esfuerzo-deformación son necesarias para derivar las ecuaciones para cada elemento.

**Paso 4:** *Derivar las Matrices de Rigidez Local.* Inicialmente el desarrollo de las matrices de rigidez y las ecuaciones de los elementos estaban basadas en los conceptos de coeficiente de rigidez, el cual presupone un antecedente en análisis estructural.

**Paso 5:** *Armado de las Matriz de Rigidez Global o del Sistema e introducir las condiciones de frontera.* En este paso las matrices de los elementos individuales son generadas en el paso 4, se ensamblan en la global.

**Paso 6:** *Encontrar los desplazamientos desconocidos.* Se genera una ecuación en forma de matriz: " $F = KU$ "

**Paso 7:** *Encontrar es esfuerzo y deformación del elemento.* Mediante un análisis de esfuerzo es fácil determinar en términos de los desplazamientos anteriormente calculados.

**Paso 8:** *Interpretar los resultados.* La meta final es interpretar y analizar los resultados para usarlos en el proceso de análisis/diseño.

### **2.2.3.3. Manufactura Asistida por Computadora, CAM.**

La *Manufactura Asistida por Computadora* (CAM, por sus siglas en ingles), es una tecnología que concierne al uso de sistemas computarizados para planear, administrar y controlar procesos de manufactura a través de cualquier interfaz directa o indirectamente con los recursos de producción de la planta. Una de las áreas más maduras de CAM es el control numérico o CNC. Este es la técnica del uso de programar instrucciones para controlar una máquina herramienta que mueva, corte, triture, perfore, doble y gire la materia prima hacia el acabado final. La computadora puede ahora generar una considerable cantidad de instrucciones de Control numérico

basado en bases de geometría de las bases de CAD, sumando información adicional proporcionada por el operador.

Otra función significativa del CAM es la programación de robots, cuales operarán en espacios de trabajo arreglando, seleccionando y posicionando herramientas y piezas para maquinas CNC. Estos robots pueden desarrollar tareas individuales como soldadura o ensamblaje o manejo de equipo o partes alrededor del taller. (Figura 2.18).

La planeación de procesos es también un objetivo de la automatización computarizada; el plan de procesos debe determinar la secuencia detallada de los pasos de producción requeridos para fabricar un ensamblaje de principio a final como se mueve de la estación de trabajo a estación de trabajo en el taller. (Lee, 1999)

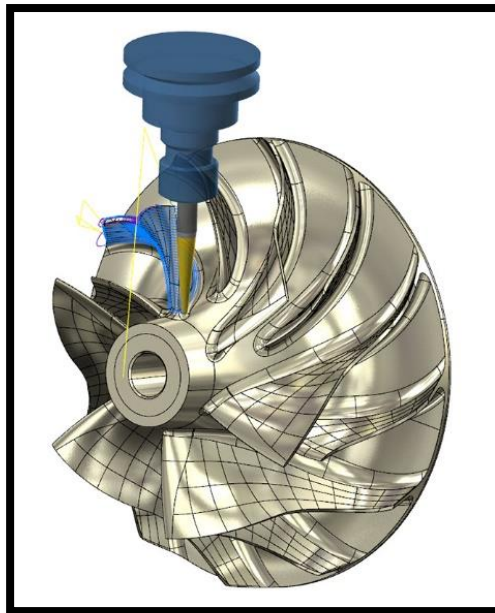


Figura 2.18 Modelo de proceso CAM.

#### 2.2.3.4. **Metodología del diseño**

La metodología del diseño es simplemente los pasos que seguir para realizar un diseño de algún tipo de producto y que sea adecuado, que cumpla sus funciones por las que se diseñó y pueda ser replicado para obtener resultados similares. (Fig. 2.14).

*“Procesos de diseño”, proporcionan los medios para estructurar problemas no estructurados y obtener una solución viable. (Norton, 2013)*

*El objetivo final de un diseño mecánico es un producto útil que satisfaga las necesidades de un cliente, y además sea seguro, eficiente, confiable, económico y de manufactura práctica. (Mott, 2006)*

Tras estas definiciones podemos identificar que se realiza un análisis, evaluación refinamiento y desarrollo, del proceso, en el cual, si no se llega a un resultado idóneo, se puede volver a comenzar el proceso de diseño.

De lo anterior se puede generar un modelo sencillo de 4 etapas. (Figura 2.19.)

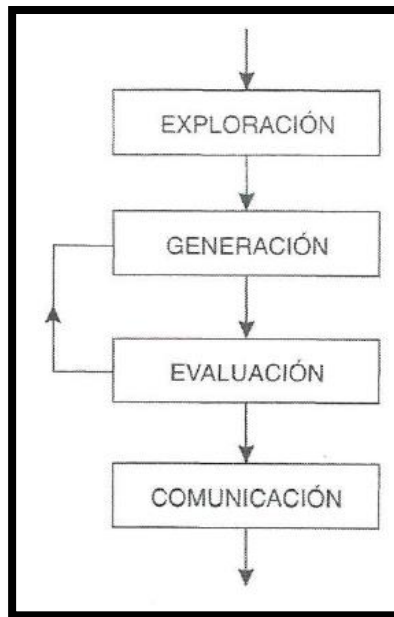


Figura 2.19 Modelo sencillo de 4 etapas del proceso de diseño.

Los modelos de procesos de diseño toman típicamente la forma de diagramas de flujo, donde señalan el flujo o el paso a paso entre etapas y los ciclos iterativos (repetitivos) entre fases hasta alcanzar resultados favorables, ya que se tiene la opción de repetir ciertos pasos.

Un ejemplo claro es el modelo de French. (Figura 2.20.)



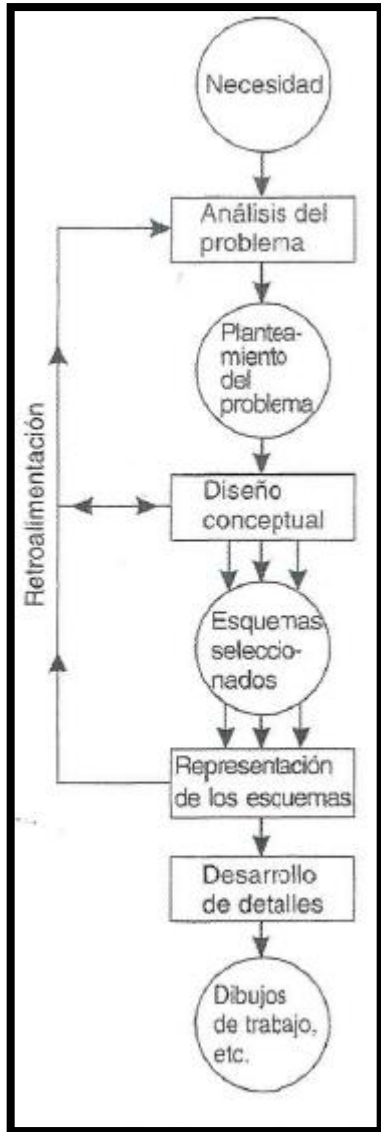


Figura 2.20 Modelo de French del proceso de diseño.

En el diagrama, los círculos representan las etapas o resultados alcanzados y los rectángulos representan actividades o trabajos en curso.

Se tienen 4 etapas:

- Necesidad.
- Planteamiento del problema.
- Esquemas seleccionados.
- Dibujos de trabajo.

y 4 actividades:

- Análisis del problema
- Diseño conceptual.
- Representación de esquemas.
- Desarrollo de detalle.

Entonces, se entiende que por **Métodos de diseño** es todos y cada uno de los procedimientos, técnicas, ayudas o “herramientas” para diseñar. (Cross N. , MÉTODOS DE DISEÑO: ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO DE PRODUCTOS, 2015)

Según Cross, los métodos de diseño se dividen en dos tipos los de **Proceso creativo** y los de **Marco de referencia lógico** (Cross N. , MÉTODOS DE DISEÑO: ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO DE PRODUCTOS, 2015).

El proceso creativo, se utiliza más a menudo cuando, se busca despertar o “encender” el pensamiento creativo, durante un diseño. Éste presenta un patrón que se presentan frecuentemente, la secuencia es: Reconocimiento- Preparación- Incubación- Iluminación- Verificación.

- **Reconocimiento:** 1er paso para aceptar que hay un problema.
- **Preparación:** Es el esfuerzo aplicado para comprender el problema.
- **Incubación:** Es un periodo de tiempo donde se deja vagando la idea en la subconsciente.
- **Iluminación:** Es la percepción o formulación de la idea clave.
- **Verificación:** Es el trabajo de desarrollar y probar la idea.

Y los de marco de referencia lógico, motivan a seguir un enfoque sistemático en los diseños y se les llama “métodos de diseño”. De los cuales, los más ampliamente utilizados son:

- **Clarificación de objetivos:** *Árbol de objetivos*, permite clarificar los objetivos del diseño.
- **Establecimiento de funciones:** *Análisis de funciones*, permite establecer las funciones requeridas y los límites del diseño.
- **Fijación de requerimientos:** *Especificaciones del rendimiento*, permite hacer una especificación exacta del rendimiento del diseño.
- **Determinación de características:** *Despliegue de la calidad*, permite fijar las metas a alcanzar de las características de ingeniería del diseño.
- **Generación de alternativas:** *Diagrama morfológico*, permite generar una amplia gama de soluciones alternas del diseño.
- **Evaluación de alternativas:** *Objetivos ponderados*, permite comparar las propuestas alternas del diseño.
- **Mejora de detalles:** *Ingeniería del valor*, permite aumentar o mantener el valor de un producto para el cliente.

#### 2.2.4. Diseño de elementos de máquinas

La propuesta de un sistema mecánico es el comienzo de la síntesis del proceso de diseño. En un diseño adecuado se comprenderá de los siguientes pasos:

- Selección del tipo adecuado de elementos de máquina considerando su funcionamiento.
- Estimar el tamaño de los elementos.
- Evaluación del desempeño del elemento de máquina contra los requisitos a cumplir.
- Y la modificación del diseño y de las dimensiones hasta alcanzar un punto óptimo.

En el diseño de elementos de máquinas hay una pregunta importante que es si fallará en servicio, comúnmente se relaciona la *falla* con el rompimiento de una pieza de la máquina, aunque el rompimiento es un tipo de falla. Se considera que ha fallado un elemento de máquina cuando:

1. Cuando es completamente inoperable.
2. Cuando aún es operable pero no cumple la función por la que se diseñó.
3. Cuando presenta un grave desgaste o deterioro por uso continuo, y requiere ser reemplazado.

#### 2.2.5. Seguridad en el diseño mecánico

Es responsabilidad del diseñador garantizar que la pieza de una máquina sea segura para funcionar bajo condiciones razonablemente previsibles. Por lo cual se debe analizar las condiciones donde operara como el ambiente de operación, el tipo de material, la naturaleza de las cargas, los tipos de esfuerzos a los que somete la pieza y el grado de confianza. (Mott, 2006)

- **Aplicación:** Son las características de manufactura de la pieza o componente como, tamaño de la pieza, costo de fabricación, relación tamaño-peso, etc.
- **Ambiente:** Son las características de donde operará la pieza o componente como, temperatura de operación, se expone a la corrosión, genera ruido, etc.

- **Cargas:** Se identifica la naturaleza de las cargas aplicadas a la pieza o componente. Las cargas se caracterizan como *estática, repetidas e invertidas, fluctuantes, de choque o de impacto*, etc. Las magnitudes claves de las cargas son máxima, mínima, media.
- **Tipos de esfuerzos:** ¿Que tipos de esfuerzos se generan al identificar las cargas? Tensión directa, compresión directa, cortante directo, flexión o cortante torsional. ¿Se aplican en más de una dirección?
- **Material:** Examine las propiedades que tendrá la pieza o componente como, resistencia de fluencia, resistencia última de tensión, resistencia última de compresión, etc.
- **Confianza:** ¿Que tan fiable son los datos?, ¿son adecuados los controles de los procesos de manufactura? El manejo, uso o exposición al ambiente ¿dañara la seguridad del componente? Estas consideraciones afectaran su decisión para el factor de diseño  $N$ .

Todos los métodos de diseño deben definir la relación entre el esfuerzo aplicado sobre un componente y la resistencia del material con el que se va a fabricar, al considerar las condiciones de servicio. El objetivo del proceso de diseño es obtener un factor de diseño  $N$  adecuado (**Factor de seguridad**) que garantice que la pieza es segura.

Usualmente los diseñadores usan **factores de seguridad** para asegurarse contra condiciones inciertas o desconocidas.

$$n_s = \sigma_{perm} / \sigma_d$$

Ecuación ( 1 )

donde:

$\sigma_{perm}$  = esfuerzo normal permisible, Pa.

$\sigma_d$  = esfuerzo normal de diseño, Pa.

Si  $n_s > 1$ , el diseño es adecuado.

Si  $n_s < 1$ , el diseño puede ser inadecuado.

Por lo cual mientras más grande se  $n_s$ , más seguro será el diseño.

“...**Factor de diseño N**, es una medida de la seguridad de un componente bajo la acción de una carga...” (Mott, 2006).

La mayor parte de las veces, la resistencia del material se divide entre el factor de diseño para calcular un esfuerzo de diseño que toma el nombre de *esfuerzo admisible* o *esfuerzo permisible*.

#### 2.2.6. Predicción de fallas

La predicción de fallas consta de algunos criterios que se utilizan para cuando el material tiene un comportamiento dúctil o frágil. En base a eso sabremos qué criterio se usaría (Mott, 2006) . Por lo pronto para materiales dúctiles son los siguientes:

- Esfuerzo Cortante Máximo (ECM)
- Energía de Distorsión (ED)
- Mohr-Coulomb para materiales dúctiles (CDM)

Mientras que para materiales frágiles es:

- Esfuerzo Normal Cortante (ENM)
- Mohr-Coulomb para materiales frágiles (CMF)
- Mohr Modificado (MM)

##### 2.2.6.1. Método de la energía de distorsión

La teoría de la energía de distorsión (ED o DET, por sus siglas en ingles), también conocida como ***criterio de Von Mises***, ha demostrado que es el mejor estimador de la falla para materiales dúctiles bajo cargas estáticas o para esfuerzos normales, cortantes o combinados totalmente reversibles. (Hamrock, 2000) (Mott, 2006)

El criterio de Von Mises se representa por la siguiente ecuación:

$$\sigma' \geq S_y \quad \text{Ecuación (2)}$$

De donde:

$\sigma'$  = *esfuerzo de Von Mises*, Pa

$S_y$  = *Resistencia a la fluencia*, Pa

Y se representa por

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Por lo que para esfuerzos con componentes XYZ, se escribe como:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Ahora, como ya se definió el esfuerzo de Von Mises, regresando a la ecuación 2, la reescribiremos para poder tener el criterio de diseño completo, de la siguiente forma:

$$\sigma' \geq \frac{S_y}{N} \quad \text{Ecuación (5)}$$

donde:

$N =$  Factor de seguridad

### 2.2.7. Diseño Óptimo

Dada la naturaleza iterativa del proceso de diseño que se lleva a cabo en la metodología de diseño, Existen fases o etapas donde pueden ser aplicadas técnicas denominadas evolutivas, que son derivadas de la teoría de optimización y que a su vez provienen de la inteligencia artificial, con el objeto de obtener no sólo una buena solución, sino tener la mejor solución posible de un problema de diseño, debido a la gran versatilidad y poder de cálculo que tienen las computadoras en la actualidad.

Esta metodología presenta el inconveniente de que las modificaciones dependen en demasía de la experiencia del diseñador, obteniéndose soluciones que no son las mejores y, además, con un alto costo en tiempo, ya que las responsabilidades de un diseñador en el proceso de toma de decisiones son muchas, pero principalmente:

- Definir las especificaciones del problema.
- Elegir criterios de diseño adecuados.
- Modelar y evaluar.

- Realizar cálculos.
- Interpretar y evaluar los resultados.
- Elegir la mejor de las soluciones e incluso proponer mejoras.

Así, se ha conformado el proceso de diseño hasta el esquema mostrado (Figura 2.21), diseño óptimo. (Velazquez & Santillan, Diseño óptimo evolutivo, 2006)

Se puede observar que la integración de la computadora al proceso de diseño es mayor, atacando principalmente las fases de diseño conceptual, análisis y de diseño de detalle, utilizando la experiencia del diseñador adquirida en diseños precedentes en la fase inicial del proceso.

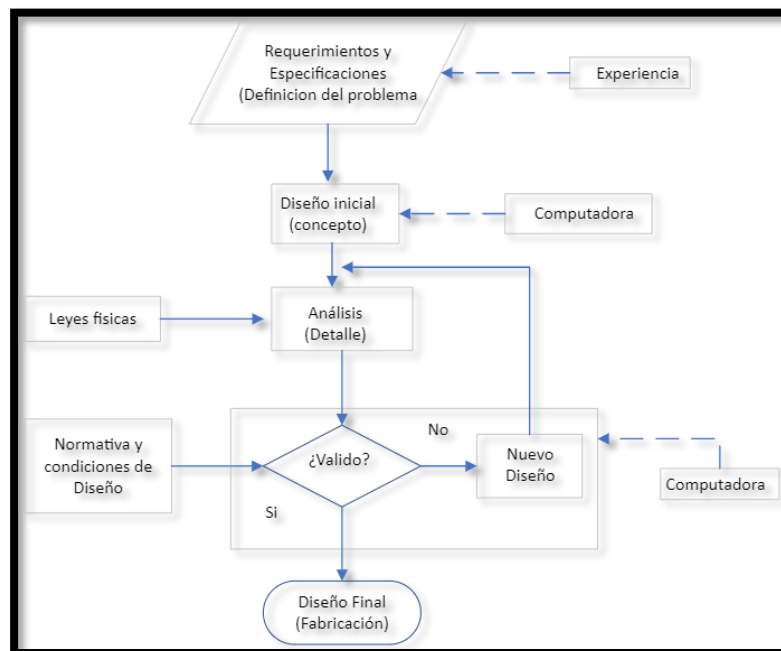


Figura 2.21 Metodología del proceso de diseño óptimo.

En este planteamiento quedan expuestas las 3 características fundamentales del problema de diseño del problema óptimo: *las variables de diseño, la función objetivo y las restricciones.*

El objetivo del diseño óptimo es obtener el mejor diseño, es decir un conjunto de valores de las variables de diseño, que minimicen o maximicen una función objetivo y que a su vez cumpla una serie de restricciones que dependen de los valores de las variables de diseño.

- **Variables de diseño:** Son aquellas variables que son cuantitativas, donde su valor inicial es tomado de las condiciones iniciales del problema. Pueden ser, Propiedades geométricas (áreas, espesores, momentos de inercia, etc.), Topología de la estructura (nodos y conexiones de los elementos), Propiedades del material.
- **Función objetivo:** Es aquella función que el diseñador determina como objetivo final, durante el proceso, donde la optimización dependerá del tipo de variables que se consideren para la solución del problema.
- **Restricciones:** Son las condiciones que son consideradas como límites de las variables de diseño, para lograr el cumplimiento de la función y que se deben cumplir para que un diseño pueda ser considerado como válido.



## CAPITULO 3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. Metodología

Debido a la naturaleza iterativa del proceso de diseño, se llevará a cabo mediante el proceso de diseño óptimo (Figura 3.1), (Velazquez & Santillan, Diseño óptimo evolutivo, 2006).

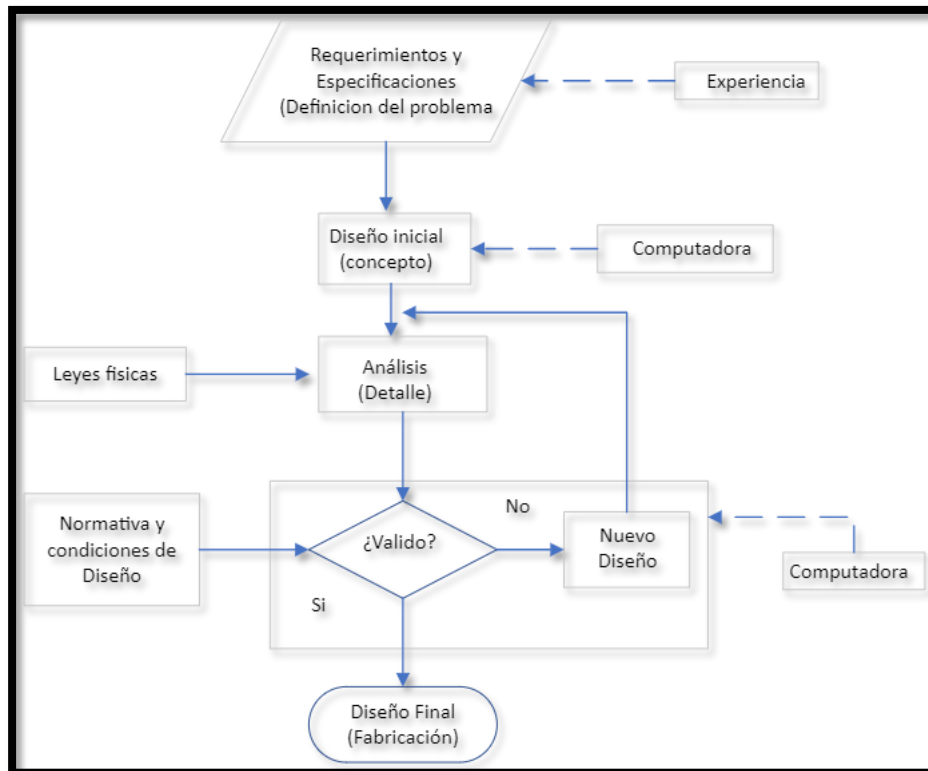


Figura 3.1 Metodología del proceso de diseño óptimo.

Donde en él primer paso se hace una modificación, ya que, para plantear correctamente los requerimientos y especificaciones, se seguirán algunos de los pasos del método presentado por Nigel Cross (Figura 3.2), (Cross N. , Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos, 2015).

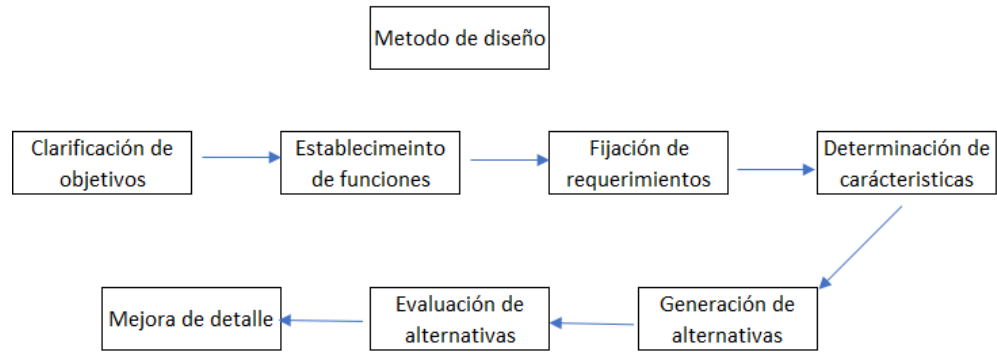


Figura 3.2 Método de diseño por Nigel Cross.

De los cuales se tomarán en cuenta la *clarificación de objetivos*, *fijación de requerimientos*, *determinación de características* y *generación de alternativas* para la “definición del problema” en el proceso de diseño óptimo (Figura 3.3), esto porque se considera que el resto de los pasos se asemejan a los pasos posteriores en el proceso de diseño óptimo, donde evaluación de alternativas y mejora de detalle en un punto llegan a tener el mismo fin que “*análisis*” y el paso iterativo donde se crea un “*diseño nuevo*”.

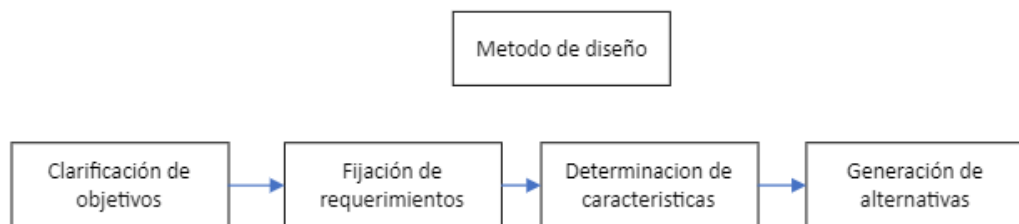
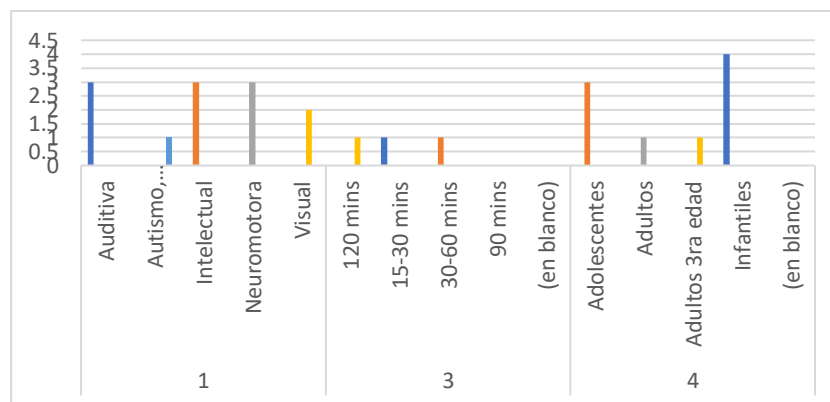


Figura 3.3 Pasos para definir el problema.

Además, se realizó de esta forma, para poder sustituir la experiencia del diseñador por una serie de pasos probados en metodologías de diseño, (Martínez-buttrón, et al, 2021) (Vargas-Zambrano, et al, 2021).

La metodología se utilizó para el *diseño de un columpio para terapias multisensoriales*, por lo cual se realizó una encuesta en el Centro de Atención Múltiple

(CAM) Tzehuali, donde se obtuvo la información en que el diseño se enfocaría principalmente al uso de niños con discapacidades y/o capacidades diferentes (pregunta 1 y 4), como se muestra en la gráfica 3.1.



Gráfica 3.1 respuestas de preguntas 1, 3, 4 de la encuesta.

### 3.1.1. Requerimientos y especificaciones

#### 3.1.1.1. Clasificación de objetivos

Se clarificaron los objetivos mediante niveles jerárquicos, así como las relaciones entre ellos, en un árbol de objetivos (Figura 3.4), con resultados de la encuesta aplicada al personal docente del CAM Tzehuali, para poder saber qué características buscaban en el diseño final. En la tabla 3.1, se en listan las características que buscaron los docentes para el modelo del diseño.

Tabla 3.1 Características de la pregunta 2.

Características	Especificar
Diseño ergonómico	Forma tipo huevo
Asiento de seguridad	4 puntos
Posición	Cambie de posición y sea desmontable
Fácil de guardar	Desmontar por gancho
Cinturón de seguridad	Con diferentes niveles
Con iluminación	Espejos y luces
Con vibración	
Tamaño	Que se adecue a las características de todos

Material

Ligero, firme. Diferentes texturas.  
Fácil acceso. Forro de hule  
espuma. Desmontable en base a  
las características de los alumnos.

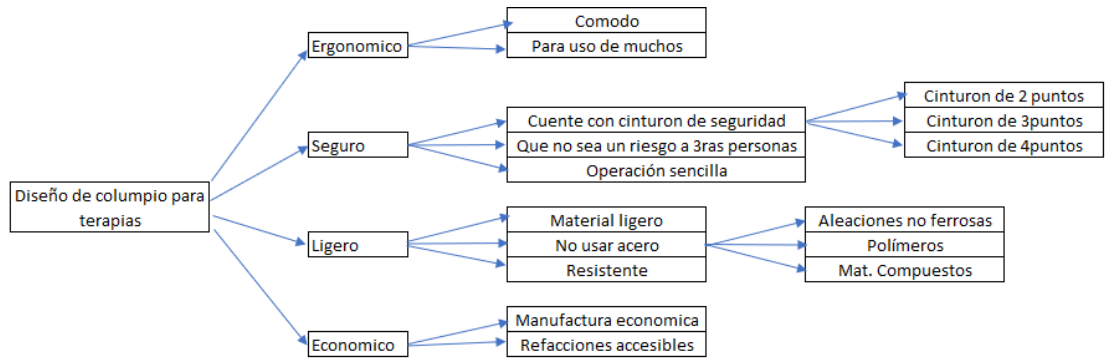


Figura 3.4 Árbol de objetivos.

Teniendo como objetivo principal el *diseño del columpio para terapias*, posteriormente se observan los subobjetivos (secundarios), como *Ergonómico*, *Seguro*, *Ligero* y *Económico*, analizando las características de la tabla 3.1 se concluyen estos como los subobjetivos, y los siguientes son objetivos de menor nivel (terciarios) que nos muestran los medios para alcanzar la meta, la cuál es el objetivo principal.

### 3.1.1.2. Fijación de requerimientos

Mediante la encuesta realizada a los docentes del CAM Tzehuali (Tabla 3.1), se obtuvieron las especificaciones que desean en el diseño y nos da la solución exacta para el diseño, los cuales se muestran en la Tabla 3.2. Donde se separan en Requerimientos (R) y Deseables (D), los marcados con R son necesarios para el diseño y los marcados con D son los deseados o se vean valores cercanos al propuesto.

Tabla 3.2 Fijación de requerimientos.

R/D	Características
	<b>Esqueleto</b>
R	Material ligero
R	Material no ferroso
D	Material económico
D	Material fácil de sustituir
D	Material reciclable
R	Resistente a impacto
R	Resistente al ambiente
	<b>Carcasa</b>
R	Material ligero
D	Con texturas
R	Fácil de sustituir en caso de daño
R	Reciclable
R	Resistente a impacto
D	Forma ergonómica
D	No toxico
D	Vida útil larga
	<b>Asiento de seguridad</b>
R	Fácil de usar
R	Tipo 4 puntos
D	Reclinable
R	Intercambiable
D	Con vibración

### 3.1.1.3. Determinación de características

Se realizó la casa de la calidad para definir la importancia de las características que solicitó el cliente en la Tabla 3.1, (Figura 3.5) y así traducir las características esperadas en características de ingeniería y sirvan para el desarrollo conceptual y a detalle un prototipo funcional.

Los requerimientos por el cliente se localizan como las filas en la casa de la calidad, y tienen la siguiente importancia porcentual por cada requerimiento (Tabla 3.3), donde los requerimientos más importantes para el cliente son *cinturón de seguridad, diseño ergonómico, ligero y material no ferroso*.

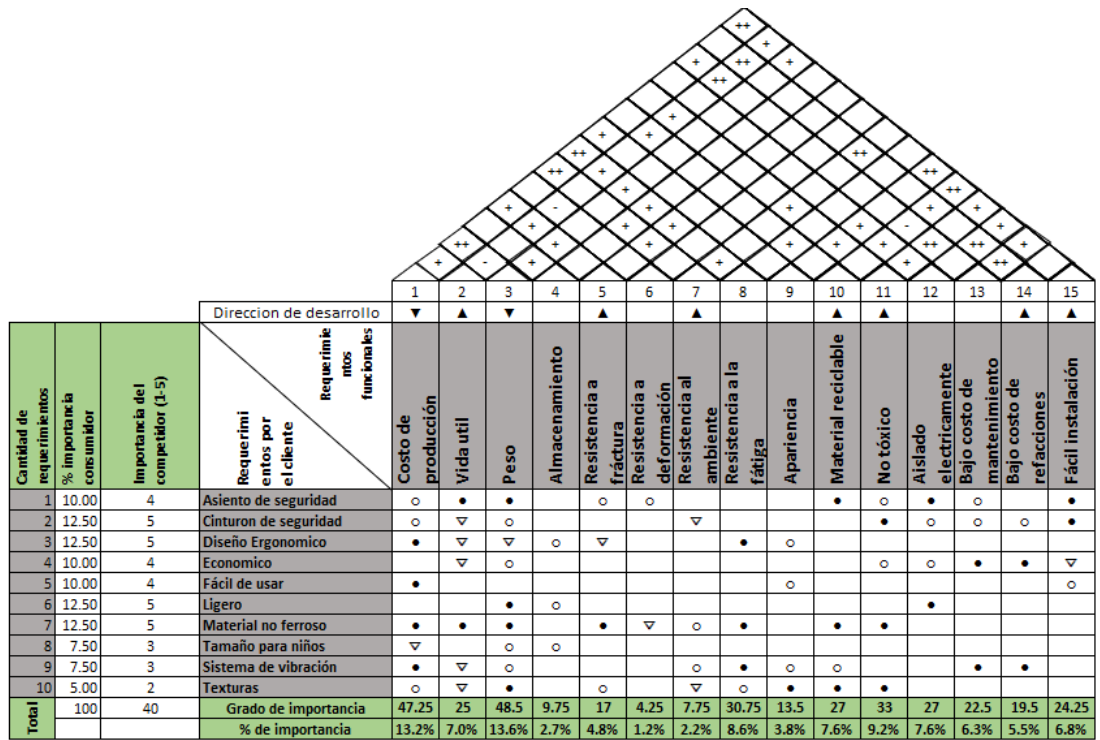


Figura 3.5 Casa de la calidad.

Tabla 3.3 Importancia porcentual para el consumidor.

Requerimientos por el cliente	% importancia porcentual para el consumidor
Asiento de seguridad	10
Cinturón de seguridad	12.5
Diseño Ergonómico	12.5
Económico	10
Fácil de usar	10
Ligero	12.5
Material no ferroso	12.5
Tamaño para niños	7.5
Sistema de vibración	7.5
Texturas	5

En la Tabla 3.4 se enlistan los requerimientos funcionales, los cuales se compararon con los requerimientos del cliente y se obtuvieron que *Peso* y *Costo de producción* fueron los de mayor valor con 13.6% y 13.2% respectivamente, así se definen las metas en el diseño, con esos requerimientos y poder cumplir los objetivos propuestos en la Tabla 3.2.

Tabla 3.4 Importancia porcentual de requerimientos funcionales.

Requerimientos funcionales	% de importancia
Costo de producción	13.2
Vida útil	7.0
Peso	13.6
Almacenamiento	2.7
Resistencia a fractura	4.8
Resistencia a deformación	1.2
Resistencia al ambiente	2.2
Resistencia a la fatiga	8.6
Apariencia	3.8
Material reciclable	7.6
No tóxico	9.2
Aislado eléctricamente	7.6
Bajo costo de mantenimiento	6.3
Bajo costo de refacciones	5.5
Fácil instalación	6.8

#### 3.1.1.4. Generación de alternativas

En este paso se realizó un *diagrama morfológico* para designar los componentes del prototipo. Este se divide en 3 secciones “esqueleto”, “carcaza” y “asiento de seguridad”. Para cada uno se seleccionan los componentes que se consideran idóneos para su diseño priorizando las características del cliente en la Tabla 3.2, (Tabla 3.5).

#### 3.1.1.4.1. **Esqueleto**

En el esqueleto se consideró que el tipo de soporte sería cadena de acero comercial, por su fácil adquisición y bajo costo, en el caso de que se deba reemplazar por algún cambio de longitud, desgaste, corrosión, fallo (ruptura), etc. El material con el cual se fabricará se considera una aleación de aluminio 3003 (A3003), primero porque el aluminio es un metal no ferroso que es bueno para sustituir al acero cuando se busca tener un peso ligero pero que deba ser resistente (Tabla 3.7), además, se cumple una especificación del cliente al no usar acero. Donde se comparan los materiales considerados y el acero, aunque tiene un alto Módulo de elasticidad (E), se observa que su densidad es muy elevada a comparación de los demás materiales, por lo cual nos entrega un peso muy elevado, posteriormente se observa que la fibra de vidrio y los termoplásticos poseen una densidad menor que el aluminio, haciéndolos buenos candidatos por el bajo peso que entregarían, pero no poseen buenas propiedades ante el módulo de elasticidad y el esfuerzo de fluencia (Y). Basado en American Aluminum, la A3003 tiene aplicaciones como equipos químicos, tanques de presión, tanques de almacenamiento y como hojas de trabajo (The Aluminum Association, 2009), Utensilios de cocina, artículos para construcción (Kalpakjian S. , 2008), componentes eléctricos, procesamiento de alimentos, usos arquitectónicos, tapas de latas de refrescos y componentes marinos (Askeland, 2012). En la tabla 3.6 se observa algunas aleaciones de aluminios más usadas y sus aplicaciones típicas.

Y en uniones se usó soldadura para evitar que haya fallos en los elementos por ser unidos con remaches.


















#### 3.1.1.4.2. **Carcasa**

Para la carcasa se buscó un material que pueda recubrir el marco y lo proteja ante el ambiente, impactos, tenga aislamiento eléctrico y no sea tóxico por lo cual se pensó en el Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), por las buenas propiedades mecánicas que posee como resistencia al impacto, resistencia a la



abrasión y a productos químicos, buena resistencia eléctrica ya que es rígido y dimensionalmente estable (Kalpakjian S. , 2008). Ya que entre sus usos comunes se encuentra que es aplicado en automóviles, herramientas, barcos y electrodomésticos (carcasas) (Kalpakjian S. , 2008) (Marks, 2011). Comparando a los materiales considerados de la Tabla 3.8, se tiene que el ABS y ABS reforzado (28-55 y 100 MPa) poseen una resistencia a la tracción mayor que el polipropileno (20-35 MPa) y polietileno (7-40 MPa).

Tabla 3.5 Diagrama morfológico.

Características		Medios			
		Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Esqueleto	Soporte	Cable de acero 	cadena de acero 	Tubo 	
	Materiales	Acero A36 	Aleación de aluminio 3003 	Polipropileno 	Fibra de vidrio 
	Uniones	Tornillo 	Soldadura 	Remaches 	
Carcasa	Materiales	ABS 	Polietileno 	Fibra de vidrio 	Polipropileno 
	Sujeciones	Tornillo 	Soldadura 	Remaches 	











Asiento de seguridad	Materiales	ABS 	Polietileno 	Fibra de vidrio 	Polipropileno 
	sujeciones	Tornillo 	Soldadura 	Remaches 	Mecanismo de liberación de doble acción
	Aseguramiento	Cinturón de 2 puntos  Pélvico (2 puntos)	cinturón de 3 puntos  Estático (3 puntos)	Cinturón de 4 puntos 	

Tabla 3.6 Aplicaciones típicas de aleaciones de aluminio seleccionadas.

Aleación	Aplicaciones típicas
1100	Trabajo de lámina metálica, artículos huecos producidos por rechazado, recipientes
2024	Ruedas para camiones, productos para máquinas roscadoras, estructuras para aeronaves.
3003	Utensilios de cocina de cocina, equipo químico, recipientes a presión, trabajos de láminas metálicas, artículos para constructores, tanques de almacenamiento.
5052	Trabajos de láminas metálicas, tubos hidráulicos y artículos domésticos; autobuses, camiones y usos marinos.
6061	Estructuras de trabajo pesado donde se necesita resistencia a la corrosión; camiones y estructuras marinas, carros de ferrocarril, muebles, ductos, pasamanos en puentes, tubería hidráulica.
7075	Aeronaves y otras estructuras, llaves, accesorios hidráulicos.

Tabla 3.7 Propiedades mecánicas de diversos materiales a T ambiente.

Materiales	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Alargamiento en 50 mm (%)	Relación de Poisson (v)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Acero	200	250	400	21	0.28	7.86
AA3003	70	117	131	20	-	2.71
ABS	2.1	-	28 - 48	400	-	1
Polipropileno	1.4	-	34	10 - 700	-	1.04
Fibra de vidrio	73 - 85	-	3500 - 4600	0	-	2.54

(Callister Jr, 1995), (Shackelford, 2005) (Beer, Johnston, Jr, & DeWolf, 2006)

Tabla 3.8 Propiedades mecánicas de diversos materiales.

Materiales	Esfuerzo de tracción (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Alargamiento en 50 mm (%)	Relación de Poisson (v)
ABS	28 - 55	1.4 - 2.8	75 - 5	-
ABS, reforzado	100	7.5	-	0.35
Polipropileno	20 - 35	0.7 - 1.2	500 - 10	-
Polipropileno, reforzado	40 - 100	3.5 - 6	4.0 - 2.0	-
Polietileno	7.0 - 40	0.1 - 1.4	60 - 1	0.35
Fibra de vidrio	-	30	0	0.26

(Kalpakjian S. , 2008) (Shackelford, 2005)

Para las sujeciones de la carcasa se consideraron tornillos por la simplicidad de remover e intercambiar las piezas en caso de tener daño, esto no implicaría un mantenimiento costoso.

#### 3.1.1.4.3. Asiento de seguridad

Para el asiento de seguridad se consideró el polímero Polipropileno, ya que posee buenas propiedades mecánicas, eléctricas y químicas, gran resistencia a las rasgaduras. Por lo cual en sus aplicaciones se encuentra partes de electrodomésticos, tazas, recipientes de líquidos y muebles. Además,

al ser un polímero termoplástico es factible poder obtenerlo mediante materiales reciclados (Kalpakjian S. , 2008).

Para la sujeción del asiento se buscó un mecanismo de liberación de doble acción, el cual es para asegurar o liberar por completo el asiento de la base para poder ser intercambiable (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2016). Con eso definido se planteó la idea de manejar dos tipos de asientos para los niños de edades entre 2 a 6 años que son bebés, niños pequeños y preescolares, el usar un asiento tipo “portabebés” u “orientado hacia atrás” (Figura 3.6), mientras que para los niños de edad escolar (7 a 12) poder implementar un asiento orientado hacia adelante (Figura 3.7), o usar el asiento elevador (Figura 3.8) (American Academy of Pediatrics [AAP], 2023).



Figura 3.6 Asiento portabebés.



Figura 3. 7 Asiento orientado hacia adelante con arnés.



Figura 3.8 Asiento elevador.

### 3.1.2. Diseño inicial

El modelo inicial es un columpio, (Figura 3.9), con forma de huevo, (se toma esta forma por petición del cliente, Tabla 3.1), donde debe ser cóncavo y poder adaptársele un asiento que sea removible para los diferentes tamaños de los niños que recibirá, tomándose en cuenta los actuales y los futuros, considerando un diseño para extremos (Mondelo P. , 1999), donde se recolectaran las medidas antropométricas de los pacientes y poderlo realizar.

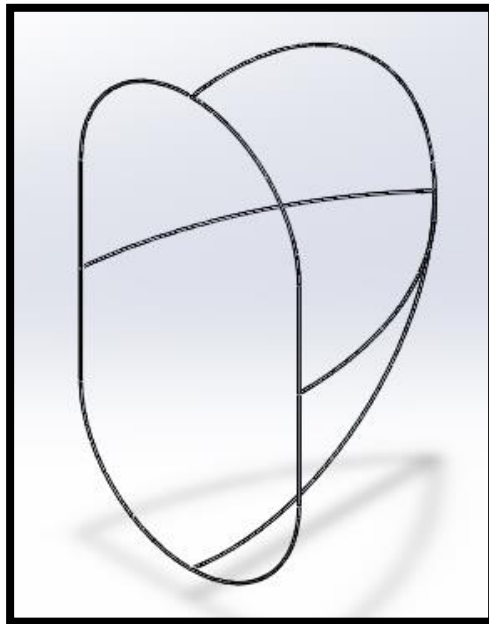


Figura 3. 9 Modelo CAD del diseño inicial (esqueleto).

Con base a la información del paso 1 (requerimientos y especificaciones), sabemos que el modelo debe ser ligero, seguro, económico y ergonómico para el cliente, entonces un requerimiento es no usar acero, esto implica que sería más pesado y peligroso para los niños, por lo cual, se considera una aleación de aluminio para que pueda dar una resistencia adecuada y que además sea ligero. En las tablas 3.10 y 3.11 podemos ver las aleaciones de aluminio de la serie 3xxxx y las dimensiones de tubos extruidos (The Aluminum Association, 2009), por donde podemos comenzar las iteraciones en los diseños y llegar a un modelo adecuado en base al material y dimensiones del perfil.

El primer modelo de la Figura 3.11 tiene las características de:

- Altura: 1500 mm
- Ancho: 800 mm
- Material: Aleación de Aluminio 3003
- Perfil Tubo circular
  - Diam. ext. 21.3 mm
  - Espesor 2.3 mm

Con esto, tenemos como punto de partida el modelo 1 (esqueleto), para ir haciendo iteraciones sobre los diseños hasta cumplir con los requerimientos del cliente (CAM Tzehuali), donde en la gráfica 3.1 podemos observar que se usara por lapsos desde 15 – 120 min. en las diferentes actividades del CAM Tzehuali.

## CAPITULO 4. MODELO ANALITICO, DISEÑO Y SU SIMULACIÓN

El *diseño conceptual* es la síntesis del proceso de diseño que utilizamos, donde se realizará el diseño del prototipo, sabiéndose que éste ira cambiando por las optimizaciones que se realicen a medida que se hacen los análisis pertinentes (Budynas & Nisbett, 2018) (Cross N. , 2015) (Ullman, 2010).

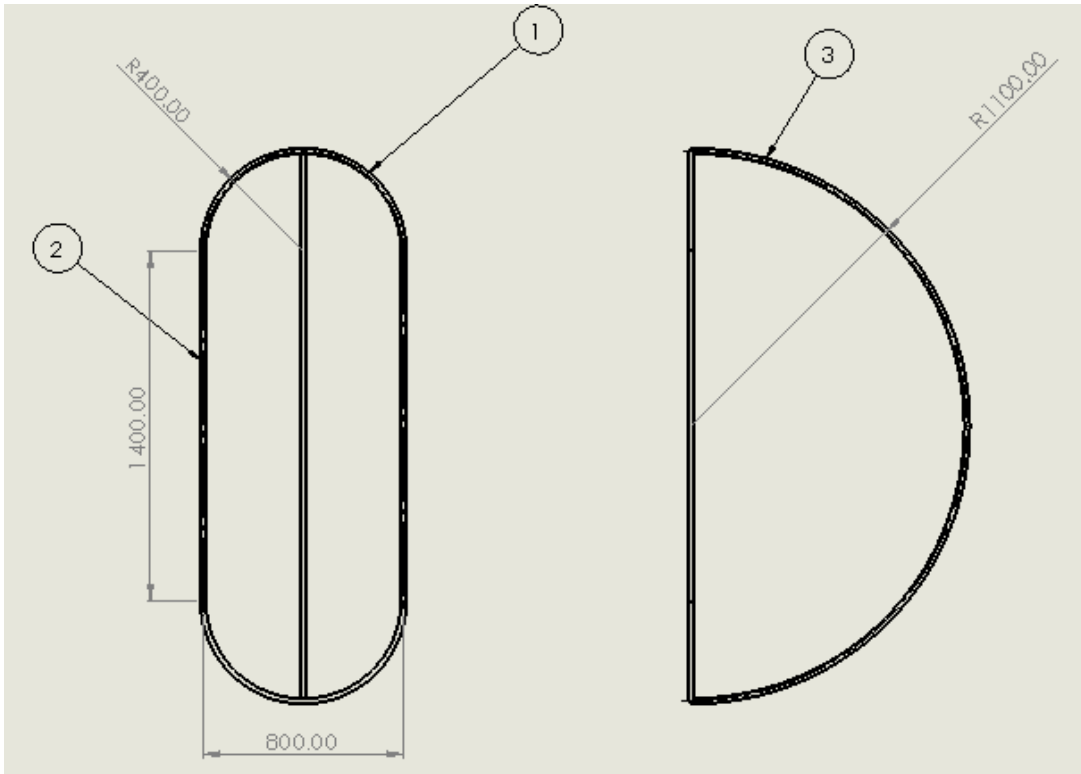
### 4.1. Esqueleto

Para comenzar se tiene un primer diseño, denominado *Esqueleto* ya que se parte de este diseño para optimizar en cuestión de los análisis de esfuerzos que se le aplican por el software SolidWorks®.

En base a la información del paso 1 (requerimientos y especificaciones), sabemos que el modelo debe ser ligero, económico y ergonómico para el cliente, entonces un requerimiento es no usar acero, esto implica que sería más pesado y peligroso para los niños, por lo cual, se considera una aleación de aluminio para que pueda dar una resistencia adecuada y que además sea más ligero. Teniendo en cuenta esto se comenzó con un diseño con las siguientes medidas y especificaciones (Tabla 4.1) (Figura 4.1):

Tabla 4.1 Características del Esqueleto.

Descripción	Cantidad	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003	
Perfil	Tubo	
Diam ext.	21.3	mm
Espesor	2.3	mm
Masa	2251.71	g



Nº de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	2	PIPE 21.30 X 2.3	1256.64
2	2	PIPE 21.30 X 2.3	1400
3	1	PIPE 21.30 X 2.3	3455.75

Figura 4.1 Medidas de Esqueleto.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.2).



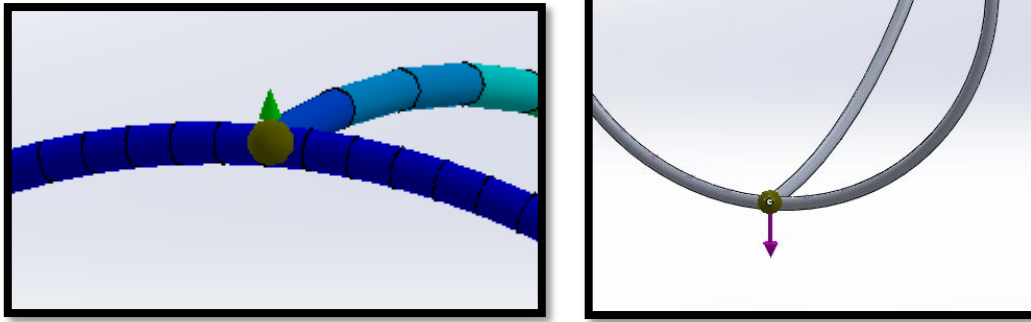


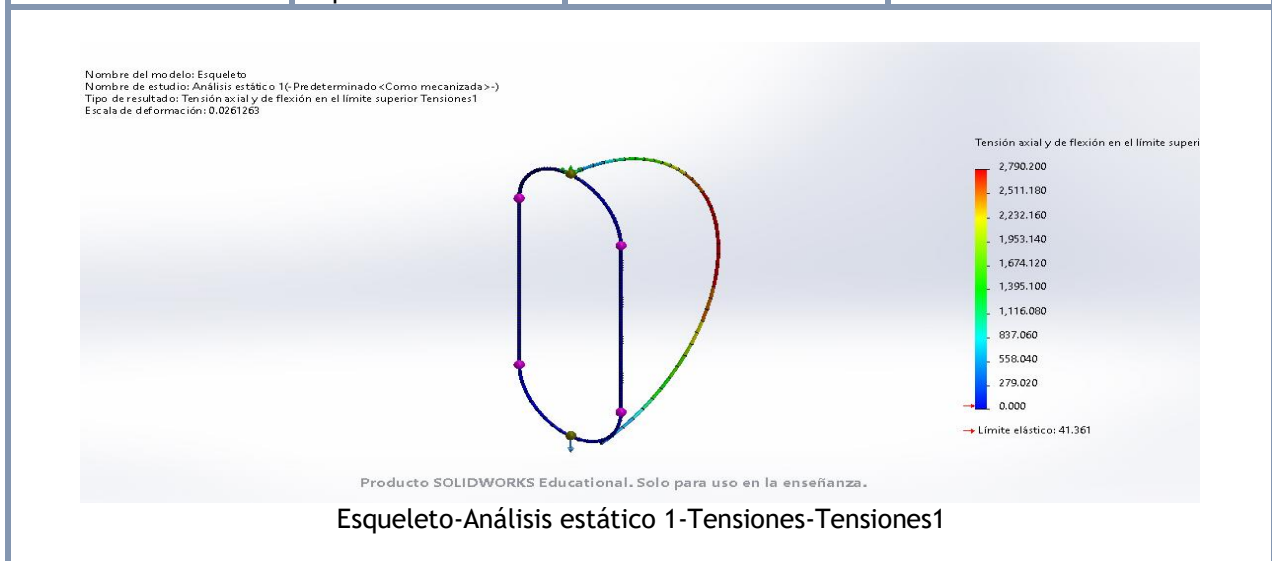
Figura 4.2 Condiciones de frontera. Sujeción- Punto fijo (geometría fija) y carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

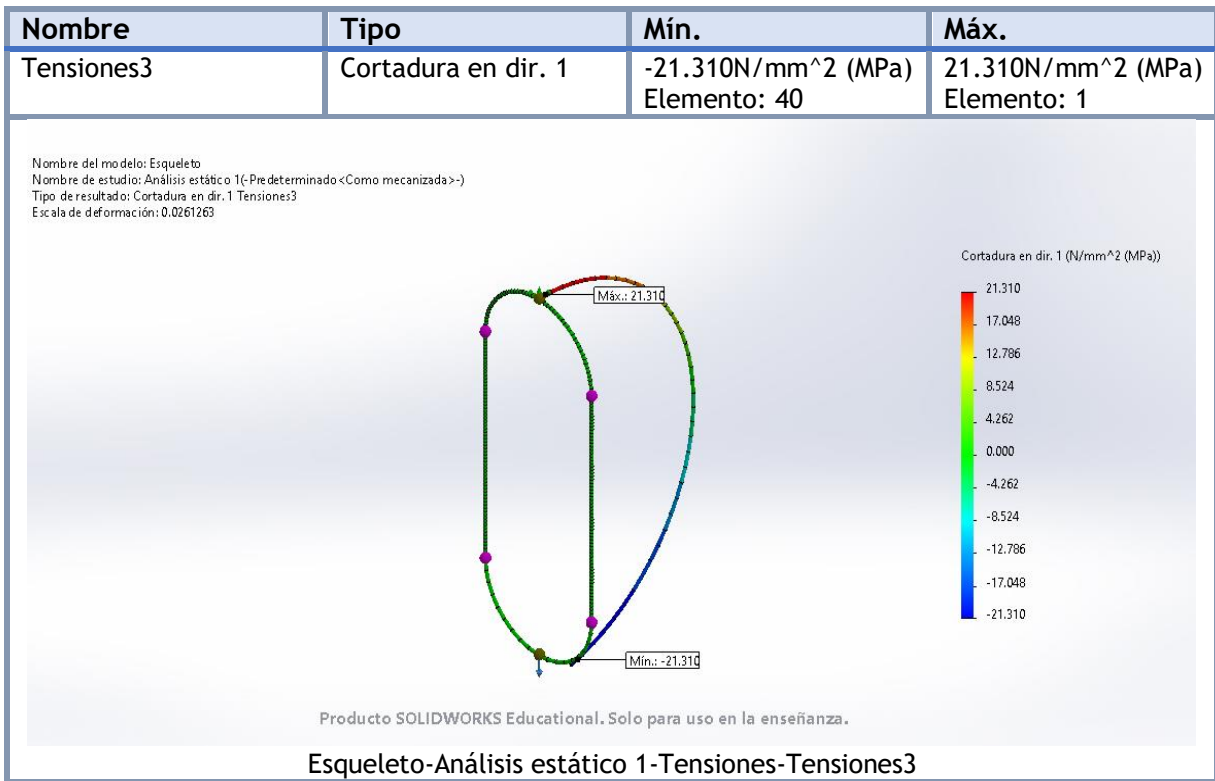
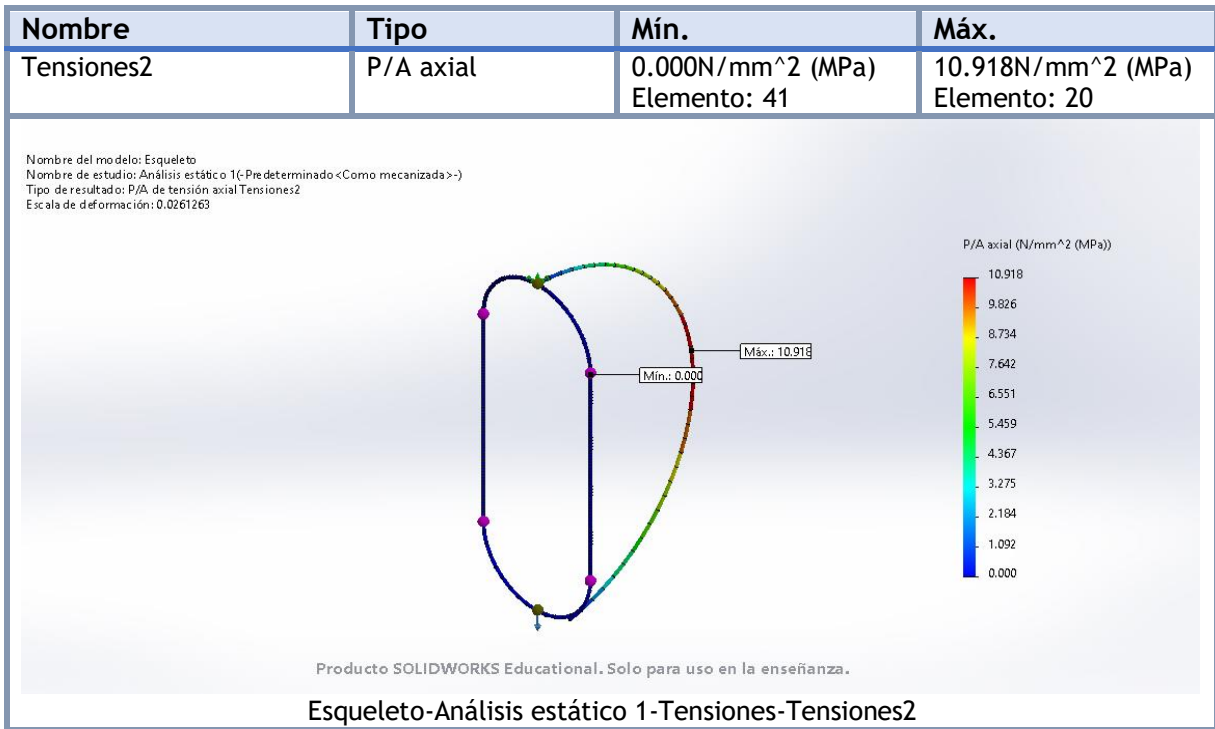
Donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.2)

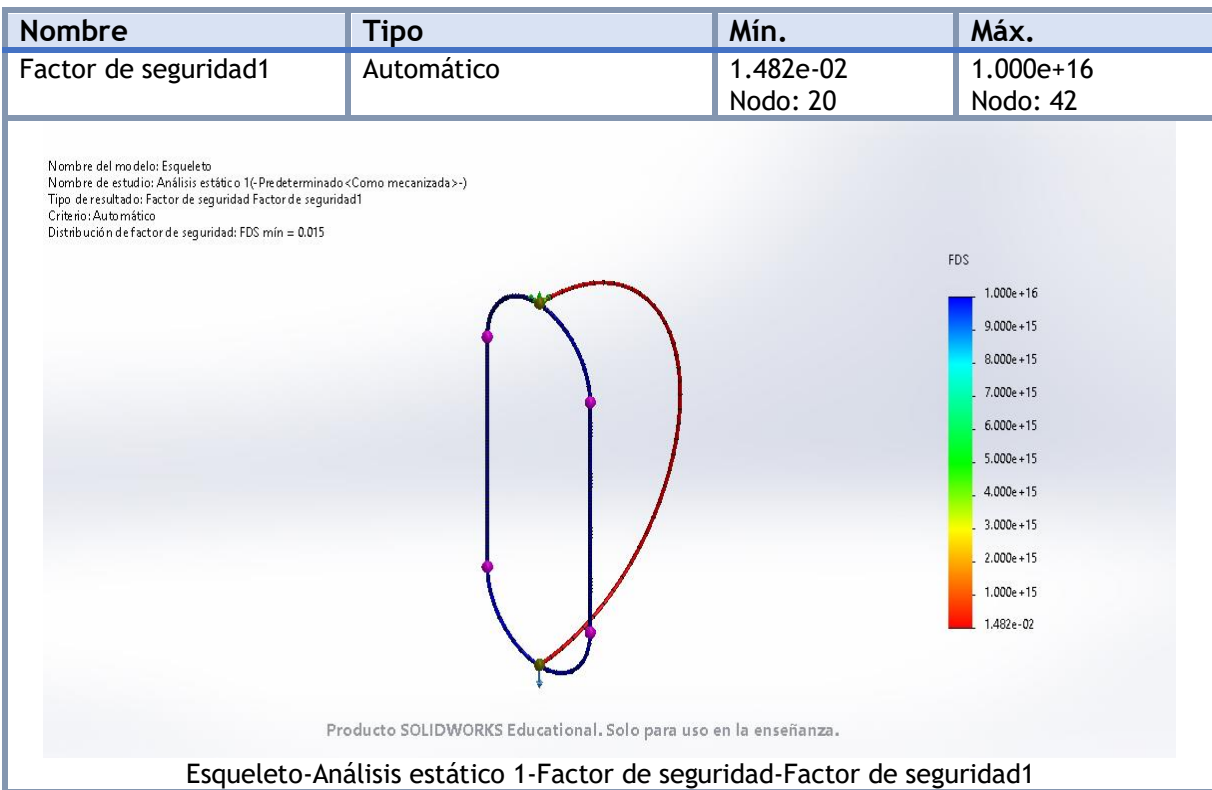
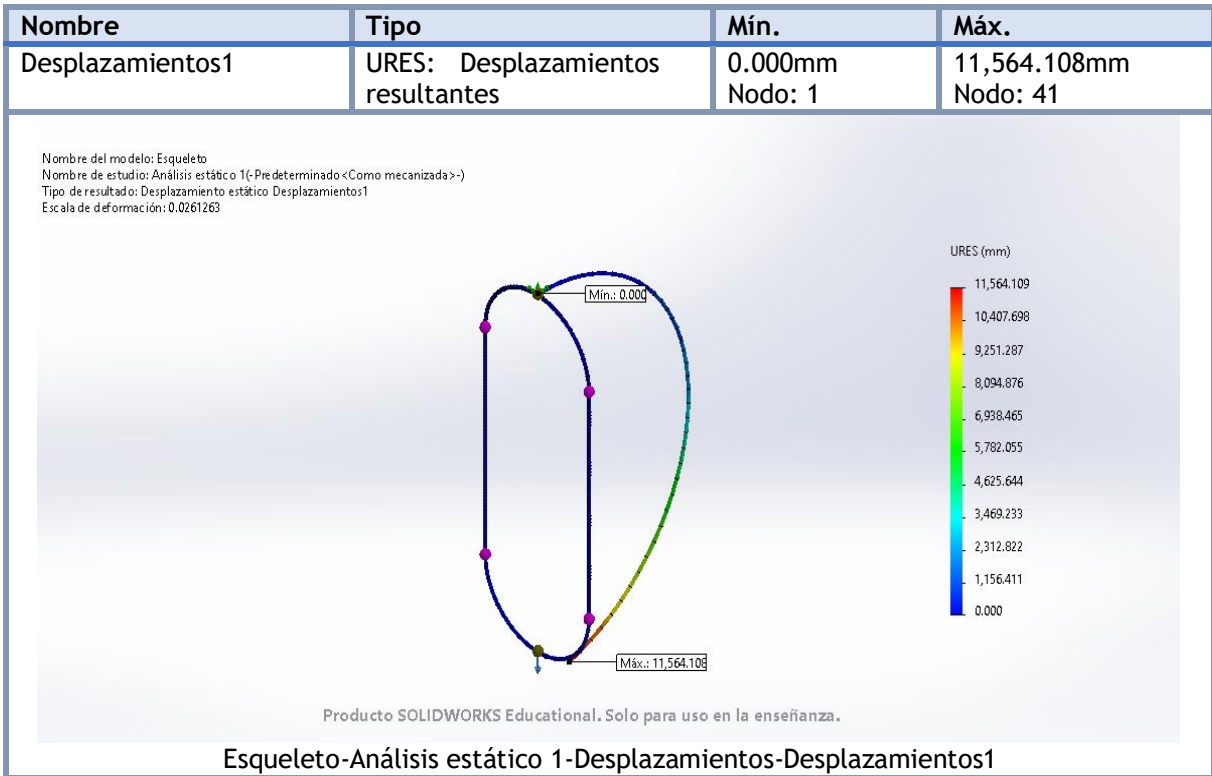
Tabla 4.2 Resultados Análisis estático - Esqueleto.

<b>Esfuerzos</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Von mises	2,790.22 MPa	0 MPa
P/A	10.918 MPa	0 MPa
V/A	21.31 MPa	-21.31 MPa
Desplazamientos	11,564.11 mm	
F.S.	0.015	
Limite elástico	41.361 MPa	

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0.000N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 41	2,790.200N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 20



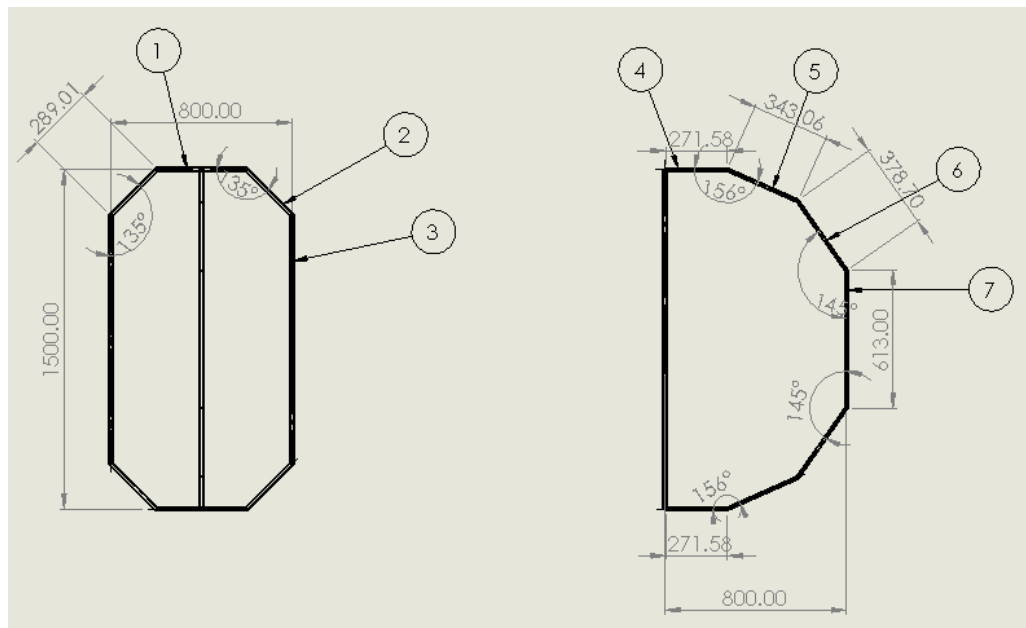




Como el primer diseño *Esqueleto* no tiene buenos resultados por el análisis en SolidWorks, se procede a cambiarlo para mejorar los resultados. Ahora se usará el diseño denominado *Esqueleto 2*, donde el diseño se cambió por un marco rectangular (Figura 4.3) (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Características del Esqueleto 2.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003	
Perfil	Tubo	
Diam ext.	21.3	mm
Espesor	2.3	mm
Masa	878.12	g



Nº de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	2	PIPE 21.30X2.3	800
2	4	PIPE 21.30X2.3	289.01
3	2	PIPE 21.30X2.3	1500
4	2	PIPE 21.30X2.3	271.58
5	2	PIPE 21.30X2.3	343.06
6	2	PIPE 21.30X2.3	378.70
7	1	PIPE 21.30X2.3	613

Figura 4.3 Dimensiones del Esqueleto 2.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 2*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.4).

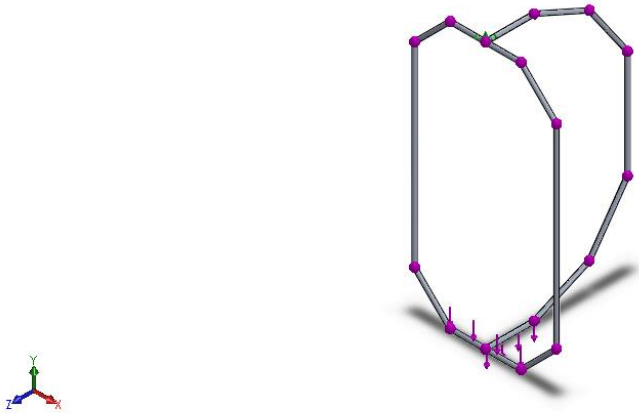
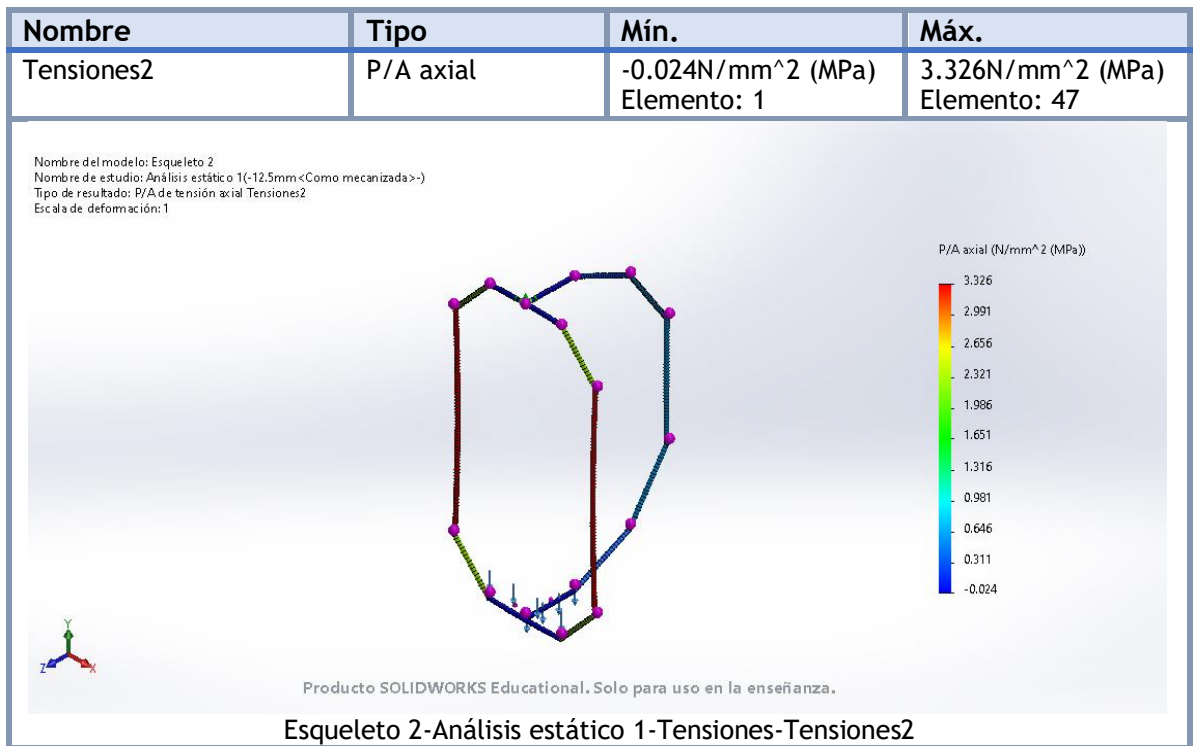
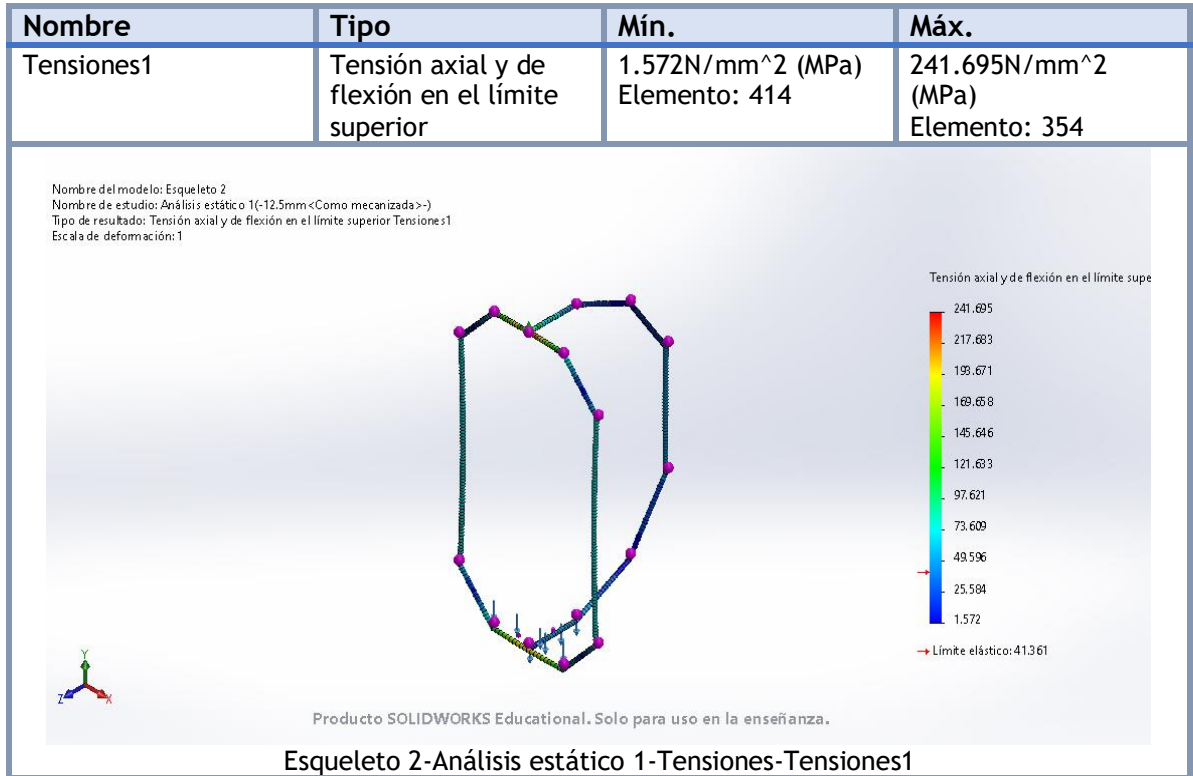


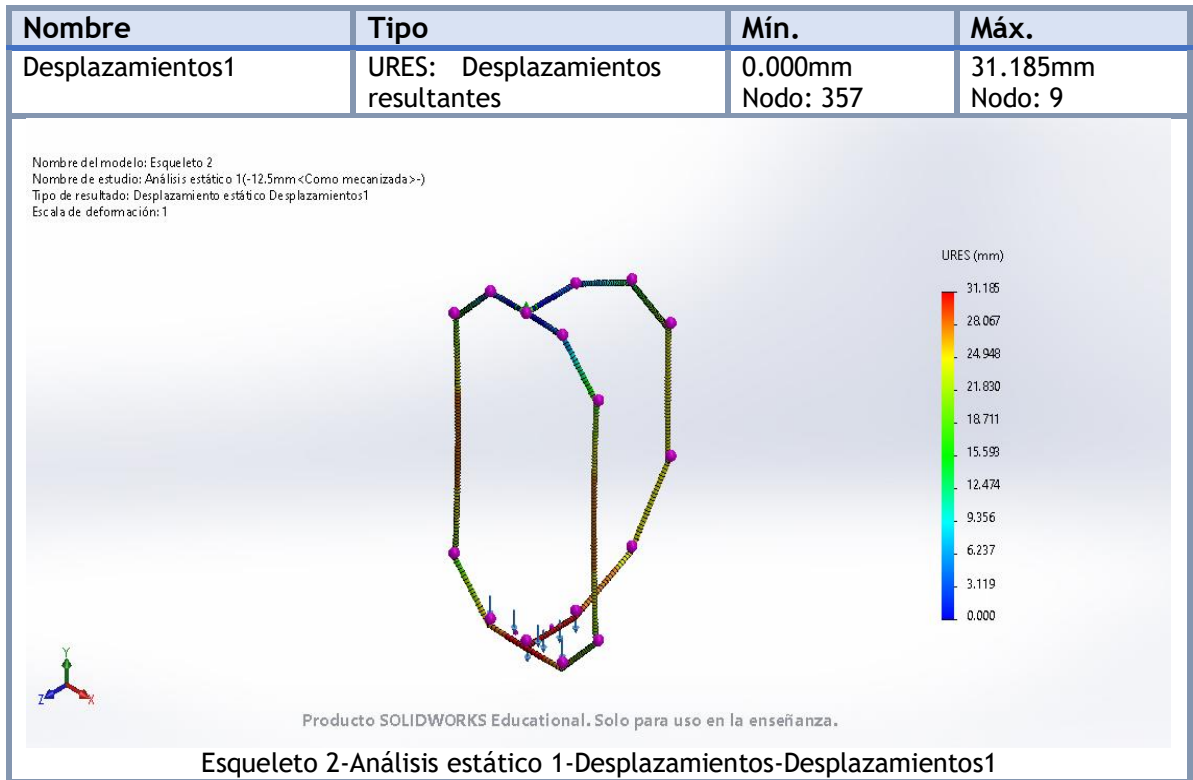
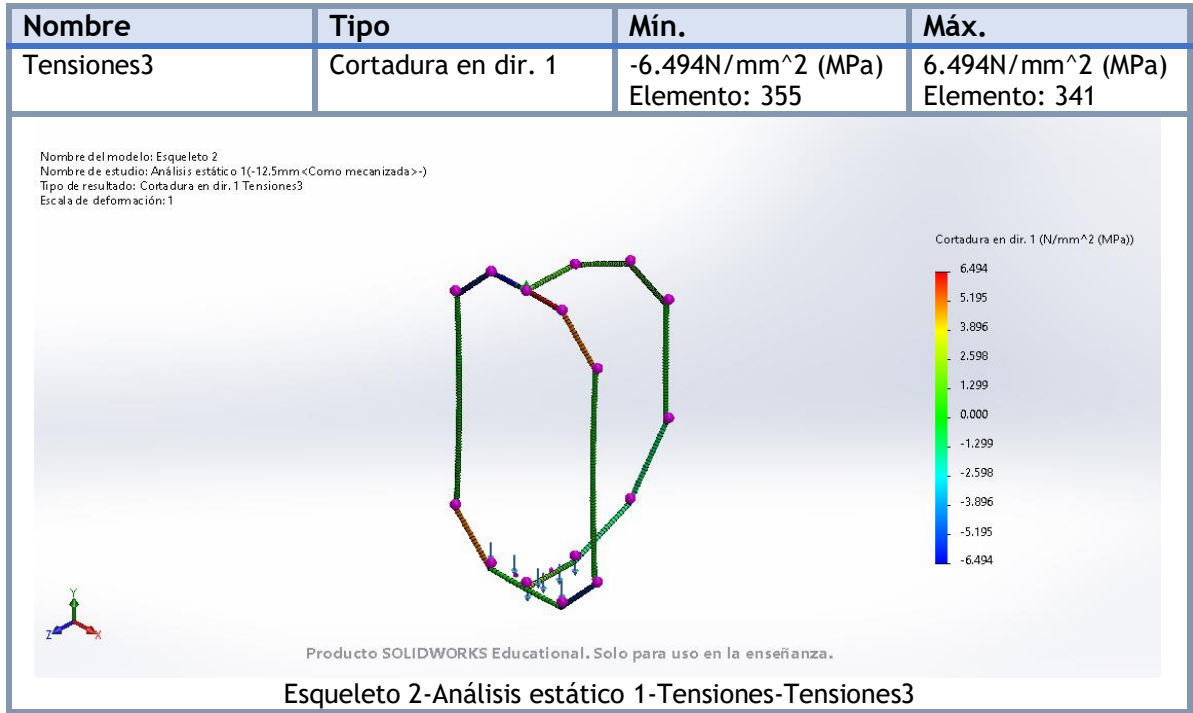
Figura 4.4 Condiciones de frontera. Sujeción- Punto fijo (geometría fija) y Carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

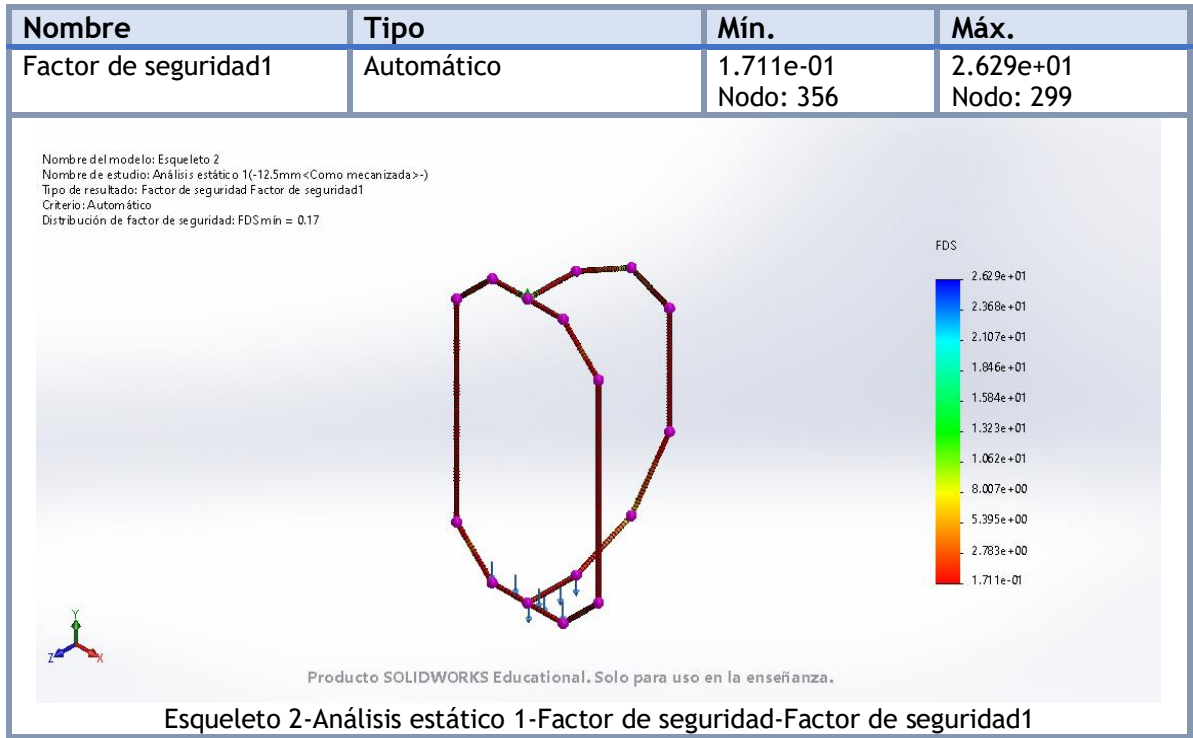
Donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.4)

Tabla 4.4 Resultados Análisis estático- Esqueleto 2.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	241.70 MPa	1.572 MPa
P/A	3.326 MPa	-0.024 MPa
V/A	6.5 MPa	-6.5 MPa
Desplazamientos	31.19 mm	
F.S.	0.17	
Limite elástico	41.361 MPa	





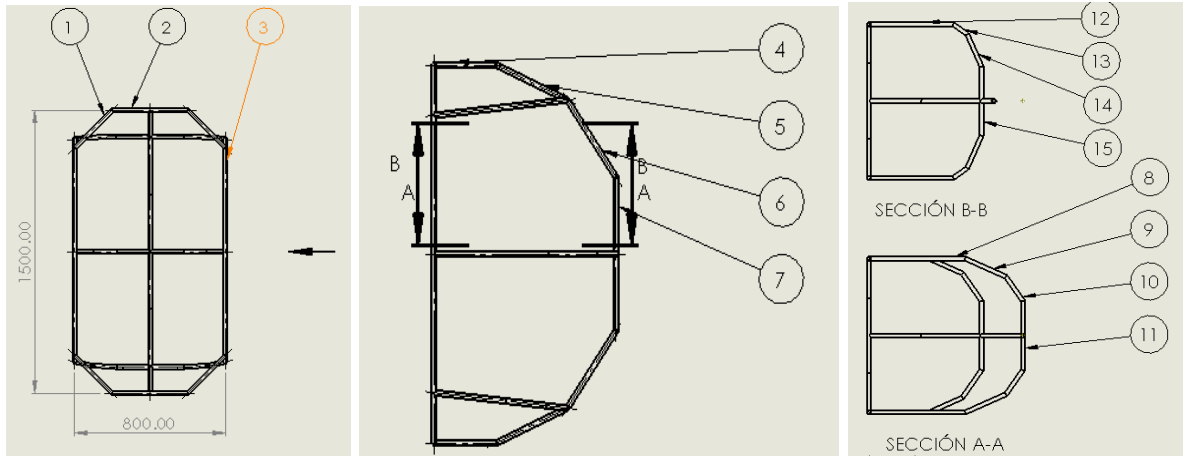


De los resultados del análisis estático del *Esqueleto 2* se decide cambiar la estructura del diseño por una con más elemento, intentando sacrificar peso por resistencia, por lo que se tiene un diseño denominado *Esqueleto 3*, aquí se toma el diseño y se realizan 3 análisis donde se analizan 3 perfiles de tubería y la aleación, ya que la AA-3003 maneja un límite elástico un poco bajo (41.36 MPa) para la carga que se está aplicando (1500 N), se cambia por la AA 3003-H12 que tiene un límite elástico mayor (125 MPa), mientras que los perfiles analizados serán 21.3 x 2.3, 26.9 x 3.2 y 33.7 x 4.0, (Tabla 4.5) (Figura 4.5).

Tabla 4.5 Características del Esqueleto 3.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil	Tubo	
Diam ext.	21.3	mm
Espesor	2.3	mm
Masa	4589.65	g





Nº de elemento	Cantidad	Descripción	Longitud
1	4	PIPE 21.30X2.3	291.67
2	2	PIPE 21.30X2.3	408.82
3	2	PIPE 21.30X2.3	1108.82
4	2	PIPE 21.30X2.3	276.57
5	2	PIPE 21.30X2.3	342.26
6	2	PIPE 21.30X2.3	378.36
7	1	PIPE 21.30X2.3	615.77
8	2	PIPE 21.30X2.3	502.26
9	2	PIPE 21.30X2.3	237.35
10	2	PIPE 21.30X2.3	159.62
11	1	PIPE 21.30X2.3	183.36
12	4	PIPE 21.30X2.3	440.45
13	4	PIPE 21.30X2.3	95.82
14	4	PIPE 21.30X2.3	189.41
15	2	PIPE 21.30X2.3	364.50

Figura 4.5 Dimensiones de Esqueleto 3.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 3*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.6)

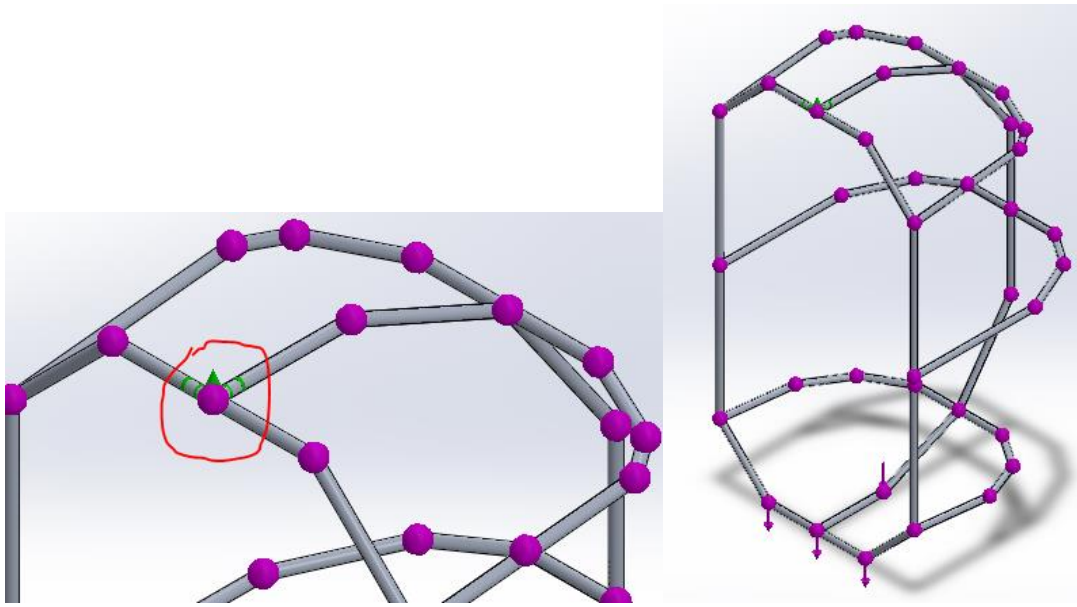


Figura 4.6 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

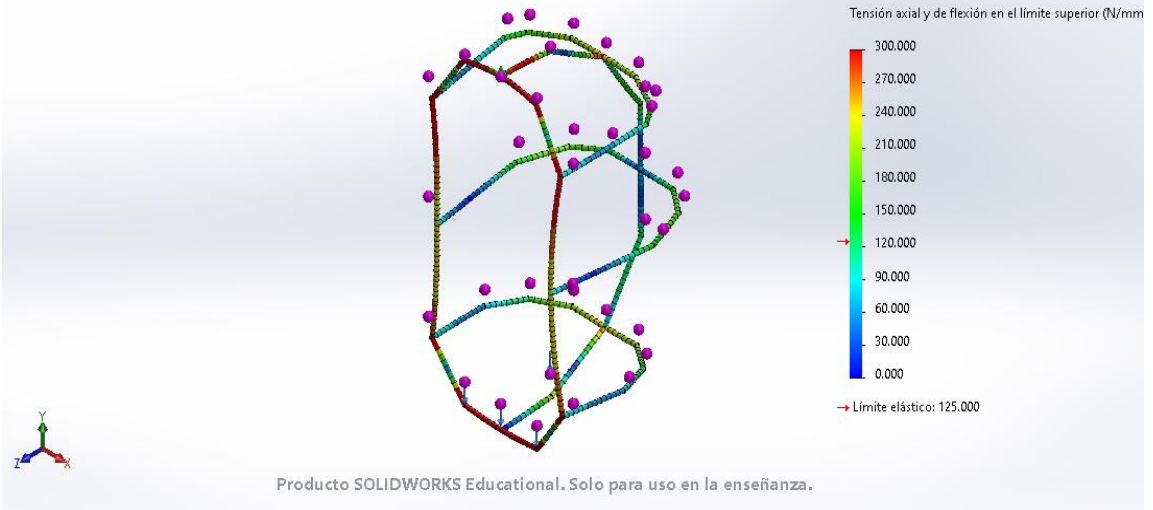
Donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.6)

Tabla 4.6 Resultados Análisis estático- Esqueleto 3.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	300.00 MPa	0 MPa
P/A	19.438 MPa	-3.546 MPa
V/A	35.424 MPa	-35.42 MPa
Desplazamientos	123.90 mm	
F.S.	0.11	
Limite elástico	125 MPa	

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0.000N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 511	1,186.894N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 259

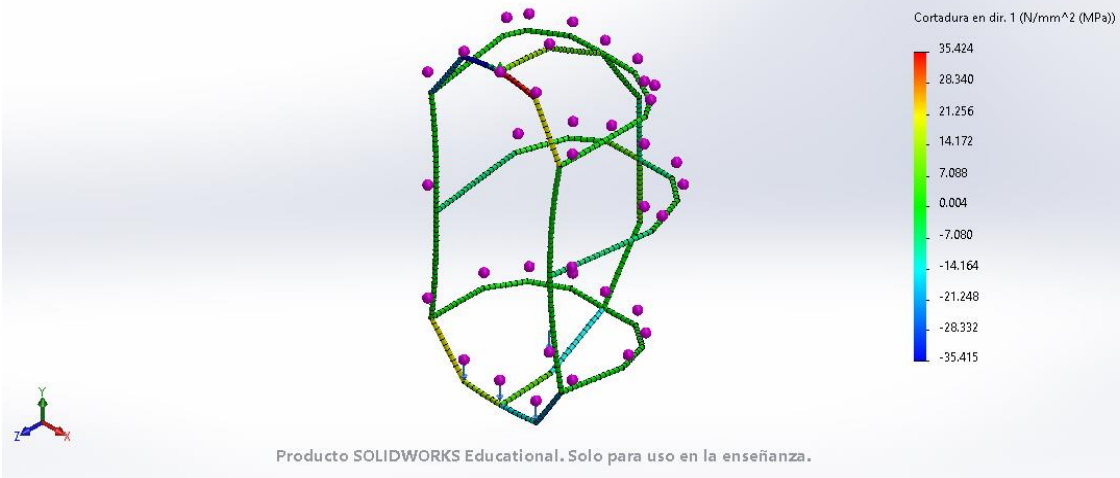
Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-21.3x2.3 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 3-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	Cortadura en dir. 1	-35.415N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 260	35.424N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 252

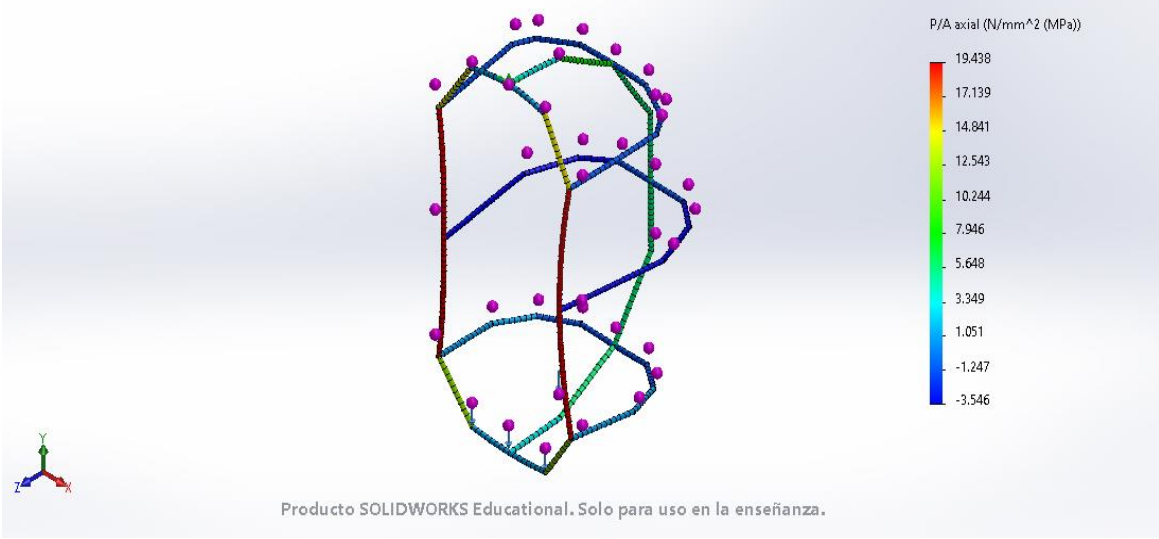
Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-21.3x2.3 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones2  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 3-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	P/A axial	-3.546N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 41	19.438N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 84

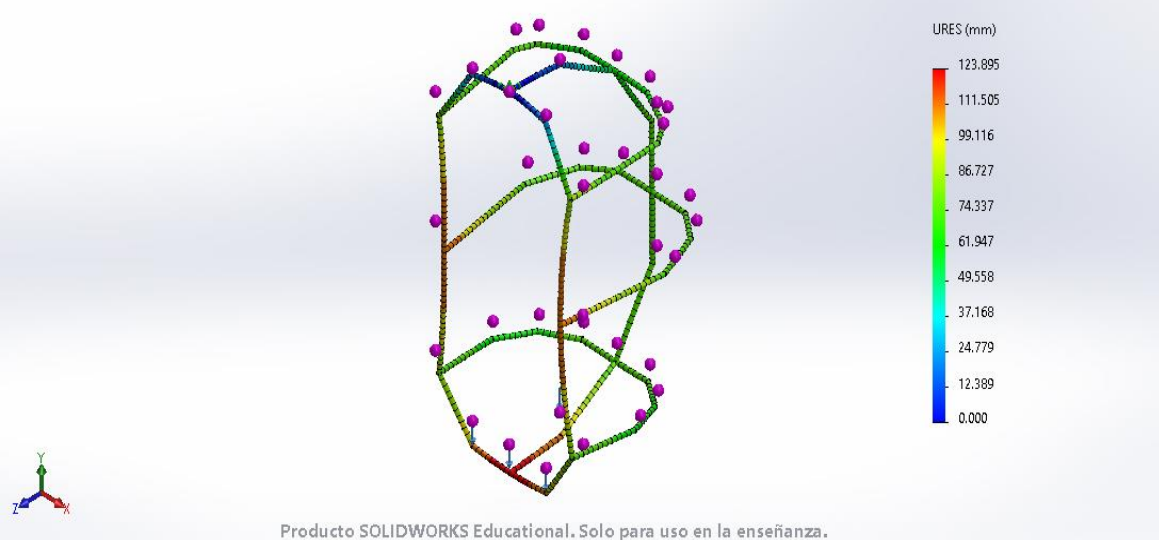
Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-21.3x2.3 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: P/A de tensión axial Tensiones3  
Escala de deformación: 1



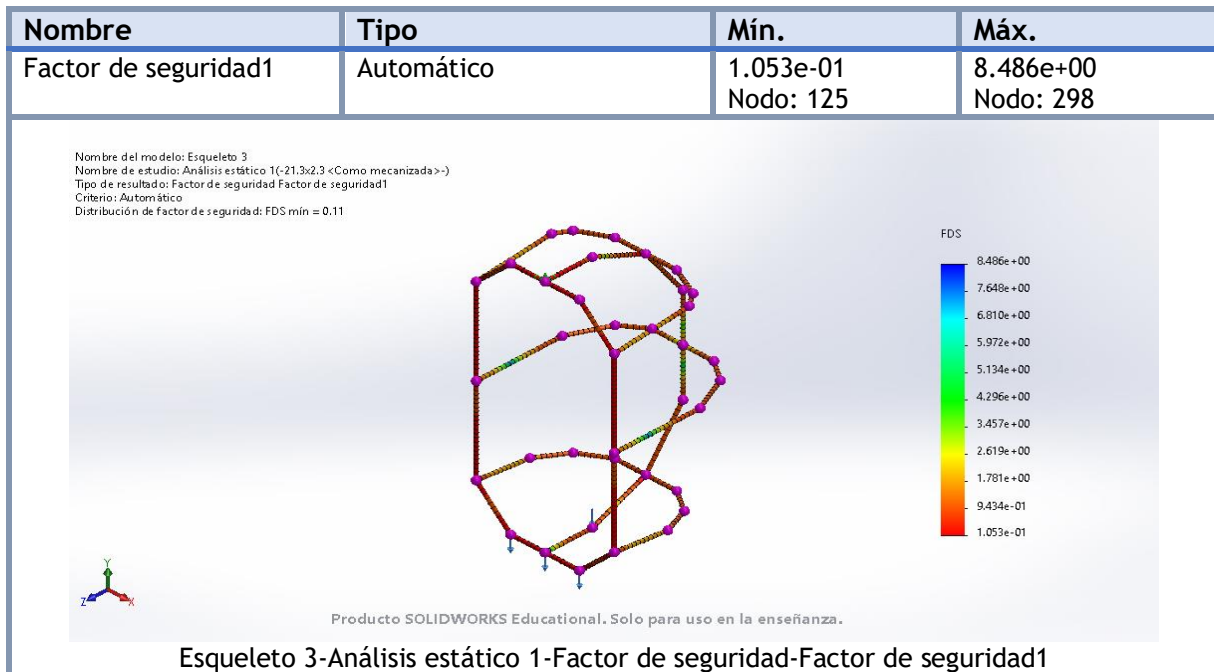
Esqueleto 3-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 125	123.895mm Nodo: 298

Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-21.3x2.3 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 3-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

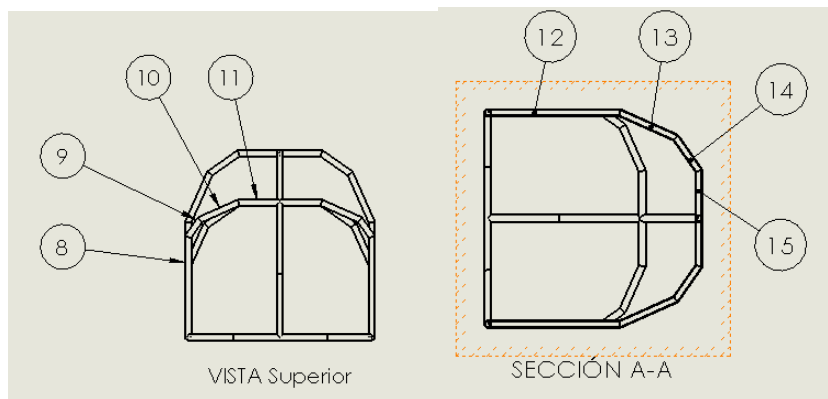
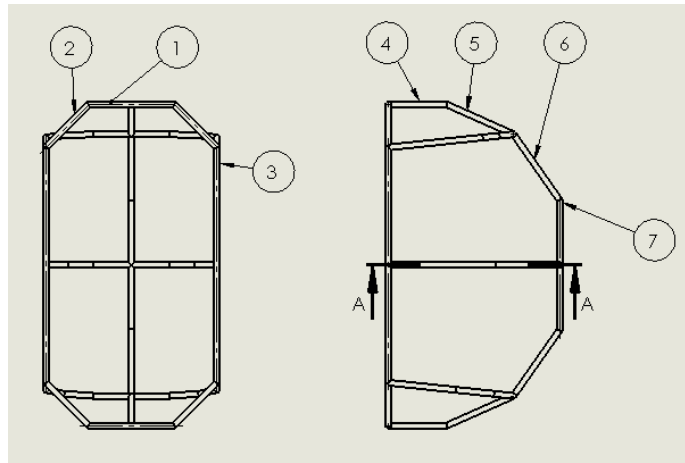


Por los resultados obtenidos de la simulación de análisis estático en el *Esqueleto 3*, se dan resultados insatisfactorios para el diseño, primero revisando el factor de seguridad con valor de 0.11 el cual es muy inferior al mínimo que se usaría en cualquier diseño (al menos 1). Después la deformación que presenta tiene un desplazamiento de 123.9 mm, lo cual es considerablemente alto.

Para esto se volverá a simular el bosquejo del *Esqueleto 3* pero cambiando las dimensiones del perfil utilizado por el siguiente 26.9x3.2 (*Esqueleto 3-2*), donde se obtuvieron los resultados siguientes (Tabla 4.7) (Figura 4.7).

Tabla 4. 7 Características del Esqueleto 3-2.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil	Tubo	
Diam ext.	26.9	mm
Espesor	3.2	mm
Masa	7945.26	g



Nº de elementos	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	PIPE 26.9X3.2	411.14
2	4	PIPE 26.9X3.2	293.99
3	2	PIPE 26.9X3.2	1111.14
4	2	PIPE 26.9X3.2	277.16
5	2	PIPE 26.9X3.2	342.86
6	2	PIPE 26.9X3.2	379.24
7	1	PIPE 26.9X3.2	615.52
8	4	PIPE 26.9X3.2	441.33
9	4	PIPE 26.9X3.2	97.47
10	4	PIPE 26.9X3.2	190.77
11	2	PIPE 26.9X3.2	368.43
12	2	PIPE 26.9X3.2	502.86
13	2	PIPE 26.9X3.2	238.72
14	2	PIPE 26.9X3.2	161.28
15	1	PIPE 26.9X3.2	368.48

Figura 4.7 Dimensiones de Esqueleto 3-2.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 3-2*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.8).

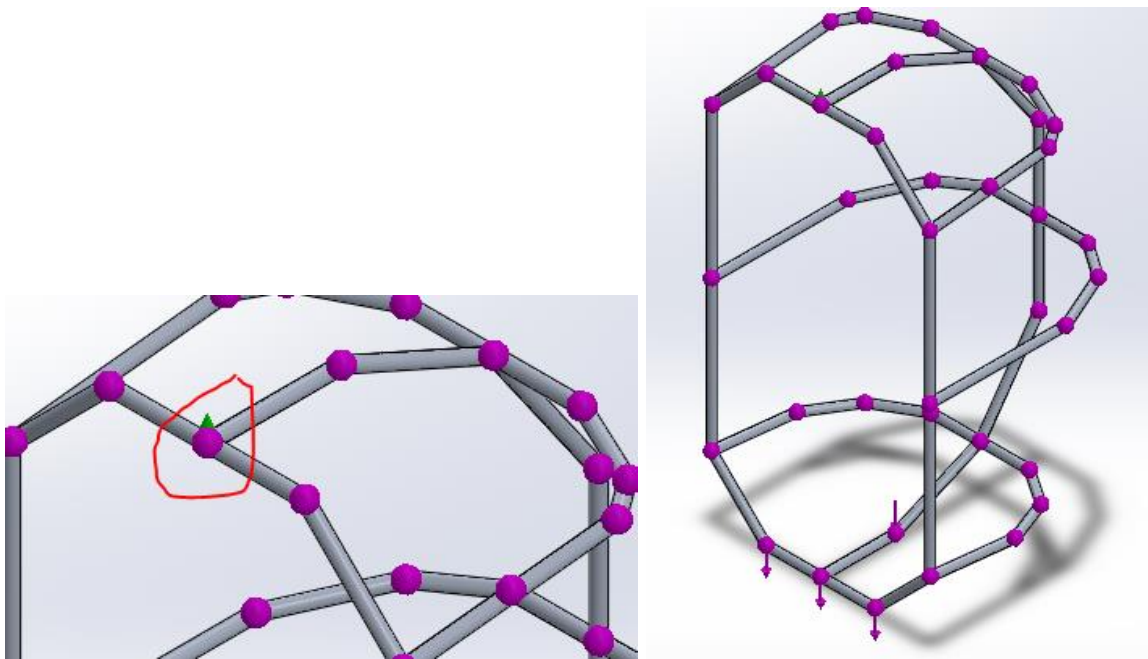


Figura 4. 8 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

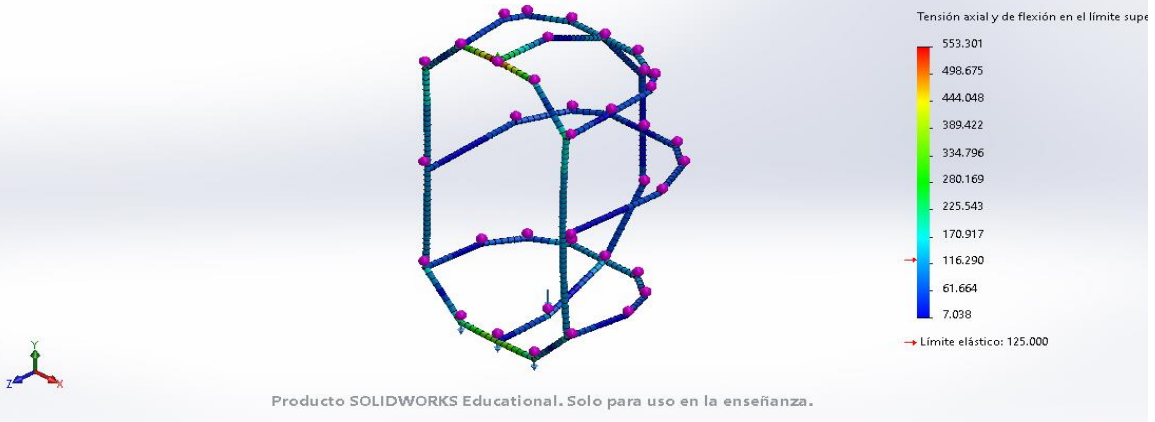
Donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.8)

Tabla 4.8 Resultados Análisis estático - Esqueleto 3-2.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	553.30 MPa	7.038 MPa
P/A	11.12 MPa	-2.04 MPa
V/A	20.294 MPa	-20.29 MPa
Desplazamientos	45.96 mm	
F.S.	0.23	
Limite elástico	125 MPa	

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0.000N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 453	553.301N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 439

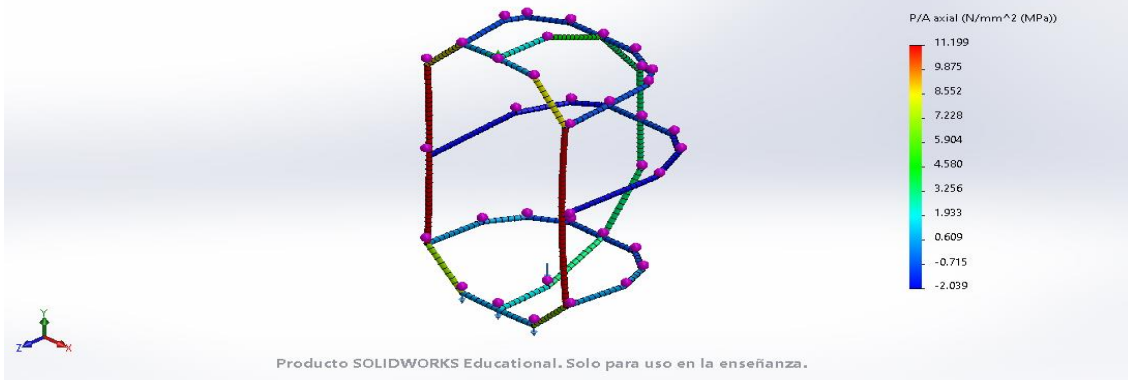
Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-26.9x3.2 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior:Tensiones1  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 3-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	P/A axial	-2.039N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 134	11.199N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 70

Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-26.9x3.2 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: P/A de tensión axial:Tensiones2  
Escala de deformación: 1

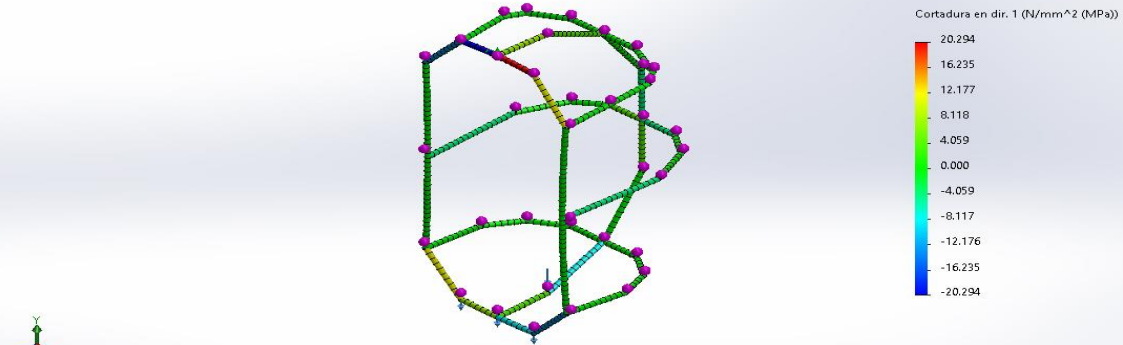


Esqueleto 3-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones2



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	Cortadura en dir. 1	-20.294N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 440	20.294N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 434

Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-26.9x3.2 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones3  
Escala de deformación: 1

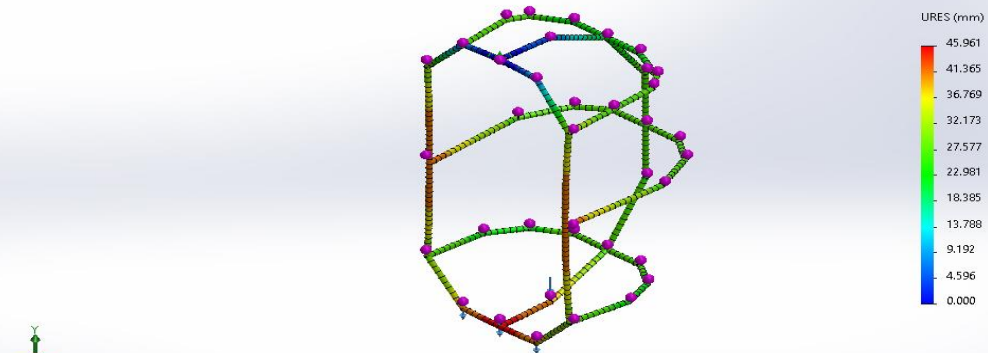


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 3-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones3

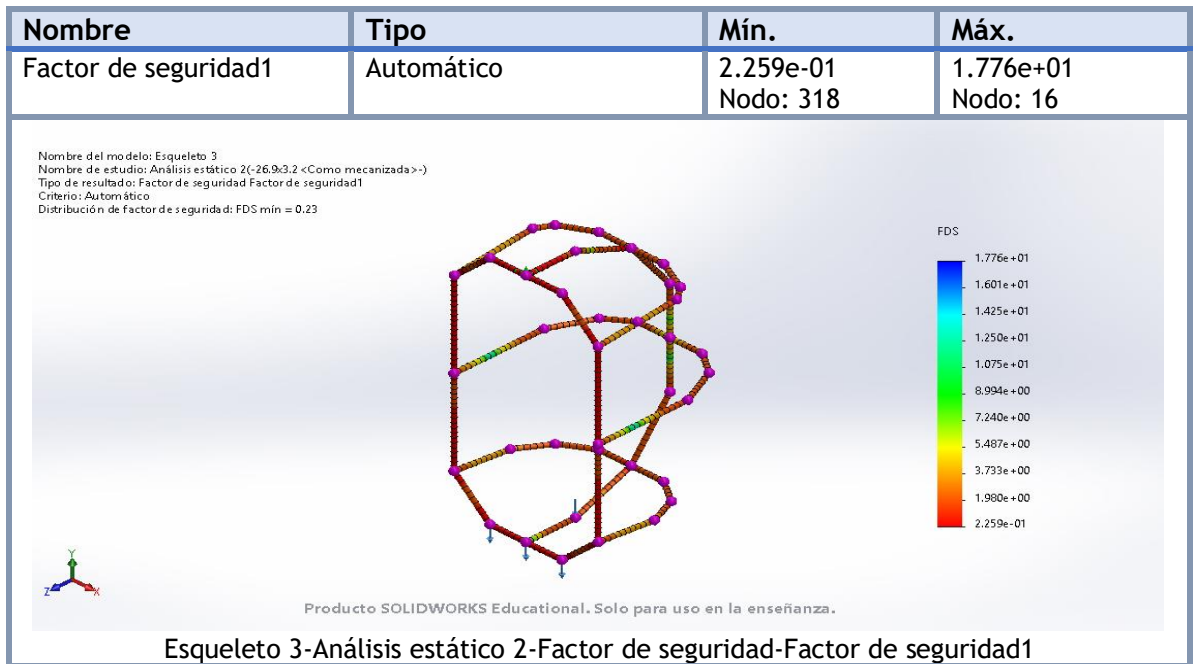
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 318	45.961mm Nodo: 16

Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-26.9x3.2 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 3-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

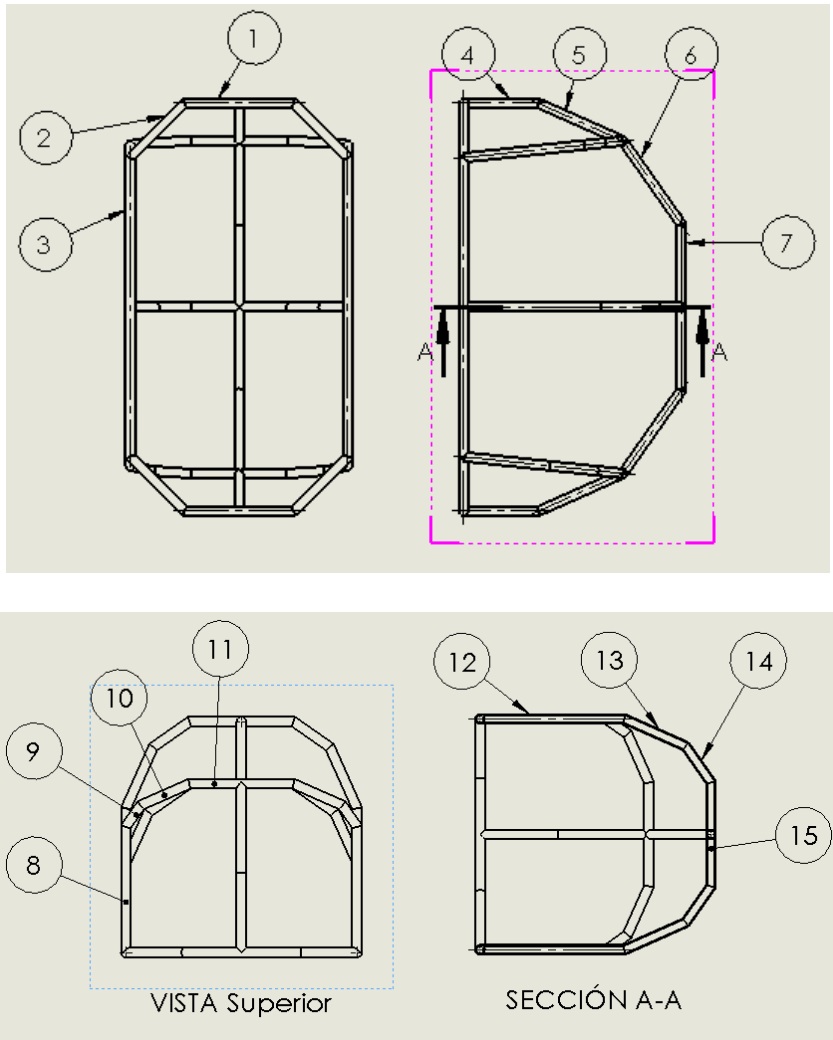


Por los resultados obtenidos de la simulación de análisis estático en el *Esqueleto 3-2*, se dan resultados insatisfactorios para el diseño, primero revisando el factor de seguridad con valor de 0.23 el cual es muy inferior al mínimo que se usaría en cualquier diseño (al menos 1). Después la deformación que presenta tiene un desplazamiento de 45.96 mm, lo cual es aun considerablemente alto.

Para esto se volverá a simular el bosquejo del *Esqueleto 3* pero cambiando las dimensiones del perfil utilizado por el siguiente 33.7x4 (*Esqueleto 3-3*), donde se obtuvieron los resultados siguientes (Tabla 4.9) (Figura 4.9).

Tabla 4.9 Características del Esqueleto 3-3.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil	Tubo	
Diam ext.	33.7	mm
Espesor	4	mm
Masa	12409.37	g



Nº de elementos	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	PIPE 33.7X4.0	410.65
2	4	PIPE 33.7X4.0	296.80
3	2	PIPE 33.7X4.0	1113.96
4	2	PIPE 33.7X4.0	277.88
5	2	PIPE 33.7X4.0	343.58
6	2	PIPE 33.7X4.0	380.31
7	1	PIPE 33.7X4.0	619.68
8	4	PIPE 33.7X4.0	442.39
9	4	PIPE 33.7X4.0	99.47
10	4	PIPE 33.7X4.0	192.43
11	2	PIPE 33.7X4.0	370.57
12	2	PIPE 33.7X4.0	501.72
13	2	PIPE 33.7X4.0	240.34
14	2	PIPE 33.7X4.0	163.23
15	1	PIPE 33.7X4.0	370.56

Figura 4.9 Dimensiones de Esqueleto 3-3.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 3-3*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.10).

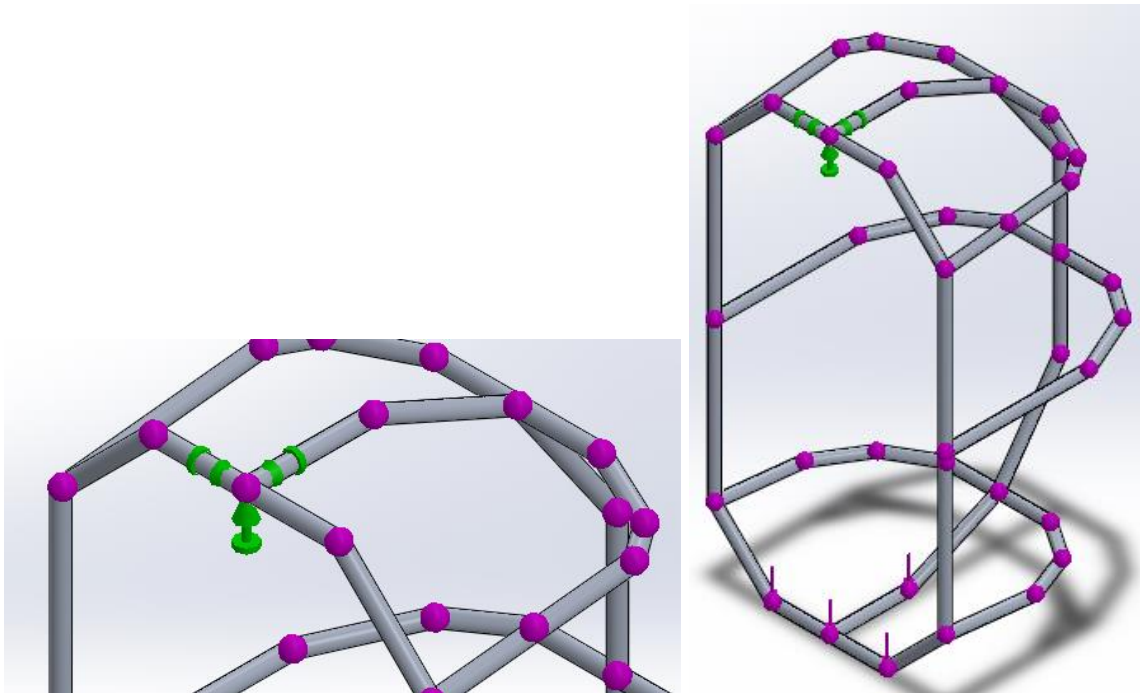
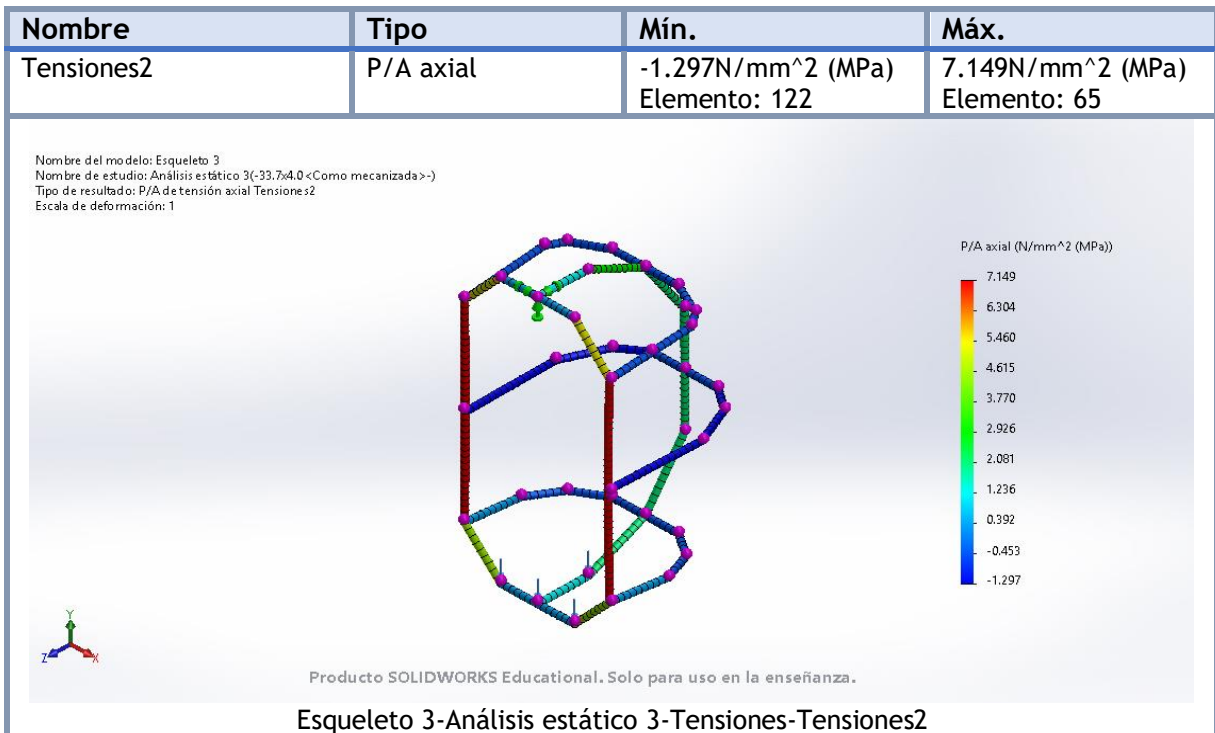
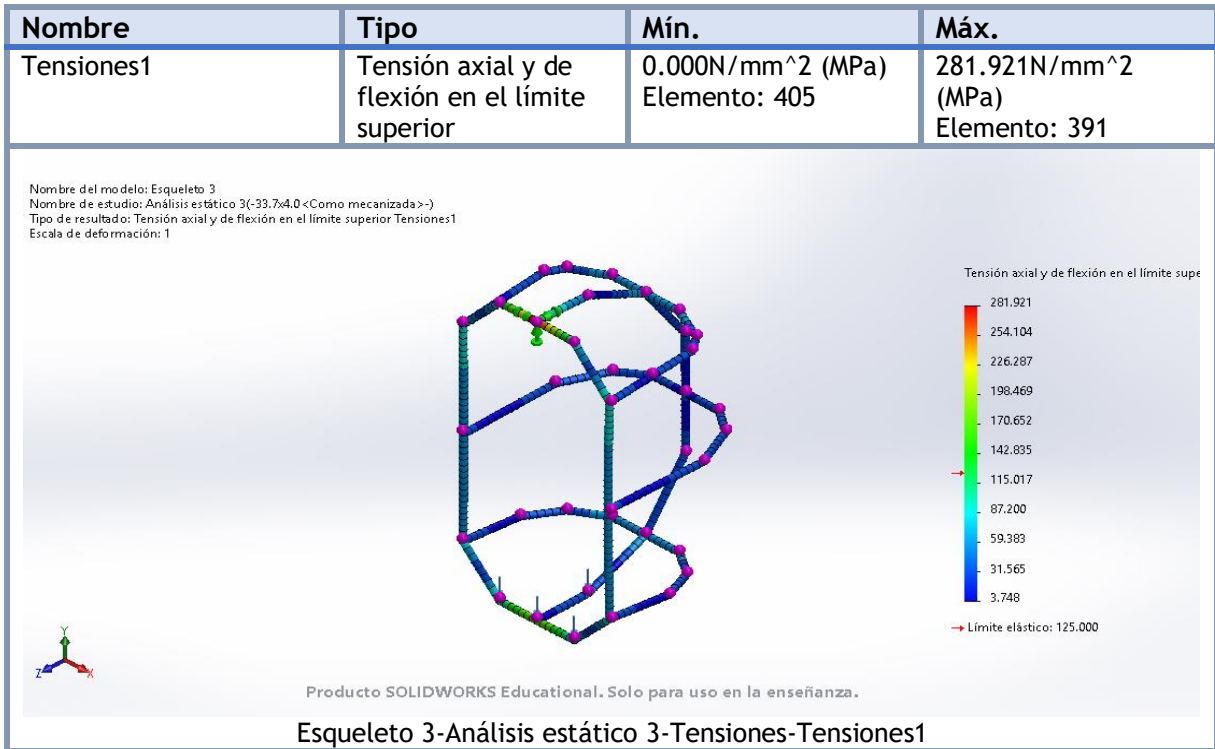


Figura 4. 10 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

Donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.10)

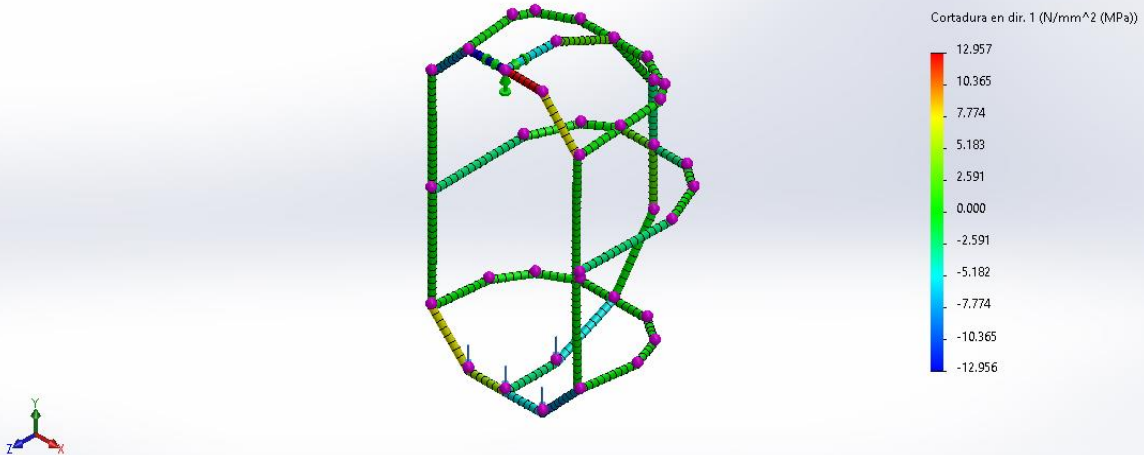
Tabla 4.10 Resultados Análisis estático - Esqueleto 3-3.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	281.92 MPa	3.748 MPa
P/A	7.15 MPa	-1.3 MPa
V/A	12.957 MPa	-12.96 MPa
Desplazamientos	7.90 mm	
F.S.	0.44	
Limite elástico	125 MPa	



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	Cortadura en dir. 1	-12.956N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 392	12.957N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 386

Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-33.7x4.0 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones3  
Escala de deformación: 1

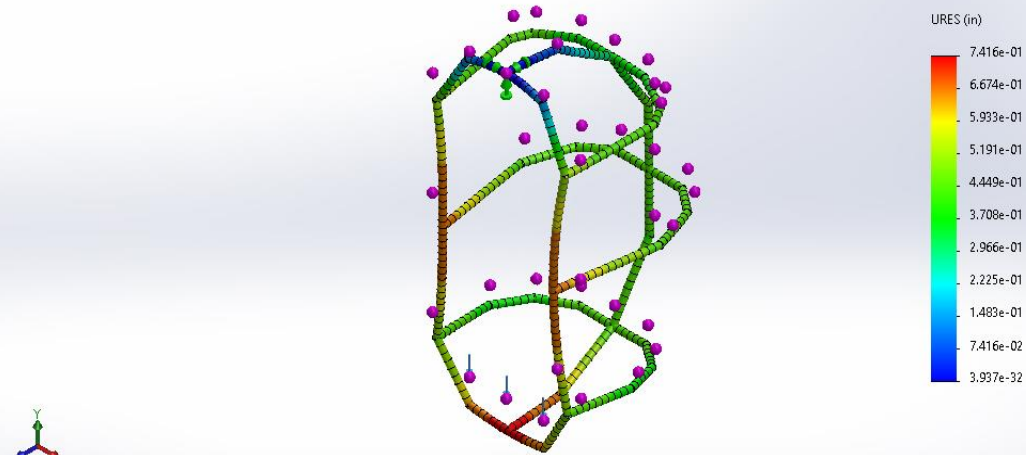


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 3-Análisis estático 3-Tensiones-Tensiones3

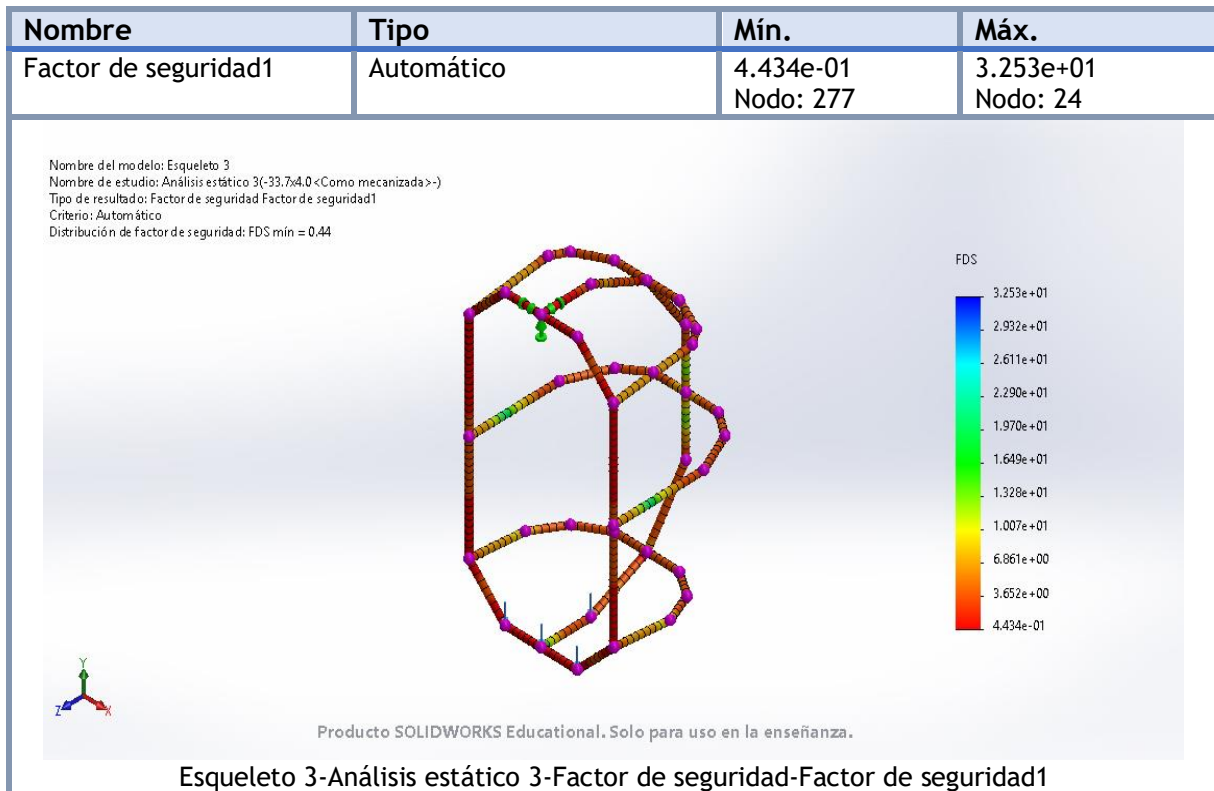
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00in Nodo: 277	7.416e-01in Nodo: 24

Nombre del modelo: Esqueleto 3  
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-33.7x4.0 <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 7.97513



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 3-Análisis estático 3-Desplazamientos-Desplazamientos1

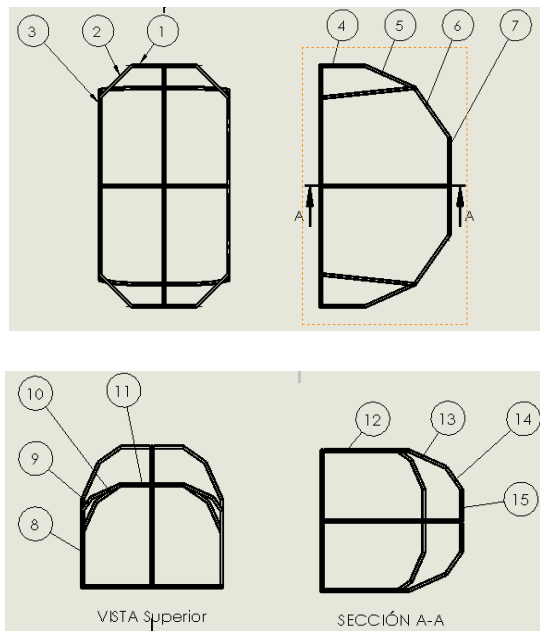


Por los resultados obtenidos de la simulación de análisis estático en el *Esqueleto 3-3*, son insatisfactorios para el diseño, primero revisando el factor de seguridad con valor de 0.44 el cual es todavía muy inferior al mínimo que se usaría en cualquier diseño (al menos 1). Después la deformación que presenta tiene un desplazamiento de 7.90 mm, lo cual es un poco alto.

Viendo que los perfiles circulares, no han podido mejorar la resistencia y factor de seguridad, se opta por el cambio a perfil cuadrado. Así, llegamos al *Esqueleto 4* donde como en el anterior se modelará con 3 tamaños del perfil cuadrado. Comenzando los análisis estáticos en el software de SolidWorks®, con el perfil cuadrado 20x20x2 (*Esqueleto 4-1*), se tuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.11) (Figura 4.11).

Tabla 4.11 Características del Esqueleto 4-1.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil	Cuadrado	
Lado	20x20	mm
Espesor	2	mm
Masa	4461.65	g



N° de elemento	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	T. cuadrado 20x20x2	408.28
2	4	T. cuadrado 20x20x2	291.13
3	2	T. cuadrado 20x20x2	1114.18
4	2	T. cuadrado 20x20x2	266.43
5	2	T. cuadrado 20x20x2	339.44
6	2	T. cuadrado 20x20x2	367.08
7	1	T. cuadrado 20x20x2	615.36
8	4	T. cuadrado 20x20x2	429.61
9	4	T. cuadrado 20x20x2	95.45
10	4	T. cuadrado 20x20x2	189.12
11	2	T. cuadrado 20x20x2	364.25
12	2	T. cuadrado 20x20x2	492.13
13	2	T. cuadrado 20x20x2	237.03
14	2	T. cuadrado 20x20x2	159.23
15	1	T. cuadrado 20x20x2	173.15

Figura 4.11 Dimensiones del Esqueleto 4-1.



Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 4-1*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.12).

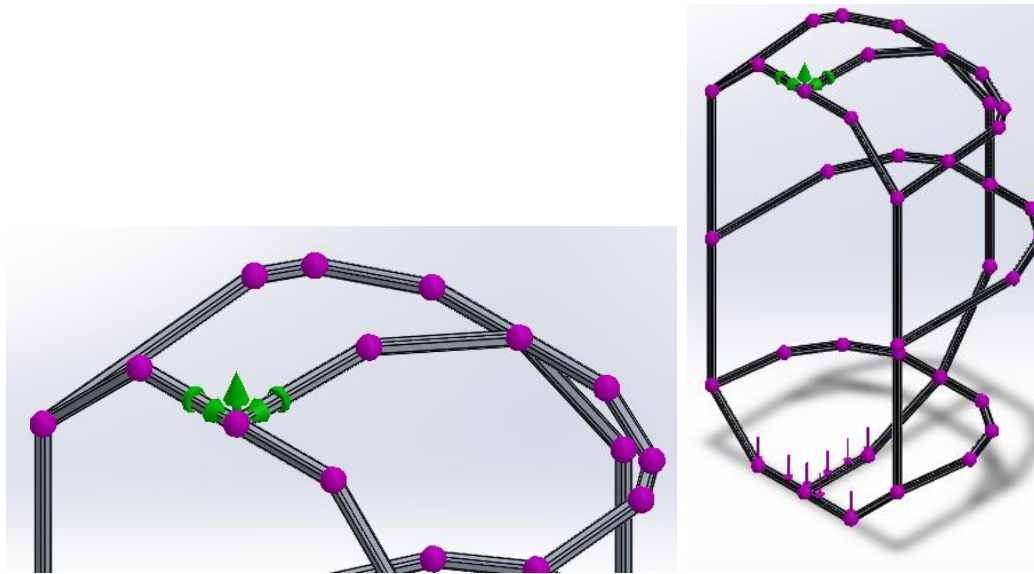
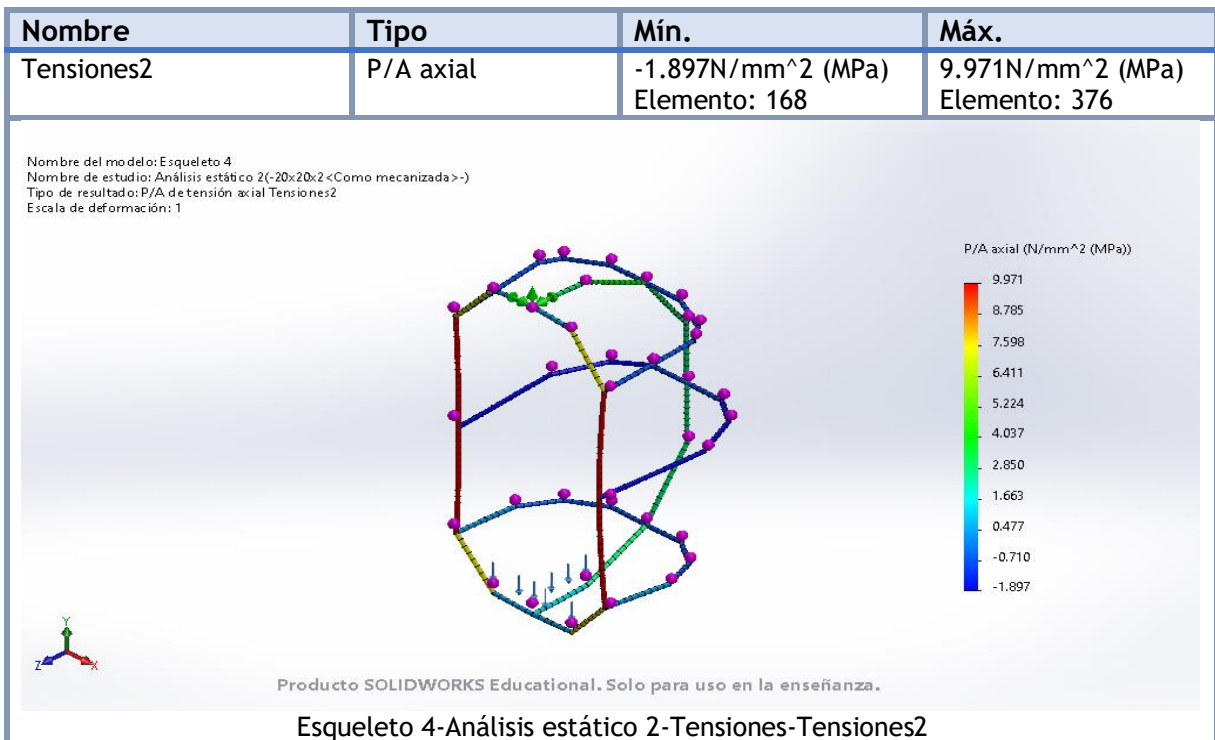
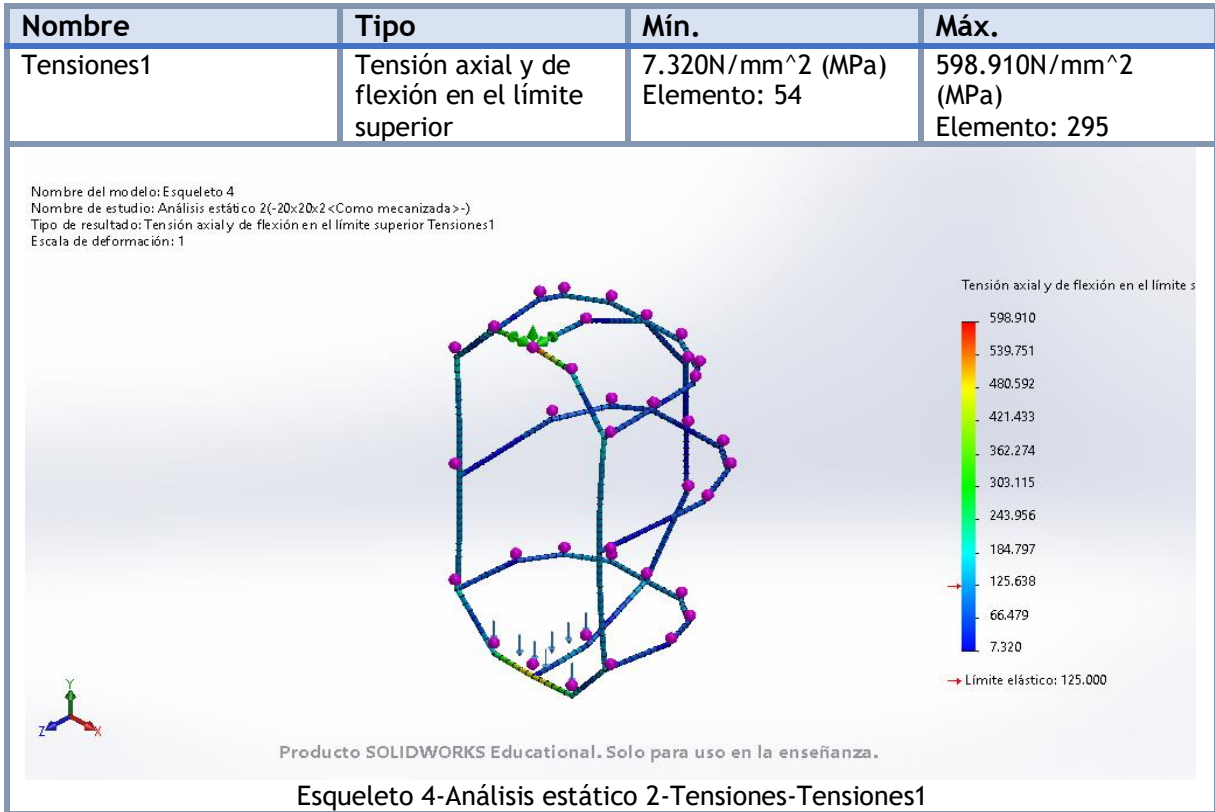


Figura 4. 12 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

Donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.12)

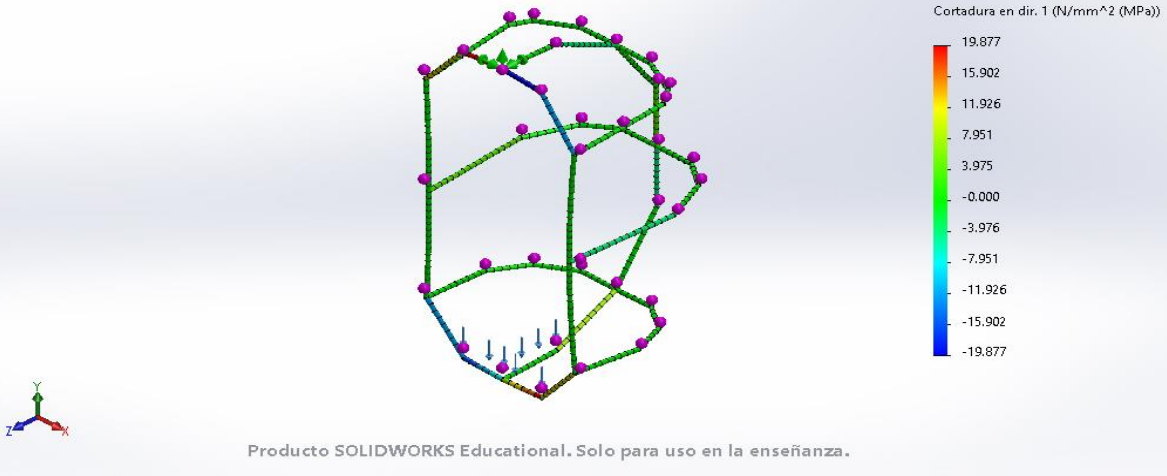
Tabla 4.12 Resultados Análisis estático - Esqueleto 4-1.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	598.91 MPa	7.32 MPa
P/A	9.971 MPa	-1.987 MPa
V/A	19.877 MPa	-19.88 MPa
Desplazamientos	61.02 mm	
F.S.	0.21	
Limite elástico	125 MPa	



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	Cortadura en dir. 1	-19.877N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 291	19.877N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 296

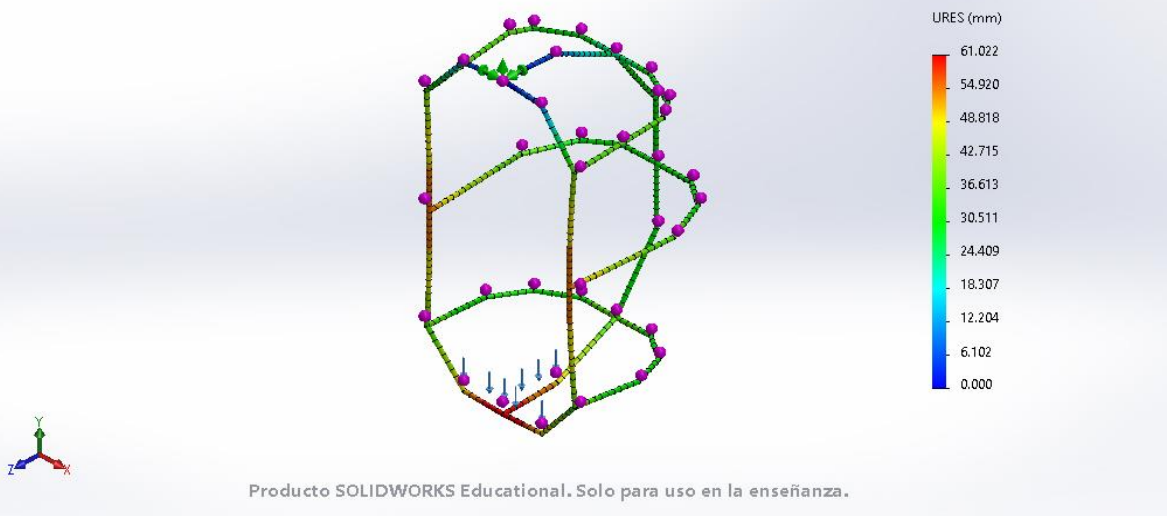
Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-20x20x2<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones3  
Escala de deformación: 1



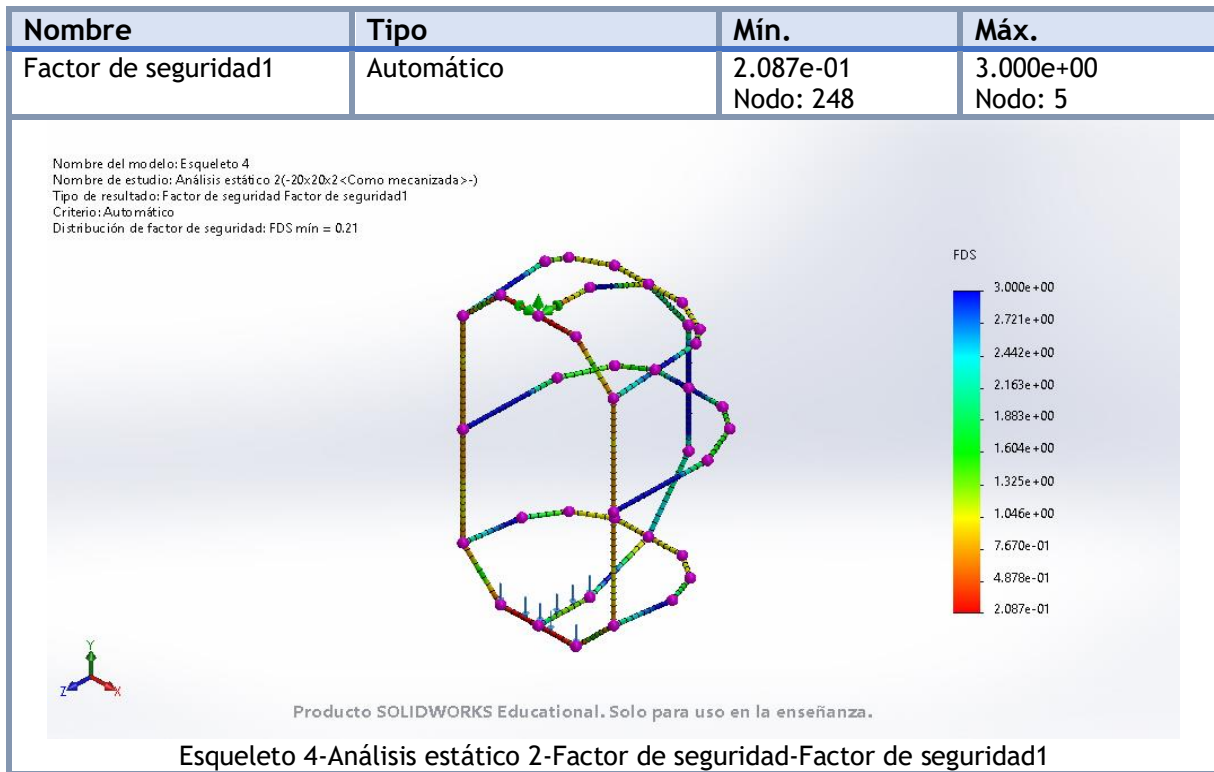
Esqueleto 4-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 248	61.022mm Nodo: 124

Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-20x20x2<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 4-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

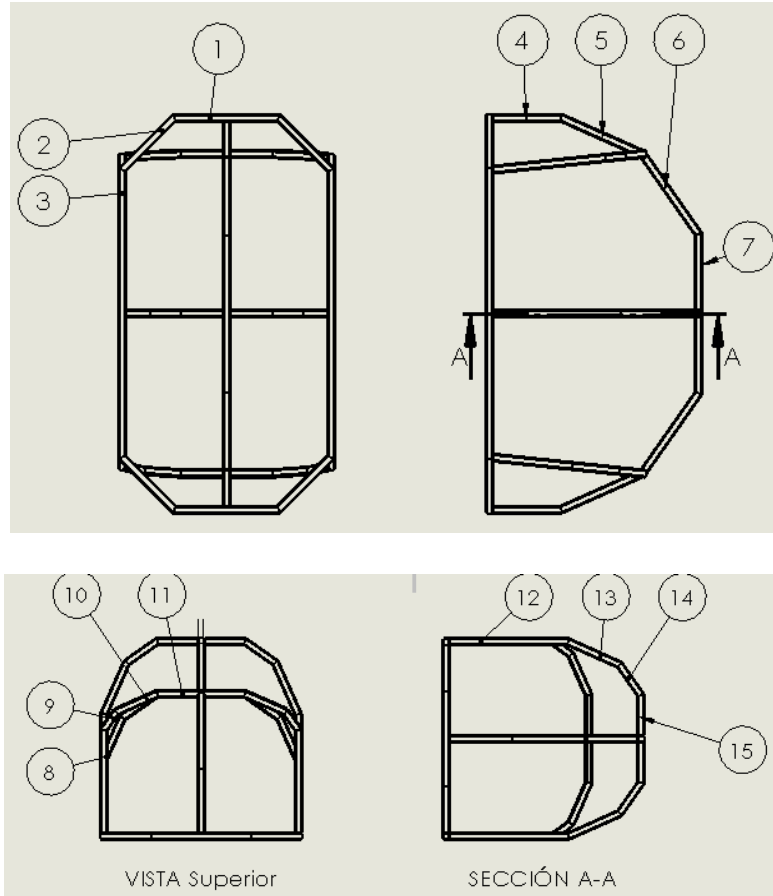


Por los resultados obtenidos de la simulación de análisis estático en el *Esqueleto 4-1*, son insatisfactorios para el diseño, primero revisando el factor de seguridad con valor de 0.21 el cual es todavía muy inferior al mínimo que se usaría en cualquier diseño (al menos 1). Después la deformación que presenta tiene un desplazamiento de 61.02 mm, lo cual es un considerablemente alto.

Se procede a realizar el análisis estático cambiando el perfil, ahora por, el perfil cuadrado 30x30x2.6 mm (*Esqueleto 4-2*), el cual arroja los siguientes valores (Tabla 4.13) (Figura 4.13).

Tabla 4.13 Características del Esqueleto 4-2.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil	Cuadrado	
Lado	30x30	mm
Espesor	2.6	mm
Masa	8881.09	g



Nº de elemento	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	T. cuadrado 30x30x2.6	412.43
2	4	T. cuadrado 30x30x2.6	295.27
3	2	T. cuadrado 30x30x2.6	1122.87
4	2	T. cuadrado 30x30x2.6	262.49
5	2	T. cuadrado 30x30x2.6	339.17
6	2	T. cuadrado 30x30x2.6	375.85
7	1	T. cuadrado 30x30x2.6	618.51
8	4	T. cuadrado 30x30x2.6	425.78
9	4	T. cuadrado 30x30x2.6	98.40
10	4	T. cuadrado 30x30x2.6	191.56
11	2	T. cuadrado 30x30x2.6	366.38
12	2	T. cuadrado 30x30x2.6	488.19
13	2	T. cuadrado 30x30x2.6	239.48
14	2	T. cuadrado 30x30x2.6	162.20
15	1	T. cuadrado 30x30x2.6	369.46

Figura 4.13 Dimensiones del Esqueleto 4-2.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 4-2*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.14).

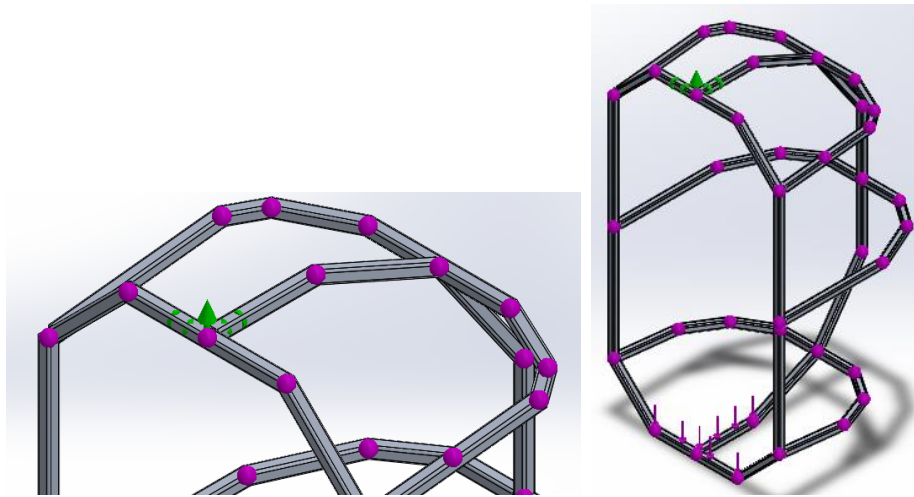


Figura 4. 14 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

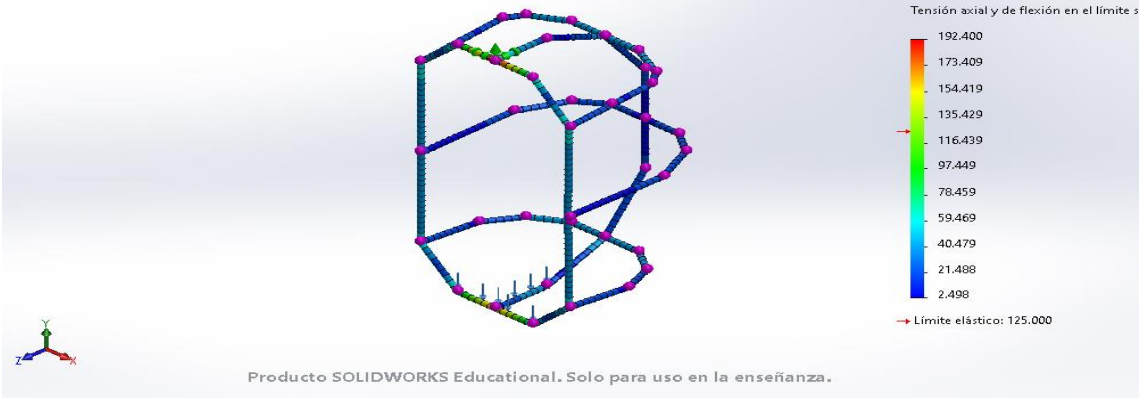
Donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.14)

Tabla 4.14 Resultados Análisis estático - Esqueleto 4-2.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	192.40 MPa	2.498 MPa
P/A	4.982 MPa	-0.943 MPa
V/A	10.099 MPa	-10.1 MPa
Desplazamientos	13.28 mm	
F.S.	0.65	
Limite elástico	125 MPa	

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	2.498N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 183	192.399N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 200

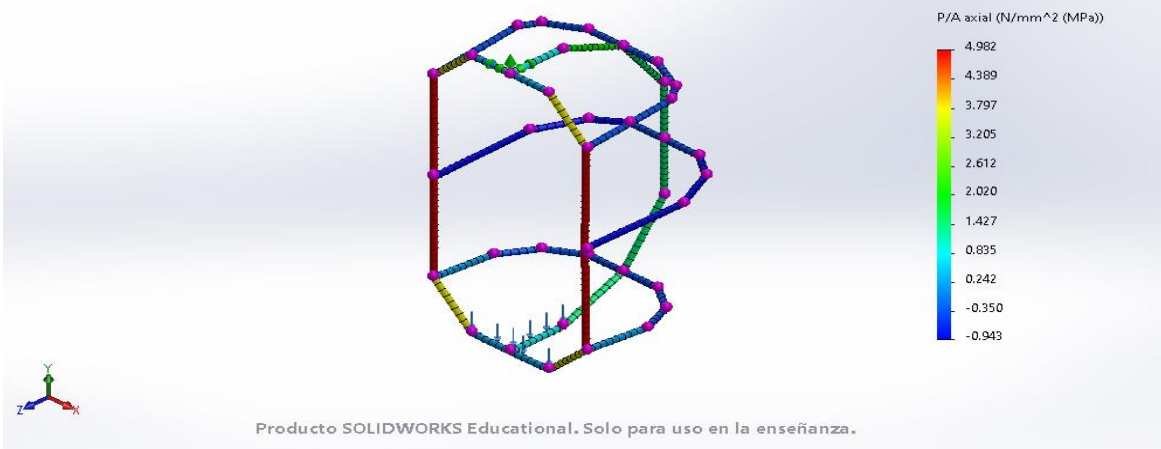
Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-30:30:2.6<Como mecanizada>->)  
Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 4-Análisis estático 3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	P/A axial	-0.943N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 114	4.982N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 361

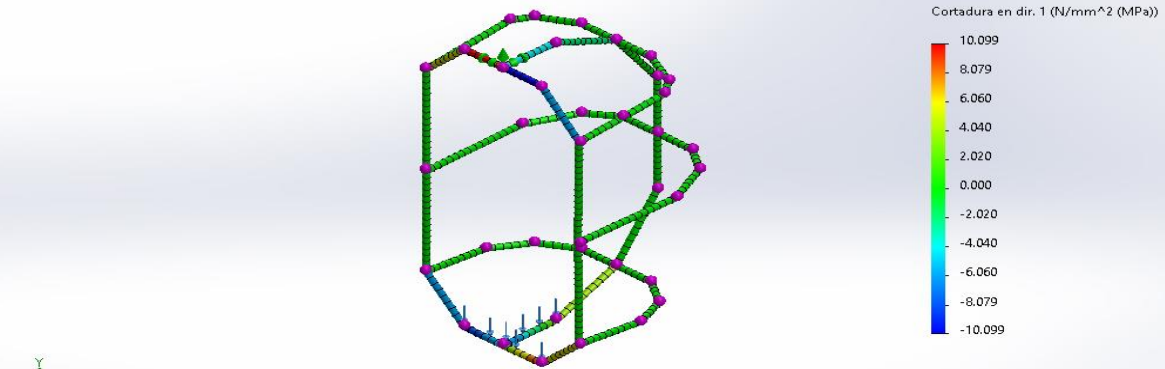
Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-30:30:2.6<Como mecanizada>->)  
Tipo de resultado: P/A de tensión axial Tensiones2  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 4-Análisis estático 3-Tensiones-Tensiones2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	Cortadura en dir. 1	-10.099N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 200	10.099N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 195

Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-30:30:2.6<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones3  
Escala de deformación: 1

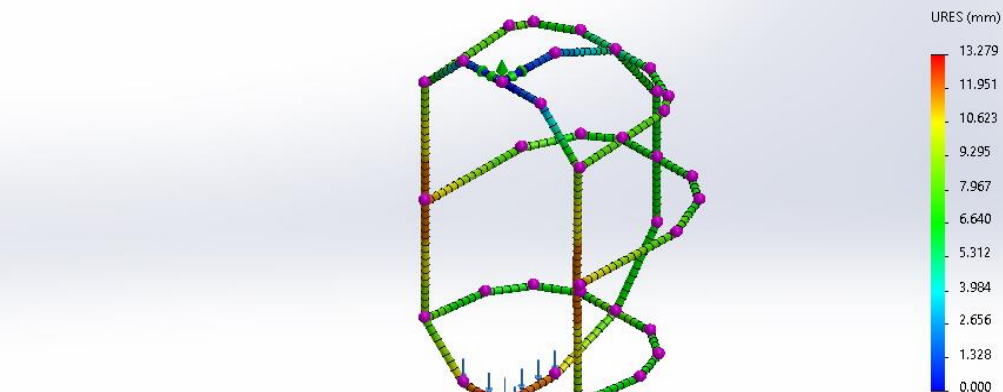


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 4-Análisis estático 3-Tensiones-Tensiones3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 209	13.279mm Nodo: 106

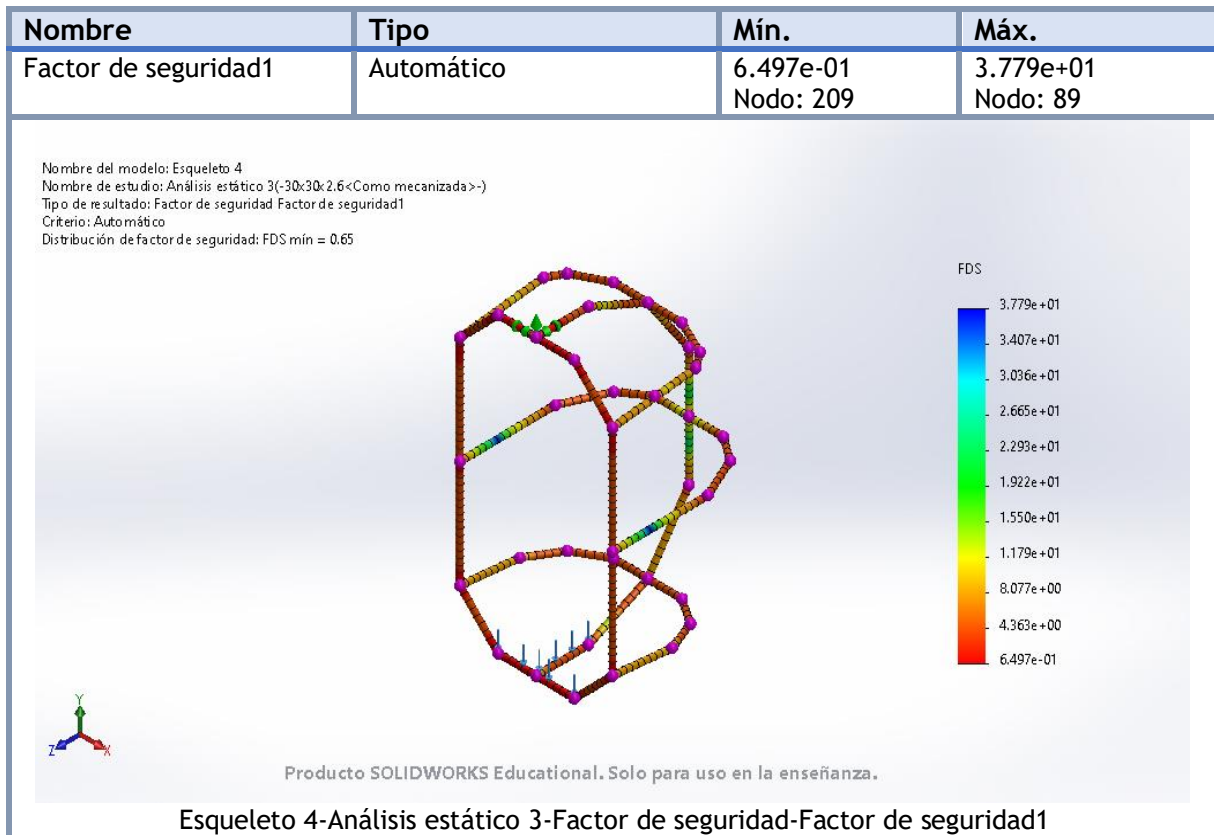
Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-30:30:2.6<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 4-Análisis estático 3-Desplazamientos-Desplazamientos1

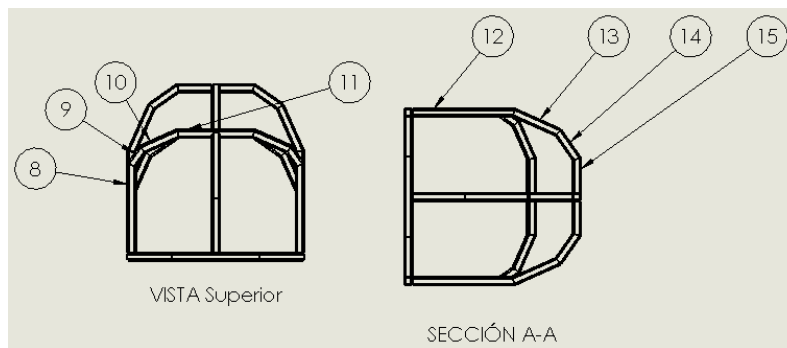
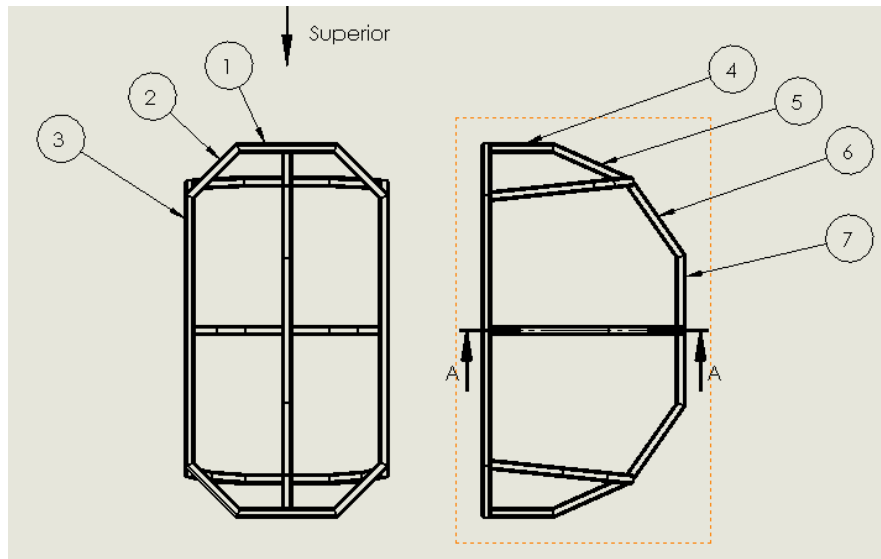




Observando los resultados obtenidos por el análisis podemos ver que el F.S. se mantiene todavía bajo con respecto al mínimo que esperaríamos (al menos 1). Además, la deformación tendrá un desplazamiento de 13.28 mm, lo que es significativamente alto. Por esto descartaremos este diseño y proseguiremos realizando el análisis del siguiente perfil utilizando que es de 40x40x4 mm (*Esqueleto 4-3*), (Tabla 4.15) (Figura 4.15).

Tabla 4.15 Características del Esqueleto 4-3.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil	Cuadrado	
Lado	40x40	mm
Espesor	4	mm
Masa	17655.02	g



Nº de elemento	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	T. Cuadrado 40x40x2	416.67
2	4	T. Cuadrado 40x40x2	299.41
3	2	T. Cuadrado 40x40x2	1128.35
4	2	T. Cuadrado 40x40x2	258.55
5	2	T. Cuadrado 40x40x2	338.89
6	2	T. Cuadrado 40x40x2	376.14
7	1	T. Cuadrado 40x40x2	621.67
8	4	T. Cuadrado 40x40x2	422.12
9	4	T. Cuadrado 40x40x2	101.35
10	4	T. Cuadrado 40x40x2	194.01
11	2	T. Cuadrado 40x40x2	368.50
12	2	T. Cuadrado 40x40x2	484.25
13	2	T. Cuadrado 40x40x2	241.93
14	2	T. Cuadrado 40x40x2	165.16
15	1	T. Cuadrado 40x40x2	372.61

Figura 4.15 Dimensiones de Esqueleto 4-3.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 4-3*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.16).

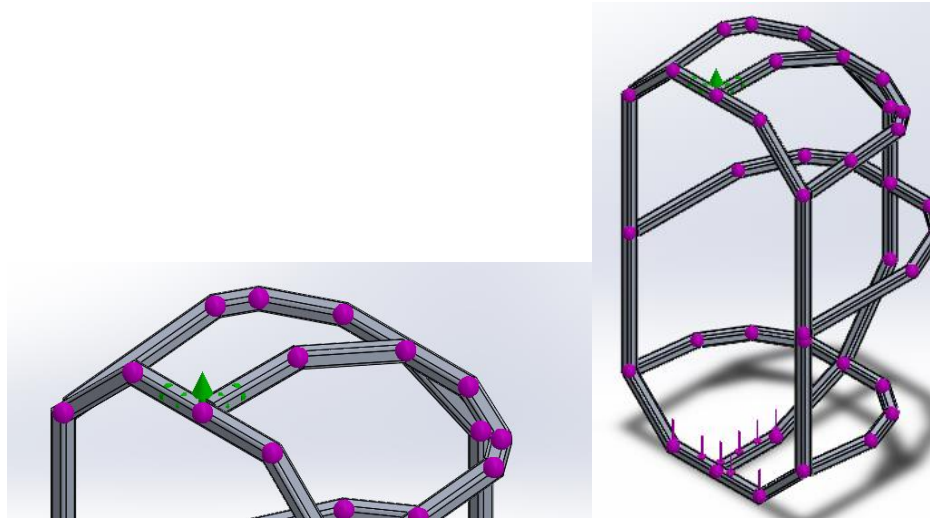


Figura 4.16 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

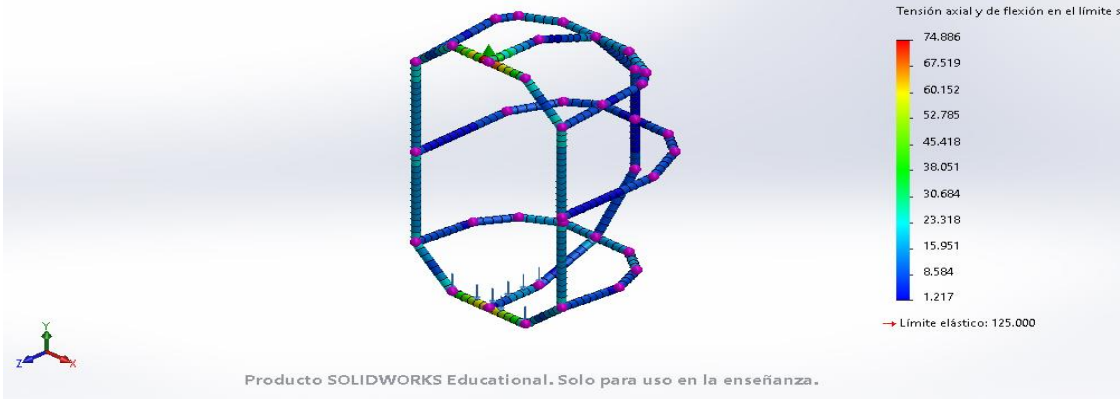
Se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.16)

Tabla 4.16 Resultados Análisis estático - Esqueleto 4-3.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	74.89 MPa	1.217 MPa
P/A	2.492 MPa	-0.468 MPa
V/A	3.824 MPa	-3.157 MPa
Desplazamientos	3.94 mm	
F.S.	1.7	
Limite elástico	125 MPa	

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	1.217N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 241	74.886N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 146

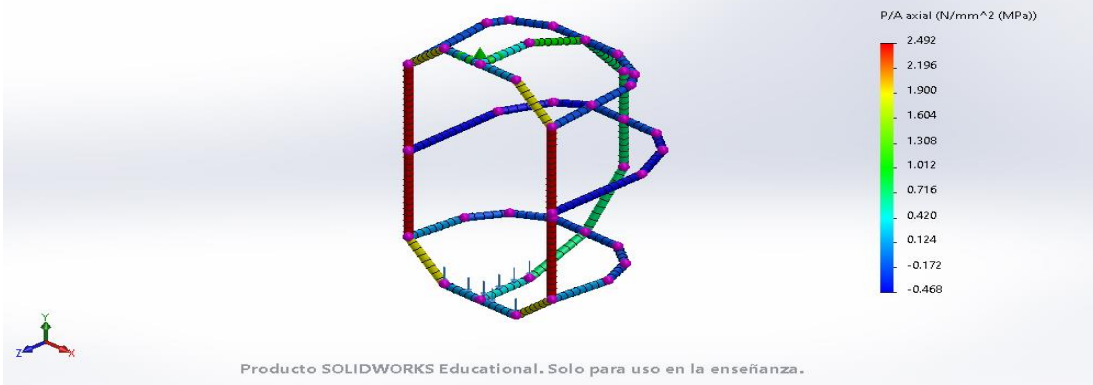
Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 4(-40:40:4<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 4-Análisis estático 4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	P/A axial	-0.468N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 302	2.492N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 280

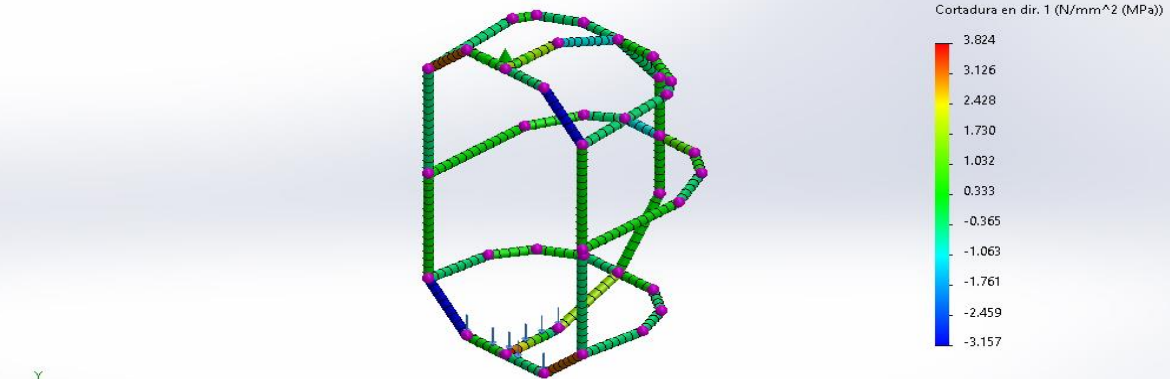
Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 4(-40:40:4<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: P/A de tensión axial Tensiones2  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 4-Análisis estático 4-Tensiones-Tensiones2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	Cortadura en dir. 1	-3.157N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 215	3.824N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 101

Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 4(-40:40:4<Como mecanizada>>)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones3  
Escala de deformación: 1

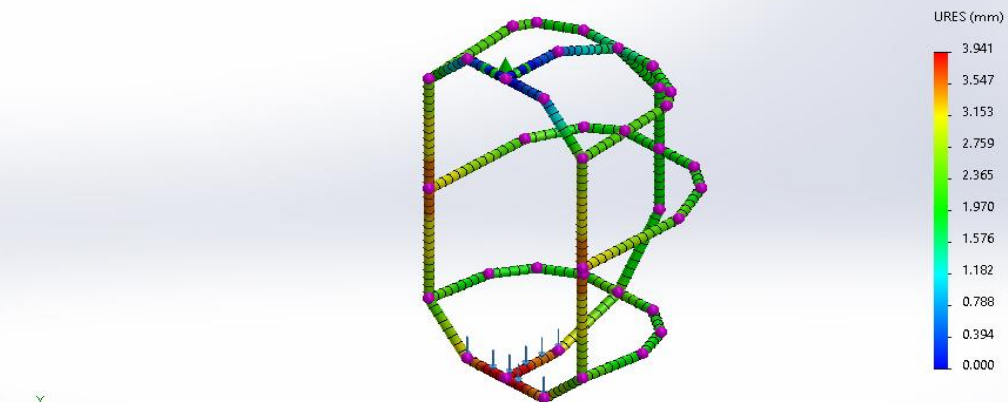


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 4-Análisis estático 4-Tensiones-Tensiones3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 144	3.941mm Nodo: 108

Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 4(-40:40:4<Como mecanizada>>)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1

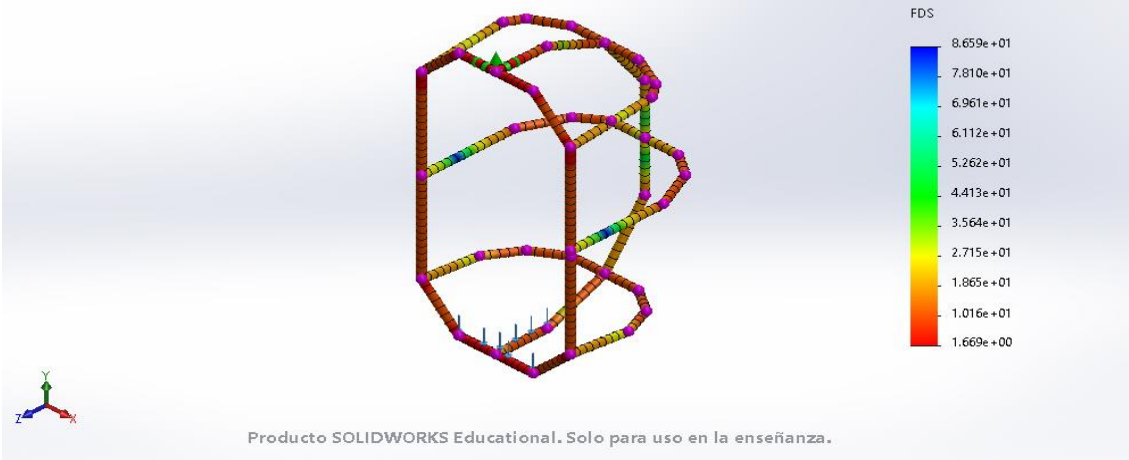


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 4-Análisis estático 4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.669e+00	8.659e+01
		Nodo: 144	Nodo: 325

Nombre del modelo: Esqueleto 4  
Nombre de estudio: Análisis estático 4(-40:40:4<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1.7



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

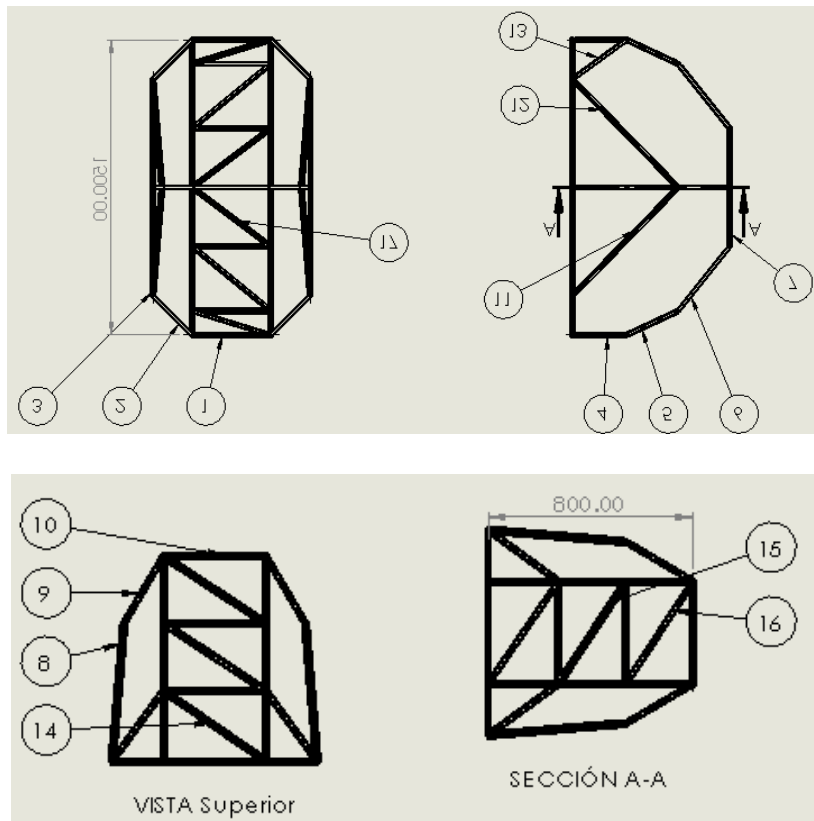
Esqueleto 4-Análisis estático 4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Observando los resultados obtenidos por el análisis podemos ver que el F.S. ya es mayor a 1, respectivamente 1.7, pero como se espera que el usuario principal son niños con discapacidades se buscara un valor de 2. Además, la deformación tendrá un desplazamiento de 3.94 mm, lo que puede ser aceptable. Ahora revisando el modelo se observa que la estructura aun presenta esfuerzos altos en ciertos elementos del marco, se buscara reducir estos valores de esfuerzos.

Se cambiará el modelo por uno más restringido en los elementos que soportan la carga aplicada, y reforzando elementos que presentaron valores altos de esfuerzo, por lo que, se modelará el *Esqueleto 5*, el cual no da los siguientes valores (Tabla 4.17) (Figura 4.17).

Tabla 4.17 Características del Esqueleto 5.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil	Cuadrado	
Lado	20x20	mm
Espesor	2	mm
Masa	7850.06	g



Nº de elementos	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	T. Cuadrado 20x20x2	412.00
2	4	T. Cuadrado 20x20x2	291.13
3	2	T. Cuadrado 20x20x2	1108.28
4	4	T. Cuadrado 20x20x2	270.34
5	4	T. Cuadrado 20x20x2	294.55
6	4	T. Cuadrado 20x20x2	425.31
7	2	T. Cuadrado 20x20x2	609.51
8	2	T. Cuadrado 20x20x2	536.02
9	2	T. Cuadrado 20x20x2	303.65
10	1	T. Cuadrado 20x20x2	380.00
11	2	T. Cuadrado 20x20x2	763.24
12	2	T. Cuadrado 20x20x2	763.24
13	2	T. Cuadrado 20x20x2	339.15
14	2	T. Cuadrado 20x20x2	461.14
15	2	T. Cuadrado 20x20x2	454.69
16	2	T. Cuadrado 20x20x2	454.35
17	2	T. Cuadrado 20x20x2	473.33

Figura 4.17 Dimensiones del Esqueleto 5.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 5*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.18).

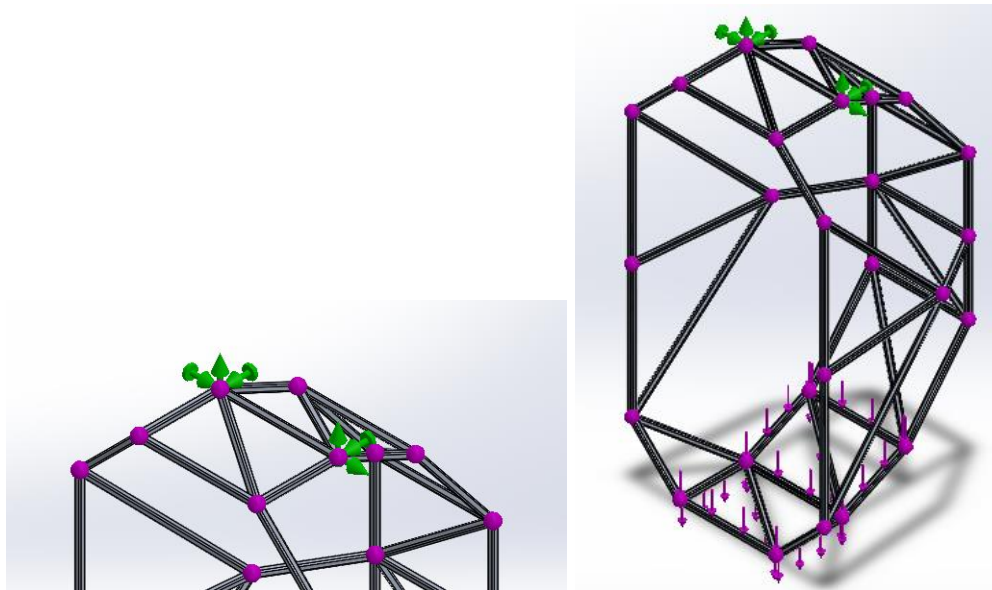


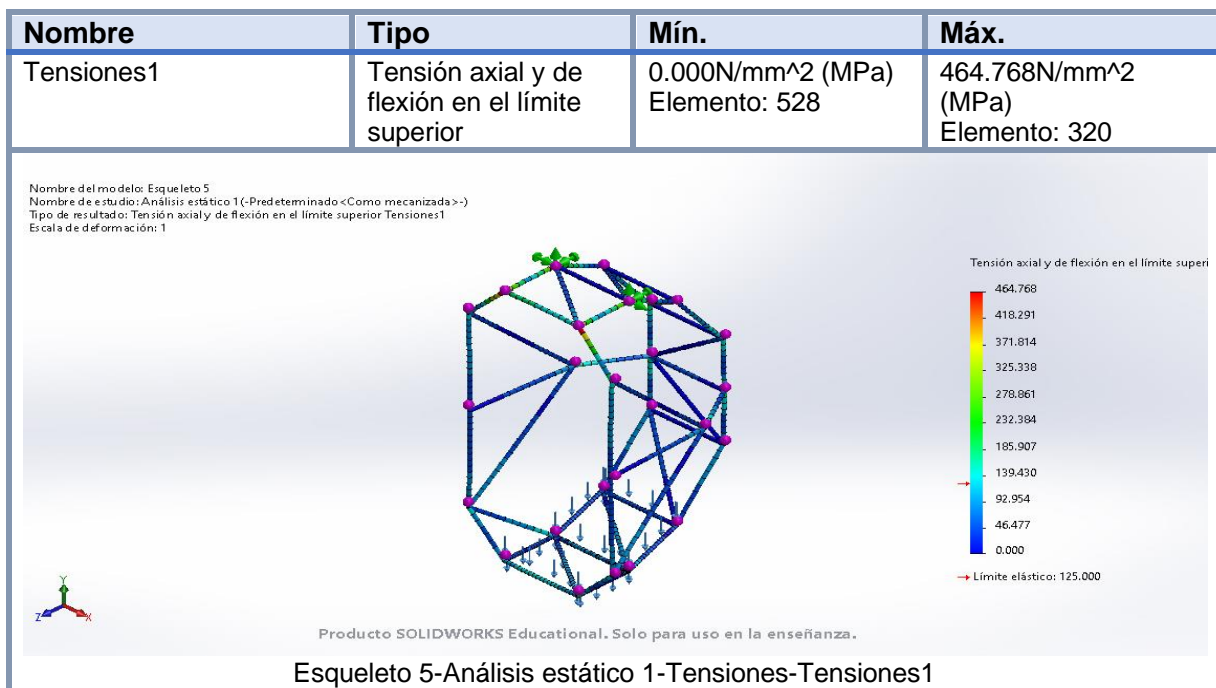
Figura 4.18 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.



En los cuales se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.18)

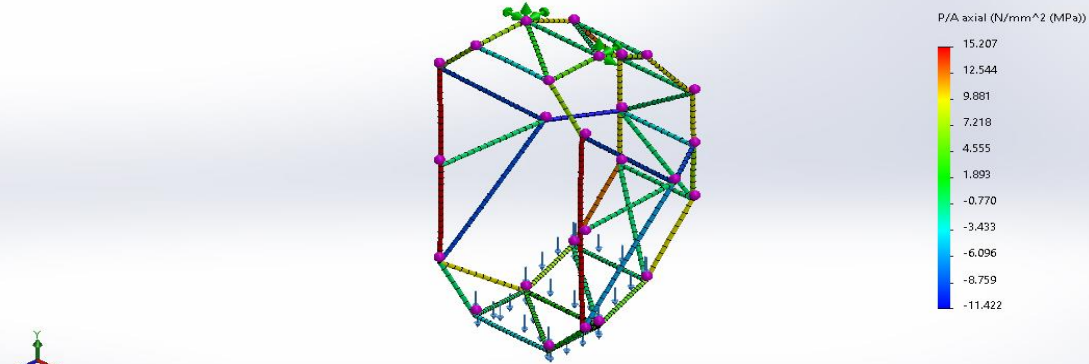
Tabla 4.18 Resultados Análisis estático - Esqueleto 5.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	464.77 MPa	0 MPa
P/A	15.207 MPa	-11.42 MPa
V/A	12.465 MPa	-12.32 MPa
Desplazamientos	30.63 mm	
F.S.	0.27	
Limite elástico	125 MPa	



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	P/A axial	-11.422N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 426	15.207N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 461

Nombre del modelo: Esqueleto 5  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: P/A de tensión axial Tensiones2  
Escala de deformación: 1

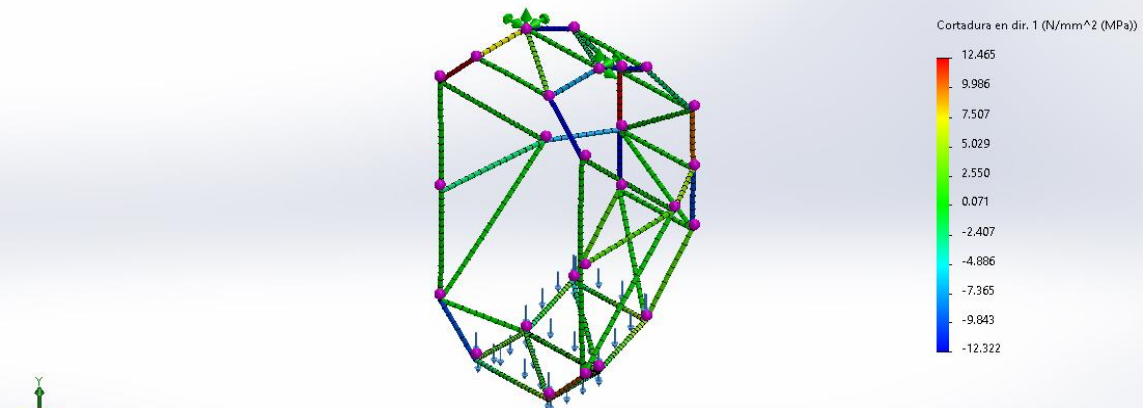


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Esqueleto 5-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones2

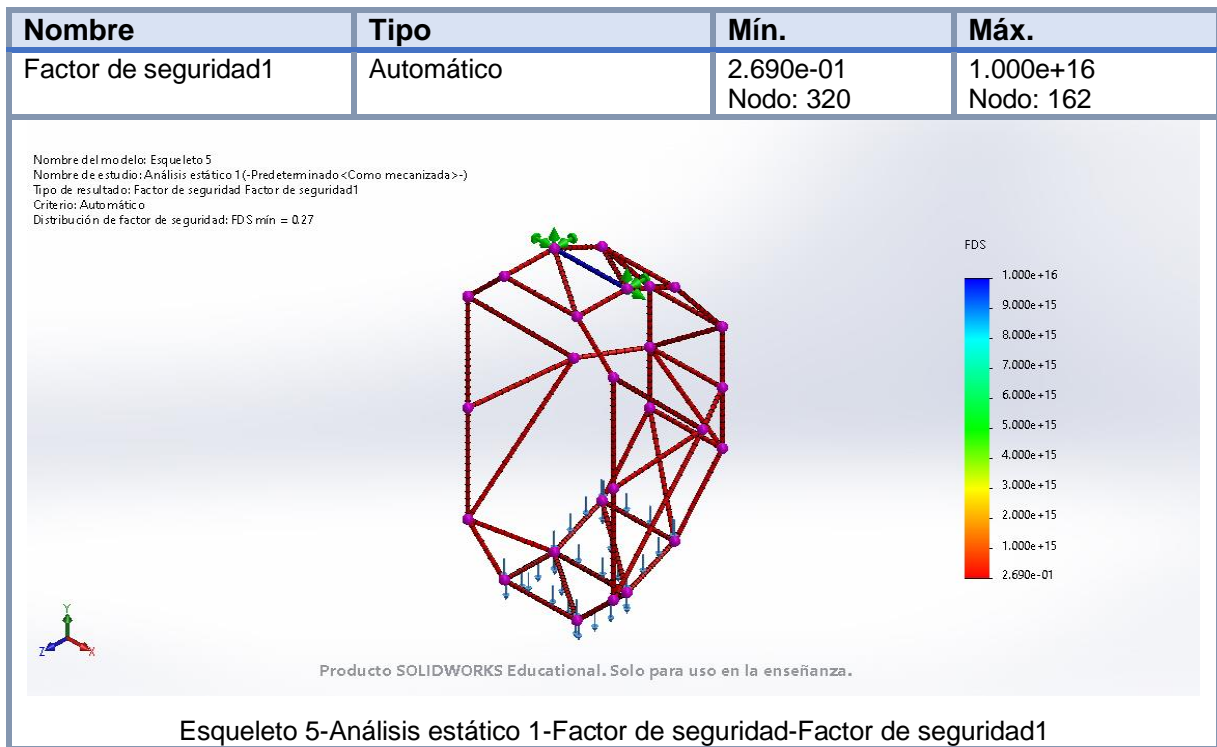
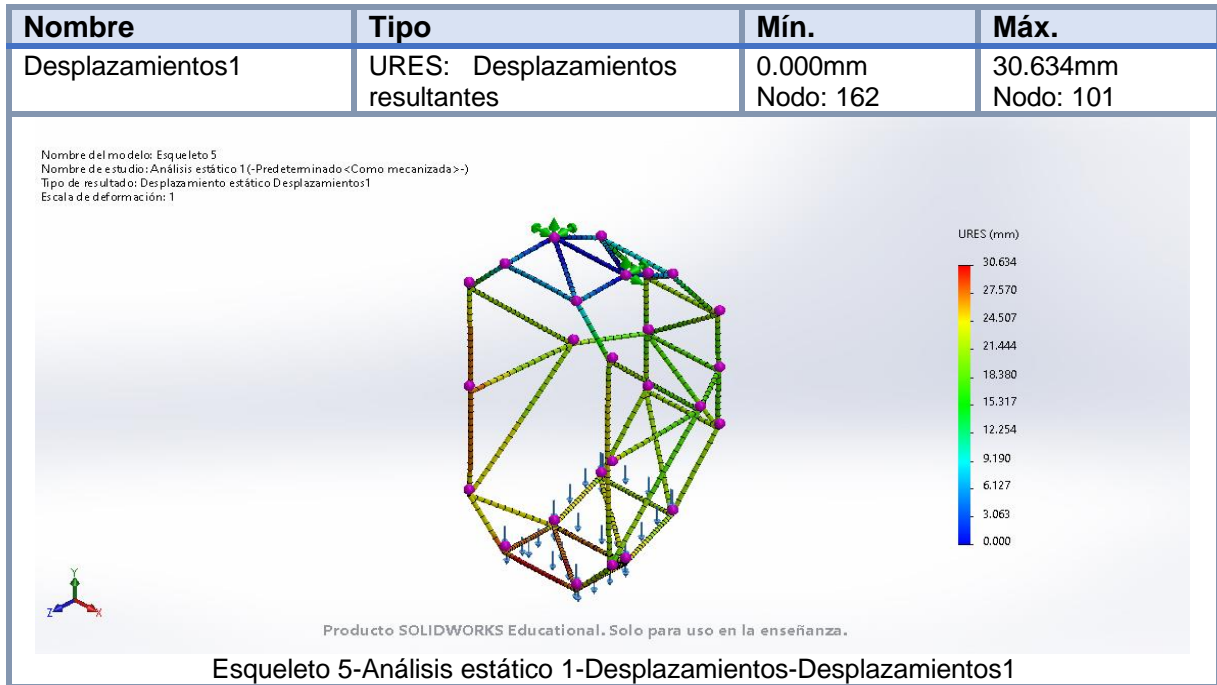
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	Cortadura en dir. 1	-12.322N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 632	12.465N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 266

Nombre del modelo: Esqueleto 5  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones3  
Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

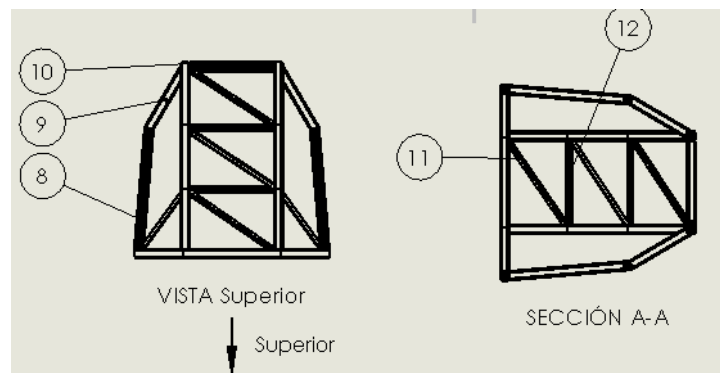
Esqueleto 5-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones3

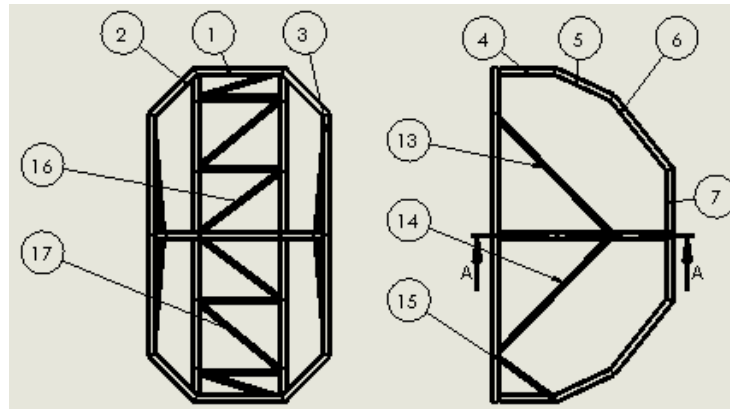


Observando los resultados obtenidos por el análisis observamos que el F.S. es muy bajo, por mucho, con respecto al ya obtenido anteriormente (Esqueleto 4-3). Además, la deformación tendrá un desplazamiento de 30.634 mm, lo que es relativamente alto. Se buscará mejorar la resistencia en varios elementos que presentan valores altos de esfuerzos. Por resultados obtenidos en el *Esqueleto 4-3* con un perfil de tubo cuadrado de 40x40x4, mostró buenos resultados con respecto a los desplazamientos, el F.S. y el esfuerzo de Von mises, se buscará intercambiar algunos elementos del *Esqueleto 5* por elementos de este perfil, y evaluar los valores obtenidos. En otras palabras, se tomará el *Esqueleto 5* y se reemplazarán algunos elementos de 20x20x2 por 40x40x4. Teniendo así el *Esqueleto 6* (Tabla 4.19) (Figura 4.19).

Tabla 4.19 Características del Esqueleto 6.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	1500	mm
Ancho	800	mm
Material	AA 3003-H12	
Perfil 1	Cuadrado	
Lado	40x40	mm
Espesor	4	mm
Perfil 2	Cuadrado	
Lado	20x20	mm
Espesor	2	mm
Masa	20081.17	g





Nº de elemento	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	T. Cuadrado 40x40x4	424.00
2	4	T. Cuadrado 40x40x4	299.41
3	2	T. Cuadrado 40x40x4	1113.25
4	4	T. Cuadrado 40x40x4	259.43
5	5	T. Cuadrado 40x40x4	299.11
6	6	T. Cuadrado 40x40x4	431.16
7	2	T. Cuadrado 40x40x4	614.04
8	2	T. Cuadrado 40x40x4	525.96
9	2	T. Cuadrado 40x40x4	303.20
10	1	T. Cuadrado 40x40x4	360.00
11	2	T. Cuadrado 40x40x4	485.41
12	6	T. Cuadrado 40x40x4	400.00
13	2	T. Cuadrado 20x20x2	769.26
14	2	T. Cuadrado 20x20x2	769.26
15	2	T. Cuadrado 20x20x2	340.04
16	2	T. Cuadrado 40x40x4	500.00
17	2	T. Cuadrado 40x40x4	516.93

Figura 4.19 Dimensiones de Esqueleto 6.

Al realizar un análisis estático del diseño *Esqueleto 6*, con las siguientes condiciones de frontera (Figura 4.20).

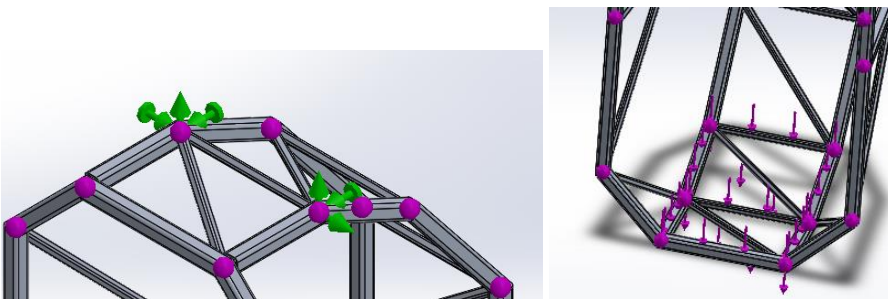
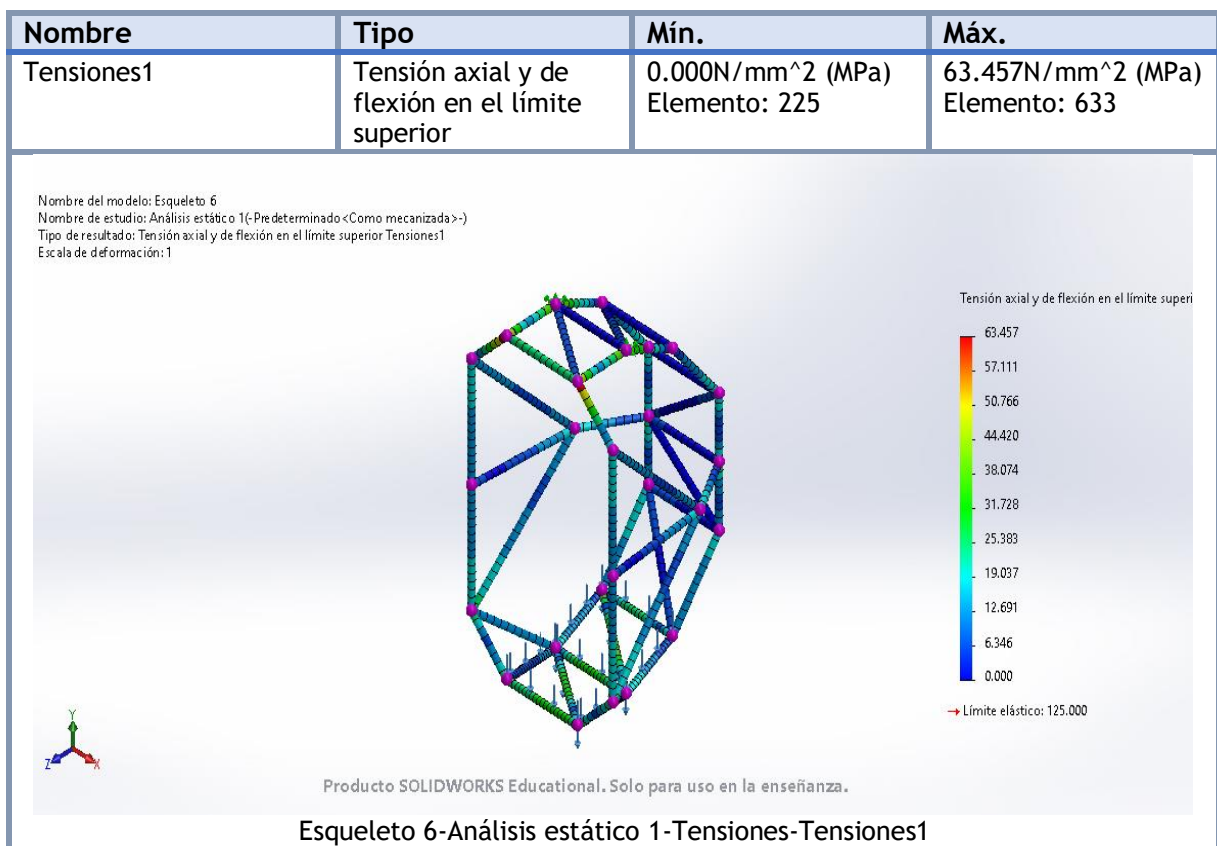


Figura 4.20 Condiciones de frontera. sujeción- Punto fijo (geometría fija) y una carga aplicada: 1500 N, con mallado estándar.

En los cuales se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4.20)

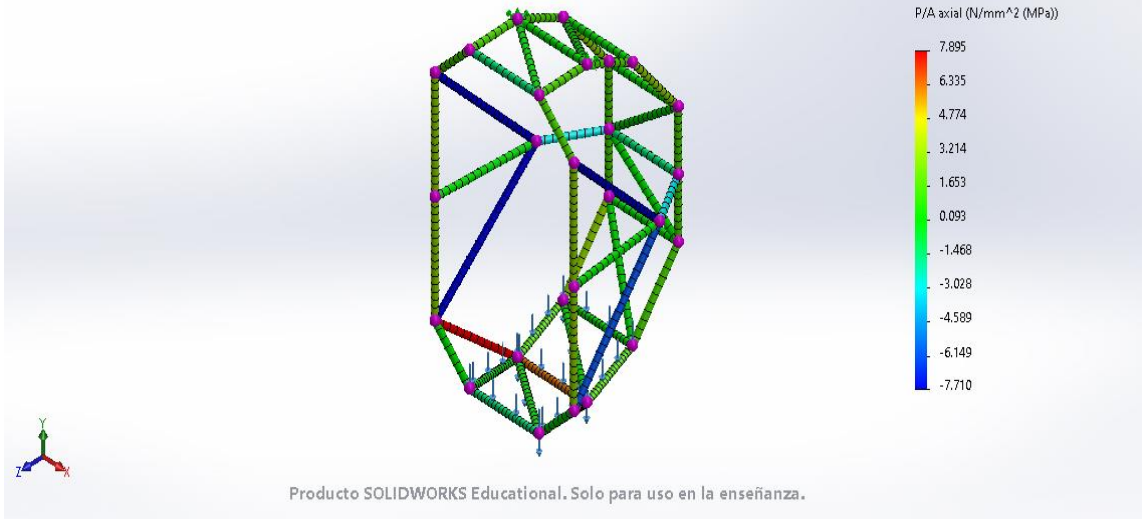
Tabla 4.20 Resultados Análisis estático - Esqueleto 6.

<b>Esfuerzos</b>	<b>máx.</b>	<b>mín.</b>
Von mises	63.46 MPa	0 MPa
P/A	7.895 MPa	-7.71 MPa
V/A	5.192 MPa	-5.87 MPa
Desplazamientos	3.12 mm	
F.S.	2	
Limite elástico	125 MPa	



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	P/A axial	-7.710N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 117	7.895N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 158

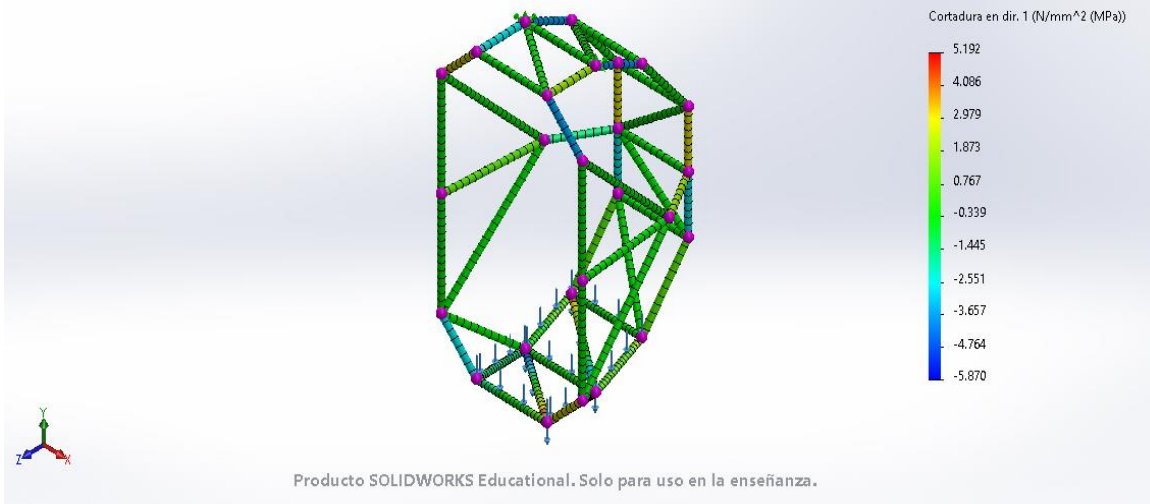
Nombre del modelo: Esqueleto 6  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: P/A de tensión axial Tensiones2  
Escala de deformación: 1



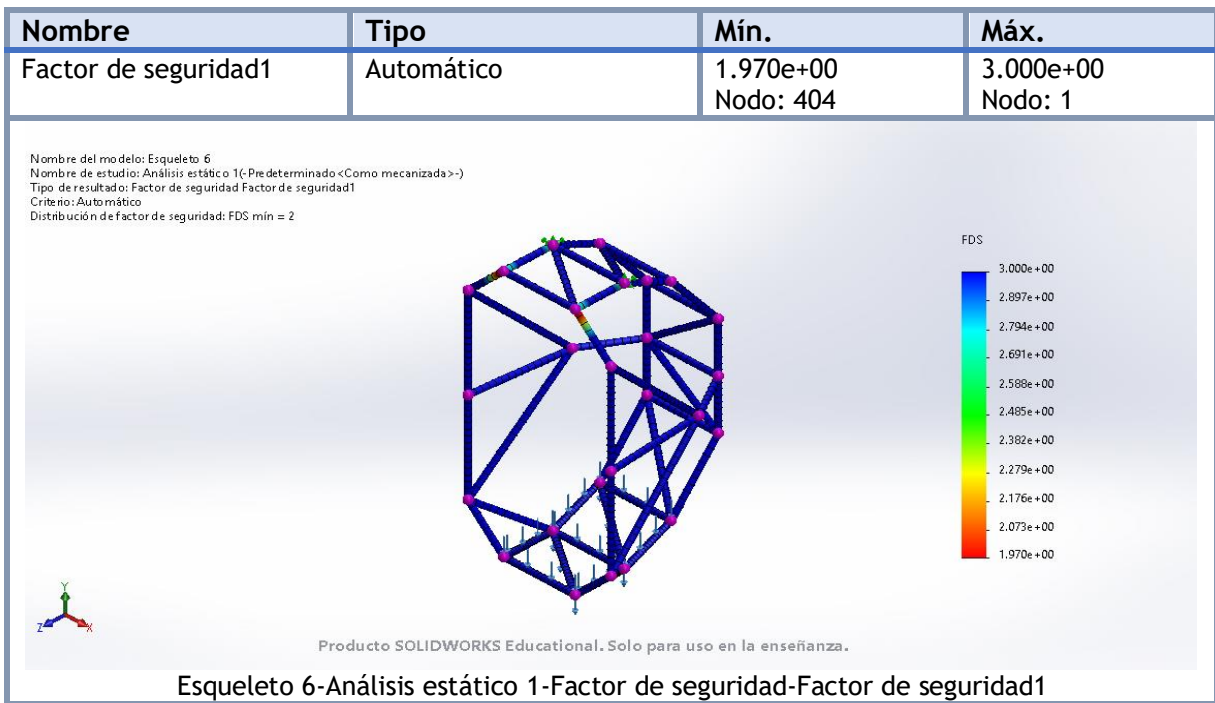
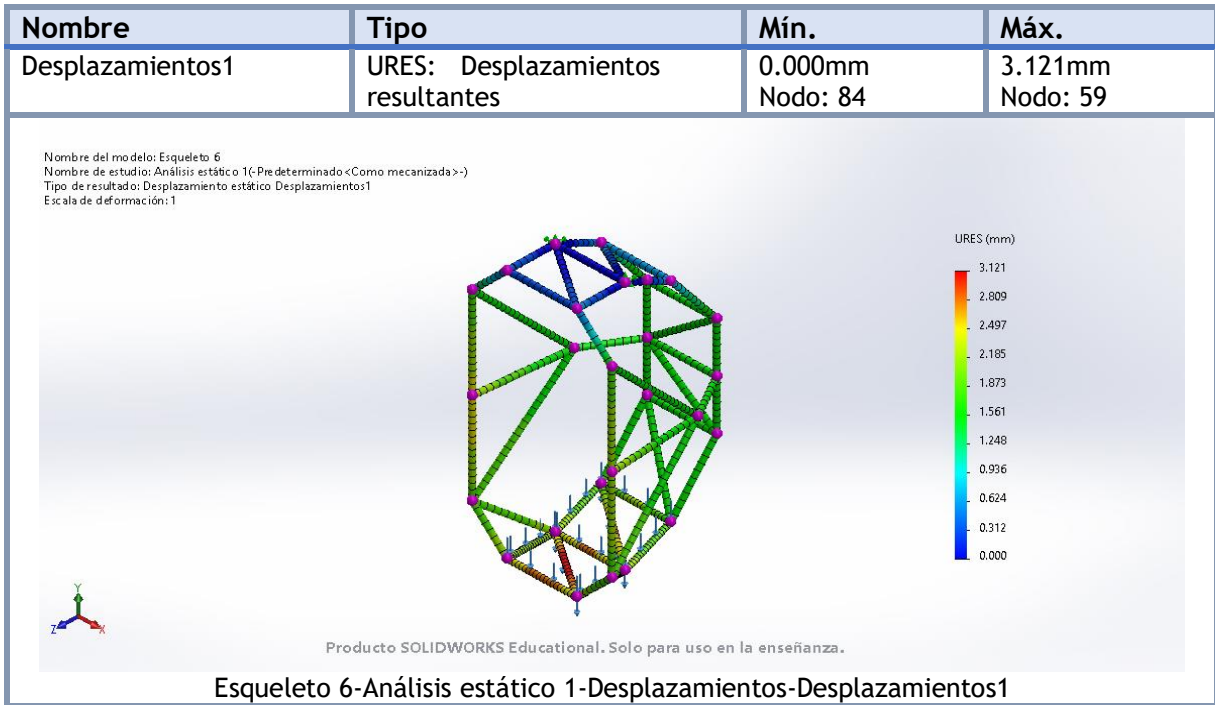
Esqueleto 6-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	Cortadura en dir. 1	-5.870N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 47	5.192N/mm <sup>2</sup> (MPa) Elemento: 66

Nombre del modelo: Esqueleto 6  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado <Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Cortadura en dir. 1 Tensiones3  
Escala de deformación: 1



Esqueleto 6-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones3



En el modelo *Esqueleto 6*, se obtienen resultados satisfactorios como el F.S. el cual es 2, los desplazamientos se lograron reducir un poco más a los estimados con



el *Esqueleto 4-3* con valor de 3.12 mm. Se logro mejorar la resistencia del diseño, sacrificando un poco el valor del peso ya que alcanzo un total de 20 kg.

Ahora lo siguiente es revisar que lo simulado con respecto a lo calculado. Posteriormente revisar en físico los materiales que se acoplen a lo simulado e ir analizando la manufactura de este diseño.

#### 4.2. Carcasa.

Siguiendo con los requerimientos del cliente, se planteó el uso de una protección o carcasa para el esqueleto y ésta debe de cumplir que en conjunto sea un producto ligero, que brinde protección, etc.

Primero se analizará que tipo de material sería adecuado, y en base a la literatura (Kalpakjian & Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología. 5a ed., 2008) se optó por un polímero. Esto porque hay variedad en los tipos de polímeros que se pueden usar para esta aplicación, llegando a la decisión de elegir el ABS como primera opción.

Ya basado en el diseño del *Esqueleto 6*, se busca generar una carcasa que pueda proteger el armazón, pero no del entorno, si no del contacto contra 3ras personas, y evitar algún tipo de accidente.

Se genero un primer modelo de la carcasa, la cual se denominó *carcasa* con los valores (Tabla 4.21) (Figura 4.21):

Tabla 4.21 Características de Carcasa.

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidades</b>
Altura	1586.35	mm
Ancho	886.35	mm
Profundidad	903.18	mm
Material	ABS	
Perfil	Cascaron	
Espesor	6.35	mm
Masa	29287.23	g

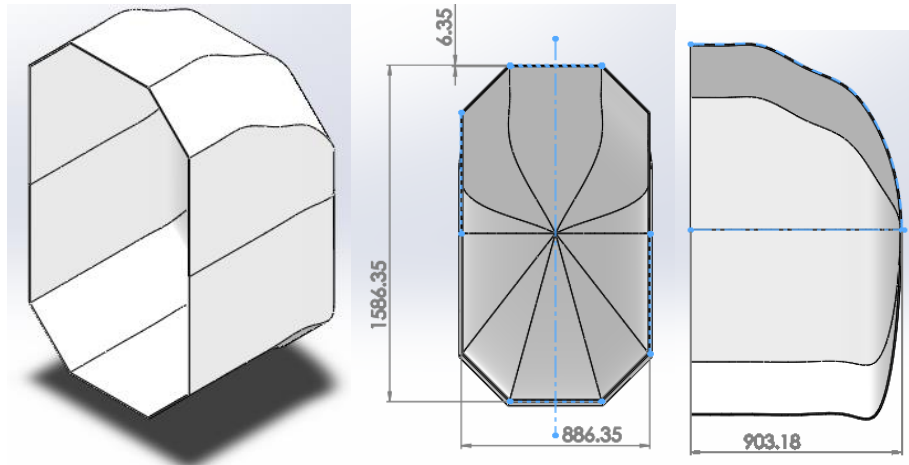


Figura 4.21 Dimensiones de Carcasa.

Al revisar las características del diseño *Carcasa* se descarta por la masa que tiene de 29.28 kg. Esto hace que en conjunto sea excesivo el peso de todo el ensamble, aun sin mostrar los resultados del asiento. Se buscó reducir el peso y analizando como podría optimizarse se redujo el volumen de la carcasa, al cual se denominó *Carcasa 2* (Tabla 4.22) (Figura 4.22).

Tabla 4.22 Características de Carcasa 2.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	793.17	mm
Ancho	886.35	mm
Profundidad	900.00	mm
Material	ABS	
Perfil	Cascarón	
Espesor	6.35	mm
Masa	12354.59	g

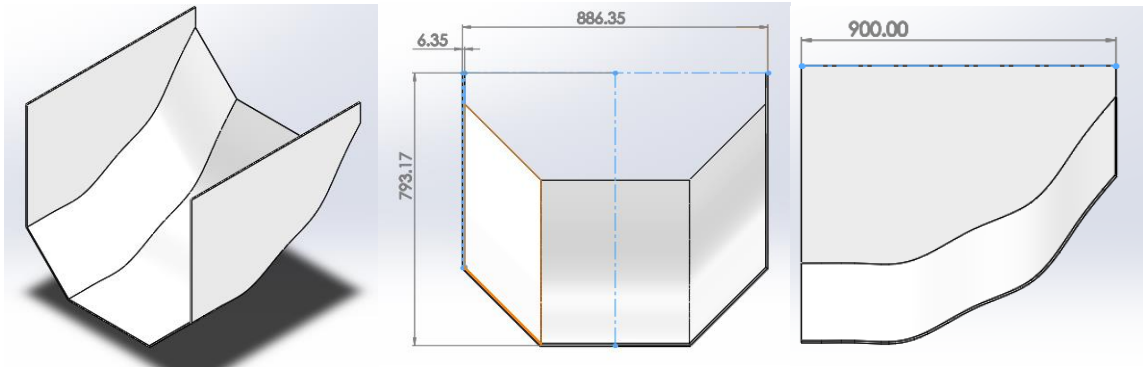


Figura 4.22 Dimensiones de Carcasa 2.

Al reducir considerablemente el volumen y priorizando el área inferior del *Esqueleto 6* para ser protegido, se obtuvo el modelo *Carcasa 2* pero aún maneja un elevado valor de la masa 12.35 kg.

Al revisar el por qué siguen manejando un elevado valor de en la masa, se observa que se modelo como una sola pieza, por lo que se opta por modelarlo ahora por piezas separadas. Para obtener piezas específicas y de fácil manufactura.

Se resumen en 5 piezas *Lateral 1*, *Lateral 2*, *Lateral 3*, *Base* y *Trasera* (tiene 3 configuraciones). La pieza *Trasera* son 3 piezas en 1.

Ahora se muestran los valores de las piezas que resultaron de la deducción anterior.

- *Lateral 1*, de esta pieza se usarán 2, (Tabla 4.23) (Figura 4.23):

Tabla 4.23 Características del Lateral 1.

Descripción	Cant.	Unidades
Lado 1	560.00	mm
Lado 2	556.00	mm
Lado 3	300.00	mm
Lado 4	300.00	mm
Material	ABS	
Perfil	Placa	
Espesor	3.175	mm
Masa	900.56	g
Masa total	1801.12	g

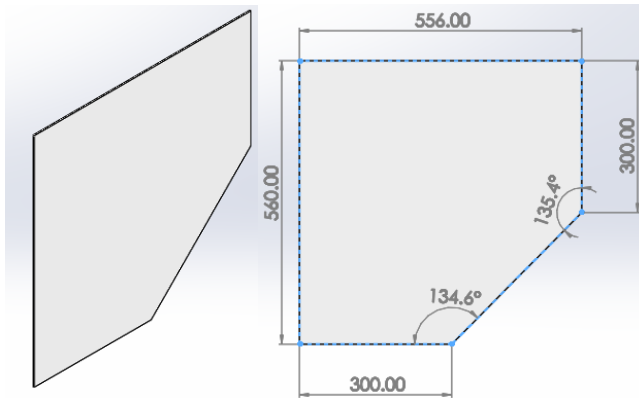


Figura 4.23 Dimensiones de Lateral 1.

➤ *Lateral 2*, de esta pieza se usarán 2 piezas, (Tabla 4.24) (Figura 4.24):

Tabla 4.24 Características del Lateral 2.

Descripción	Cant.	Unidades
Lado 1	320.00	mm
Lado 2	306.20	mm
Material	ABS	
Perfil	Placa	
Espesor	3.175	mm
Masa	317.32	g
Masa total	634.64	g

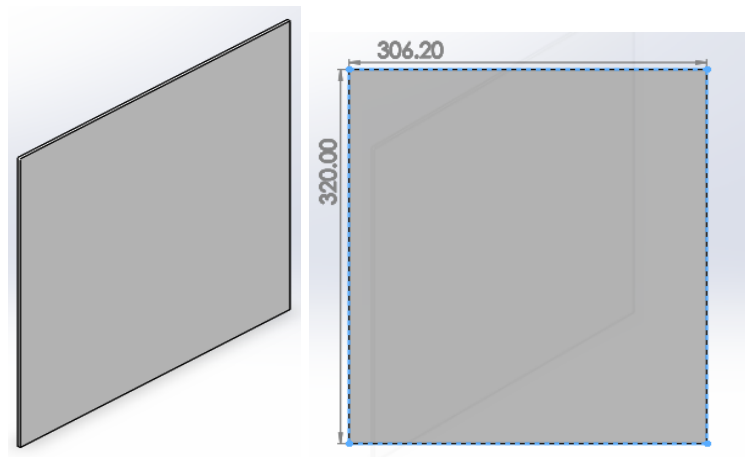


Figura 4.24 Dimensiones de Lateral 2.

➤ *Lateral 3*, de este se utilizan 2 piezas, (Tabla 4.25) (Figura 4.25)

Tabla 4.25 Características del Lateral 3.

Descripción	Cant.	Unidades
Lado 1	300.48	mm
Lado 2	279.00	mm
Lado 3	300.00	mm
Lado 4	296.00	mm
Material	ABS	
Perfil	Placa	
Espesor	3.175	mm
Masa	279.32	g
Masa total	558.64	g

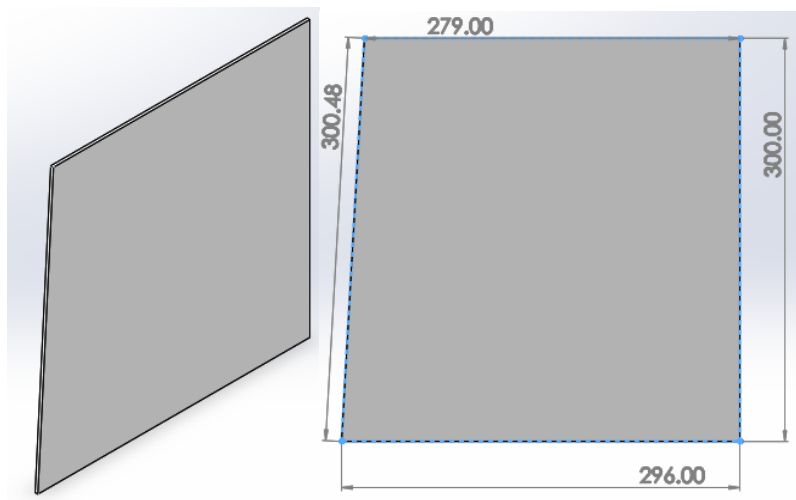


Figura 4.25 Dimensiones de Lateral 3.

- Base de esta pieza solo se requiere 1 (Tabla 4.26) (Figura 4.26)

Tabla 4.26 Características de Base.

Descripción	Cant.	Unidades
Lado 1	300.00	mm
Lado 2	424.00	mm
Material	ABS	
Perfil	Placa	
Espesor	3.175	mm
Masa	411.94	g
Masa total	411.94	g

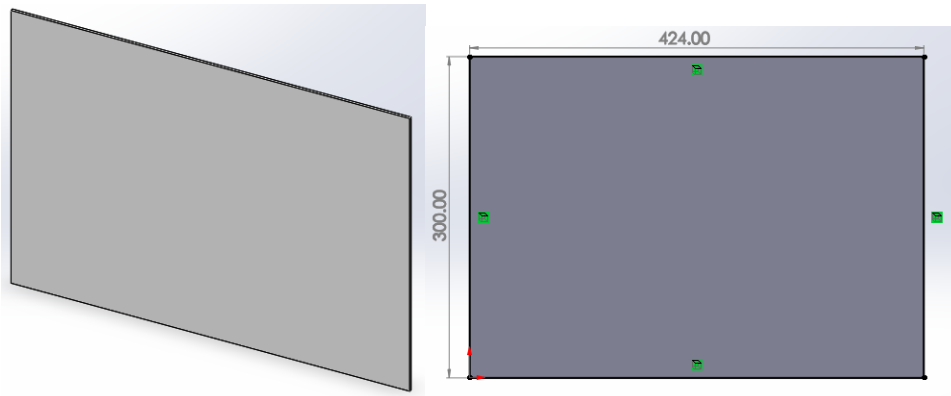


Figura 4.26 Dimensiones de Base.

- *Trasera*, en esta pieza se manejan varias configuraciones para modelar todas las piezas, comenzamos con *Trasera-1*, después será *Trasera-2*, y al final *Trasera-3*, (Tablas 4.27- 4.29) (Figuras 4.27- 4.29).

Tabla 4.27 Características de *Trasera-1*.

Descripción	Cant.	Unidades
Lado 1	320.00	mm
Lado 2	424.00	mm
Material	ABS	
Perfil	Placa	
Espesor	3.175	mm
Masa	439.40	g
Masa total	439.40	g

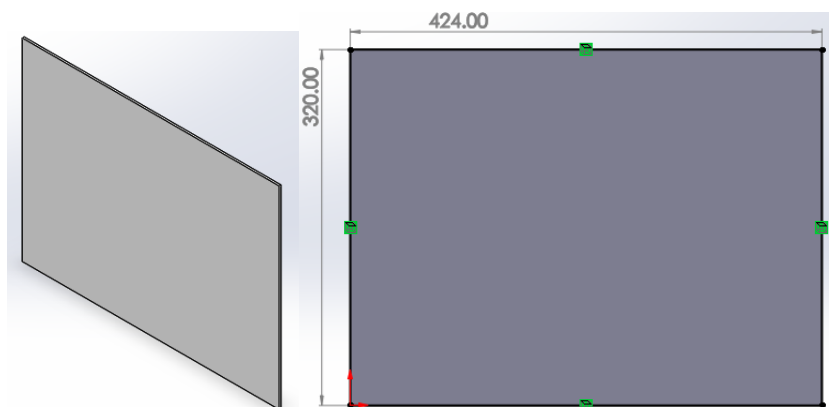


Figura 4.27 Dimensiones de *Trasera-1*.

Tabla 4.28 Características de Trasera-2.

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidades</b>
Lado 1	320.00	mm
Lado 2	424.00	mm
Material	ABS	
Perfil	Placa	
Espesor	3.175	mm
Masa	590.44	g
Masa total	590.44	g

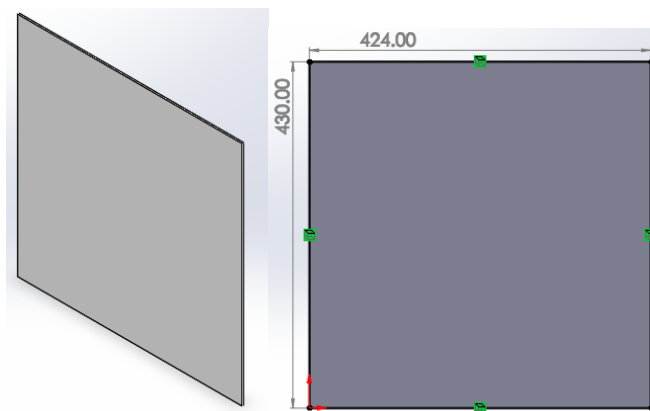


Figura 4.28 Dimensiones de Trasera-2.

Tabla 4.29 Características de Trasera-3.

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidades</b>
Lado 1	270.00	mm
Lado 2	424.00	mm
Material	ABS	
Perfil	Placa	
Espesor	3.175	mm
Masa	370.74	g
Masa total	370.74	g

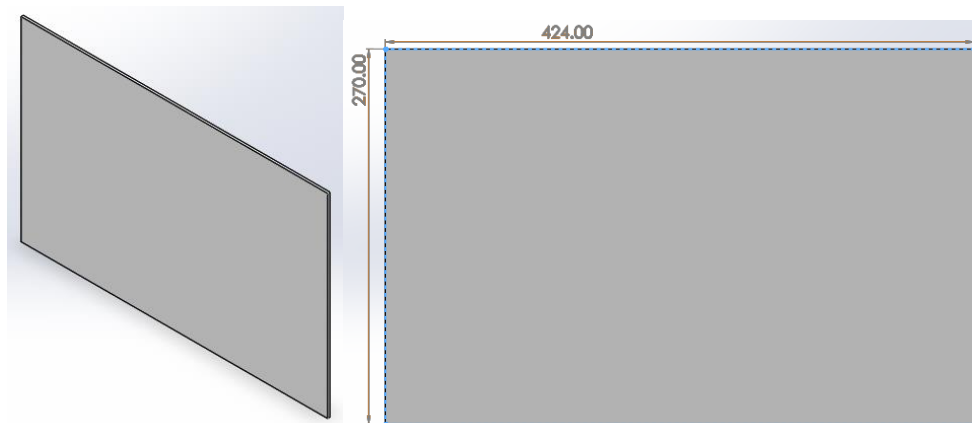


Figura 4.29 Dimensiones de Trasera-3.

Ahora, resumiendo lo anterior se concentra en una tabla el peso que acumulan las piezas individuales (Tabla 4.30).

Tabla 4.30 Total del peso en las piezas individuales.

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Masa total</b>	<b>Unidades</b>
Lateral 1	2.00	1801.12	g
Lateral 2	2.00	634.64	g
Lateral 3	2.00	558.64	g
Base	1.00	411.94	g
Trasera 1	1.00	439.40	g
Trasera 2	1.00	590.44	g
Trasera 3	1.00	370.74	g
<b>Total</b>		<b>4806.92</b>	<b>g</b>

Con el valor total del peso de las piezas individuales mostrado den la tabla 4.30 para la carcasa, se tienen valores relativamente buenos ya que en total tienen un peso de 4.8 kg, el cual es mucho menor que si se empleaba una sola pieza para la carcasa como en los primeros modelos.

#### 4.3. Asiento.



Ahora se analizará el diseño del asiento, que soportará hasta un peso de 150 kg, debido a los requisitos del cliente donde se especificó que habría ocasiones donde los padres de los niños (usuarios), tendrían que subirse junto a ellos y basado en un diseño de extremos (Mondelo, Gregori, & Barrau, 1999), se generó un asiento donde se puedan sentar tanto niños como adultos.

A continuación, se presenta la síntesis de los estudios realizados en el software SolidWorks®.

Basado en la literatura (Kalpakjian & Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología. 5a ed., 2008) (Groover, 2014), es típico usar polímeros para fabricar elementos huecos, herramientas, etc., basado en sus propiedades mecánicas, se seleccionó un termoplástico: **Polipropileno**. Se presentan los siguientes valores del modelo, Tabla 4.31, Figura 4.30.

Tabla 4.31 Características del Asiento.

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidades</b>
Altura	762.25	mm
Base	600.00	mm
Ancho	717.30	mm
Espesor	24.50	mm
Reducción	14.50	mm
Material	PP Copolymer	
Densidad	890.00	$kg/m^3$
Masa	10975.29	g

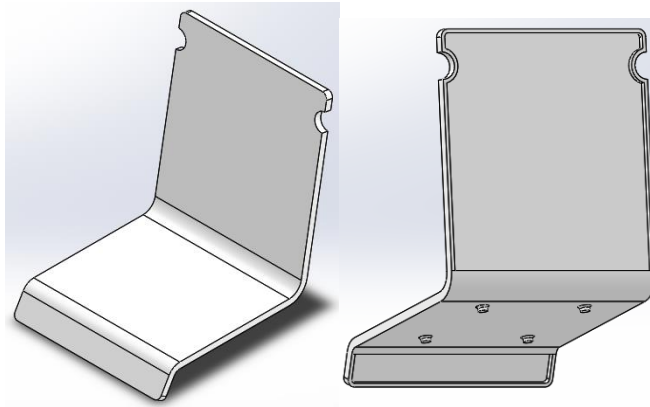


Figura 4.30 Diseño del asiento con vista frontal y trasera.

Se realizó un análisis estático para determinar los esfuerzos que soporta el diseño del asiento, Figura 4.31, Tabla 4.32.

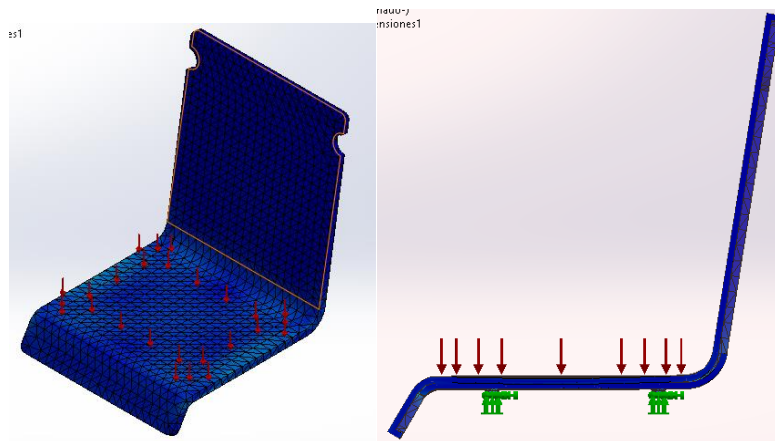


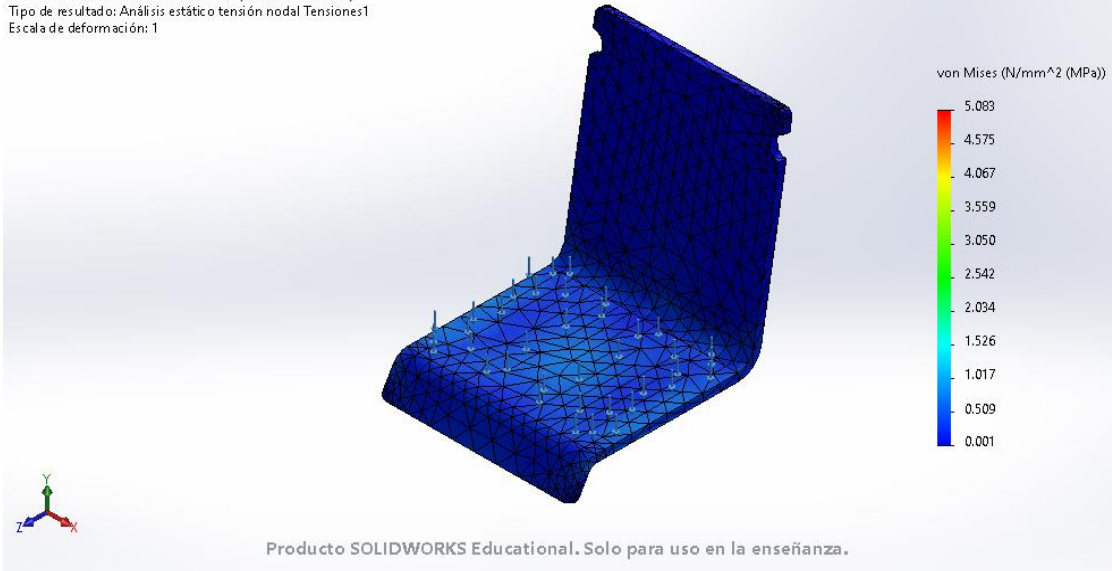
Figura 4.31 Condiciones de frontera. Sujeción: punto fijo (geometría fija), Carga aplicada: Presión de 1500 N/mm<sup>2</sup>. Usando mallado basada en curvatura.

Tabla 4.32 Resultados Análisis estático- Asiento.

<b>Esfuerzos</b>	<b>Máy.</b>	<b>Mín.</b>
Von mises	5.083 MPa	0.001 MPa
P/A	2.718 MPa	-4.203 MPa
V/A	2.806 MPa	-2.825 MPa
Desplazamientos	6.747 mm	
Deformaciones unitarias	0.004	

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.001N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 10364	5.083N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 6446

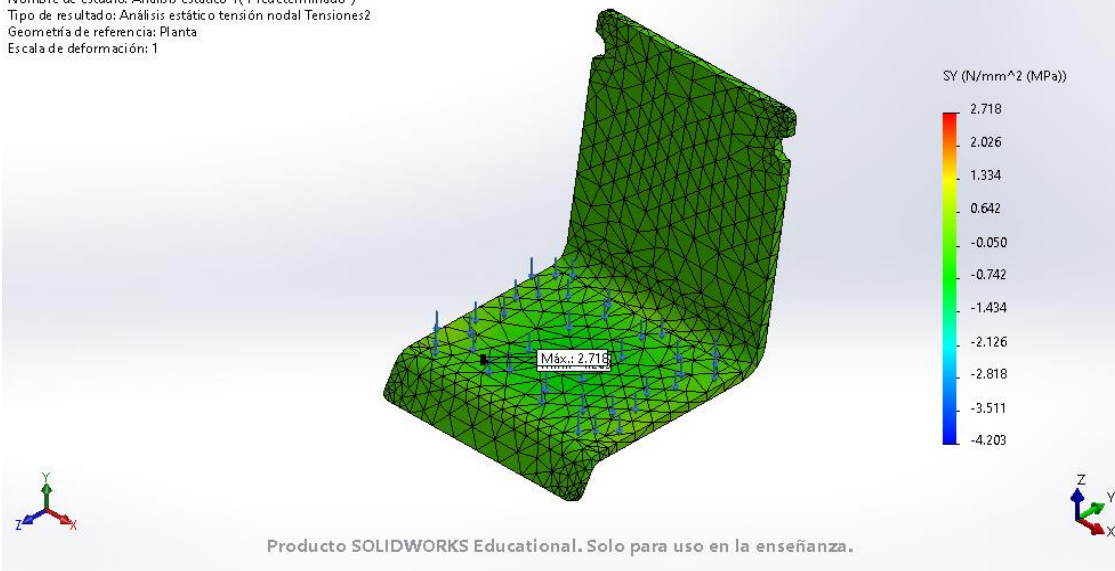
Nombre del modelo: Asiento\_adulto  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 1



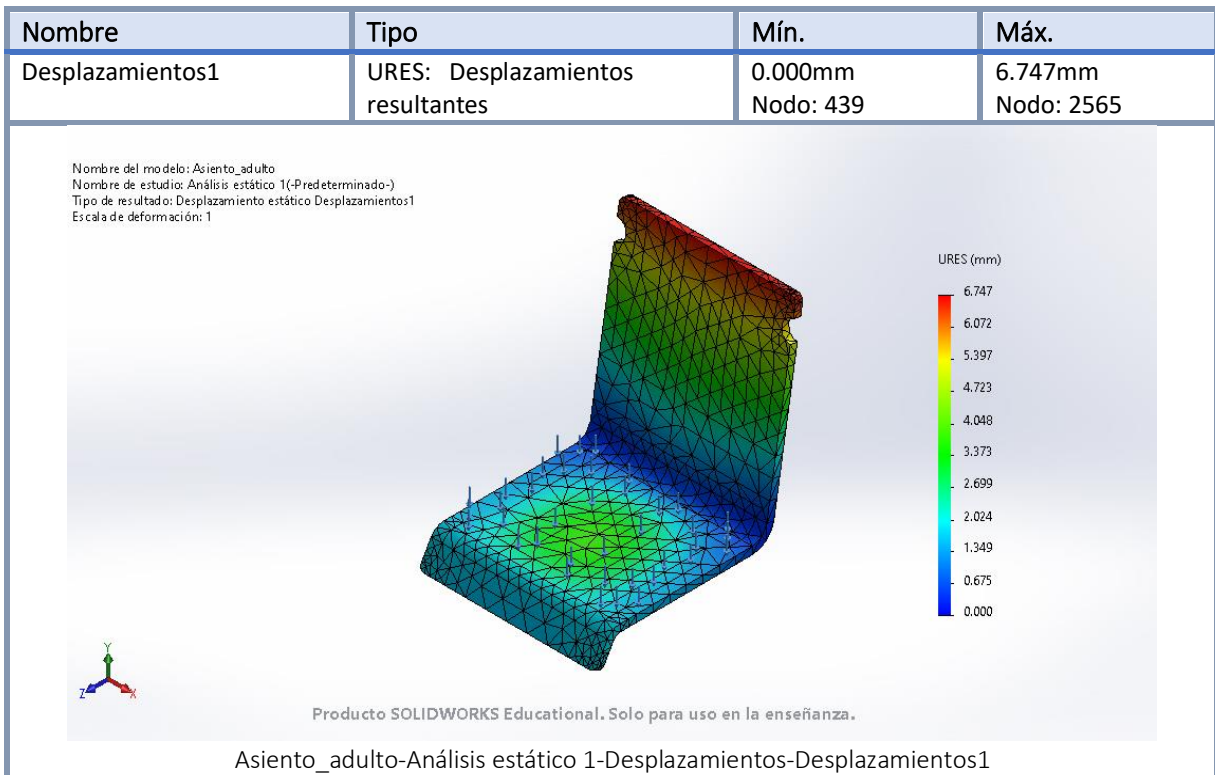
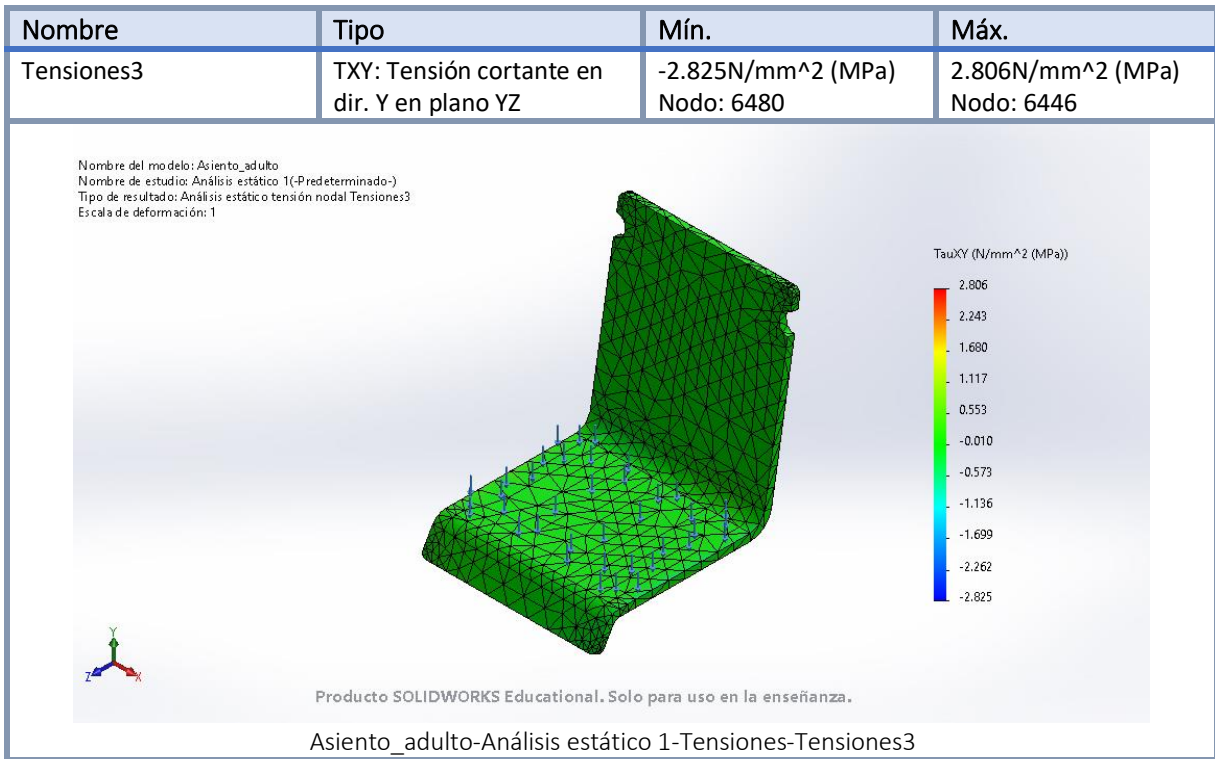
Asiento\_adulto-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

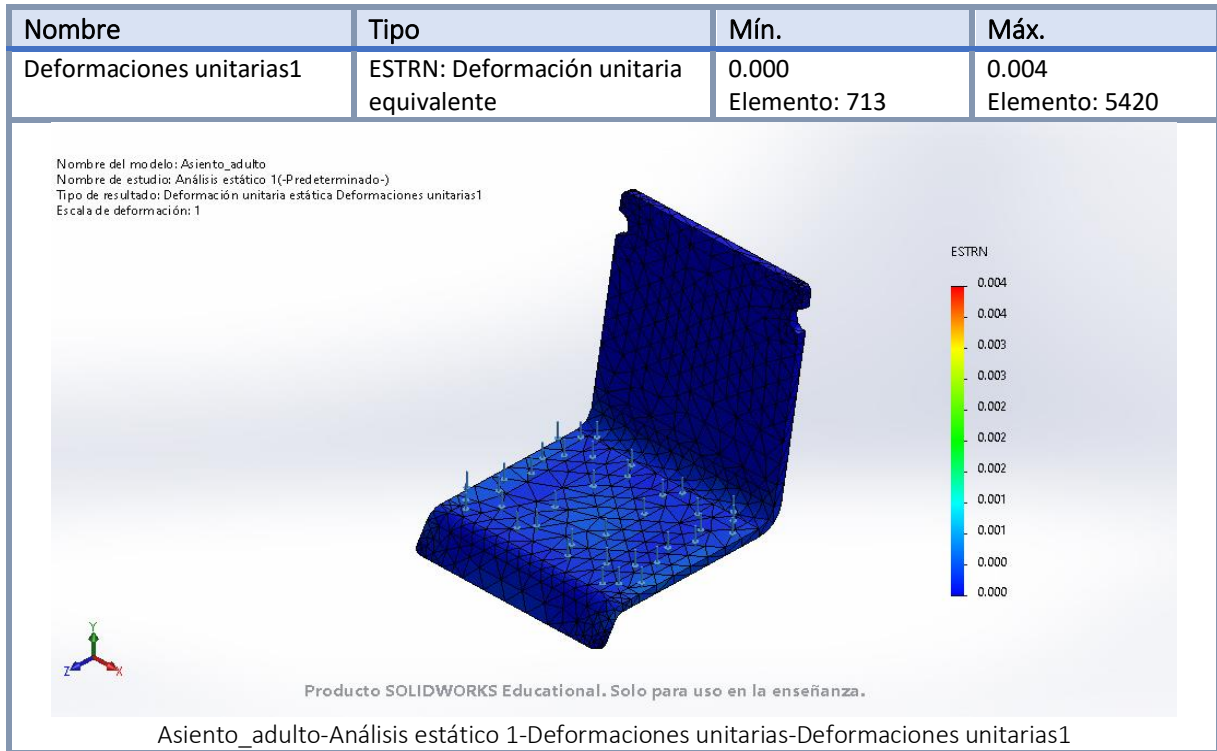
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	SY: Tensión normal de Y	-4.203N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 6448	2.718N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 570

Nombre del modelo: Asiento\_adulto  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones2  
Geometría de referencia: Planta  
Escala de deformación: 1



Asiento\_adulto-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones2





Teniendo en cuenta el elevado valor de la masa (10.875 kg), se buscará reducirlo y poder tener controlado el peso que se agrega a la estructura.

Se realizó un segundo modelo de este mismo diseño, denominado *Asiento-conf. 2*. Al cual se le realizó un análisis estático con las siguientes características, Tabla 4.33, Figura 4.32.

Tabla 4.33 Características del Asiento- conf. 2.

Descripción	Cant.	Unidades
Altura	762.25	mm
Base	600.00	mm
Ancho	717.30	mm
Espesor	24.50	mm
Reducción	14.50	mm
Material	PP Copolymer	
Densidad	890.00	kg/m <sup>3</sup>
Masa	5393.33	g

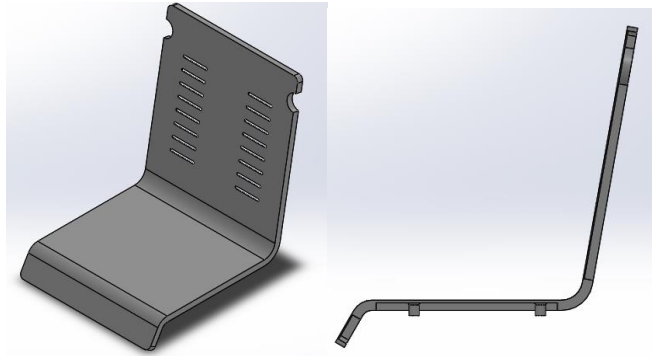


Figura 4.32 diseño de Asiento- conf. 2.

Al realizar el análisis se usaron las siguientes condiciones de frontera, Figura 4.33, Tabla 4.34.

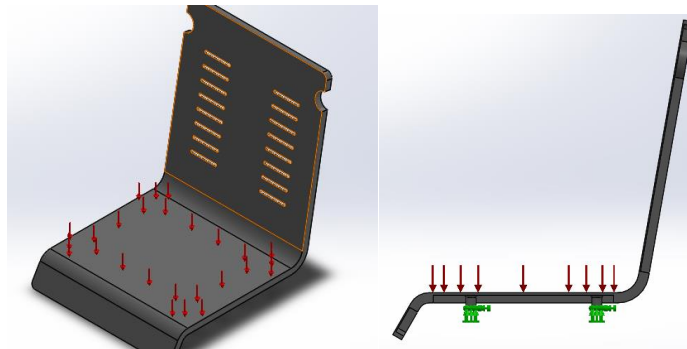


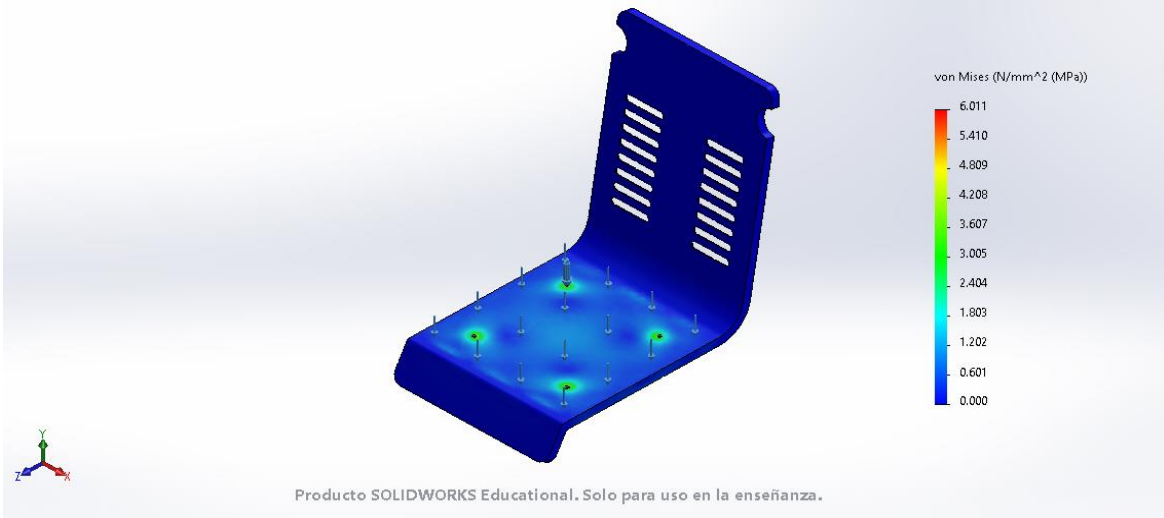
Figura 4.33 Condiciones de Frontera. Sujeción: punto fijo (geometría fija), Carga: carga distribuida de  $1500 \text{ N/m}^2$ , usando mallado basado en curvatura.

Donde se obtuvieron los resultados

Tabla 4.34 Resultados Análisis estático - Asiento- conf. 2.

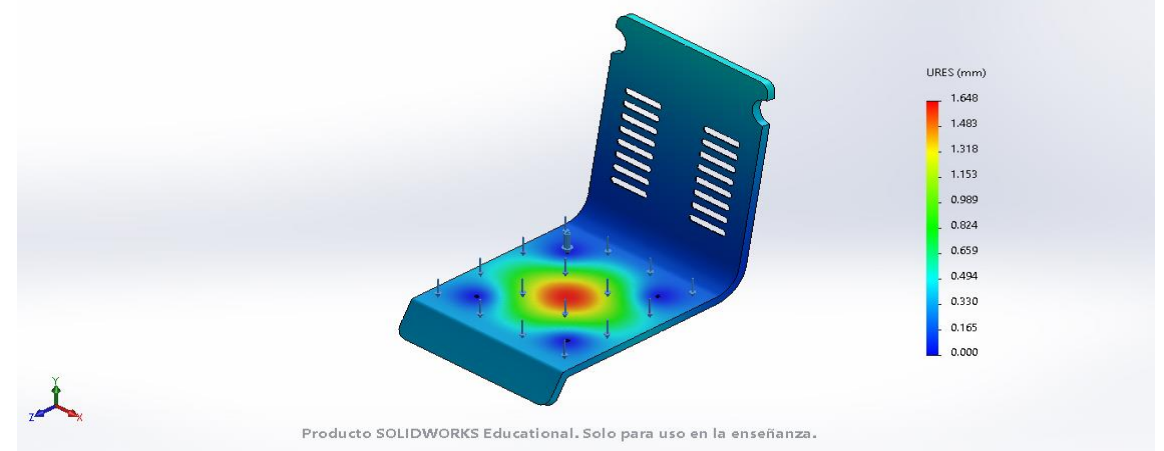
<b>Esfuerzos</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Von mises	6.011 MPa	0 MPa
P/A	2.286 MPa	-4.301 MPa
V/A	2.856 MPa	-2.688 MPa
Desplazamientos	1.648 mm	
Deformaciones unitarias	0.002	

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.000N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 43492	6.011N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 7327

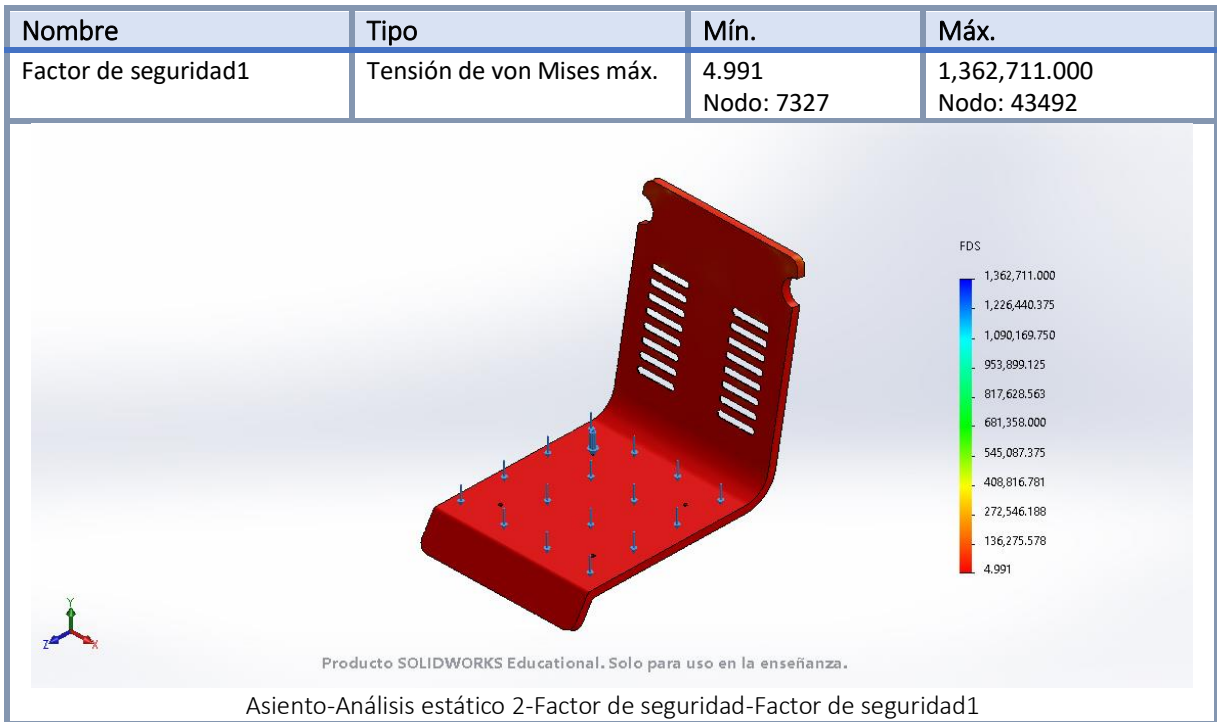
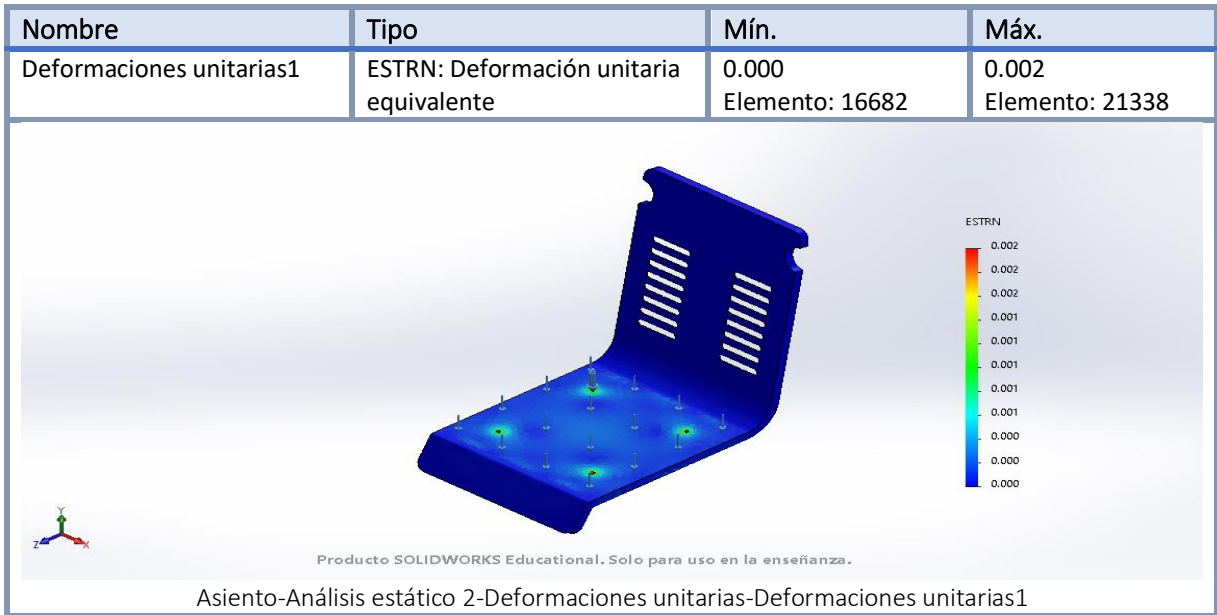


Asiento-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 2084	1.648mm Nodo: 44058



Asiento-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1





En el segundo modelo se buscó reducir el volumen del asiento obteniendo un 49 % de reducción 10.975 kg a 5.393 kg. Además, se presentan resultados aceptables en la cuestión de los desplazamiento y deformaciones con valores de 1.648 mm y 0.2%, respectivamente, Tabla 4.34.

#### 4.4 Soporte para Asiento.

Ahora se analizará el soporte utilizado para soportar el asiento y fijarlo a la estructura del *Esqueleto 6*.

Este soporte o base para el asiento, se diseñó para que soporte el peso del asiento 5.393 kg y de la carga de 150 kg, un total de 155.4 kg. Se selecciono el polímero ABS, como material para fabricación por sus altas propiedades mecánicas, ver Tabla 4.35.

En la Figura 4.34 se muestra las condiciones de frontera del análisis estático.

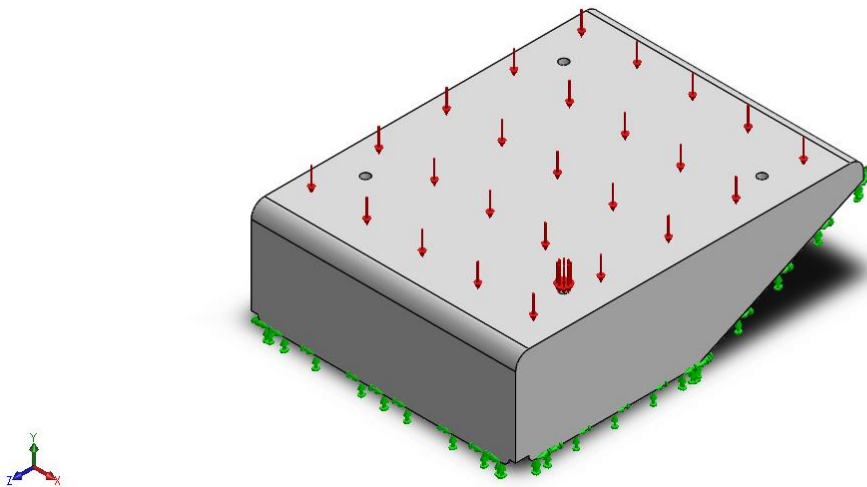


Figura 4.34 Condiciones de frontera. Carga aplicada:  $1524.5 \text{ N/m}^2$ , Fijaciones: Punto fijo, Mallado: basado en curvatura.

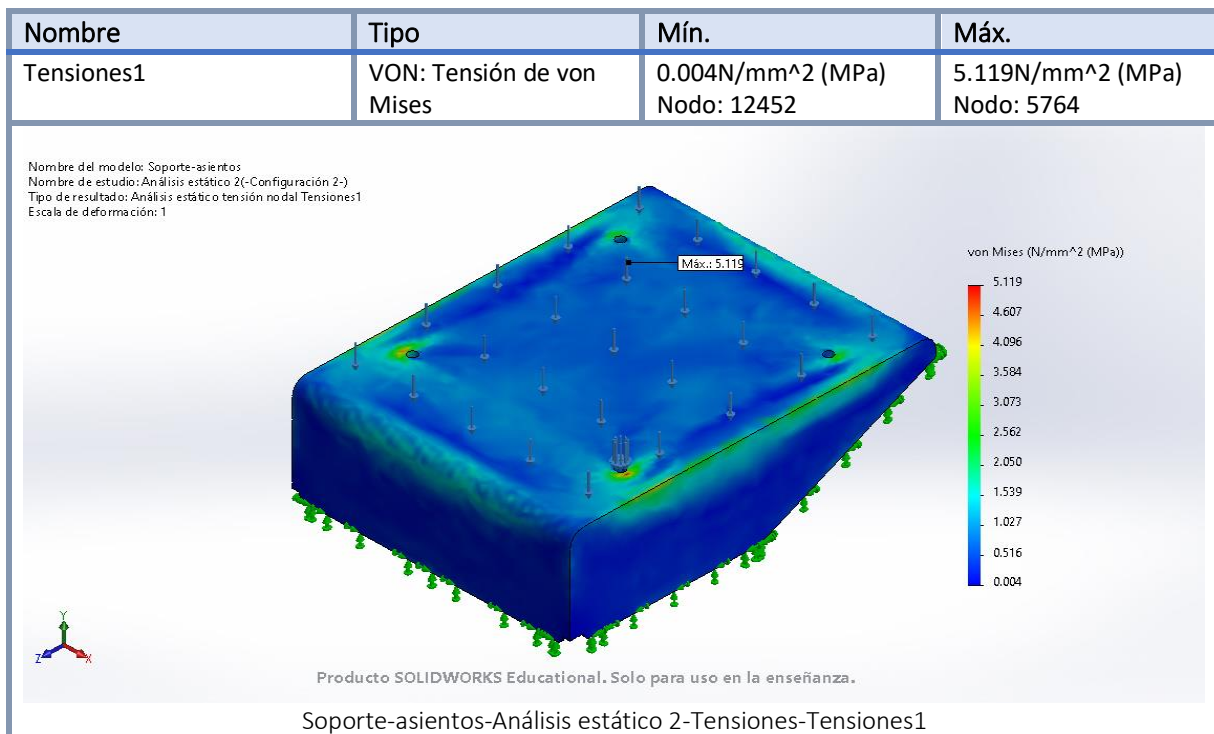
Realizando un análisis estático en el software SolidWorks, se obtienen los siguientes resultados, ver Tabla 4.36.

Tabla 4.35 Características de Soporte de Asiento.

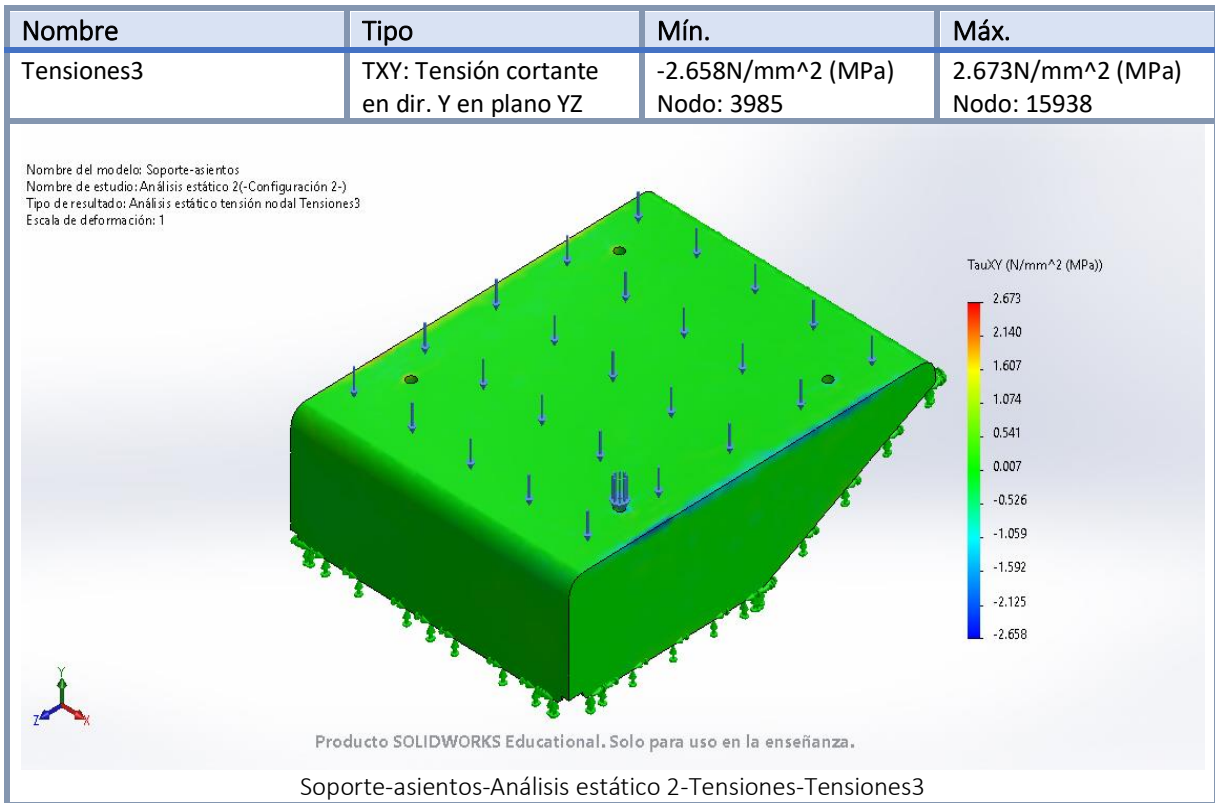
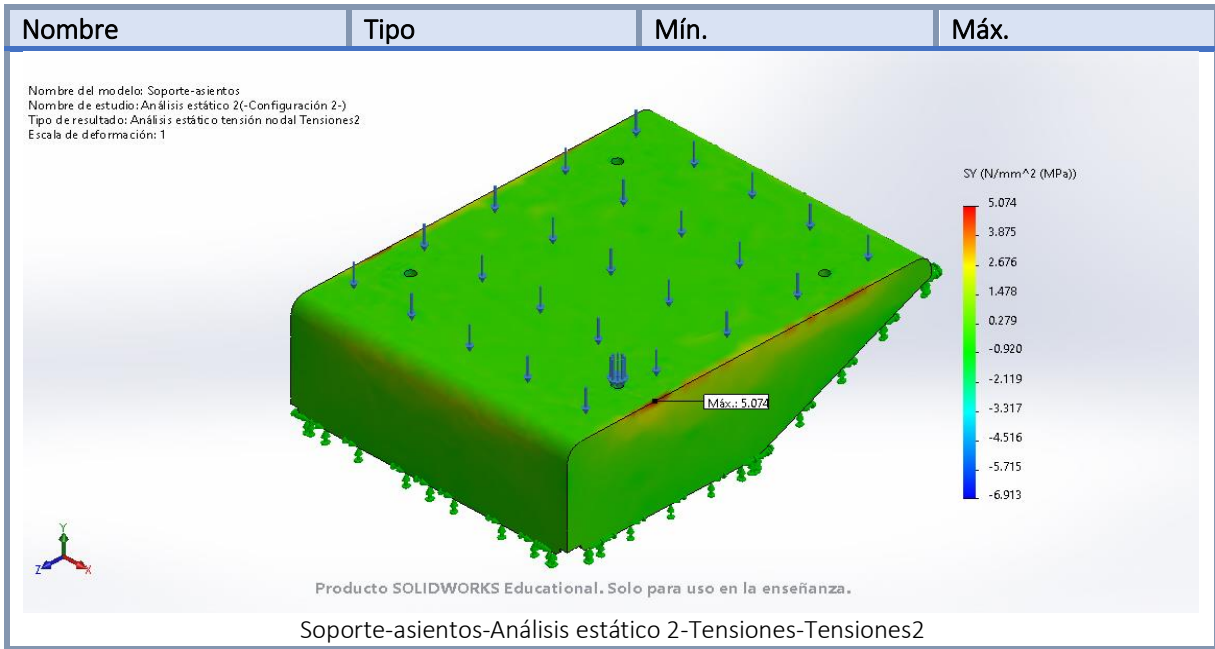
Descripción	Cant.	Unidades
Altura	150.00	mm
Base	400.00	mm
Ancho	526.00	mm
Espesor	3.00	mm
Material	ABS	
Densidad	1020.00	kg/m <sup>3</sup>
Masa	1388	g

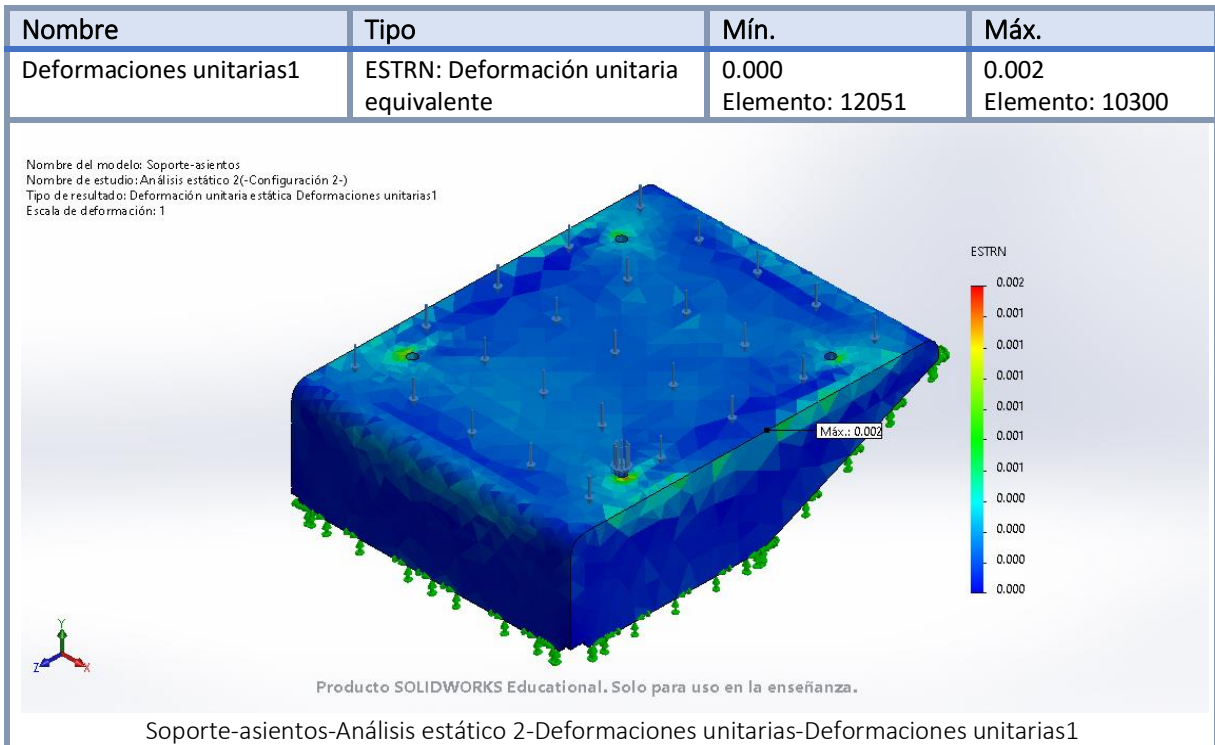
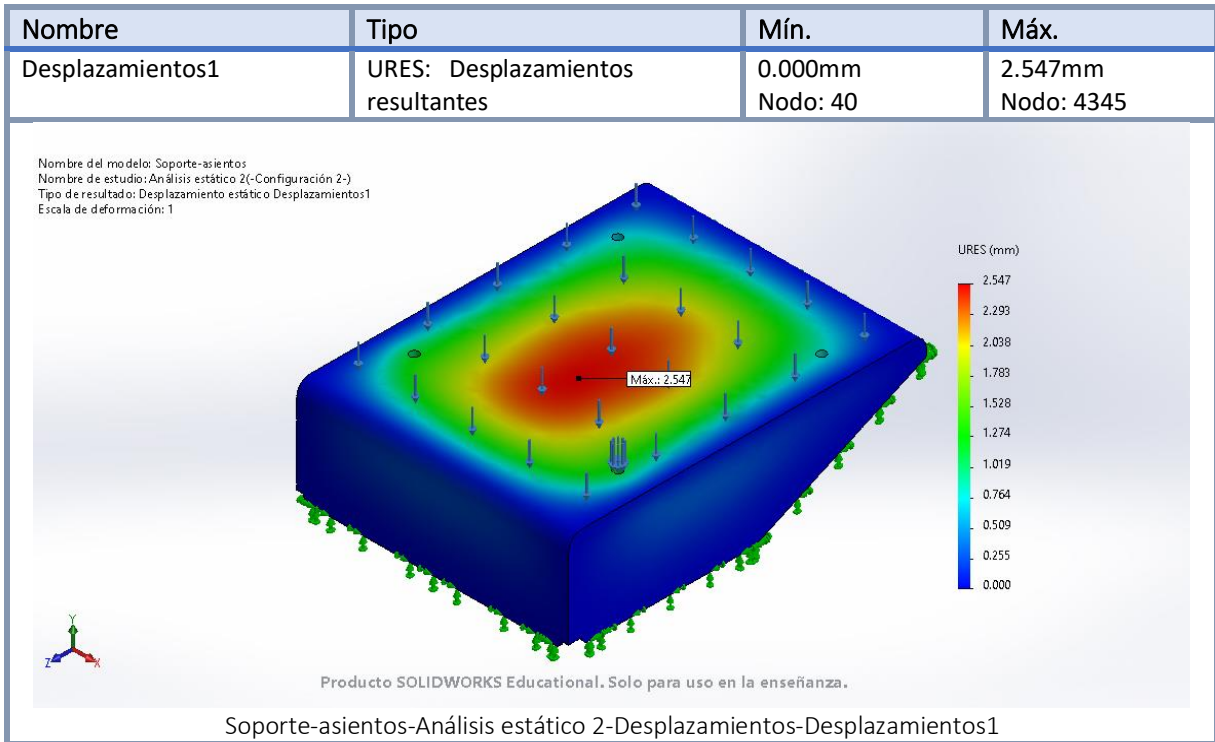
Tabla 4.36 Resultados Análisis estático- Soporte de Asiento.

Esfuerzos	Máx.	Mín.
Von mises	5.119 MPa	0.004 MPa
Esfuerzo normal	5.074 MPa	-6.913 MPa
Esfuerzo cortante	2.673 MPa	-2.658 MPa
Desplazamientos	2.54 mm	
Deformaciones unitarias	0.002	



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	SY: Tensión normal de Y	-6.913N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 15393	5.074N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 693





Revisando los resultados de la Tabla 4.36 podemos observar que los desplazamientos son mínimos 2 mm y la deformación unitaria se encuentra en el 0.2.

Para tener una mejor sujeción entre el esqueleto 6 y el soporte del asiento, se le agregan unas alas para ser fijado al marco, Figura 4.35. además, en la Tabla 4.37 se visualizan las características de las alas agregadas.

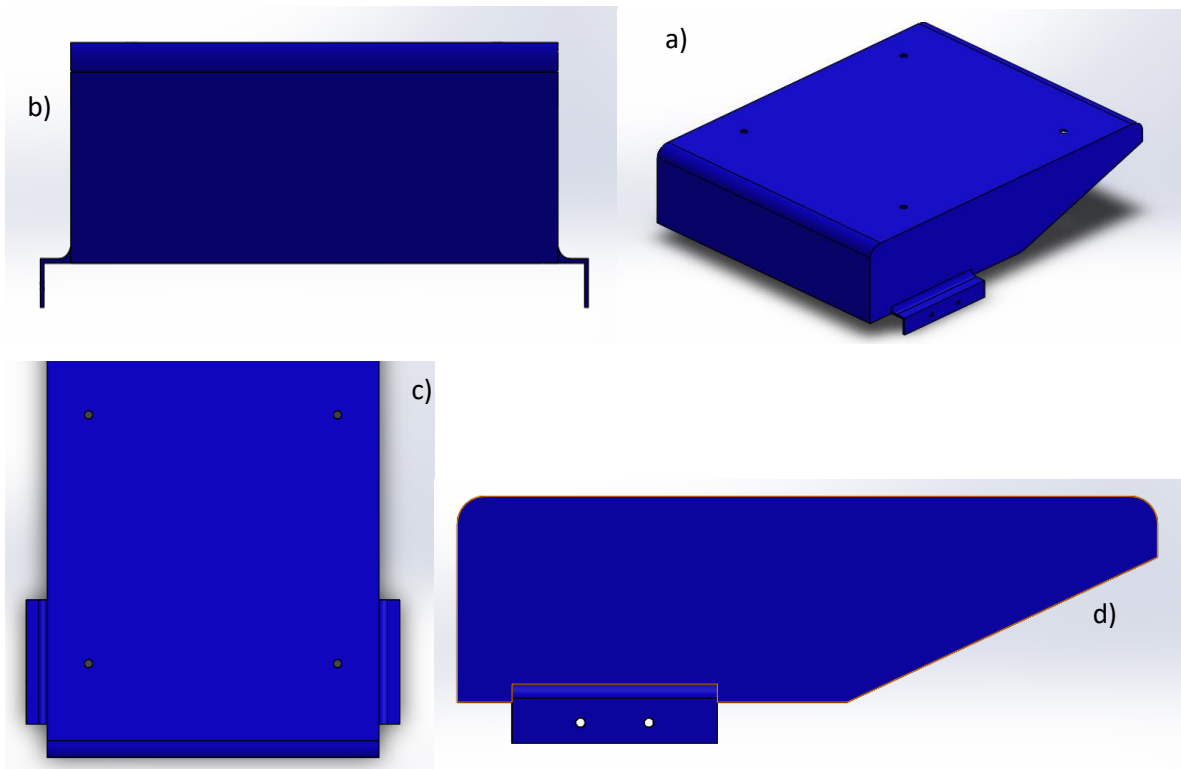


Figura 4.35 Vista ortogonales del ala agregada al soporte del asiento. a) Vista isométrica, b) vista posterior, c) vista planta, d) vista lateral.

Tabla 4.37 Características de ala agregada al soporte de asiento.

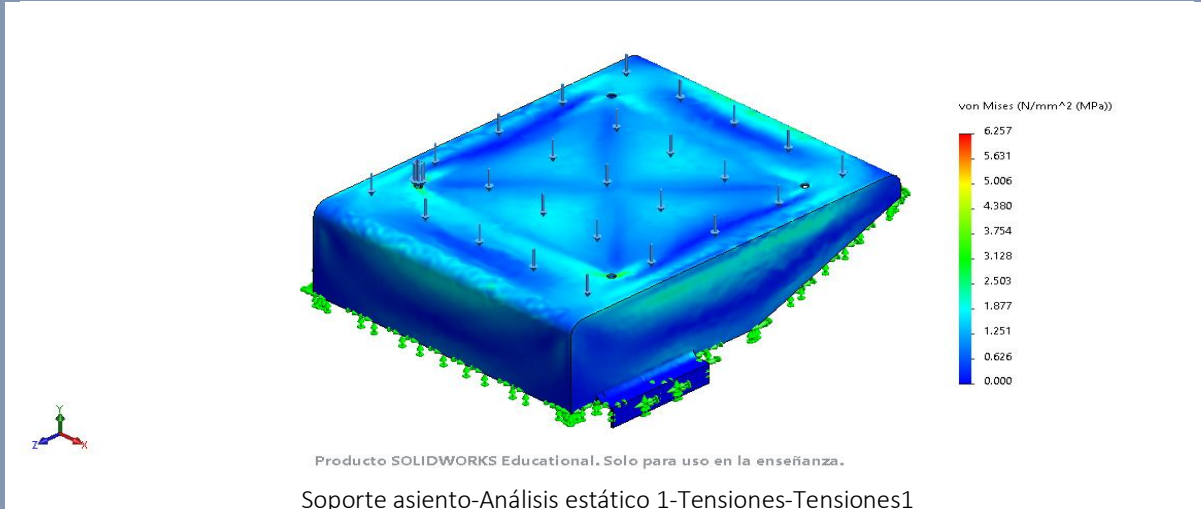
Descripción	Cantidad	Unidades
Altura	33	mm
Base	25	mm
Ancho	150	mm
Espesor	3	mm
Barrenos	7	mm
Material	ABS	
Densidad	1020	$kg/m^3$
Masa	74.77	g

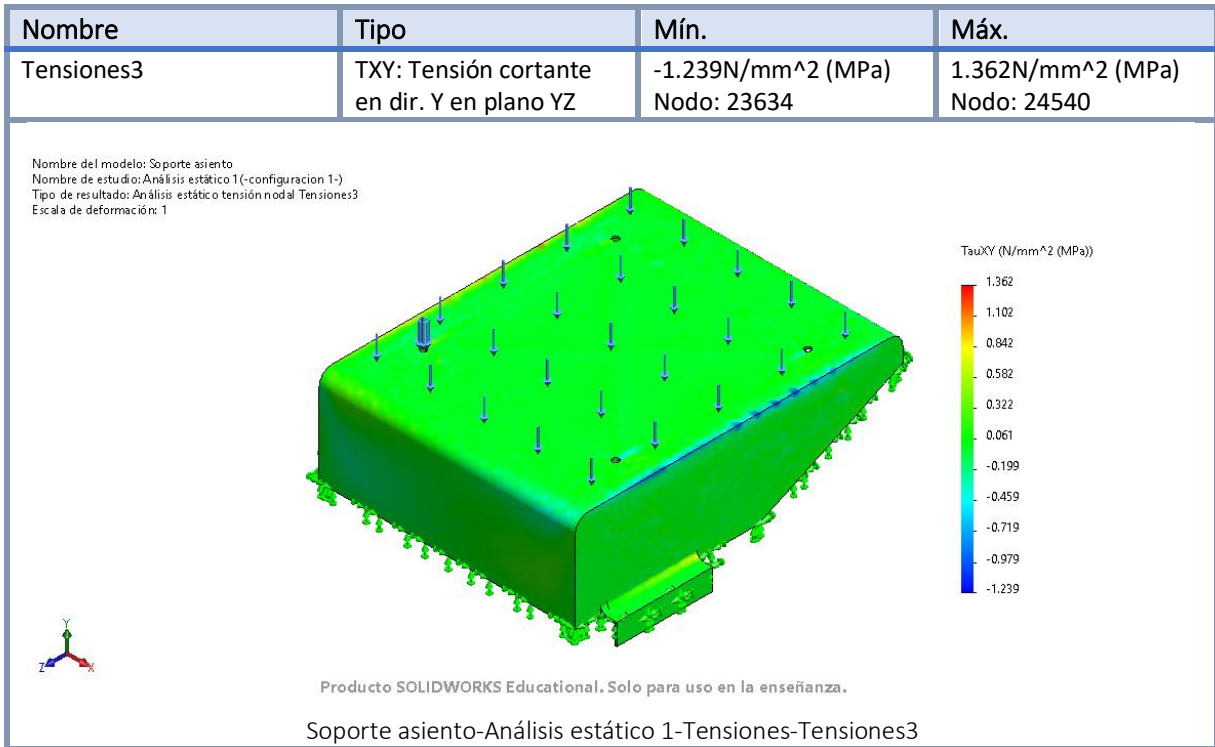
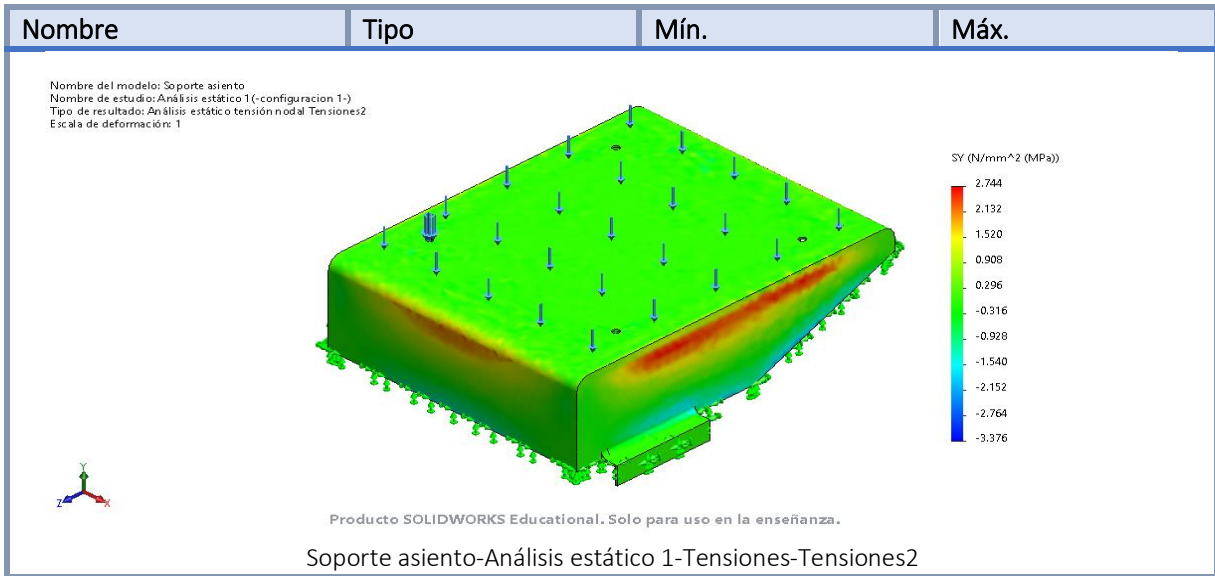
Nota: La masa es de los dos elementos "ala" agregados al modelo del soporte

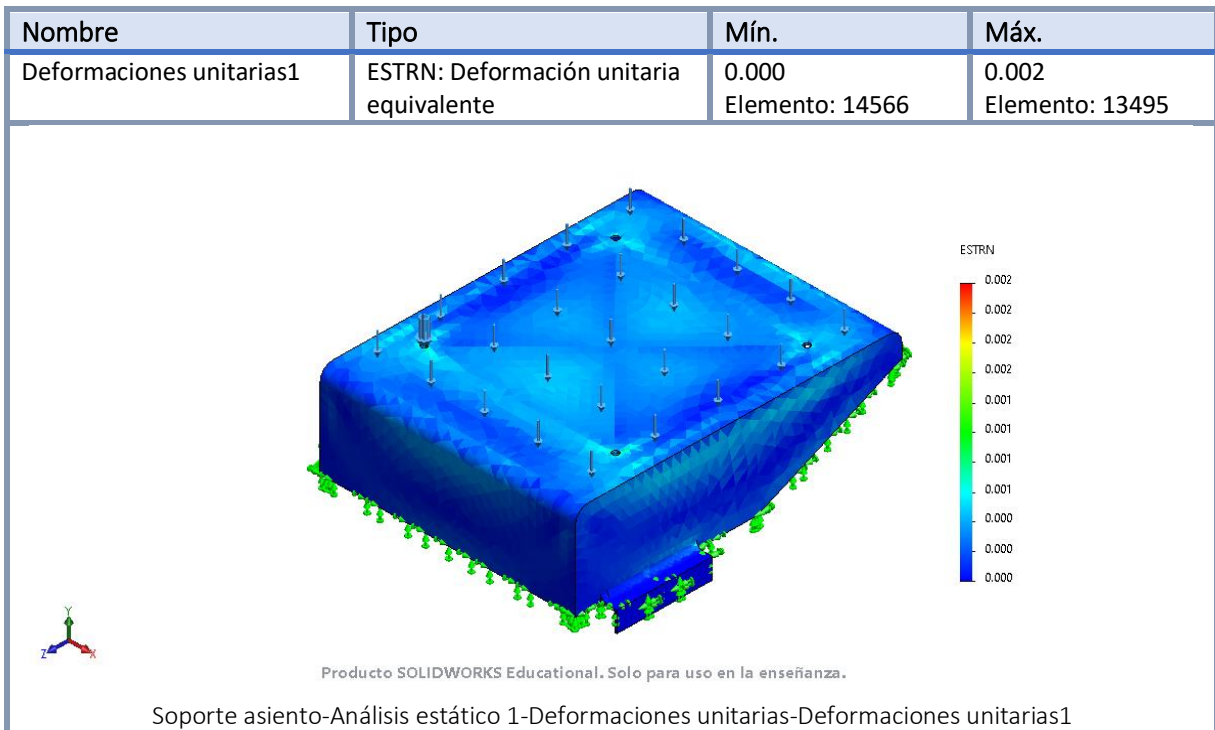
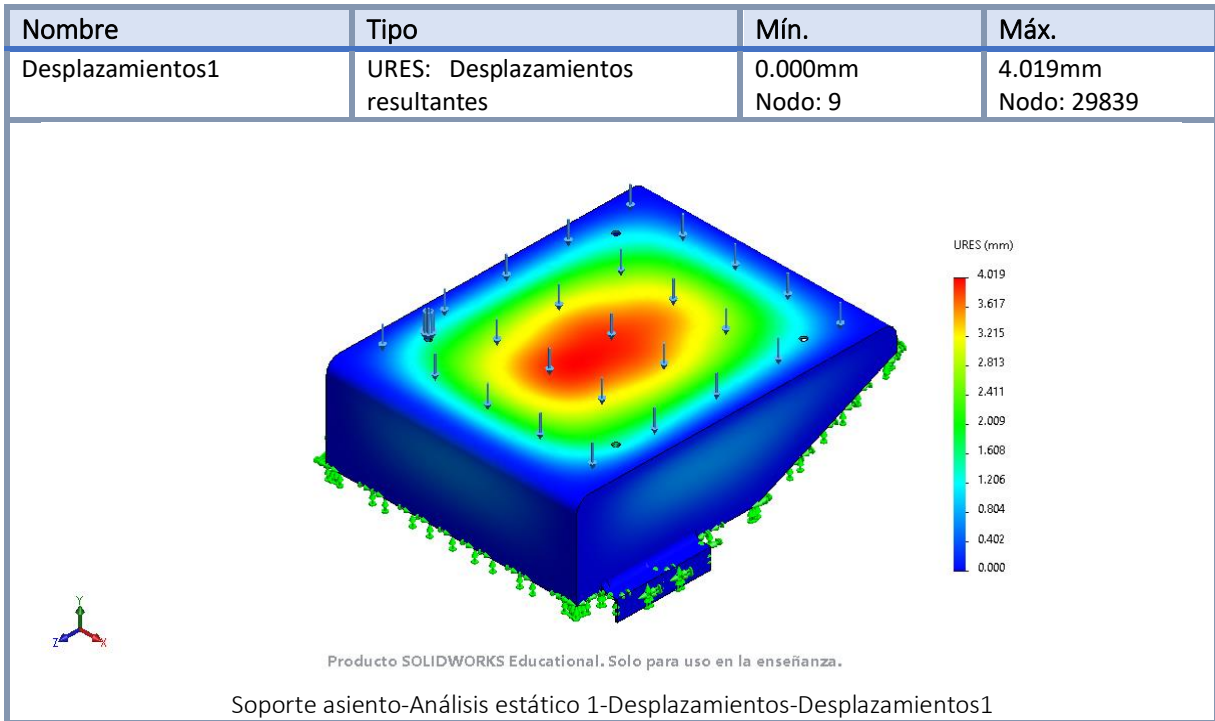
Se realizó de nuevo el análisis estático, ahora con los nuevos elementos “alas” que ayudan en la fijación con respecto al marco (esqueleto 6), ver Tabla 4.38.

Tabla 4.38 Resultados Análisis estático - Soporte de Asiento.

<b>Esfuerzo</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Von Mises	6.257 MPa	0 MPa
Esfuerzo normal	2.744 MPa	-3.376 MPa
Esfuerzo cortante	1.362 MPa	-1.239 MPa
F.S.	4.8	
Desplazamientos	4.019 mm	
Deformaciones unitarias	0.002	

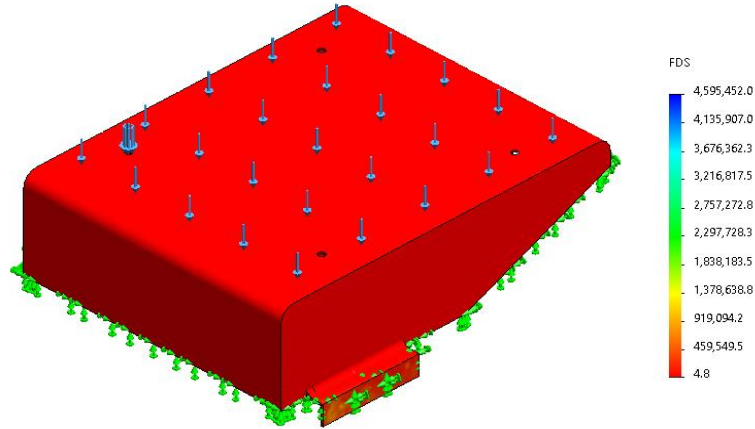
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.000N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 31000	6.257N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 9673
			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	SY: Tensión normal de Y	-3.376N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 22533	2.744N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 17327







Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	4.8 Nodo: 9673	4,595,452.0 Nodo: 31000



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Soporte asiento-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

## CAPITULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1. Resultados del análisis estático

Ahora se presentarán los resultados obtenidos de los análisis estáticos de los modelos “esqueleto 6”, “soporte de asiento” y “asiento”. Comenzando a analizar el marco o “esqueleto 6”, ver Figura 5.1.

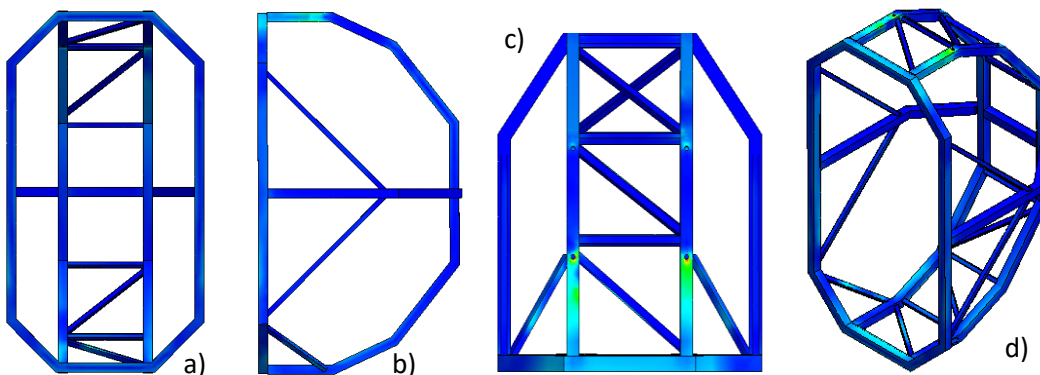


Figura 5.1 Esqueleto 6 resultados del esfuerzo de Von Mises. a) vista posterior, b) vista lateral, c) vista planta, d) vista isométrica.

Observamos que el valor más alto de esfuerzo se encuentra en los Barrenos en la sección superior como se muestra en la Figura 5.2.

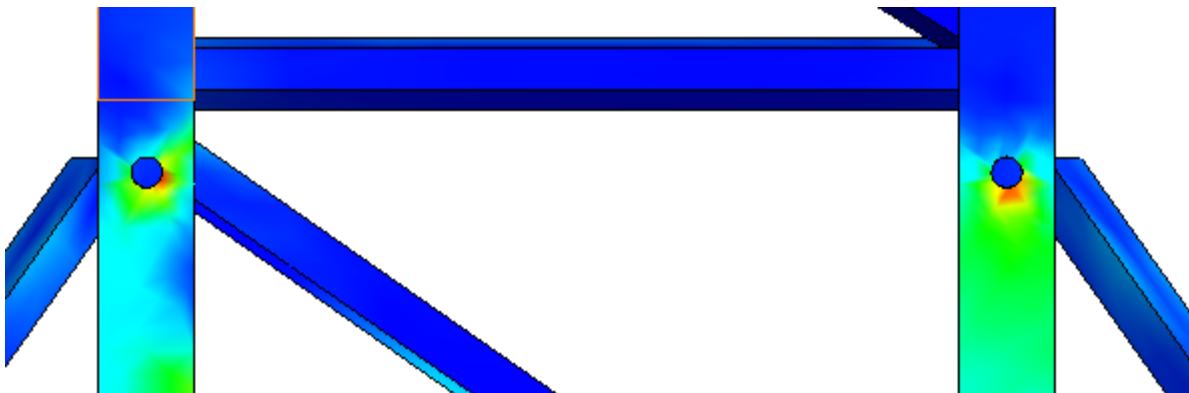


Figura 5.2 Áreas del esfuerzo en el marco.

Recordando los valores de la tabla 4.21 nos dice que el esfuerzo de Von Mises tiene un valor de 63.46 MPa, con un límite elástico de 125 MPa. Por lo que de acuerdo con la ecuación 5, calcularemos el F.S. según el criterio de ED:

$$\sigma' \geq \frac{S_y}{N}$$

Ecuación ( 6 )

Podemos sustituir los valores en el criterio y despejando N, obtenemos:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{125 \text{ MPa}}{63.46 \text{ MPa}} = 1.9 \approx 2$$

Vemos que el resultado del F.S. es aceptable en lo establecido conforme a la literatura, al ser mayor o igual a 1, además de los establecido por nosotros de tener un  $F.S. = 2$ .

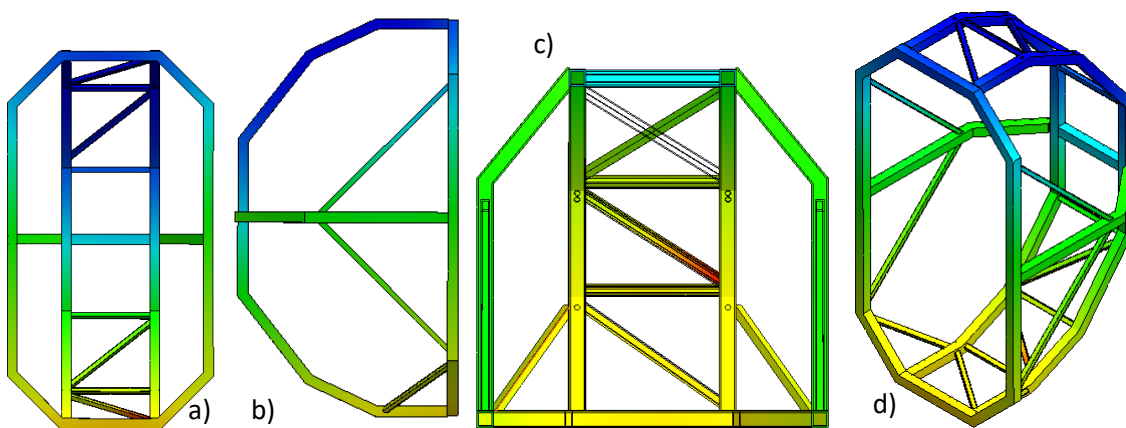


Figura 5.3 Esqueleto 6 resultados de los desplazamientos. a) vista posterior, b) vista lateral, c) vista planta (sección), d) vista isométrica.

En la Figura 5.3 podemos analizar cómo es el comportamiento de los desplazamientos que se obtuvieron del análisis estático, donde en la vista de planta se observan secciones de color rojo donde se presenta el mayor desplazamiento con valor de 3.121 mm.

Después analizamos los resultados obtenidos por el soporte del asiento, ver Figura 5.4, que de acuerdo con la tabla 4.39 nos indica que el valor del esfuerzo de Von Mises es de 6.257 MPa, basado en un límite elástico de aproximadamente 30 MPa (Kalpakjian S. , Manufactura, ingeniería y tecnología. 5ta Edición, 2008), se emplea el criterio de ED:

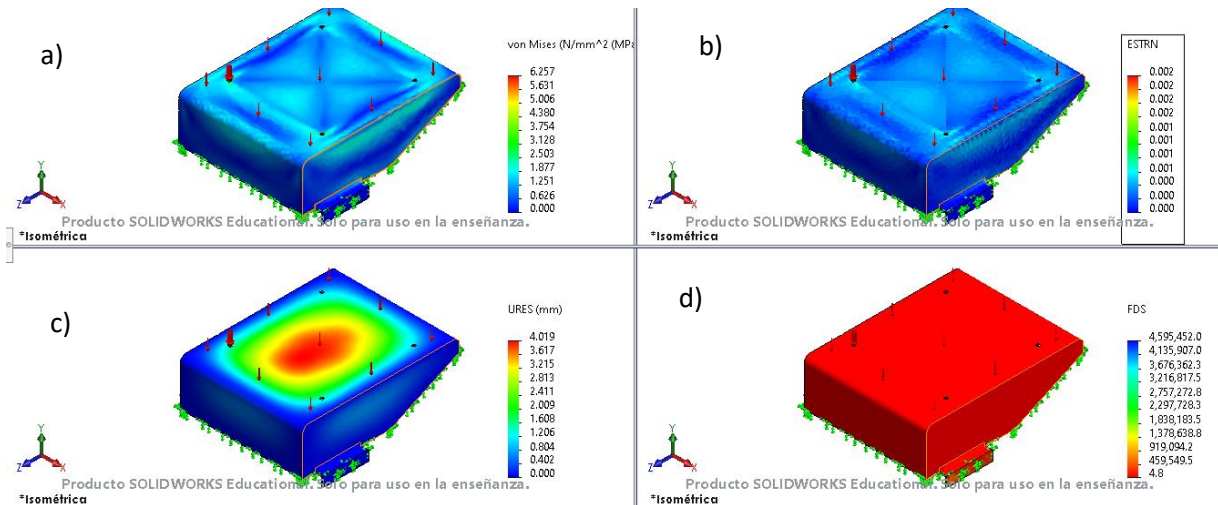


Figura 5.4 Resultados de análisis estático del soporte del asiento, a) esfuerzo de Von Mises, b) deformación unitaria, c) deformación, d) factor de seguridad.

Conforme a la ecuación 5, sustituimos los valores y despejamos el factor de seguridad.

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{30 \text{ MPa}}{6.257 \text{ Mpa}} = 4.79 \approx 4.8$$

Siguiendo el criterio de diseño vemos que el F.S. es igual o mayor a 1, por lo que, el diseño es aceptable.

Con respecto a los desplazamientos, ve puede ver en la Figura 5.4 que la zona de mayor efecto es al centro de la cara superior. Ahora en una vista de sección de la zona mencionada, Figura 5.5, vemos donde se localizan los mayores desplazamientos. Cabe mencionar que estos se presentaran en el caso de llegar a un peso de 150 kg.

Por último, analizaremos los resultados del análisis estático del asiento de seguridad, ver Figura 5.6. Empleando el criterio de ED.

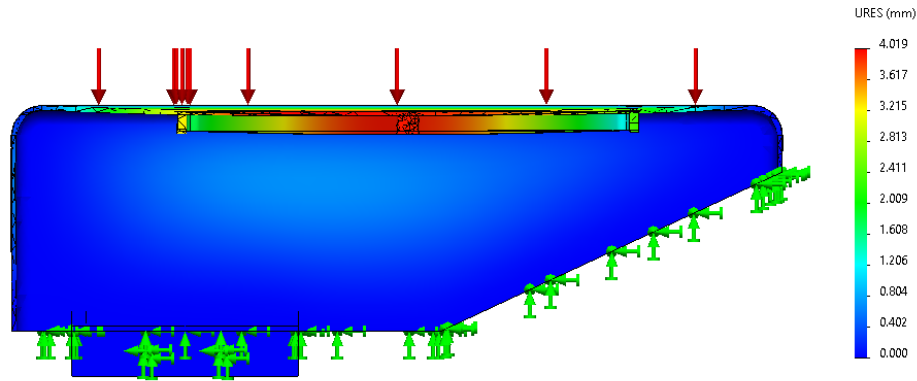


Figura 5. 5 Vista de sección del soporte del asiento. visualización del comportamiento de los desplazamientos.

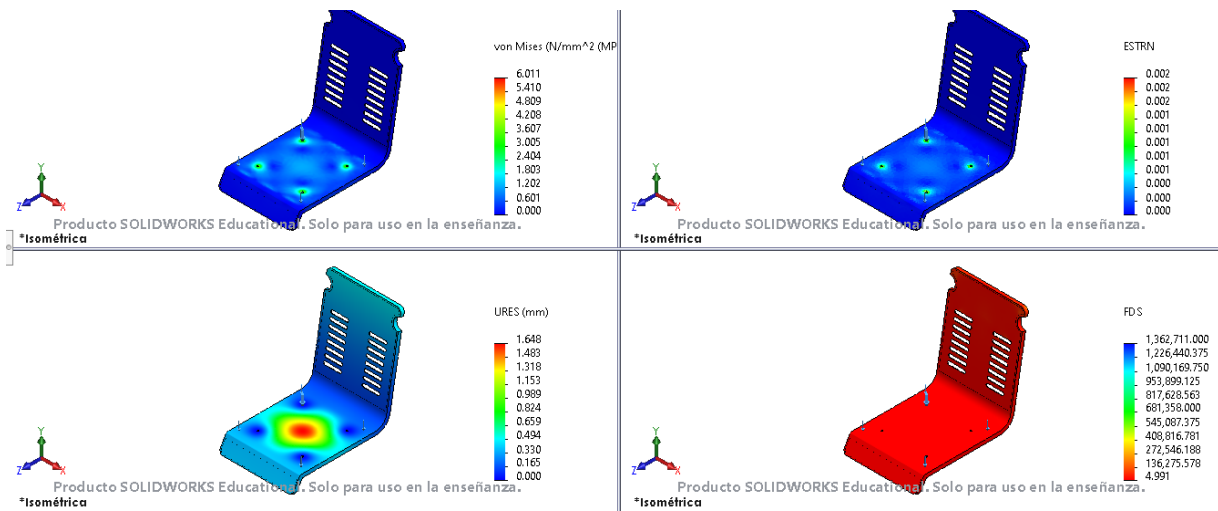


Figura 5. 6 Resultados de análisis estático del asiento. a) esfuerzo de Von Mises, b) deformación unitaria, c) deformación, d) factor de seguridad.

Basado en los resultados presentados en la tabla 4.35, donde se registró el valor del esfuerzo de Von Mises igual a 6.011 MPa, y considerando el valor del Límite elástico en 30 MPa, se sustituyen en la ecuación 5 y despejando el factor de seguridad, se obtiene:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{30 \text{ MPa}}{6.011 \text{ Mpa}} = 4.99 \approx 5$$

Siguiendo el criterio de diseño, entendemos que el F.S. es igual o mayor a 1, por lo que es aceptable.

También se mostrará una vista de sección del comportamiento de los desplazamientos en el asiento, ver Figura 5.7.

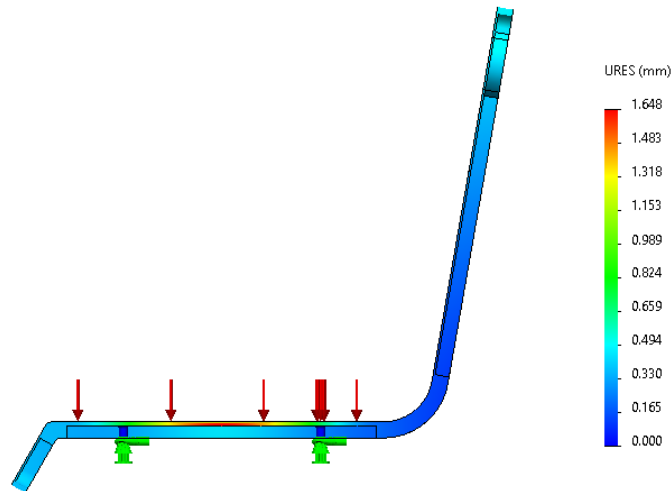


Figura 5.7 Vista de sección del asiento. Visualización del comportamiento de los desplazamientos.

Hablando del peso total del prototipo, se recopiló información de las tablas 4.20, 4.31, 4.34, 4.36 y 4.37. Mostrando los valores en la siguiente Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Masa total de los elementos principales.

Sección	Elemento	Piezas	Masa	Unidades
Marco	Esqueleto 6	1	20081.71 g	
Carcasa	Lateral 1	2	1801.12 g	
Carcasa	Lateral 2	2	634.64 g	
Carcasa	Lateral 3	2	558.64 g	
Carcasa	Base	1	411.94 g	
Carcasa	Trasera 1	1	439.4 g	
Carcasa	Trasera 2	1	590.44 g	
Carcasa	Trasera 3	1	370.74 g	
Asiento	Asiento	1	5393.33 g	
Asiento	Soporte de asiento	1	1462.77 g	
<b>Total</b>			<b>31,744.73 g</b>	
				<b>31.74 kg</b>

Nos muestra que los elementos principales en total presentan un valor de 31.74 kg de masa total. Esto sin contar los elementos secundarios, los cuales se presentan en la siguiente Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Masa total de los elementos secundarios.

<b>Sección</b>	<b>Elemento</b>	<b>Piezas</b>	<b>Masa</b>	<b>Unidades</b>
Soporte	Cadena 50 cm	2	174.88	g
Soporte	Cadena 62 cm	2	213.76	g
soporte	Destorcedor	2	157.76	g
Soporte	Pernos de sujeción	4	950.88	g
Sujeción	Tornillo de cabeza hueca M6x55mm	4	59.792	g
Sujeción	Tornillo de cabeza hueca M6x30mm	4	38.024	g
<b>Total</b>			1,595.096	g
			1.60	kg

Al considerar la masa total de las tablas 5.1 y 5.2 tenemos el total de 33.34 kg.

## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.**

### **6.1. Conclusiones**

Tras a ver analizado los resultados en el capítulo 5 (los análisis estáticos en los elementos que componen el columpio) se concluyen que cada uno es resistente y satisfactorio basado en el criterio de ED.

Con esto queda concluido que es un diseño apto para su fabricación. Cumple con los requerimientos del cliente descritos en el capítulo 3, donde además cumple con las funciones descritas por éste. Al ser un diseño ergonómico y de un peso relativamente ligero. Ergonómico, al basar el diseño usando los conceptos de diseño de externos, donde se considera a la persona de mayores dimensiones con respecto al de la de menores dimensiones. Y usando las medidas antropométricas para las dimensiones del asiento y ángulos y, por último, al ser decir que es ligero podemos comparar su peso con el de, por ejemplo, un garrafón de 20 litros.

Se busco que fuera seguro para los usuarios y para terceros, por lo cual se le diseñaron los elementos que componen las carcasas que, su principal función es evitar accidentes por contacto cuando este en uso.

La sujeción del columpio se modelo con cadena comercial, por su costo bajo en caso de que deba de ser modificada la longitud o que deba de ser sustituido por desgaste o corrosión.

### **6.2. Recomendaciones**

Los análisis realizados en el presente trabajo indican que el prototipo puede fabricarse y resistirá las cargas simuladas. Por lo que, se recomienda realizar un estudio de fatiga para priorizar cuantos ciclos resistirá el prototipo tanto armado como elemento por elemento (esqueleto, soporte de asiento y asiento). Además, seguir optimizando el diseño, en las variables de *peso*, *resistencia a la tensión* y *material*.



### **6.3. Trabajos futuros**

Para continuar este proyecto se recomienda seguir las siguientes propuestas:

- Fabricar el prototipo propuesto en este trabajo.
- Diseñar un mecanismo que pueda generar vibraciones que se transmitan al asiento, para generar una nueva opción de terapias al prototipo.
- Diseñar un mecanismo que permita el intercambio del asiento, en el caso de tener un asiento tipo portabebés.
- Diseñar un mecanismo que permita al prototipo girar en su propio eje.

## BIBLIOGRAFIA

- American Academy of Pediatrics [AAP]. (5 de 03 de 2023). *Healty children*. Obtenido de Sillas de seguridad para auto: información para familias:  
<https://www.healthychildren.org/Spanish/safety-prevention/on-the-go/Paginas/car-safety-seats-information-for-families.aspx>
- Askeland, D. R. (2012). *Ciencia e Ingeniería de materiales 6ta edición*. México: Cengage Learning Editores.
- Beer, F. P., Johnston, Jr, E. R., & DeWolf, J. T. (2006). *Mecánica de materiales 4a edición*. México: McGraw-Hill.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2018). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (10 ed.)*. México: McGraw-Hill Educación.
- Callister Jr, W. D. (1995). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. México: Reverté, S.A.
- Carbajo Vélez, M. (2014). La sala de estimulación multisensorial. *Revista pedagógica*, 155-172.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (Agosto de 2020). La convención sobre los derechos de las personas con discapacidad y su protocolo facultativo. Ciudad de México, México, México.
- Cross, N. (2015). *MÉTODOS DE DISEÑO. Estrategias para el Diseño de productos*. México: Limusa.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2016). PROY-NOM-205-SCFI-2016. *Productos infantiles- Funcionamiento de sillas altas para la seguridad del infante- Especificaciones y métodos de prueba*. México.
- Dudynas, R., & Nisbett, J. (2012). *DISEÑO EN INGENIERIA MECÁNICA DE SHIGLEY*. MÉXICO: McGraw-Hill.
- Gil, I. (14 de 11 de 2018). *Fundación ADECCO*. Obtenido de <https://fundacionadecco.org/blog/que-es-la-discapacidad-evolucion-historica/>
- Groover, M. P. (2014). *INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE MANUFACTURA*. México: McGraww-Hill.
- Hamrock, B. (2000). *ELEMENTOS DE MAQUINAS*. MÉXICO: McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (S/F). *Discapacidad en México*. México, México, México.
- Jones, J. (1978). *METODOS DE DISEÑO*. ESPAÑA: Gustavo Gili, S.A.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología. 5a ed.* México: Pearson Educación.
- Lee, K. (1999). *Principles of CAD/CAM/CAE systems*. Seoul: Addison-Wesley.
- Logan, D. (2017). *A First Course in the Finite Element Method*. Boston: Cengage Learning.
- Marks. (2011). *Manual del Ingeniero Mecánico tomo 1*. México: McGraw-Hill.
- Mondelo, P. R., Gregori, E., & Barrau, P. (1999). *Ergonomia 1. Fundamentos*. México: Alfaomega.

- Mott, R. (2006). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*. MÉXICO: PEARSON EDUCACIÓN.
- Myszka, D. (2012). *MÁQUINAS Y MECANISMOS*. MÉXICO: PEARSON EDUCATION.
- Norton, R. (2013). *DISEÑO DE MAQUINARIA. Síntesis y análisis de mecanismos 5a edición*. MÉXICO: McGraw-Hill.
- Organización Mundial de la Salud. (24 de 11 de 2021). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 25 de 08 de 2022, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>
- Pérez Saez, M. (2016). Estimulación multisensorial en personas con discapacidad múltiple. Palmas, España.
- Secretaria de Salud [SSA]. (14 de 09 de 2012). NOM-015-SSA3-2012, PARA LA ATENCIÓN INTEGRAL A PERSONAS CON DISCAPACIDAD. MÉXICO, MÉXICO, MÉXICO.
- Shackelford, J. P. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. España: Pearson Educación.
- The Aluminum Association. (2009). *Aluminium standards and data*. USA: Aluminum Association.
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process* (4 ed.). New York: McGraw-Hill.
- Velazquez, F., & Santillan, S. (2006). Diseño óptimo evolutivo. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, VII (3), 139-150.

## ANEXOS

### ANEXO A

A continuación, se muestra la encuesta realizada para la obtención de información relevante para este proyecto. La cual consta de 8 preguntas.

Nombre del encuestador: SERGIO ANDRÉS GARCÍA VELASCO

#### Estimados docentes:

Esta encuesta se enfoca en saber las características que se necesitarán, para realizar el diseño de un columpio con sus accesorios que apoyara las terapias de los usuarios con capacidades diferentes, en el Centro de Atención Múltiple Tzehuali. Esta encuesta será anónima, por lo cual es libre de contestar con sinceridad, y esta será de uso para fines académicos.

**Instrucciones:** Contestar las siguientes preguntas.

1. Al tener diseñado el prototipo del columpio, ¿con que tipos de discapacidades se le daría uso?
  - a. Auditiva
  - b. Intelectual
  - c. Neuromotora
  - d. Visual
  - e. Otra: \_\_\_\_\_
2. Que características esperan que contenga el diseño

Características	Especificar
Ligero	Que se encuentre en un peso aprox. de 8 kg. (ejemplo)

--	--

3. Si se usa para terapias de estimulación multisensorial, ¿Cuánto tiempo durarían las sesiones?

- a. 15-30 min.
- b. 30-60 min.
- c. 90 min.
- d. 120 min.
- e. Otra: \_\_\_\_\_

4. Este prototipo se usaría en especial a pacientes

- a. Infantiles.
- b. Adolescentes.
- c. Adultos.
- d. Adulto 3ra edad.

5. ¿Rango de edades de las personas que darán uso al prototipo?

---

---

6. ¿Rango de peso de las personas que darán uso del prototipo?

---

---

7. ¿Rango de alturas de las personas que darán uso del prototipo?

---

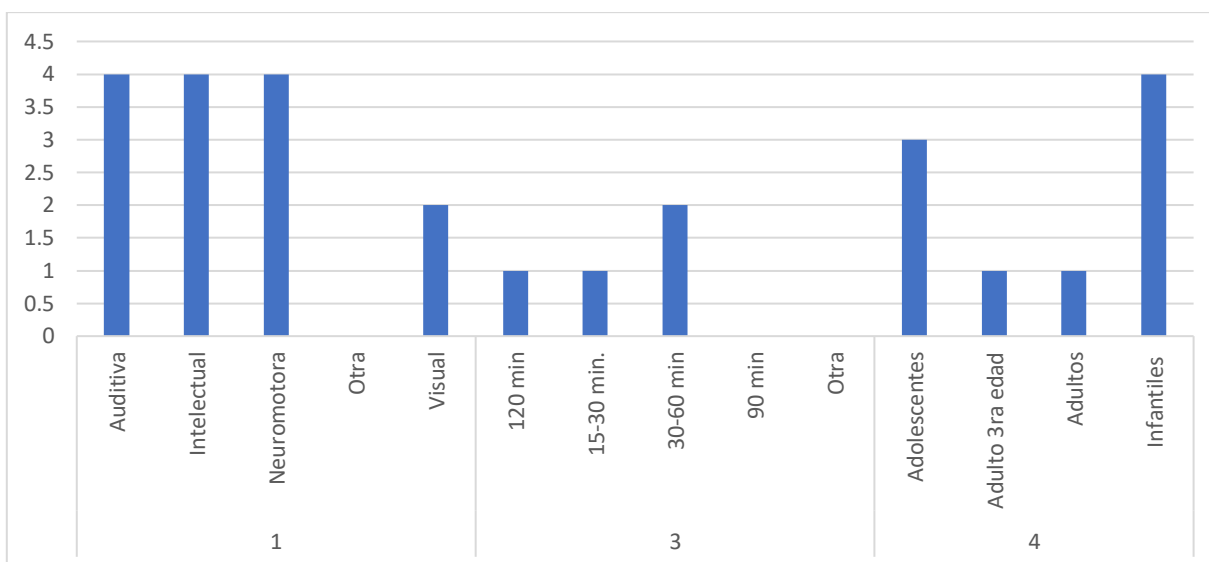
---

8. En base a su experiencia puede describir si este prototipo será de gran ayuda para los otros tipos de terapias o solo a la estimulación multisensorial.

---

---

A continuación, se presentarán los resultados de la encuesta.



**Grafica A.1.** Resultados de las preguntas 1, 3 y 4.

**Tabla A.1.** Respuestas de pregunta 2.

<b>Características</b>	<b>Especificar</b>
Diseño ergonómico	Forma tipo huevo el columpio
Asiento con cinturón de 4 puntos	
Posición	Cambie de posición y sea desmontable
Fácil de guardar	
Cinturón de seguridad	con diferentes niveles
Con iluminación	Con espejos y luces
Vibración	
Tamaño	Que se adecue a las características de todos
Material	Ligero, firme, con texturas. Forrado con hule espuma. Desmontable
Económico	

**Tabla A.2.** Respuestas de preguntas 5, 6, 7 y 8.

---

5 Se utilizará en pacientes de 0 meses a 18 años

6 Se utilizará en promedio desde los 7 kg hasta 80 kg más el peso de los padres cuando se requiera

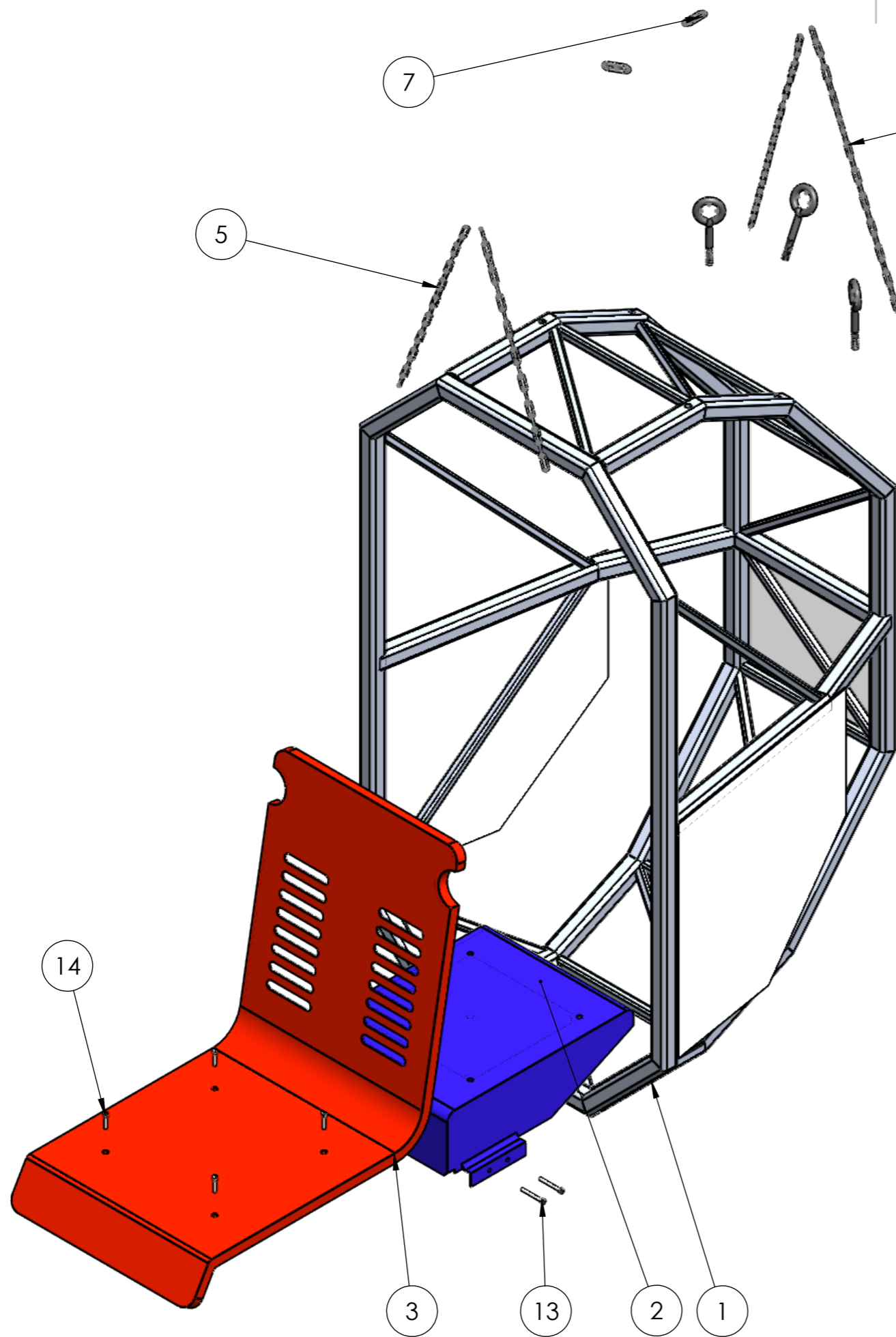
7 El rango está ubicado entre 50 a 150 cm.

8 Puede ser para todo tipo de terapia lúdica. Apoyará la estimulación vestibular. El estímulo, el equilibrio, seguridad y confianza. Además, podrá reforzar algunas áreas del desarrollo psicomotor. Mejora el equilibrio, la atención y estimula la curiosidad. Uso recreativo

---

## **ANEXO B**

En esta sección se encontrarán los planos del prototipo, los cuales cuentan con el plano de ensamble, planos de fabricación de cada elemento (marco, soporte, asiento y carcazas) y los planos de los elementos secundarios o misceláneos para la instalación. Se incluyen de manera informativa, para poder visualizar el trabajo aquí realizado.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Esqueleto 6		1
2	Soporte asiento		1
3	Asiento		1
4	Perno de sujeción		4
5	Cadena	Cadena de 50 cm	2
6	Cadena	Cadena de 62 cm	2
7	Eslabón de cadena	Eslabón con seguro	2
8	Base		1
9	Trasera	Trasera 1	1
10	Trasera	Trasera 2	1
11	Trasera	Trasera 3	1
12	Lateral 1		2
13	B18.3.1M - 6 x 1.0 x 55 Hex SHCS -- 24CHX		4
14	B18.3.1M - 6 x 1.0 x 30 Hex SHCS -- 30NHX		4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO: **Plano de ensamble**

N.º DE DIBUJO: **A-00**

ESCALA: 1:50

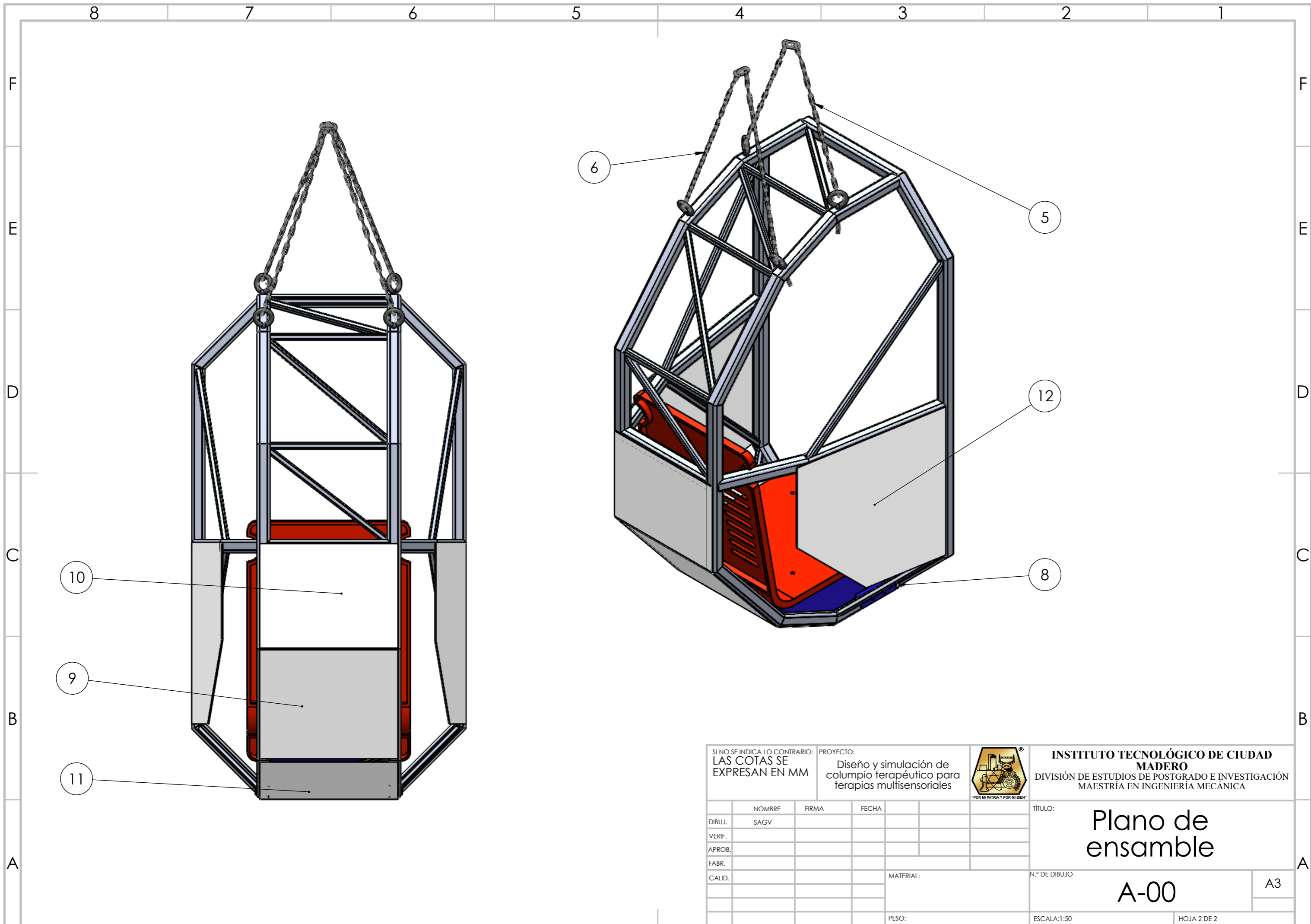
HOJA 1 DE 2

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ. SAGV		
VERIF.		
APROB.		
FABR.		
CALID.		

MATERIAL:

PESO:





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE  
EXPRESAN EN MM

PROYECTO:  
Diseño y simulación de  
columnio terapéutico para  
terapias multisensoriales



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD  
MADERO**  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	SAGV			
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				
			MATERIAL:	
			PESO:	

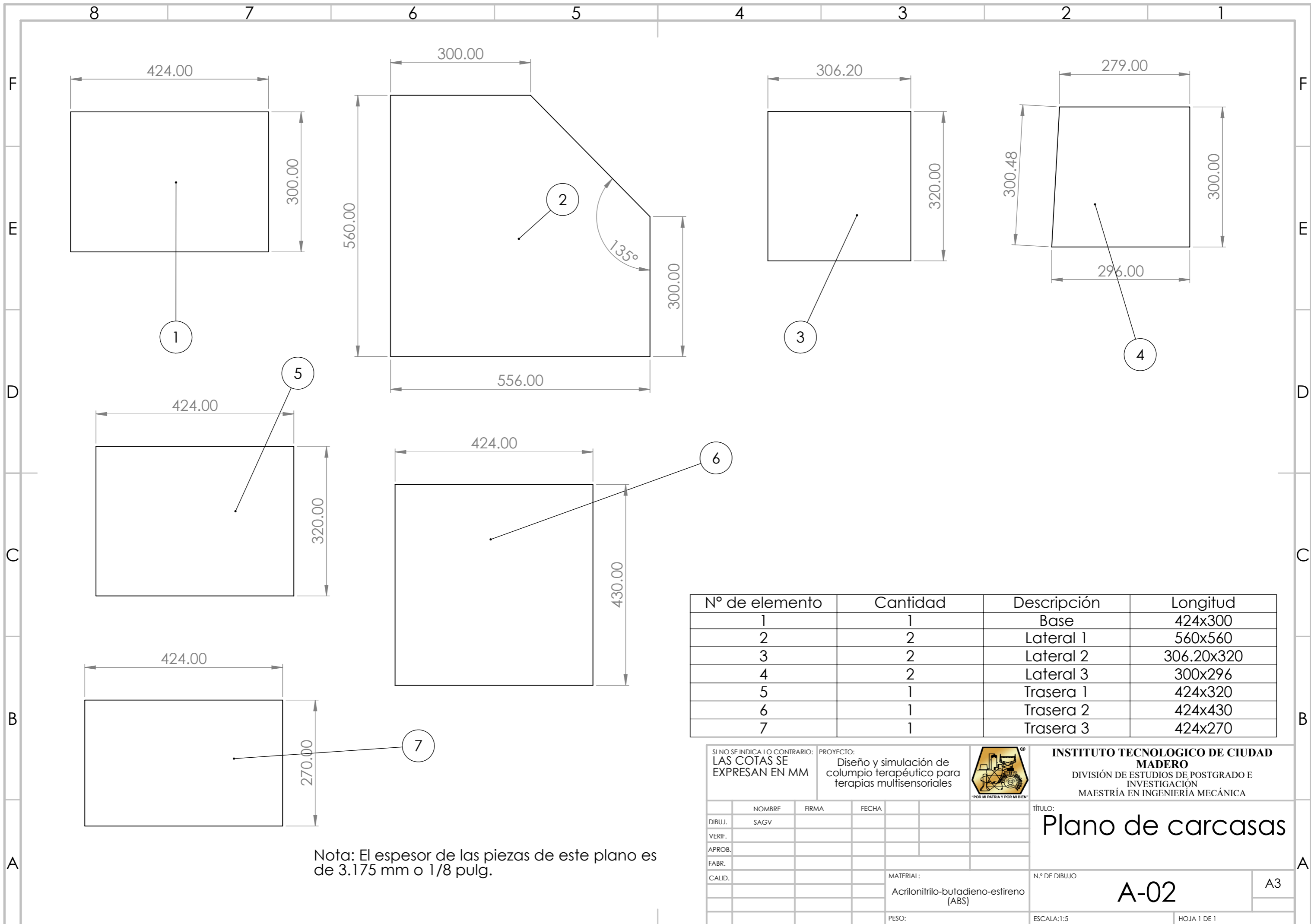
TÍTULO:  
**Plano de  
ensamble**

N.º DE DIBUJO  
**A-00**

ESCALA: 1:50

HOJA 2 DE 2

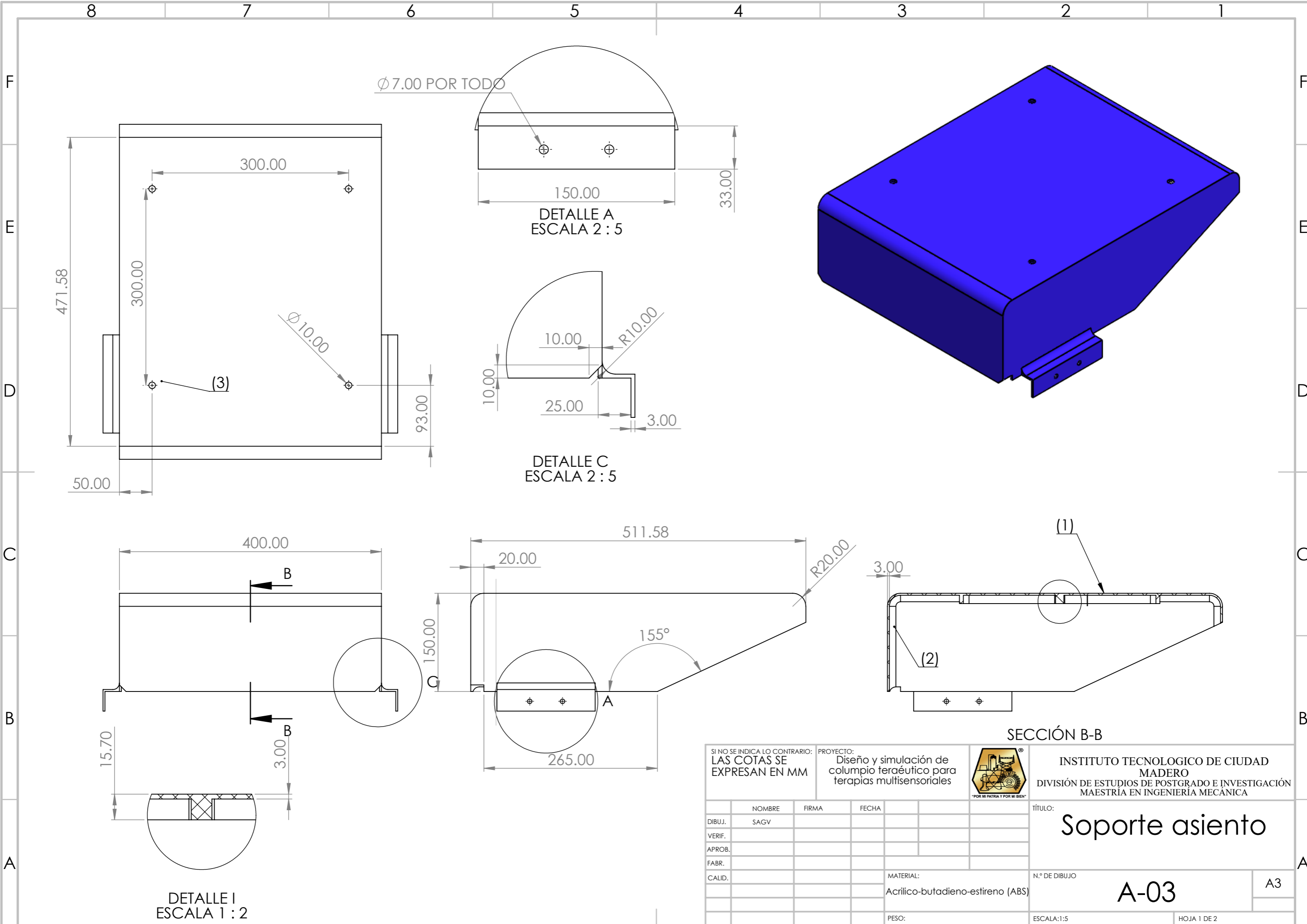
A3



N° de elemento	Cantidad	Descripción	Longitud
1	1	Base	424x300
2	2	Lateral 1	560x560
3	2	Lateral 2	306.20x320
4	2	Lateral 3	300x296
5	1	Trasera 1	424x320
6	1	Trasera 2	424x430
7	1	Trasera 3	424x270

Nota: El espesor de las piezas de este plano es de 3.175 mm o 1/8 pulg.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales		<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	SAGV	FIRMA		FECHA	TÍTULO: <b>Plano de carcasas</b>
VERIF.				N.º DE DIBUJO <b>A-02</b>	
APROB.				ESCALA: 1:5	
FABR.				HOJA 1 DE 1	
CALID.				MATERIAL: Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	
				PESO:	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

PROYECTO: Diseño y simulación de columpio teraéutico para terapias multisensoriales

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	SAGV		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL: Acrílico-butadieno-estireno (ABS)

PESO:



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO  
 DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN  
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA

SECCIÓN B-B

TÍTULO: Soporte asiento

N.º DE DIBUJO: A-03

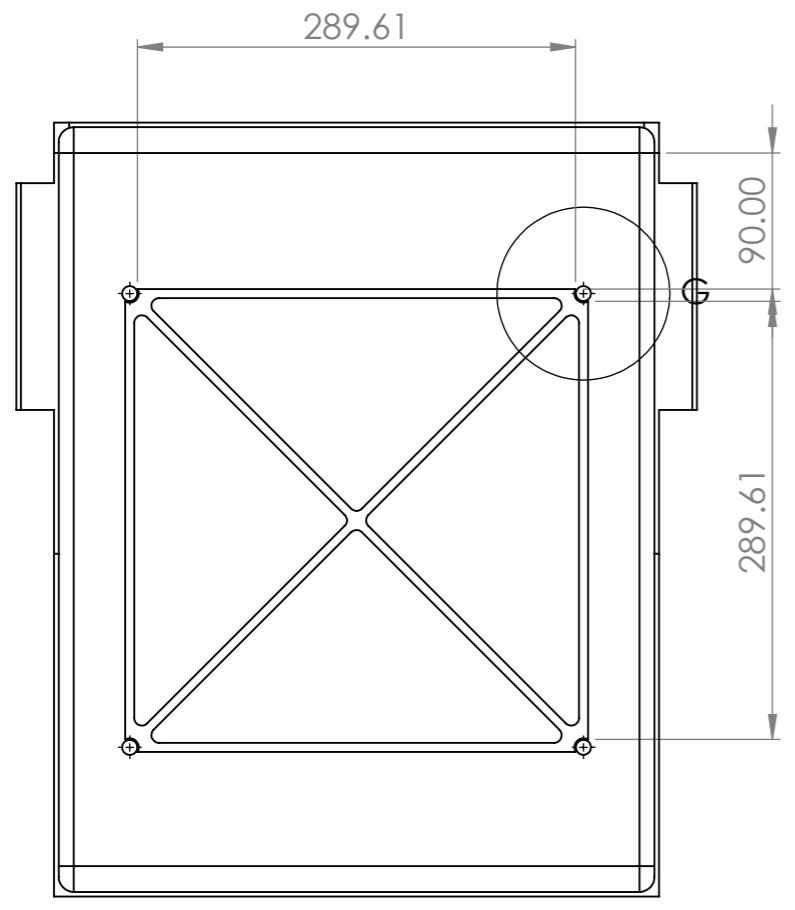
A3

ESCALA: 1:5

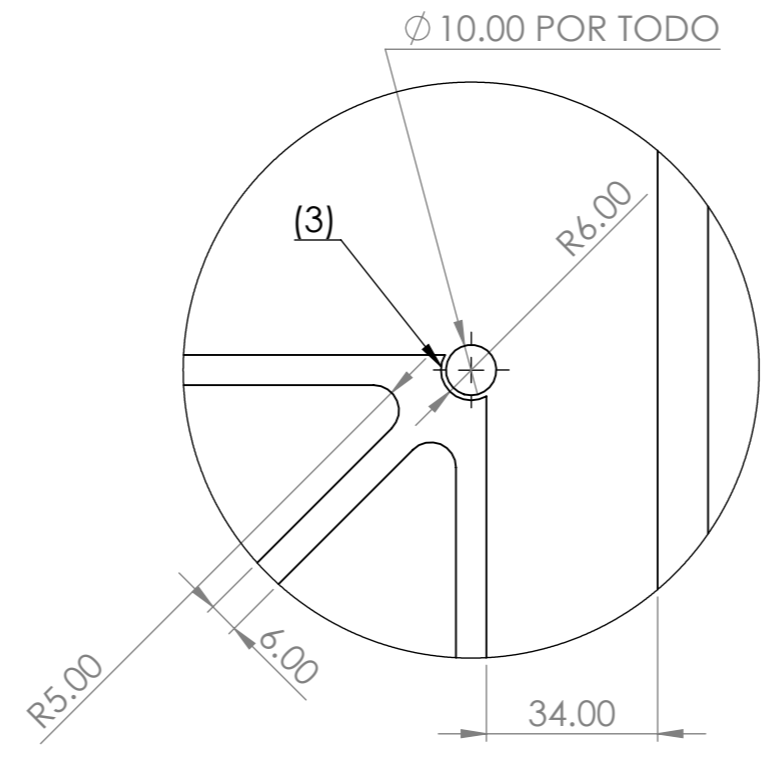
HOJA 1 DE 2

8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A



Vista inferior



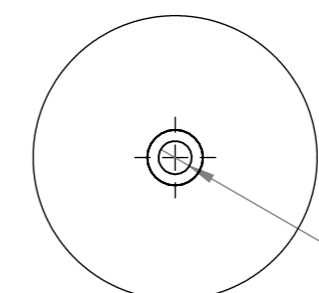
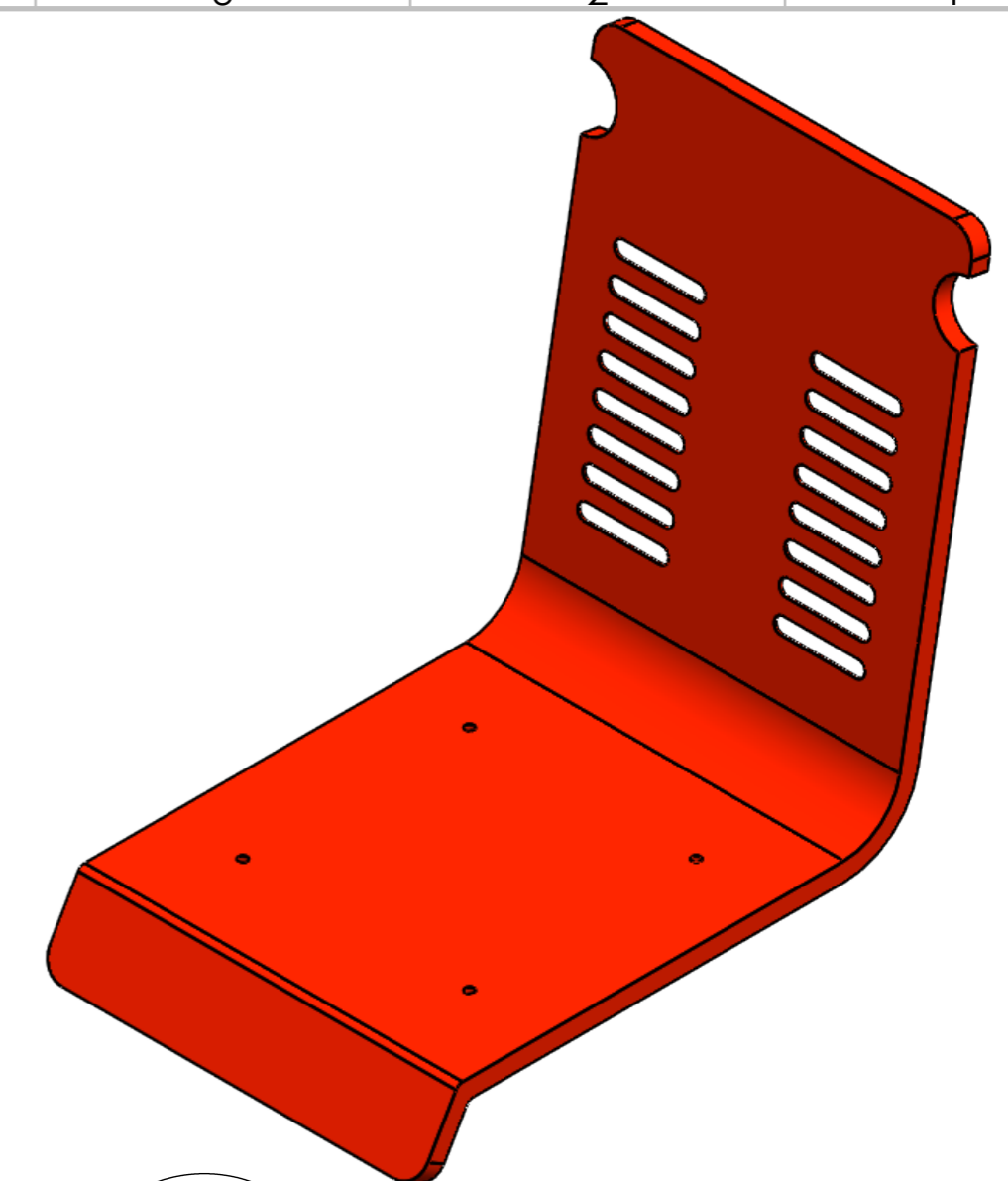
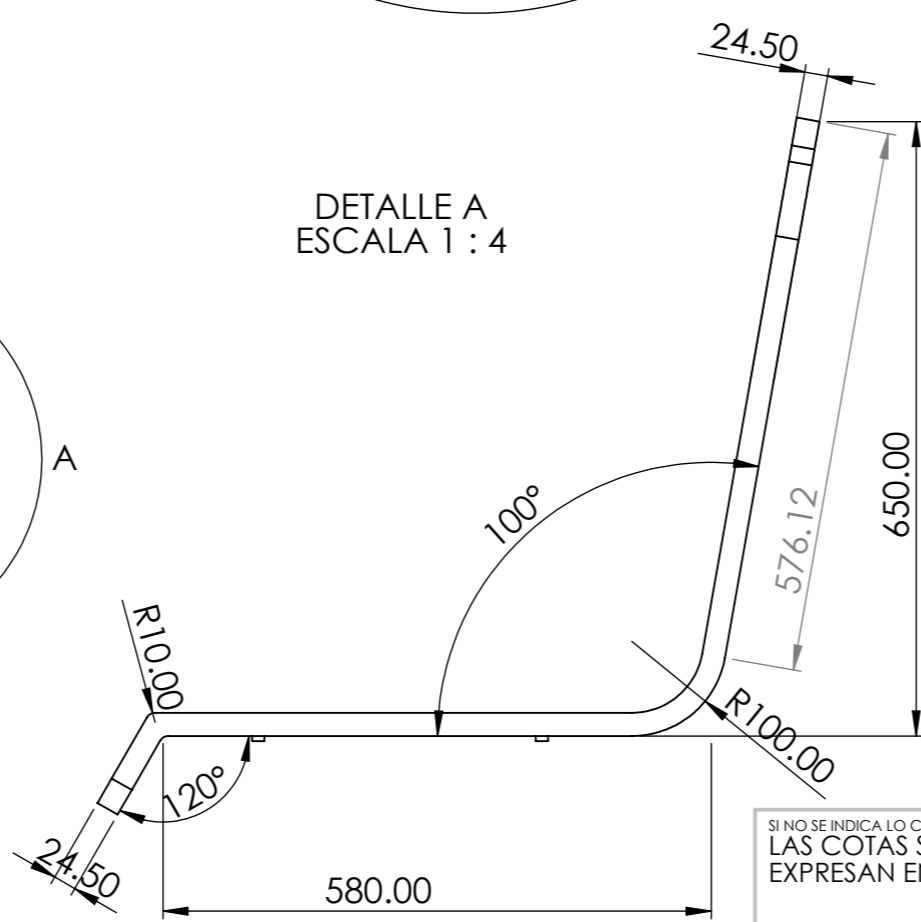
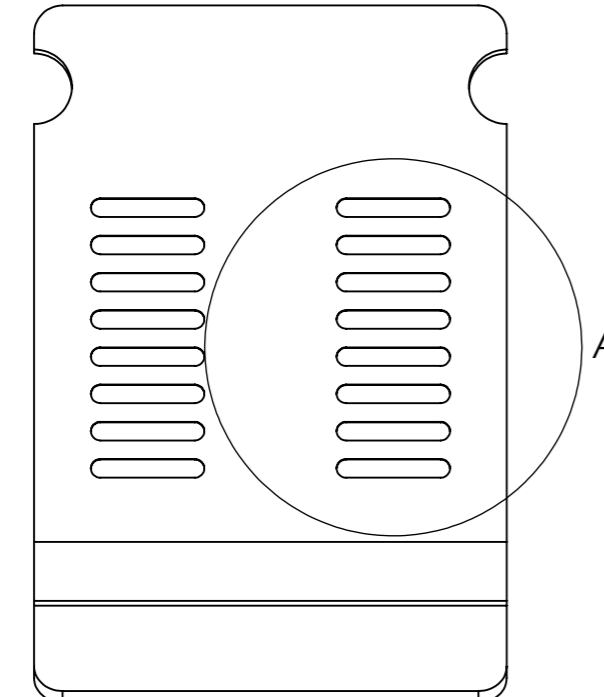
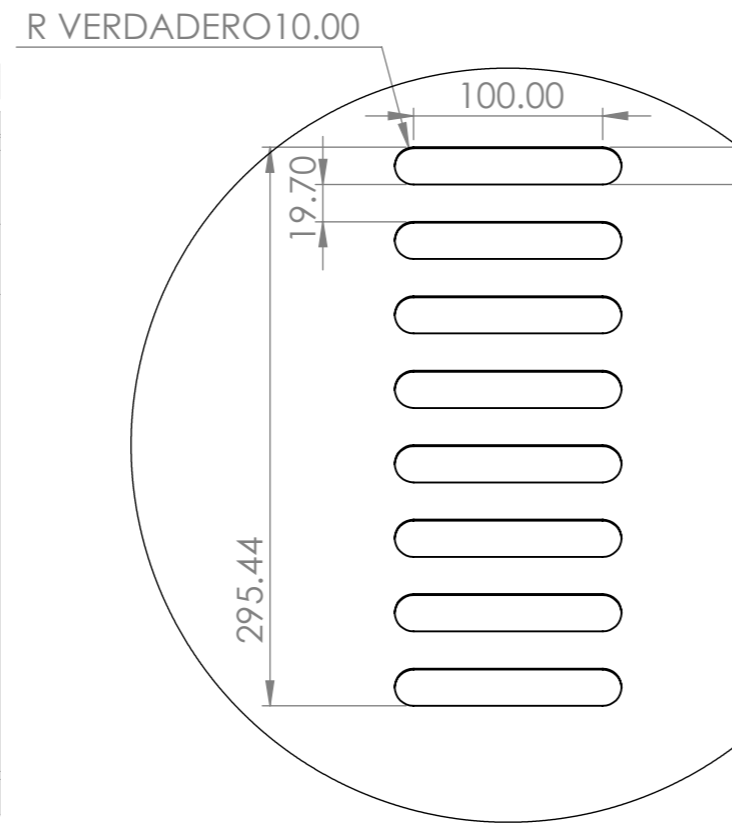
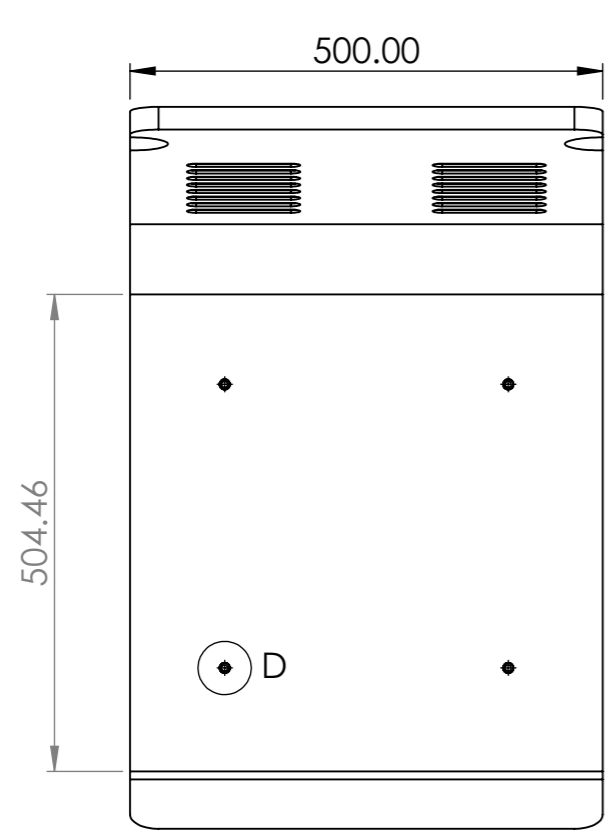
DETALLE G  
ESCALA 2 : 3

NOTAS:

- 1) El soporte es hueco, tiene un espesor de 3 mm.
- 2) Las aristas internas tienen un redondeo de 10 mm
- 3) Si no se indica un diametro de barreno, considerar que es el mismo para todos los ubicados en la misma cara/superficie.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales			INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: <b>Soporte asiento</b>	
DIBUJ.	SAGV					
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL: Acrlonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	N.º DE DIBUJO <b>A-04</b>	A3
				PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 2 DE 2

8 7 6 5 4 3 2 1



DETALLE D  
ESCALA 2 : 3

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA

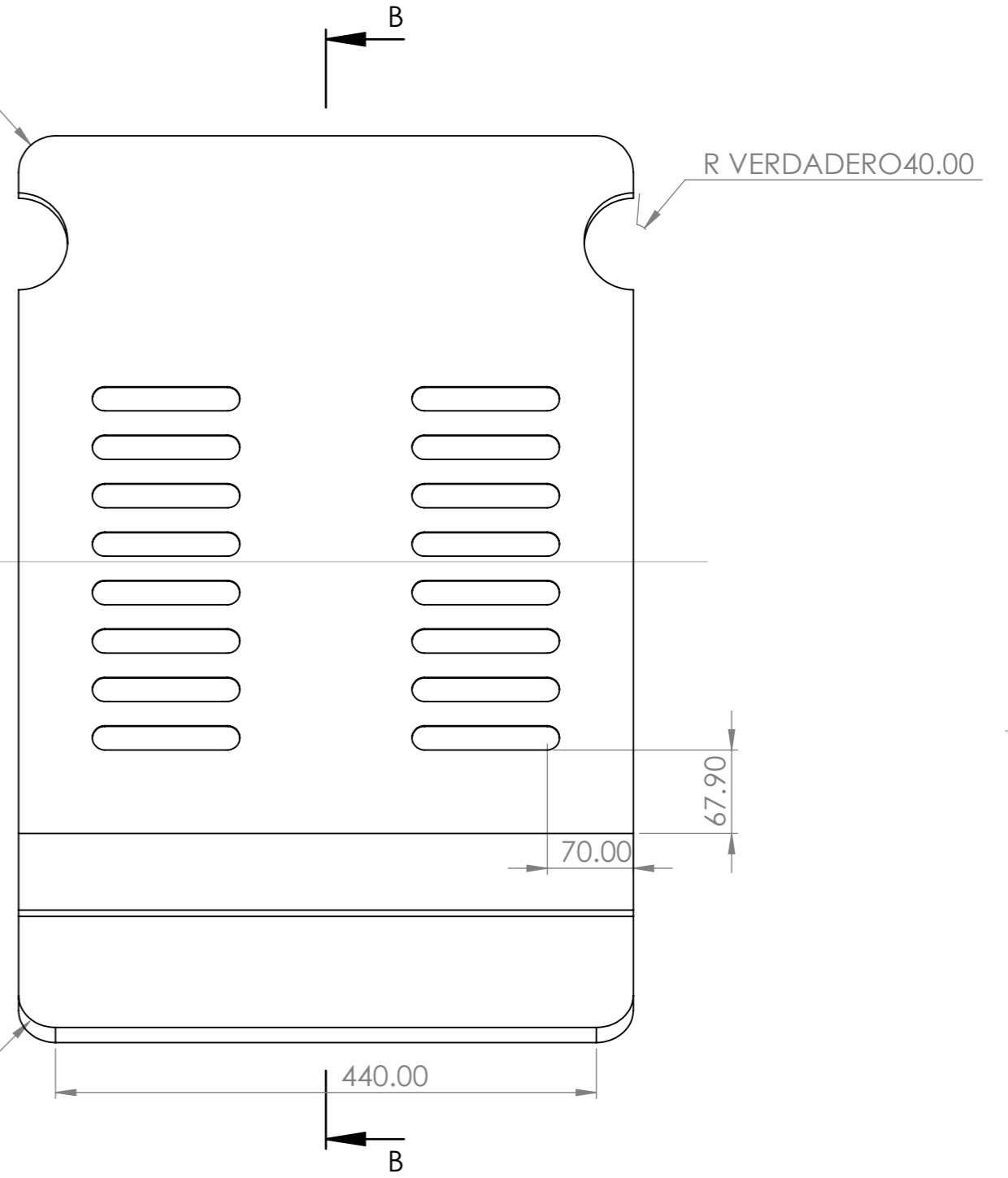
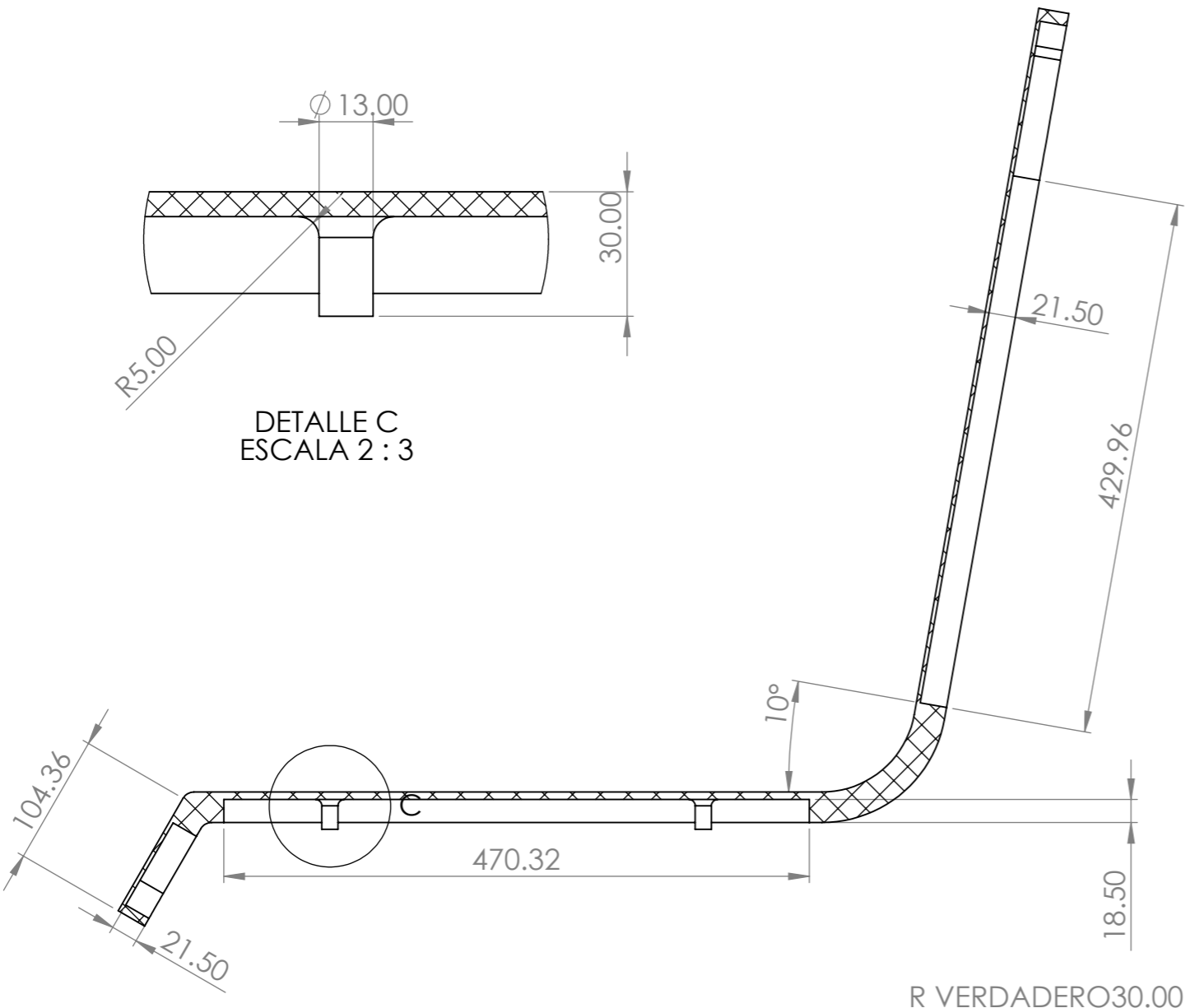
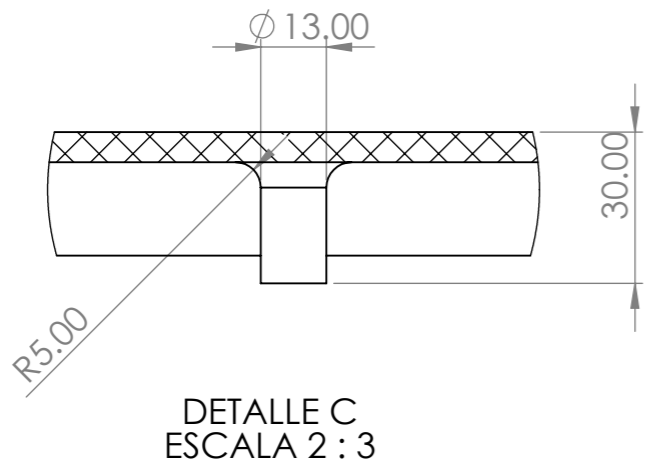
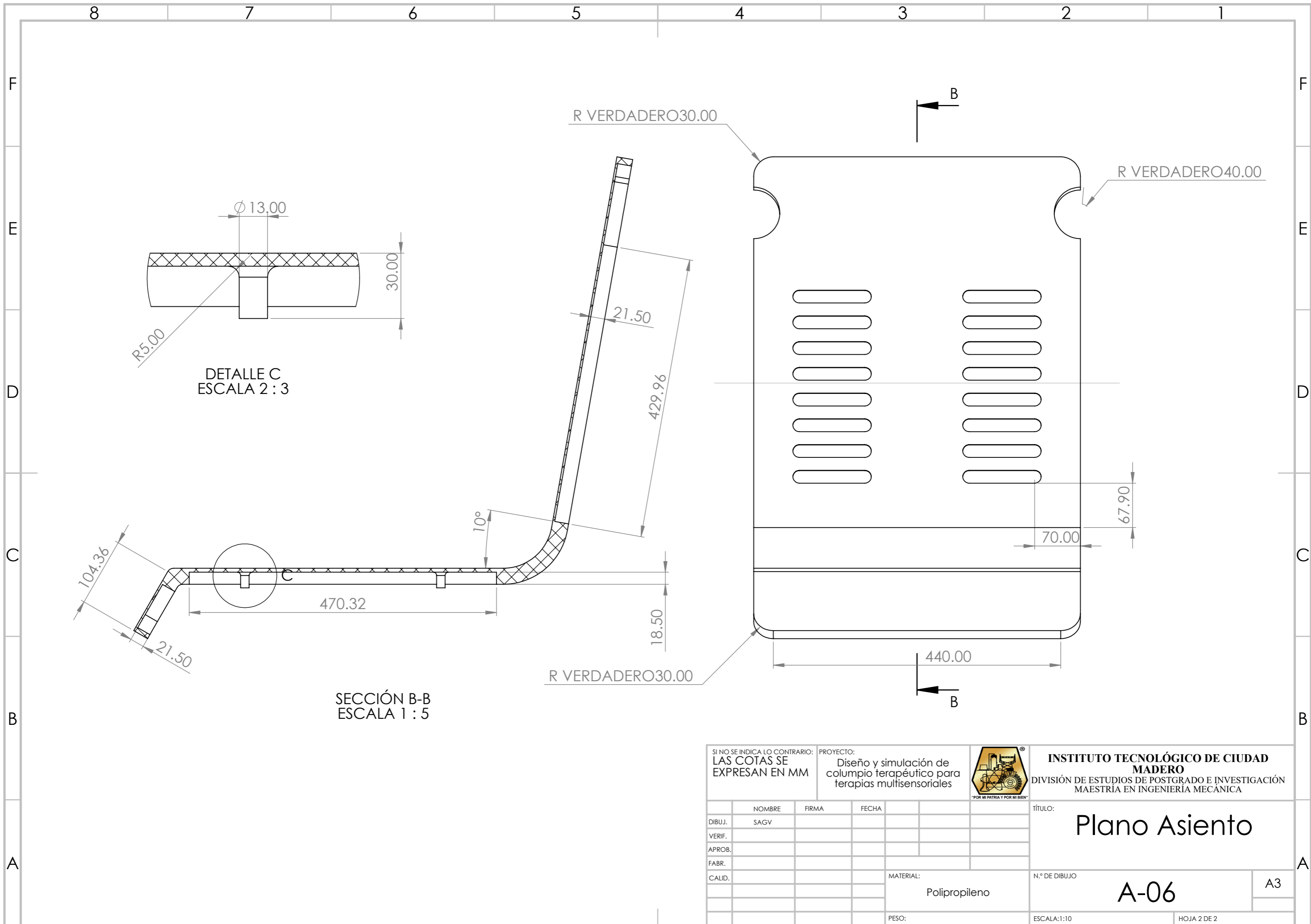
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ. SAGV			Plano Asiento
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL: Polipropileno

N.º DE DIBUJO: A-05

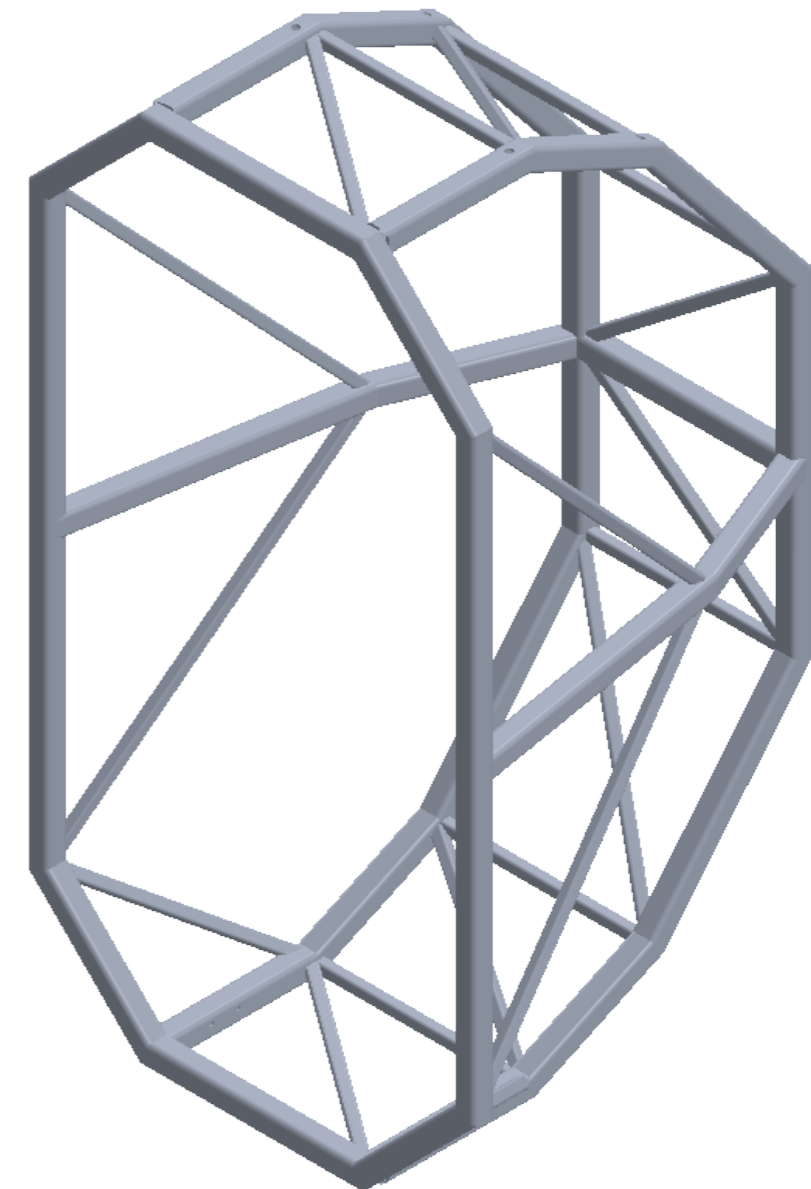
PESO: ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 2

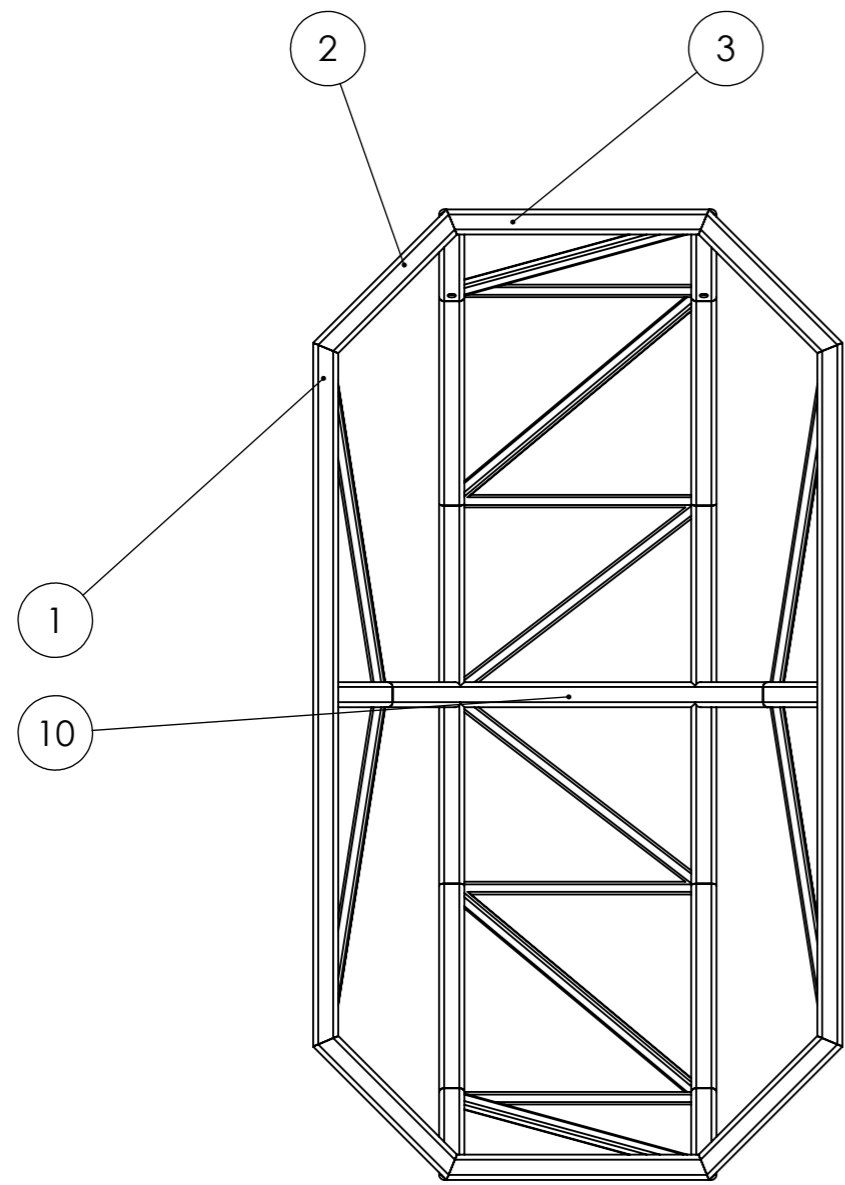


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales		 <small>"POR MI PATRIA Y POR MI BIEN"</small>	<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	SAGV	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		<h1>Plano Asiento</h1>	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	<h2>A-06</h2>		
APROB.				MATERIAL:		Polipropileno	
FABR.				PESO:			
CALID.				ESCALA: 1:10		HOJA 2 DE 2	

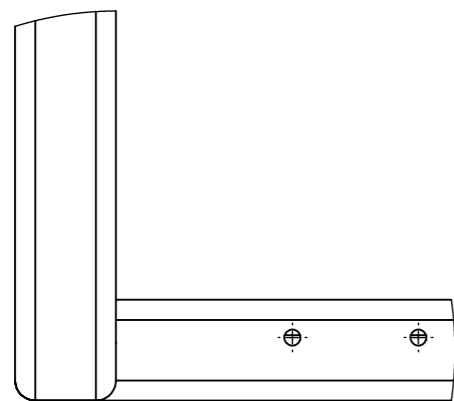
N° de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	2	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	1116.57
2	4	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	299.41
3	2	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	416.57
4	1	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	284.43
5	2	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	268.02
6	4	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	442.86
7	2	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	628.29
8	2	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	526.48
9	2	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	301.51
10	1	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	376
11	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	455.02
12	4	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	360
13	2	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	444.4
14	2	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	556.14
15	2	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	469.16
16	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	370.81
17	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	725.61
18	1	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	284.43
19	2	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	268.02
20	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	370.45
21	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	725.61
22	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	726.95
23	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	726.95
24	2	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	360.02
25	1	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	284.43
26	1	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 4.00	284.43
27	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	457.56



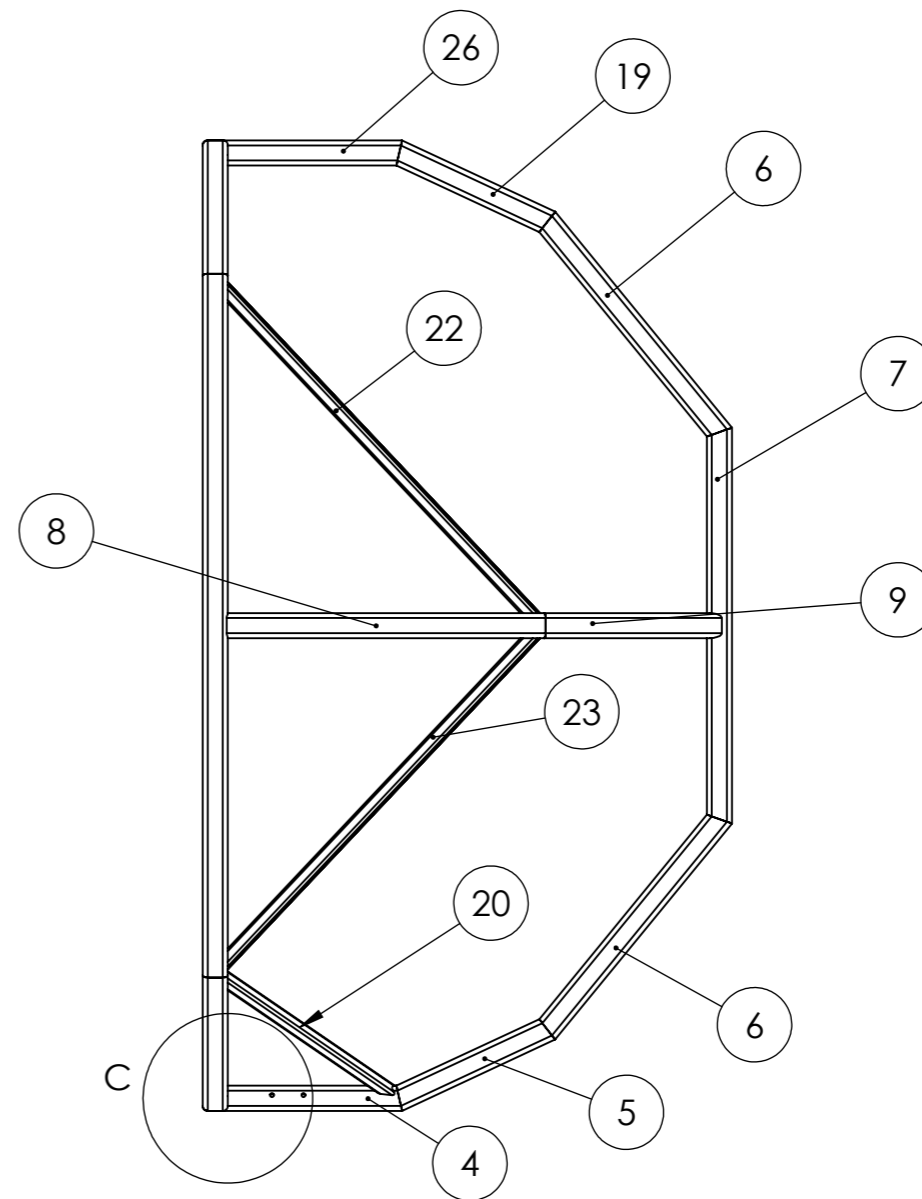
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales			<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		<h1>Plano Marco</h1>	
VERIF.	SAGV						
APROB.							
FABR.							
CALID.							
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO		
				AA3003-H12	A-07	A3	
				PESO:	ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 5	



Vista frontal



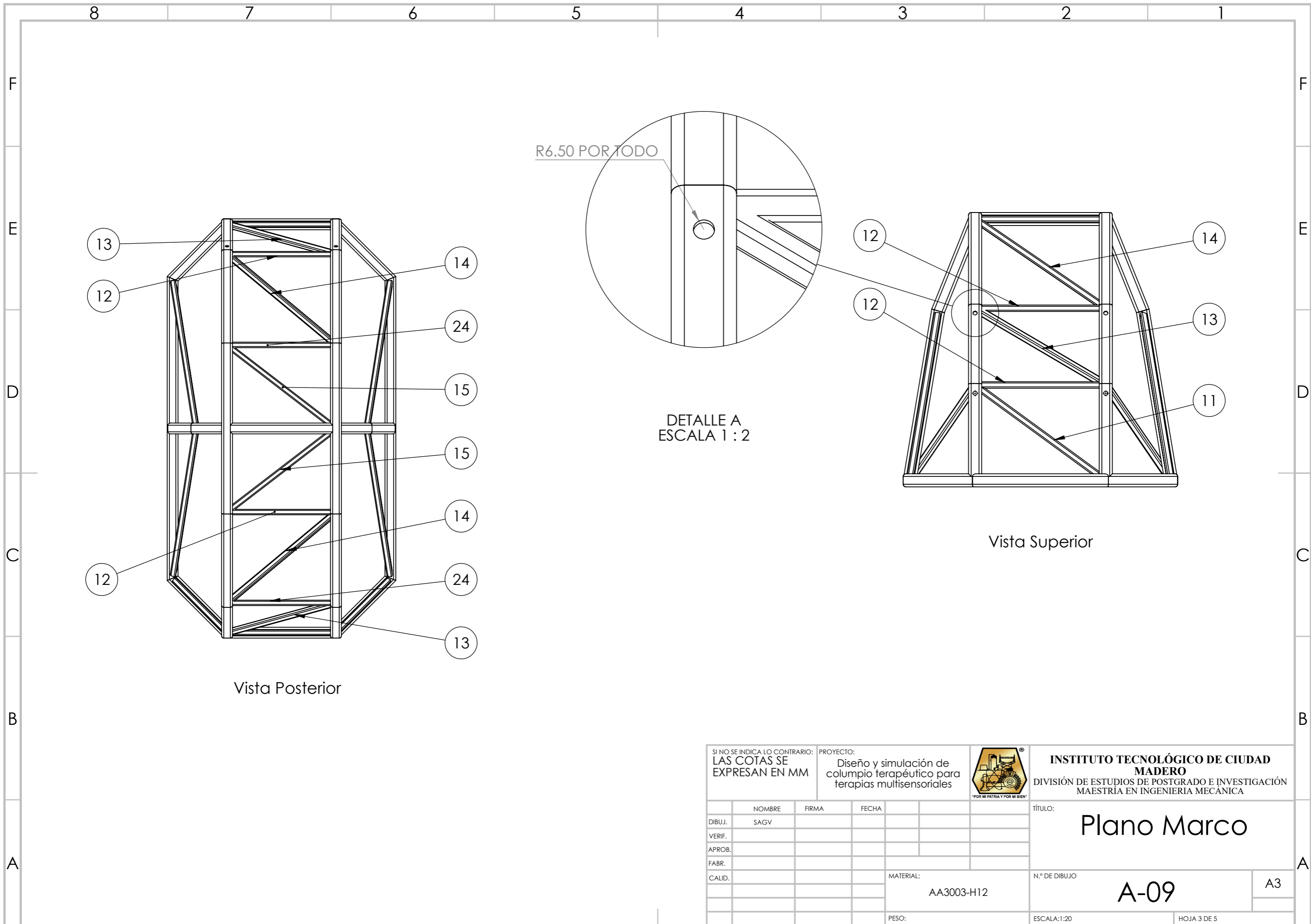
DETALLE C  
ESCALA 1 : 3



Vista lateral derecha

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales				<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:			
VERIF.	SAGV			Plano Marco			
APROB.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
FABR.				AA3003-H12		A-08	
CALID.				PESO:		ESCALA:1:20	
						HOJA 2 DE 5	





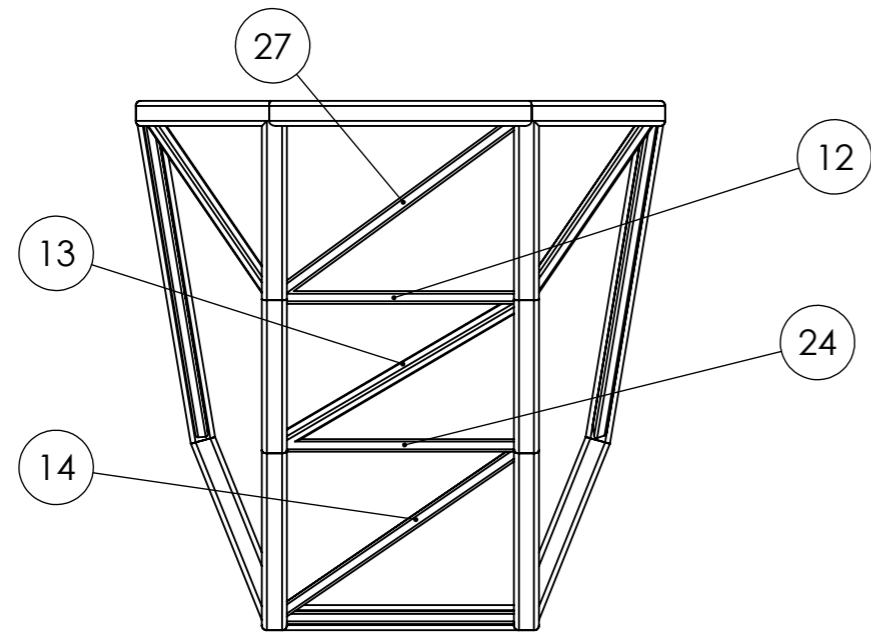
R6.50 POR TODO

DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

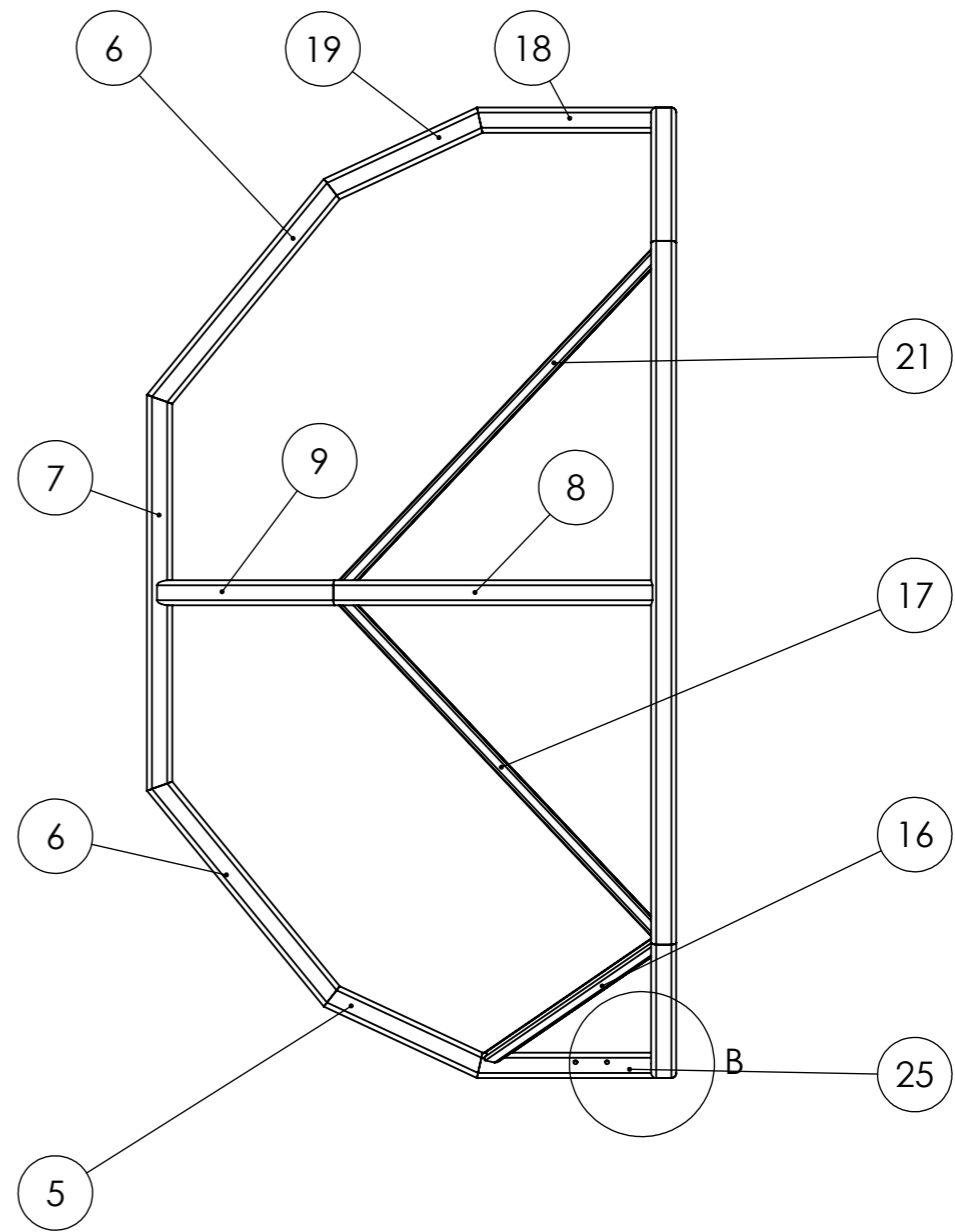
Vista Superior

Vista Posterior

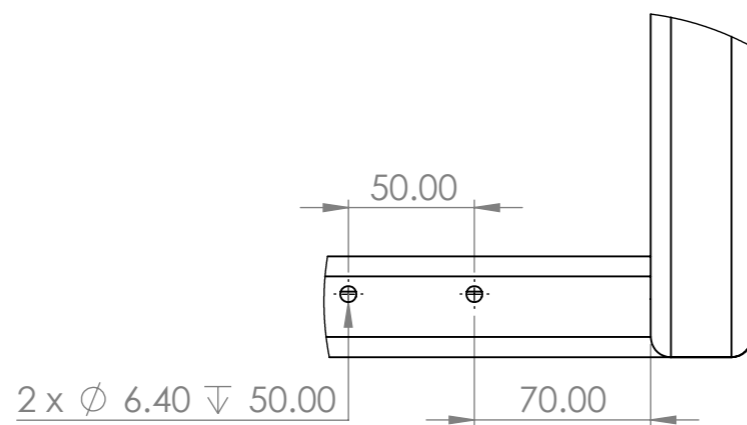
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales			<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	SAGV	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Plano Marco</b>			
VERIF.				N.º DE DIBUJO <b>A-09</b>	A3		
APROB.				ESCALA: 1:20	HOJA 3 DE 5		
FABR.				MATERIAL: AA3003-H12			
CALID.				PESO:			



Vista inferior

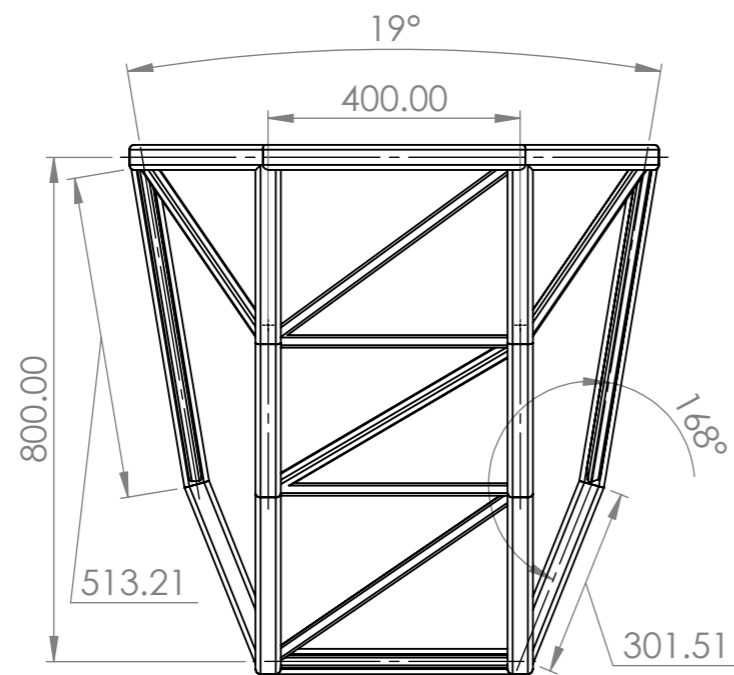
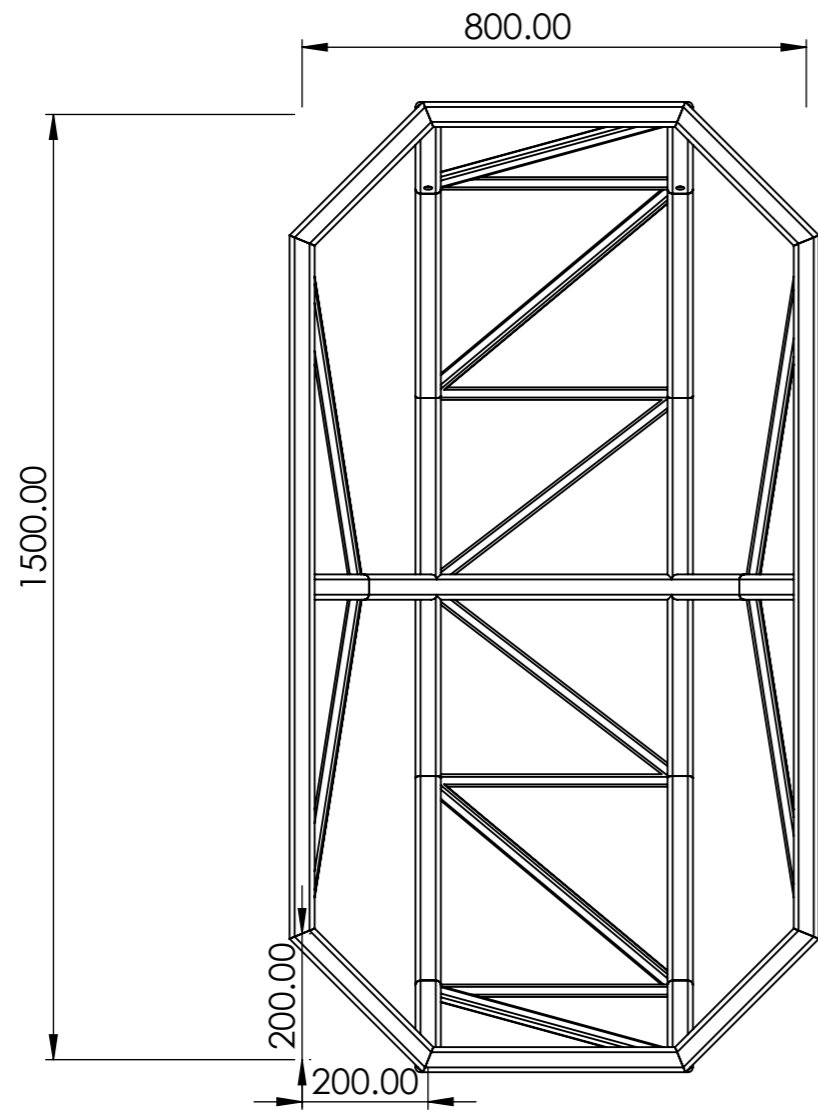


Vista lateral izquierda

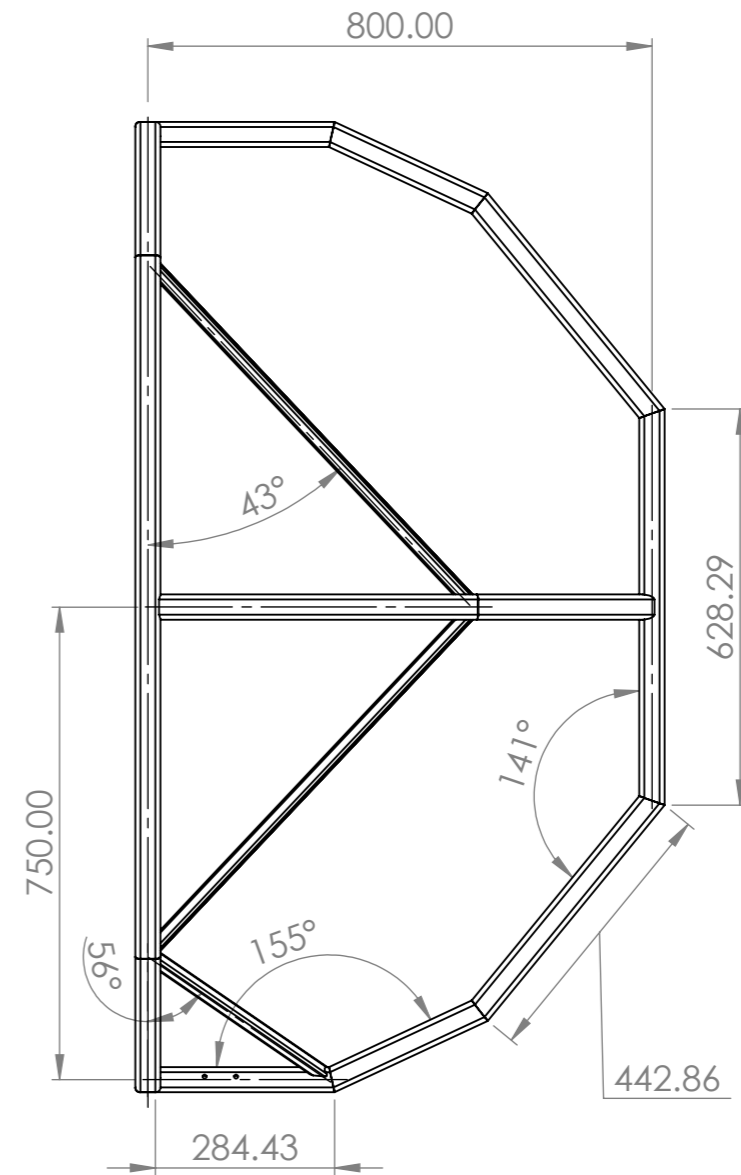


DETALLE B  
ESCALA 1 : 3

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			PROYECTO: Diseño y simulación de colupio terapéutico para terapias multisensoriales			<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: <b>Plano Marco</b>	
VERIF.	SAGV						
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO		
				AA3003-H12	A-10		
				PESO:	ESCALA:1:20		HOJA 4 DE 5
							A3

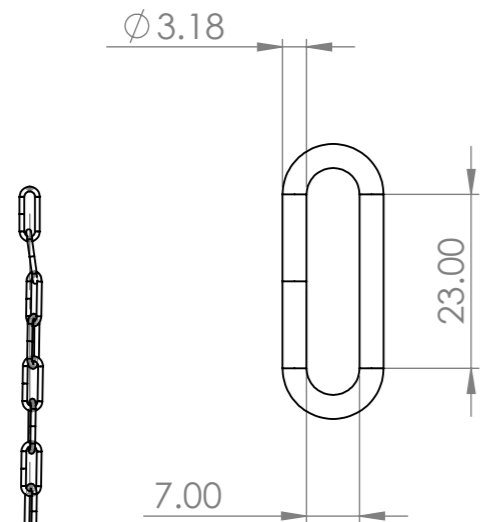


VISTA  
ESCALA 1 : 12



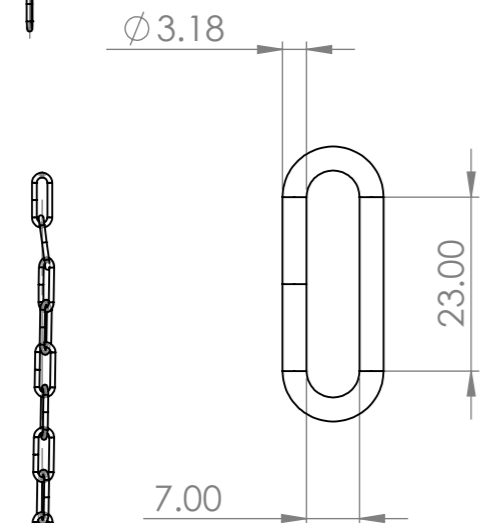
- Nota:  
 1) Todas las líneas constructivas son al centro del perfil.  
 2) Las cotas se toman desde las líneas constructivas.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales			<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	SAGV	FIRMA	FECHA		TÍTULO: <b>Plano Marco</b>	
VERIF.				N.º DE DIBUJO <b>A-11</b>		
APROB.				A3		
FABR.				ESCALA: 1:20		
CALID.				HOJA 5 DE 5		
		MATERIAL: AA3003-H12				
		PESO:				



Cadena de 50 cm

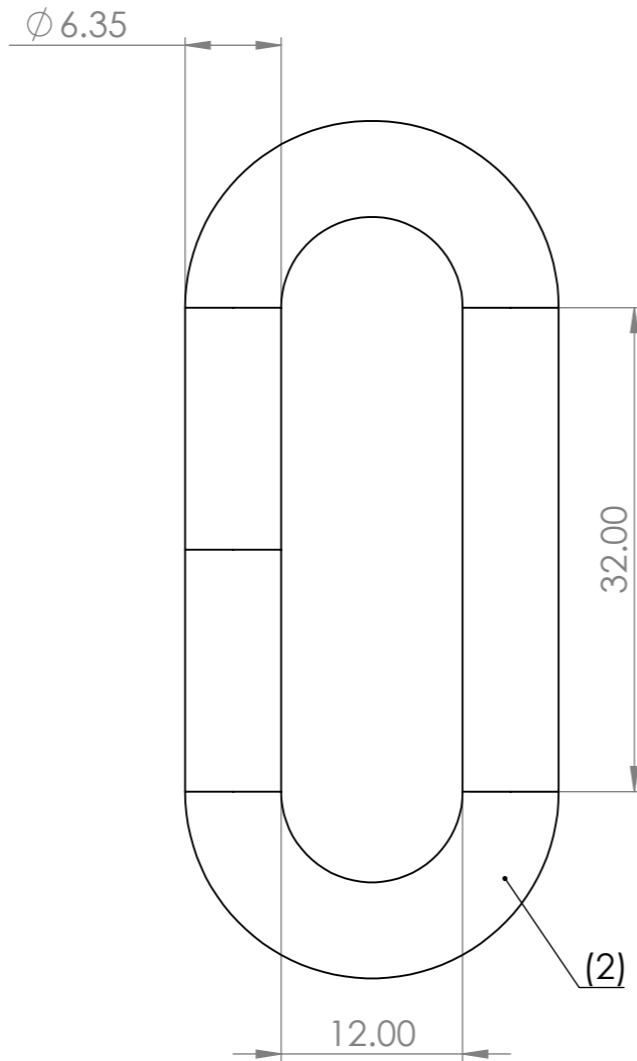
(2)



Cadena de 62 cm

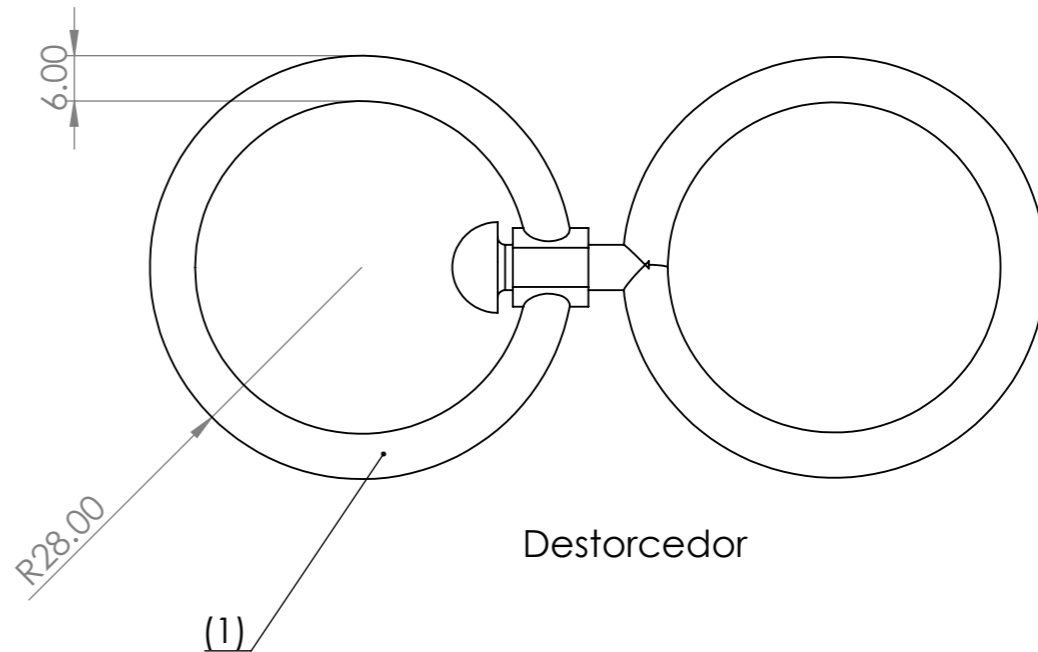
(2)

NOTAS:  
 1) Material acero AISI 1020.  
 2) Material acero galvanizado.



Eslabón con seguro

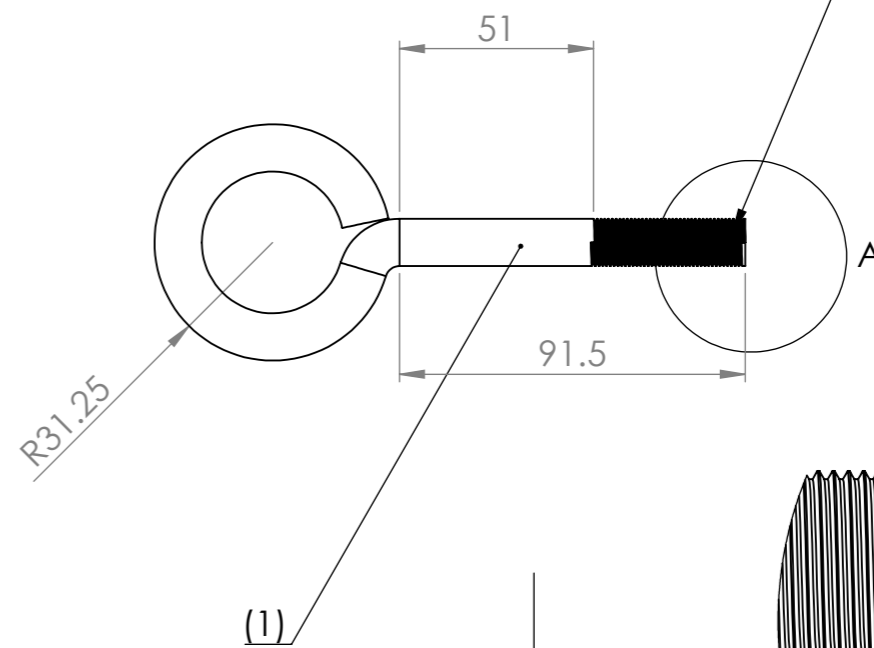
(2)



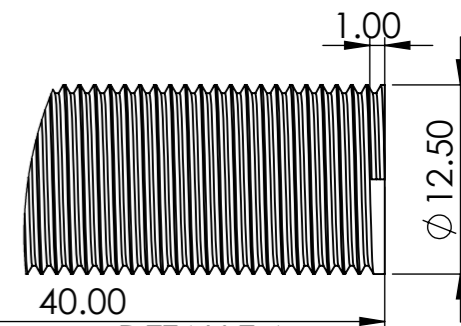
Destorcedor

(1)

Perno para sujetar al marco



(1)



DETALLE A  
 ESCALA 2 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		PROYECTO: Diseño y simulación de columpio terapéutico para terapias multisensoriales				<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO</b> DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJ.	SAGV	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Elementos secundarios</b>			
VERIF.				N.º DE DIBUJO <b>A-12</b>			
APROB.				ESCALA: 1:5			
FABR.				HOJA 1 DE 1			
CALID.				A3			
				PESO:			