

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño de un dispositivo de ayuda técnica para personas con discapacidad motora  
en extremidades inferiores.

INGE-2543

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Miguel Angel Lino Encalada

Gustavo Andrés González Puertas

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Agradecimientos

---

De parte de Gustavo Andrés González Puertas, mi más sincero agradecimiento a:

Mi papá, que creyó en mí y me apoyó en mi carrera universitaria.

Mi hermano Gabriel González, que a pesar de las dificultades me brindó su apoyo.

Lcda. Cristina Montalvo, Gerencia de Bienestar Politécnico por apoyarme económicamente en este último periodo.

Dr. Víctor Marcillo, por apoyarme económicamente en este último periodo.

De parte de Miguel Angel Lino Encalada, mi más sincero agradecimiento a:

Dios, por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para llegar hasta este momento.

A mi familia, quienes con su amor, apoyo incondicional y palabras de aliento han sido el pilar fundamental durante todo este proceso.

Gracias por estar siempre a mi lado, impulsándome a seguir adelante en los momentos difíciles.

## Declaración Expresa

---

Nosotros, Miguel Angel Lino Encalada y Gustavo Andrés González Puertas, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 22 de mayo del 2024.



Miguel Angel Lino  
Encalada



Gustavo Andrés González  
Puertas

## **Evaluadores**

---

**Francis Roderich Loayza Paredes**

Profesor de Materia

---

**Francis Roderich Loayza Paredes**

Tutor de proyecto

## **Resumen**

En los centros de salud y hospitales públicos, una de las principales dificultades es la escasez de sillas de ruedas y camillas accesibles para pacientes con discapacidad. A través de una encuesta realizada a 13 profesionales del área de fisioterapia de un importante hospital de la ciudad, se identificó que contar con una silla de ruedas convertible en camilla resulta esencial para optimizar la atención y preparación de los pacientes, ya sea en casos de lesiones físicas o emergencias. El diseño de este dispositivo se basó en normativas internacionales, utilizando los programas Autodesk Inventor y Skyciv para llevar a cabo el proceso. Autodesk Inventor permitió la creación precisa y análisis por elementos finitos de los componentes, mientras que SkyCiv facilitó la generación de diagramas de momentos, garantizando la resistencia y seguridad estructural de la silla. Se construyó un prototipo a escala real, con un factor de seguridad de aproximadamente 2, lo que asegura su fiabilidad en uso. El costo total de los materiales del prototipo fue de \$97.50. Además, se validó que el diseño no solo reduce el esfuerzo físico necesario tanto por parte del paciente como del personal asistente para realizar el proceso de recostarse, sino que también está listo para futuras mejoras, como la automatización de sus movimientos.

**Palabras Clave:** Silla de ruedas, camilla, diseño, simulación.

## **Abstract**

In public healthcare centers and hospitals, one of the main challenges is the lack of accessible wheelchairs and stretchers for patients with disabilities. A survey conducted among 13 professionals in the psychiatrics department of a major city hospital revealed that having a wheelchair convertible into a stretcher is essential to optimize patient care and preparation, whether for physical injuries or emergencies. The design of this device was based on international standards, using Autodesk Inventor and SkyCiv software to carry out the process. Autodesk Inventor allowed for the precise creation and finite element analysis of the components, while Skyciv facilitated the generation of moment diagrams, ensuring the chair's structural strength and safety. A full-scale prototype was built with a safety factor of approximately 2, ensuring its reliability in use. The total material cost for the prototype was \$97.50. Additionally, it was validated that the design not only reduces the physical effort required by both the patient and the assisting staff to lie down but is also ready for future improvements, such as the automation of its movements.

**Keywords:** Wheelchair, stretcher, design, simulation.

## Índice general

Evaluadores.....	4
Resumen .....	5
Abstract .....	6
Índice general .....	7
Abreviaturas .....	10
Simbología.....	11
Índice de figuras .....	12
Índice de tablas .....	13
ÍNDICE DE PLANOS .....	14
Capítulo 1 .....	15
1. Introducción.....	16
1.1 Descripción del problema .....	16
1.2 Justificación del Problema .....	17
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1 Objetivo general .....	17
1.3.2 Objetivos específicos .....	17
1.4 Marco teórico .....	18
1.4.1 Discapacidades motrices.....	18
1.4.2 Dispositivos de ayuda técnica.....	18
1.4.3 Conceptos básicos para el diseño mecánico .....	20
1.4.4 Conceptos básicos para la manufactura .....	25
Capítulo 2 .....	26
2. Metodología.....	27
2.1. Alternativas de solución .....	28
2.1.1. Alternativa 1.....	28

2.1.2 Alternativa 2 .....	29
2.1.3 Alternativa 3. ....	29
2.2 <i>Selección de la mejor alternativa de solución</i> .....	30
2.3 <i>Proceso de diseño</i> .....	33
2.3.1 Reposabrazos. ....	33
2.3.2 Espaldar.....	35
2.3.3 Asiento. ....	36
2.3.4 Chasis.....	38
2.3.5 Reposapiés.....	38
2.3.6 Elementos fijadores.....	40
2.5 <i>Análisis por elementos finitos (simulación)</i> .....	41
2.6 <i>Construcción del prototipo</i> .....	42
Capítulo 3 .....	44
3. Resultados y análisis.....	45
3.1. <i>Reposabrazos</i> .....	45
3.2 <i>Espaldar</i> .....	51
3.3 <i>Asiento/Chasis</i> .....	55
3.4 <i>Reposapiés</i> .....	60
3.5 <i>Pernos y pasadores</i> .....	64
3.6 <i>Mecanismo de reclinación</i> .....	65
3.7 <i>Diseño final</i> .....	67
3.8 <i>Prototipo</i> .....	71
3.9 <i>Análisis de costos</i> .....	73
Capítulo 4 .....	75
4. Conclusiones y recomendaciones .....	76
4.1 <i>Conclusiones</i> .....	76
4.2 <i>Recomendaciones</i> .....	76

Referencias.....78

## Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FEA	Finite Elements Analysis
MSP	Ministerio de Salud Pública
INEGI	National Institute of Statistics and Geography
CAD	Computer Aided Design
SETEDIS	Secretaría técnica de discapacidades
3D	Tres dimensiones
2D	Dos dimensiones
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
ASTM	American Society for Testing and Materials
TIR	Tasa Interna de Retorno
USD	United States Dollar

## Simbología

$\text{mm}^3$	Milímetro cubico
MPa	Mega pascal
m	Metro
P	Carga axial
A	Área de sección transversal
F	Carga transversal
V	Fuerza cortante
M	Momento flector
S	Modulo elástico seccional
I	Momento de inercia
c	Distancia máxima desde la superficie neutra.
F.S.	Factor de seguridad
E.I.	Módulo de rigidez

## Índice de figuras

Figura 1.1 .....	19
Figura 2.1 .....	28
Figura 2.2 .....	29
Figura 2.3 .....	30
Figura 2.4 .....	30
Figura 2.5 .....	31
Figura 2.6 .....	37
Figura 2.7 .....	38
Figura 2.8 .....	39
Figura 2.9 .....	40
Figura 2.10 .....	41
Figura 2.11 .....	42
Figura 3.1 .....	46
Figura 3.2 .....	47
Figura 3.3 .....	47
Figura 3.4 .....	49
Figura 3.5 .....	49
Figura 3.6 .....	50
Figura 3.7 .....	50
Figura 3.8 .....	51
Figura 3.9 .....	52
Figura 3.10 .....	52
Figura 3.11 .....	54
Figura 3.12 .....	54
Figura 3.13 .....	55
Figura 3.14 .....	55
Figura 3.15 .....	56
Figura 3.16 .....	56
Figura 3.17 .....	57
Figura 3.18 .....	58
Figura 3.19 .....	59
Figura 3.20 .....	59

Figura 3.21 .....	60
Figura 3.22 .....	60
Figura 3.23 .....	61
Figura 3.24 .....	62
Figura 3.25 .....	63
Figura 3.26 .....	63
Figura 3.27 .....	64
Figura 3.28 .....	64
Figura 3.29 .....	64
Figura 3.30 .....	64
Figura 3.31 .....	64
Figura 3.32 .....	64
Figura 3.33 .....	64
Figura 3.34 .....	64
Figura 3.35 .....	72
Figura 3.36 .....	72

### **Índice de tablas**

Tabla 1.1 .....	23
Tabla 2.1 .....	31
Tabla 2.2 .....	33
Tabla 3.1 .....	71
Tabla 3.2 .....	71
Tabla 3.3 .....	71
Tabla 3.4 .....	71

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Dispositivo de ayuda técnica

PLANO 2 Reposabrazos

PLANO 3 Espaldar

PLANO 4 Chasis-Asiento

PLANO 5 Reposapiés

PLANO 6 Mecanismo de reclinación

PLANO 7 Eslabón 1

PLANO 8 Eslabón 2

PLANO 9 Corredera

# Capítulo 1

## **1. Introducción**

En entornos hospitalarios, la transferencia de pacientes entre sillas de ruedas y camillas es una tarea crítica que frecuentemente presenta desafíos tanto para los pacientes como para el personal médico. Las limitaciones en la infraestructura y la falta de dispositivos adecuados pueden generar riesgos de caídas y lesiones adicionales, así como un aumento en la carga de trabajo del personal sanitario. La carencia de soluciones eficientes y seguras en estos procesos no solo afecta la calidad de vida de los pacientes, al exponerlos a movimientos incómodos y potencialmente dolorosos, sino que también impacta negativamente en la operatividad del sistema hospitalario, al requerir más tiempo y esfuerzo por parte del personal de salud.

Este proyecto propone el diseño de una silla de ruedas que se transforme en camilla, proporcionando una solución integrada que facilite la movilidad, reduzca el riesgo de accidentes y mejore la eficiencia en la atención médica. Además, este dispositivo podría contribuir a optimizar los recursos hospitalarios, al permitir una transferencia más ágil y segura de los pacientes, y fomentar una mayor autonomía y comodidad en los usuarios.

### ***1.1 Descripción del problema***

Según las estadísticas del Ministerio de Salud Pública, hasta diciembre del 2023, se encontraban registradas 481000 personas con discapacidad de las cuales el 45% (216000) posee una discapacidad física, siendo el tipo más común entre los grados de discapacidad. Los hospitales públicos de la zona requieren de un dispositivo que permita trasladar a los pacientes, sentarlos y recostarlos en el mismo dispositivo en el menor tiempo posible, estos hospitales también presentan una falta de personal auxiliar y equipos en general. Esto afecta a la debida atención de los pacientes, resultando en posibles complicaciones especialmente para las personas con discapacidad.

## ***1.2 Justificación del Problema***

La integración de las funciones de silla de ruedas y camilla en un solo dispositivo reduce la necesidad de múltiples equipos, beneficiando especialmente a hospitales públicos con recursos limitados. Esta multifuncionalidad no solo ahorra costos y libera espacio, sino que también simplifica la logística hospitalaria. La eficiente transición entre silla de ruedas y camilla facilita el traslado de pacientes entre distintas áreas del hospital, como emergencias, salas de diagnóstico y unidades de cuidados intensivos, mejorando la rapidez y efectividad de la atención. Además, la capacidad de adaptar el dispositivo a diversas posiciones minimiza el dolor y el malestar durante los traslados. Asimismo, al facilitar estos traslados, se disminuye el esfuerzo físico del personal de salud, reduciendo el riesgo de lesiones laborales y aumentando la eficiencia del equipo médico.

## ***1.3 Objetivos***

### **1.3.1 Objetivo general**

Construir una silla de ruedas que pueda convertirse en una camilla utilizando un mecanismo de inclinación que reduzca el esfuerzo físico necesario tanto del personal médico al transportarlo, como del usuario al acomodarse.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Identificar las necesidades que serán cubiertas por este dispositivo.
2. Diseñar el dispositivo utilizando herramientas computacionales.
3. Analizar el diseño 3D mediante elementos finitos.
4. Proponer los materiales a utilizar en la fabricación del prototipo.
5. Elaborar los planos de construcción del prototipo.

## ***1.4 Marco teórico***

### **1.4.1 Discapacidades motrices**

Una persona con discapacidad se define como aquella que, debido a una o más deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales, independientemente de su origen, experimenta una limitación permanente en su capacidad biológica, psicológica y social para llevar a cabo una o más actividades esenciales de la vida diaria. Esta condición debe representar un grado de discapacidad equivalente al treinta por ciento (30%), debidamente certificada por la autoridad sanitaria nacional (MSP, 2024).

Las discapacidades motrices abarcan a individuos con dificultades para caminar, manipular objetos y coordinar movimientos necesarios para llevar a cabo actividades diarias. Este grupo se divide en tres subgrupos: discapacidades en extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza; discapacidades en extremidades superiores; y discapacidades motrices no especificadas adecuadamente. Las discapacidades en las extremidades inferiores incluyen a las personas con limitaciones para moverse o caminar debido a la ausencia total o parcial de sus piernas, así como a aquellas que, aunque poseen sus piernas, no pueden moverlas o tienen movimientos restringidos que impiden su desplazamiento autónomo, requiriendo la ayuda de otra persona o de instrumentos como sillas de ruedas, andadores o prótesis. También abarca a quienes tienen dificultades para desplazarse sin ningún tipo de ayuda y a las personas que cojean al caminar (INEGI, s.f.).

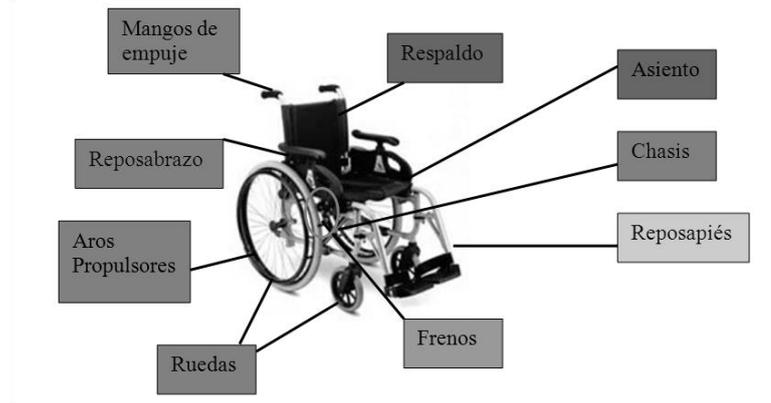
### **1.4.2 Dispositivos de ayuda técnica**

Las ayudas técnicas comprenden diversos dispositivos como andadores, bastones, cojines anti escaros, colchones anti escaros, muletas, pañales, sillas de ruedas, sillas para bañarse y sillas para evacuar, entre otros. Estos recursos proporcionan apoyo en la vida cotidiana de las personas con discapacidad, además de facilitar las tareas de los cuidadores o familiares (MSP, 2024).

La silla de ruedas, elegida como el símbolo representativo de la discapacidad, es el elemento fundamental que determina las adaptaciones en los espacios públicos. Está diseñada para compensar la pérdida parcial o total de la movilidad (Gámez, et al, 2021).

Figura 1.1

Partes de una silla de rueda.



Nota. La figura muestra las partes de una silla de rueda convencional.

Las sillas de ruedas manuales son las más comunes y pueden utilizarse tanto en interiores como en exteriores. Estas comúnmente suelen estar fabricadas en acero o aluminio y pueden personalizarse con una gran variedad de accesorios. Se ofrecen en numerosas medidas estándar para adultos y niños, además de poder fabricarse a medida. Las sillas manuales se dividen en autopropulsadas y no autopropulsadas. Las sillas de ruedas autopropulsadas son dispositivos equipados con aros paralelos a las ruedas que permiten al usuario impulsarse de manera ágil y cómoda por sí mismo. Las sillas de ruedas no autopropulsadas, en cambio, carecen de estos aros y generalmente tienen ruedas traseras más pequeñas, diseñadas para ser impulsadas por otra persona (Ortoprono, 2022).

Dentro de las sillas de ruedas manuales, se pueden identificar diversas subcategorías:

- Sillas de ruedas plegables: Son ligeras, fáciles de transportar y almacenar.
- Sillas de ruedas de transferencia: Especialmente diseñadas para facilitar pequeños traslados de personas con problemas de movilidad.

- Sillas de ruedas reclinables: con un respaldo reclinable para dar la máxima comodidad al usuario.
- Sillas de ruedas basculantes: Permiten realizar numerosos cambios posturales, como reclinación, basculación y elevación de las piernas, facilitando al cuidador la ejecución de diversas movilizaciones con el mínimo esfuerzo.
- Sillas de ruedas bariátricas: Diseñadas para mejorar la movilidad de personas con sobrepeso u obesidad.
- Sillas de ruedas de posicionamiento: Ofrecen una amplia variedad de posiciones, haciendo la inmovilización forzosa más cómoda y segura.

### **1.4.3 Conceptos básicos para el diseño mecánico**

El diseño implica la formulación de un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si dicho plan culmina en la creación de un objeto tangible, este producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil y susceptible de fabricación y comercialización. Los programas de diseño asistido por computadora (CAD) facilitan la creación de diseños tridimensionales (3D), a partir de los cuales es posible generar vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones (2D) con dimensionamiento automático. Existe una amplia variedad de programas de CAD disponible, entre los cuales se incluyen Aries, AutoCAD, CadKey, I-Deas, Autodesk Inventor, Solid Works y ProEngineer, por mencionar algunos (Budynas, 2008).

El proceso de selección de materiales debe comenzar con una comprensión clara de las funciones y requisitos de diseño tanto del producto como de cada uno de sus componentes. Luego, se debe considerar cómo se interrelacionan los siguientes aspectos:

- Las funciones del componente.
- La forma del componente.
- El material del que se fabricará el componente.

- El proceso de fabricación empleado para producir el componente.

Es fundamental detallar los requisitos generales de desempeño del componente, lo que incluye, por ejemplo:

- La naturaleza de las fuerzas que se aplicarán al componente.
- Los tipos y magnitudes de las tensiones resultantes de las fuerzas aplicadas.
- La deformación máxima permitida del componente en puntos críticos.
- Las interfaces con otros componentes del producto.
- El entorno en el que funcionará el componente.
- El tamaño y peso físico del componente.
- La estética esperada tanto del componente como del producto en general.
- Los objetivos de costo para el producto en su conjunto y para este componente específico.
- Los procesos de fabricación previstos y disponibles.

Para llevar a cabo análisis estáticos, se emplean las siguientes tres relaciones que aseguran que un cuerpo está en equilibrio:

$$+\uparrow \sum FY = 0 \quad (1.1)$$

$$+\rightarrow \sum Fx = 0 \quad (1.2)$$

$$+\curvearrowright \sum M = 0 \quad (1.3)$$

Para determinar los esfuerzos ( $\sigma$ ), ya sean de tracción o compresión, se utiliza la siguiente relación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.4)$$

Donde  $P$  representa la carga axial y  $A$  el área de la sección transversal.

Para diseñar elementos sujetos a una fuerza cortante, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1.5)$$

Donde  $F$  es la carga que actúa de manera transversal sobre el elemento.

El reposabrazos, el asiento, el respaldo, los soportes laterales y el soporte de la batería se consideran como vigas. Para determinar las fuerzas internas, se realiza un corte transversal donde se obtiene una fuerza cortante  $V$  y un momento flector  $M$ . Para calcular estos valores, se relacionan cada cortante y momento con las cargas a las que está expuesta la viga, obteniéndose así:

$$\frac{dv}{dx} = -w \quad (1.6)$$

Integrando estos valores se obtiene:

$$V_1 - V_2 = - \int_{x_1}^{x_2} w dx \quad (1.7)$$

Para el momento flector se tiene:

$$\frac{dM}{dx} = V \quad (1.8)$$

$$M_1 - M_2 = - \int_{x_1}^{x_2} V dx \quad (1.9)$$

Para diseñar una viga, generalmente se controla mediante el valor máximo absoluto del momento flector  $|M_{\text{máx}}|$  que se producirá en el elemento. El esfuerzo normal máximo  $\sigma_{\text{max}}$  en el elemento se encuentra en la superficie del mismo, en la sección crítica donde ocurre  $|M_{\text{máx}}|$  (Beer et al, 1993), y se calcula a partir de la ecuación:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{|M_{\text{máx}}|}{S} \quad (1.10)$$

Donde  $S$  es el módulo elástico de la sección, que depende únicamente de la sección transversal y se define como:

$$S = \frac{I}{c} \quad (1.11)$$

Donde  $I$  es el momento de inercia de la sección transversal respecto al eje centroidal perpendicular al plano del par  $M$ , y  $c$  es la distancia máxima desde la superficie neutra hasta la superficie superior o inferior del elemento.

Para un diseño seguro, se requiere que  $\sigma_{\text{max}}$  sea menor o igual a  $\sigma_{\text{perm}}$ , donde  $\sigma_{\text{perm}}$  se define por la ecuación:

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.} \quad (1.12)$$

Donde  $\sigma_y$  es el esfuerzo de fluencia del material y  $F.S.$  es el factor de seguridad. Por lo tanto, para que el diseño sea correcto, se debe cumplir la relación siguiente:

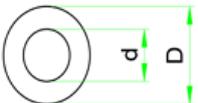
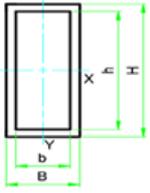
$$\sigma_{max} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{S} \quad (1.13)$$

Para obtener los valores máximos de la fuerza cortante y del momento flector, se grafican  $V$  y  $M$  con respecto a la distancia  $x$  medida desde un extremo.

En la siguiente tabla se presentan las ecuaciones del módulo seccional de varias figuras:

Tabla 1.1

Ecuaciones del módulo seccional de varias figuras.

Círculo		$S = \frac{\pi D^3}{32}$	$A = \frac{\pi D^2}{4}$
Círculo hueco		$S = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}$	$A = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$
Rectángulo		$S_x = \frac{BH^2}{6}$	$A = B * H$
Rectángulo hueco		$S_x = \frac{BH^3 - bh^3}{12 H}$	$A = (B * H) - (b * h)$

*Nota.* Tabla tomada del libro *Resistencia de materiales aplicada* (1996).

Para los elementos sometidos a flexión, se tiene en cuenta el diagrama de la curva elástica, el cual es importante porque muestra la forma de la viga flexionada. Con base en esto, se traza una línea tangente a la curva de deflexión en un punto de interés, la cual indica la pendiente de la curva ( $\theta$ ), medida en radianes con respecto a la horizontal (Mott, 1996). Para calcular la pendiente de la curva elástica, se utiliza el método de integración sucesiva, basado en las siguientes fórmulas:

$$M = \int V dx + C \quad (1.14)$$

$$\theta EI = \int M dx + C \quad (1.15)$$

$$yEI = \int \theta EI dx + C \quad (1.16)$$

Donde  $E$  es el módulo de elasticidad,  $I$  es la inercia, y  $EI$  es el módulo de rigidez.

Las constantes de integración no se pueden evaluar directamente ya que dependen de las condiciones de frontera, por lo que deben identificarse por separado y con subíndices como  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$ , etc.

Si una viga tiene una curvatura significativa, el eje neutro ya no coincidirá con el eje centroidal, y las ecuaciones para vigas rectas ya no se aplican directamente. El eje neutro se desplaza hacia el centro de curvatura a una distancia  $e$ :

$$e = r_c - \frac{A}{\int \frac{dA}{r}} \quad (1.17)$$

Donde  $r_c$  es el radio de curvatura del eje centroidal de la viga curva,  $A$  es el área de la sección transversal y  $r$  es el radio del centro de curvatura de la viga al área diferencial  $dA$ .

La distribución de esfuerzos a través de la sección ya no es lineal, sino hiperbólica (Norton, 2020). Las ecuaciones del esfuerzo en el interior y el exterior de la viga se convierten en:

$$\sigma_i = + \frac{M}{eA} \left( \frac{c_i}{r_i} \right) + \frac{F}{A} \quad (1.18)$$

$$\sigma_o = - \frac{M}{eA} \left( \frac{c_o}{r_o} \right) + \frac{F}{A} \quad (1.19)$$

Donde  $M$  es el momento flector,  $e$  es la distancia desde el eje centroide al eje neutro,  $A$  es el área de la sección transversal de la viga,  $c_i$  es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra interior,  $r_i$  es el radio de la fibra interna,  $c_o$  es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra exterior,  $r_o$  es el radio de la fibra externa, y  $F$  es la fuerza aplicada (Budynas, 2008).

El análisis de elementos finitos es un método computarizado que permite predecir la respuesta de un producto ante fuerzas, vibraciones, calor, flujo de fluidos y otros efectos físicos del entorno real. La simulación de elementos finitos permite evaluar si un producto se romperá,

desgastará o funcionará según lo esperado. Aunque se denomina análisis, en el proceso de desarrollo de productos se utiliza para prever el comportamiento del producto durante su uso (Autodesk, s.f.).

#### **1.4.4 Conceptos básicos para la manufactura**

En las operaciones de manufactura, muchas piezas y componentes adquieren diversas formas mediante la aplicación de fuerzas externas a la pieza de trabajo, generalmente a través de diferentes herramientas y matrices. Estas operaciones de conformado pueden llevarse a cabo tanto a temperatura ambiente como a temperaturas elevadas, y pueden implicar velocidades de deformación bajas o altas. Además, estas técnicas se emplean en el conformado y modelado de materiales no metálicos, como plásticos y cerámicas (Kalpakjian, 2008).

La soldadura es un proceso de unión en el cual se conectan dos o más piezas de un material, generalmente metales o termoplásticos, mediante coalescencia (fusión). Este proceso implica fundir las piezas a unir, y a menudo se agrega un material de aporte (metal o plástico) que, al fundirse, forma un charco de material líquido entre las piezas a soldar (conocido como baño de soldadura). Al enfriarse, este baño se solidifica, creando una unión permanente denominada cordón de soldadura.

El proceso de corte debe realizarse de manera que los elementos a ensamblar y soldar tengan las dimensiones adecuadas y se ajusten al diseño especificado. Existen técnicas específicas y adecuadas para el corte de platinas, tubos y perfiles (Mejía & Rodrigo, 2008).

El proceso de curvado debe ser ejecutado de forma que asegure la integridad del material, evitando la formación de fisuras o la pérdida de sus propiedades durante el doblado. Este resultado depende del diámetro, el espesor, el ángulo de curvatura y el tipo de material utilizado (Mejía & Rodrigo, 2008).

## **Capítulo 2**

## 2. Metodología

Los centros de salud públicos y privados de la región necesitan de un dispositivo multifuncional para trasladar, sentar y recostar a los pacientes rápidamente. La escasez de personal auxiliar y equipos en el sector público principalmente impacta negativamente a la atención, especialmente para pacientes con discapacidades, aumentando el riesgo de complicaciones.

En esta sección se presenta la metodología para el diseño y construcción del dispositivo de ayuda técnica ganador de nuestra matriz de decisión. Además, incluye alternativas de solución, cálculo de cada elemento y modelado del sistema, así como la mención de las normas consideradas.

El presente diseño fue elaborado tomando como referencia la Metodología Ecuatoriana para la Elaboración de Planes de Accesibilidad Universal, elaborada por la Secretaría Técnica para la Gestión Inclusiva en Discapacidades (SETEDIS) en el 2014. Dicha metodología se hizo acreedora al reconocimiento internacional de la Design For all Foundation, como una de las 5 mejores prácticas de Accesibilidad en el mundo durante el 2015 y que, a su vez, toma como base la norma NTE INEN ISO 21542 de “Edificación: Accesibilidad del Entorno Construido”.

Partiendo de esta norma, también se usaron las siguientes normas:

- NTE INEN 2240 “Accesibilidad de las Personas al Medio Físico. Símbolo Gráfico. Características Generales”.
- NTE INEN 2244 “Accesibilidad de las personas al medio físico. Bordillos y Pasamanos”.
- NTE INEN 2245 “Accesibilidad de las personas al medio físico. Rampas”
- NTE INEN 2246 “Accesibilidad de las personas al medio físico. Cruces peatonales a nivel y a desnivel”.
- NTE INEN 2249 “Accesibilidad de las personas al medio físico. Escaleras”
- NTE INEN 2850 “Requisitos de Accesibilidad para la Rotulación”

- NTE INEN 2854 “Accesibilidad de las personas al medio físico. Señalización para personas con discapacidad visual en espacios urbanos y en edificios con acceso al público. Señalización en Pisos y Planos Hápticos”.

- NTE INEN 2855 “Accesibilidad de las personas al medio físico. Vados y Rebajes de Cordón”.

- NTE INEN 2248 Accesibilidad de las personas al medio físico. Estacionamientos

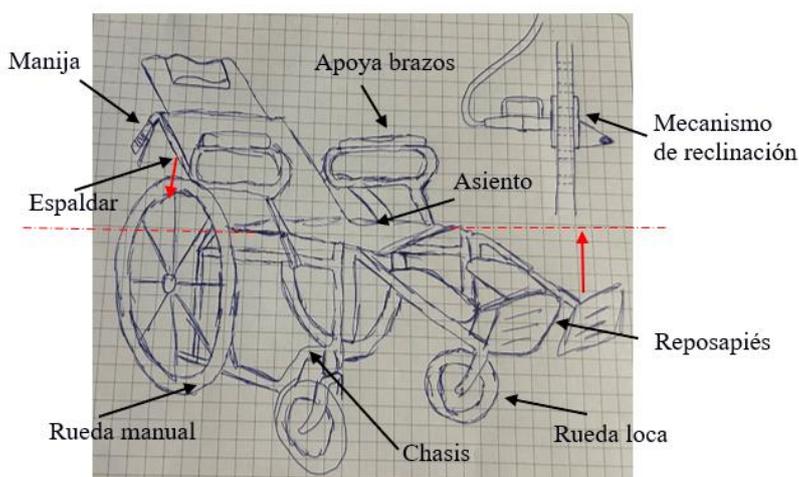
## 2.1. Alternativas de solución

Para solucionar el problema se propusieron las siguientes alternativas:

**2.1.1. Alternativa 1.** La primera alternativa es un tipo de silla de ruedas que cuenta con un mecanismo reclinable de tensión similar a al sistema de frenos tradicional de una bicicleta. Al accionar las manijas un pin se retrae y se desacopla del soporte vertical del espaldar. El diseño dispone de un eleva piernas regulables que le permite al usuario adoptar una posición horizontal. La silla está equipada con dos ruedas de accionamiento manual, lo que permitirá al usuario desplazarse por el hospital sin necesidad de asistencia externa.

Figura 2.1

Alternativa de solución #1

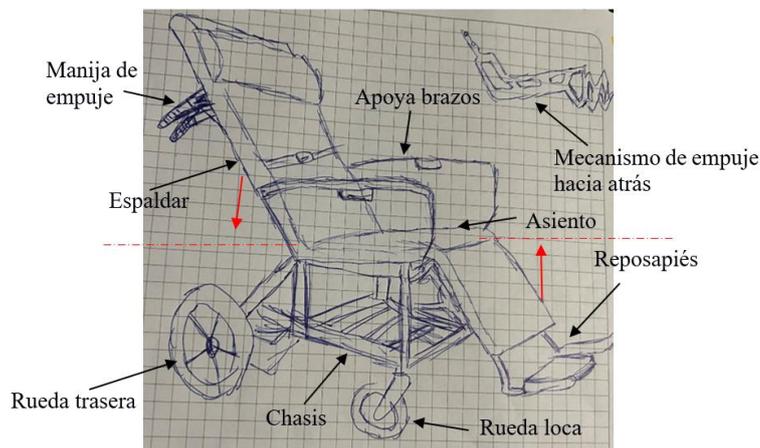


Nota. La figura muestra el diseño de forma de la primera alternativa de solución.

**2.1.2 Alternativa 2.** La segunda alternativa consiste en usar un mecanismo de empuje hacia atrás, similar al usado en sillones reclinables, que funciona de forma que el usuario usa la fuerza de su espalda para abatir el espaldar de la silla, activando el mecanismo y elevando los reposapiés mientras se reclina el espaldar hasta alcanzar una posición horizontal. Para evitar la activación accidental, este mecanismo incluye un sistema de seguridad. Este diseño no dispone de una rueda autopropulsora, cuenta con una manija de empuje, la cual una persona externa utilizará para desplazar al usuario de la silla.

Figura 2.2

Alternativa de solución #2

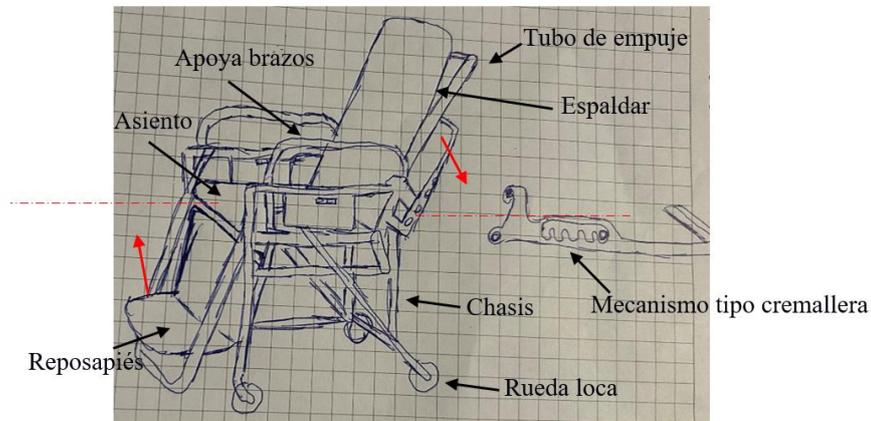


Nota. La figura muestra el diseño de forma de la segunda alternativa de solución.

**2.1.3 Alternativa 3.** La tercera opción implica emplear cuatro ruedas de tamaño uniforme, configurando una estructura que se asemeja más a una camilla que a una silla de ruedas convencional. Este diseño incorpora un mecanismo de inclinación tipo cremallera, ajustable a diferentes posiciones a lo largo de su recorrido. Al igual que con el mecanismo de empuje hacia atrás, el reposapiés se eleva simultáneamente al reclinar el respaldo. En vez de usar manijas de empuje, se usa un tubo que servirá para reclinar la silla.

Figura 2.3

Alternativa de solución #3



Nota. La figura muestra el diseño de forma de la tercera alternativa de solución.

## 2.2 Selección de la mejor alternativa de solución

Para realizar un análisis más detallado, se realizó un estudio de funciones que debe cumplir el dispositivo mediante el método de la Caja Transparente:

Figura 2.4

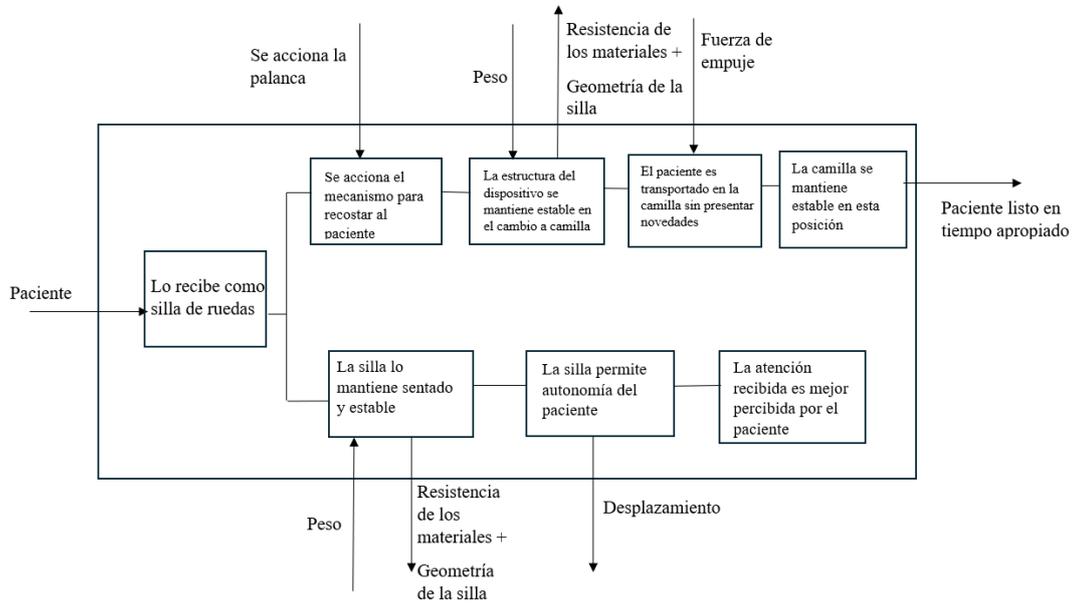
Método de caja transparente general



Nota. La figura muestra las entradas y salidas del dispositivo diseñado.

Figura 2.5

Método de caja transparente específica



Para determinar la mejor alternativa, se llevó a cabo una comparación de las ventajas y desventajas de cada opción, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2.1

Ventajas y desventajas de las alternativas de solución

Alternativa # 1	Alternativa # 2	Alternativa # 3
<b>Ventajas</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario puede desplazarse solo.</li> <li>El diseño es más fácil de fabricar.</li> <li>La silla de ruedas sería replegable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario puede recostarse solo.</li> <li>La silla de ruedas sería replegable.</li> <li>El mecanismo de reclinación permite que el espaldar y los reposapiés se muevan simultáneamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La estructura brinda más estabilidad.</li> <li>La camilla quedaría totalmente horizontal.</li> <li>El mecanismo de reclinación permite que el espaldar y los reposapiés se muevan al simultáneamente.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario no podría recostarse solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario no podría desplazarse solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario no podría desplazarse solo.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• El mecanismo del espaldar y los reposapiés se activan por separado para quedar en posición horizontal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El diseño necesita de un sistema de seguridad para evitar accidentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El usuario no podría recostarse solo.</li> </ul>
--	---	---

Luego, se evaluaron los aspectos de salud pública, seguridad y bienestar, así como los factores globales, culturales, sociales, ambientales y económicos para las tres alternativas. Dado que todas comparten el mismo concepto, pero utilizan diferentes mecanismos, los aspectos mencionados guardan una relación constante:

- **Salud Pública:** El diseño está orientado a hospitales del sistema de salud pública, por lo que debe ser seguro y adecuado para circular dentro de un entorno hospitalario, cumpliendo con normativas y estándares específicos para este tipo de ambiente.
- **Seguridad y Bienestar:** El diseño debe ofrecer ergonomía suficiente para no afectar la calidad de vida del usuario.
- **Aspectos Globales:** El dispositivo está diseñado para usarse en cualquier parte del mundo.
- **Culturales:** El diseño no influye en ninguna cultura específica.
- **Sociales:** El diseño busca la inclusión de personas con discapacidad motriz inferior, permitiéndoles integrarse en diversas actividades.
- **Ambientales:** El diseño del dispositivo está orientado a ser reutilizable después de su vida útil.
- **Económicos:** El diseño busca ofrecer una alternativa económica para los hospitales públicos, utilizando materiales seguros y de bajo costo.

Luego, se procedió a realizar la matriz de selección para determinar la alternativa más conveniente:

Tabla 2.2

Matriz de selección para la alternativa ganadora

<b>Alternativas</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	2	2	2	2	1	3	1	13
<b>2</b>	3	2	2	3	3	3	2	18
<b>3</b>	1	1	2	2	1	3	3	13

Nota. A-Ergonomía, B-Autonomía, C-Tamaño, D-Facilidad de construcción, E-Innovación, F-Seguridad, G-Peso.

De acuerdo con la matriz de decisión, **la segunda opción fue la ganadora**, por tal razón, se procede al diseño detallado de esta alternativa.

### **2.3 Proceso de diseño**

El análisis estático fue esencial en el diseño de una silla de ruedas, ya que permitió evaluar cómo se comportará la estructura bajo condiciones de carga estáticas, como el peso del usuario y las fuerzas ejercidas durante el uso cotidiano. Este análisis facilitó la determinación precisa de las cargas y los esfuerzos distribuidos en la silla, garantizando que cada componente soporte adecuadamente las tensiones aplicadas. Además, permitió optimizar el diseño para asegurar la resistencia y estabilidad necesarias, seleccionando materiales adecuados y diseñando refuerzos estructurales cuando sea necesario.

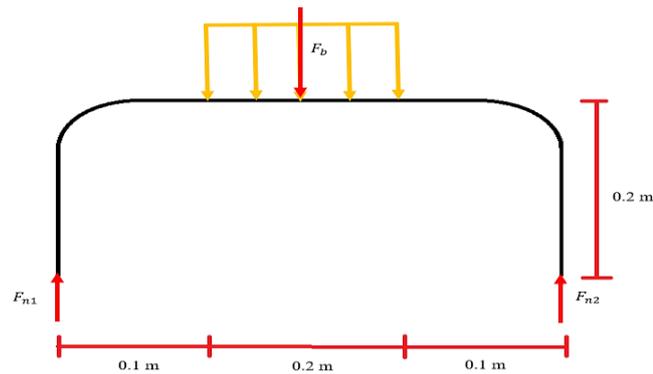
Al realizar un análisis estático, se aseguró que la silla de ruedas cumpla con los estándares de seguridad y durabilidad, minimizando el riesgo de fallas estructurales y protegiendo la integridad del usuario, proporcionando así un dispositivo seguro, confiable y duradero.

**2.3.1 Reposabrazos.** Para el análisis se consideró la situación más crítica, en la que la persona apoyará todo el peso del torso sobre el elemento, lo cual representa el 60% del peso total de la persona. La silla de ruedas se diseñó para poder resistir una carga máxima de 980 N ( persona de hasta 100 kg), ya que según la norma ISO 7176, la capacidad mínima recomendada de carga es de 100 kg para garantizar la seguridad y durabilidad del dispositivo.

Se inició el análisis con un diagrama de cuerpo libre, para determinar las reacciones en las uniones del reposabrazos con el chasis.

Figura 2.6

Diagrama de cuerpo libre del reposabrazos: Las flechas amarillas representan la fuerza aplicada al reposabrazos mientras que las flechas en rojo muestran las reacciones producidas.



Se utilizó la ecuación 1.1 para encontrar las reacciones:

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_b + F_{n1} + F_{n2} = 0$$

Por simetría se obtuvo que  $F_{n1} = F_{n2}$ , por lo tanto:

$$F_b = 2F_{n1} \rightarrow F_{n1} = \frac{F_b}{2}$$

Luego de encontrar todas las fuerzas aplicadas al elemento se utilizó el programa SkyCiv para realizar los diagramas de momentos y fuerzas cortantes, el cual utilizó las ecuaciones 1.9 y 1.7 como bases para el cálculo.

Después de determinar el momento máximo con el diagrama de momentos se utilizó la ecuación 1.12 para establecer el esfuerzo máximo permisible.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

Para esto se optó por utilizar como material una aleación de aluminio comercializada en el país, 6063 T5 ( $\sigma_y = 158.86 \text{ MPa}$ ) y un factor de seguridad de 2.

Reemplazando el momento máximo y el esfuerzo permisible en la ecuación 1.13 se obtuvo el módulo seccional mínimo.

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{S} \rightarrow S = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{\sigma_{perm}}$$

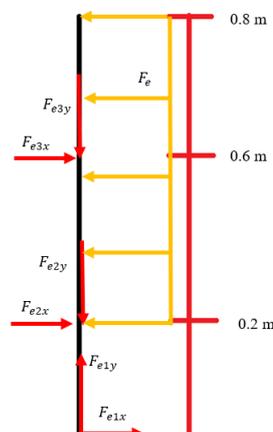
Al usar la ecuación del módulo seccional para un círculo hueco ubicada en la tabla 1 se seleccionó las dimensiones del tubo de aluminio para el reposabrazos. Se validó que el módulo seccional obtenido al reemplazar las dimensiones del tubo seleccionado en la ecuación para un círculo hueco sea mayor al calculado con la ecuación 1.13.

$$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} > \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{\sigma_{perm}}$$

**2.3.2 Espaldar.** Se estableció que la longitud del espaldar sea de 0.8 m para que al inclinarse tenga las dimensiones de una camilla y por ende sea cómoda para el usuario. Luego de haber definido la presión que se ejerce en el espaldar cuando el usuario se apoya se procedió a realizar el diagrama de cuerpo libre para el elemento.

Figura 2.7

Diagrama de cuerpo libre del espaldar: Las flechas amarillas representan la fuerza aplicada al espaldar mientras que las flechas en rojo muestran las reacciones producidas.



Con las ecuaciones 1.1, 1.2 y 1.3 se encontraron todas las fuerzas observadas en el diagrama de cuerpo libre. Mismas que sirvieron para calcular el diámetro de sus elementos fijadores (pernos y pasadores).

$$\begin{aligned} +\uparrow \sum F_Y &= 0 \\ +\rightarrow \sum F_x &= 0 \\ +\curvearrowright \sum M &= 0 \end{aligned}$$

Con todas las fuerzas calculadas se obtuvieron los diagramas de momento flector y fuerzas cortantes. De los cuales se identificó el momento y la fuerza máxima.

Debido a que el espaldar está sometido a fuerzas de flexión y compresión, se utilizó la ecuación de esfuerzos combinados:

$$\sigma_{comb} = \pm \frac{F}{A} \pm \frac{M}{S}$$

Para validar que el elemento fuera seleccionado correctamente se corroboró el resultado con la siguiente inecuación:

$$\sigma_{comb} < \sigma_{perm}$$

Donde:

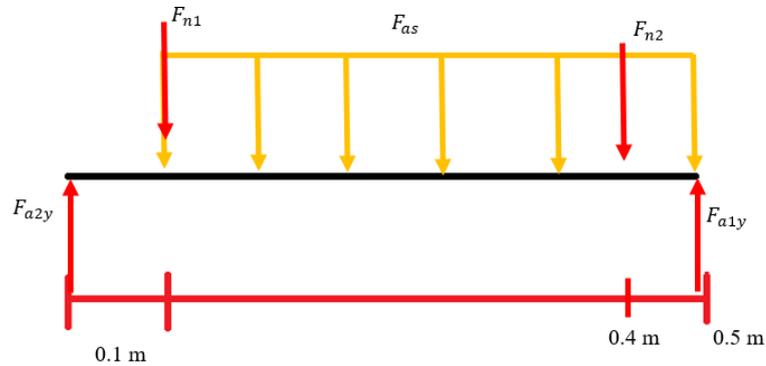
$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

Con este análisis se determinó el módulo seccional y por ende el diámetro del tubo de aluminio.

**2.3.3 Asiento.** Se estableció una longitud de 0.5 m para el asiento, ya que representa el valor superior del rango comúnmente utilizado para dimensionar los asientos de las sillas de ruedas, el cual oscila entre 0.4 y 0.5 m. Posteriormente, se realizó el análisis de su diagrama de cuerpo libre.

Figura 2.6

Diagrama de cuerpo libre del asiento: Las flechas amarillas representan la fuerza aplicada al asiento mientras que las flechas en rojo muestran las reacciones producidas.



Nota. La figura muestra las fuerzas aplicadas al asiento.

Se utilizó la ecuación 1.1 y 1.3 para determinar las reacciones:

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M = 0$$

Después de determinar todas las fuerzas aplicadas al elemento, se empleó el software SkyCiv para generar los diagramas de momentos y fuerzas cortantes, utilizando como base las ecuaciones 1.9 y 1.7.

Una vez identificado el momento máximo mediante el diagrama de momentos, se aplicó la ecuación 1.12 para calcular el esfuerzo máximo permisible:

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

Sustituyendo el momento máximo y el esfuerzo permisible en la ecuación 1.13, se determinó el módulo seccional mínimo:

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{S} \rightarrow S = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{\sigma_{perm}}$$

Utilizando la ecuación del módulo seccional para un círculo hueco, como se muestra en la tabla 1, se seleccionaron las dimensiones del tubo de aluminio para el reposabrazos. Se verificó

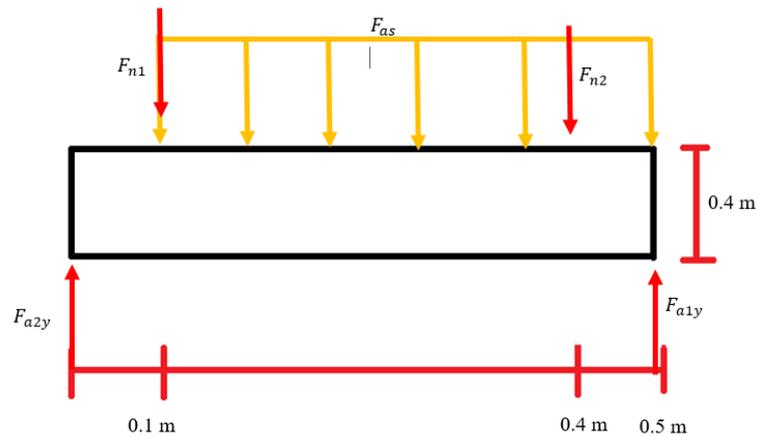
que el módulo seccional obtenido al sustituir las dimensiones del tubo seleccionado en la ecuación para un círculo hueco fuera mayor que el calculado con la ecuación 1.13:

$$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} > \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{\sigma_{perm}}$$

**2.3.4 Chasis.** Como la estructura del asiento es parte del chasis bastó con solo analizar si las columnas del chasis resistirían.

Figura 2.7

Diagrama de cuerpo libre del chasis: Las flechas amarillas representan la fuerza aplicada al chasis mientras que las flechas en rojo muestran las reacciones producidas.



Nota. La figura muestra las fuerzas más significativas aplicadas al chasis.

Para el análisis de pandeo de columnas se utilizó la siguiente ecuación:

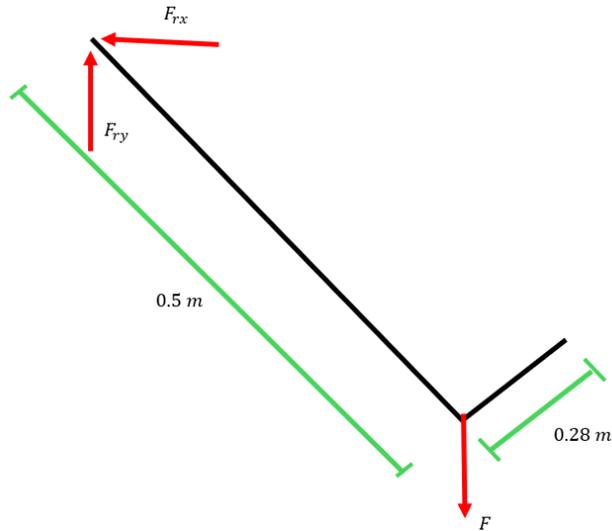
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L_e^2}$$

Para validar que la columna no se pandee se comparó la Carga crítica calculada con la carga aplicada a la columna. Como  $P_{cr} > F_{a2y}$ , la columna del chasis no fallará.

**2.3.5 Reposapiés.** Para el análisis del reposapiés se utilizó un análisis idéntico al del espaldar.

Figura 2.8

Diagrama de cuerpo libre del reposapiés



Nota. La figura muestra las fuerzas más significativas aplicadas al reposapiés.

Con las ecuaciones 1.1, 1.2 y 1.3 se encontraron todas las fuerzas observadas en el diagrama de cuerpo libre. Mismas que sirvieron para calcular el diámetro de sus elementos fijadores (pernos y pasadores).

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$+\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$+\curvearrowright \sum M = 0$$

Con todas las fuerzas calculadas se obtuvieron los diagramas de momento flector y fuerzas cortantes. De los cuales se identificó el momento y la fuerza máxima.

Debido a que el reposapiés está sometido a fuerzas de flexión y compresión, se utilizó la ecuación de esfuerzos combinados:

$$\sigma_{comb} = \pm \frac{F}{A} \pm \frac{M}{S}$$

Para validar que el elemento fuera seleccionado correctamente se corroboró el resultado con la siguiente inecuación:

$$\sigma_{comb} < \sigma_{perm}$$

Donde:

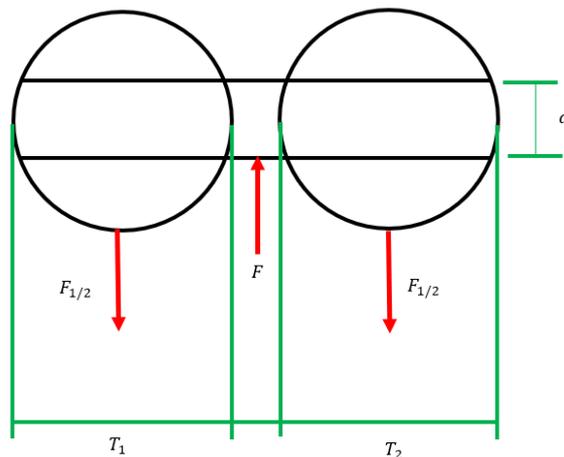
$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

Con este análisis se determinó el módulo seccional y por ende el diámetro del tubo de aluminio.

**2.3.6 Elementos fijadores.** Los pernos y pasadores están sometidos a esfuerzos cortantes por lo que se utilizó la ecuación 1.5.

Figura 2.9

Diagrama de cuerpo libre del pasador



Nota. La figura muestra las fuerzas más significativas aplicadas al elemento de fijación.

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

Con la ecuación 1.5 se encontró el esfuerzo máximo permisible del elemento de fijación.

Para determinar el diámetro del pasador, se sustituyó en la ecuación 1.12.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

Elementos como ruedas, y colchonetas no fueron diseñados ya que son vendidos por distribuidoras que venden sillas de ruedas ya que son repuestos con dimensiones estándar, para

este diseño se utilizaron ruedas posteriores de 60 cm de diámetro y ruedas locas de 15 cm para la parte delantera.

## ***2.4 Herramientas computacionales de dibujo***

Primero, en el entorno de bocetos, se dibujaron las formas básicas de cada componente, como el chasis, las ruedas, el asiento y el respaldo, definiendo las dimensiones y geometrías necesarias.

Luego, utilizando operaciones de modelado 3D como extrusiones, revoluciones y barridos, se convirtieron los bocetos en modelos tridimensionales detallados.

Figura 2.10

Dibujo 3D de silla de ruedas.



Nota. En el lado izquierdo se observa la silla en posición vertical mientras que en el lado derecho se observa en versión camilla.

Cada parte se diseñó individualmente, asegurando que todas las dimensiones y características sean correctas. Después, se ensamblaron las diferentes partes en el entorno de ensamblaje, aplicando restricciones y uniones para simular el funcionamiento real de la silla de ruedas.

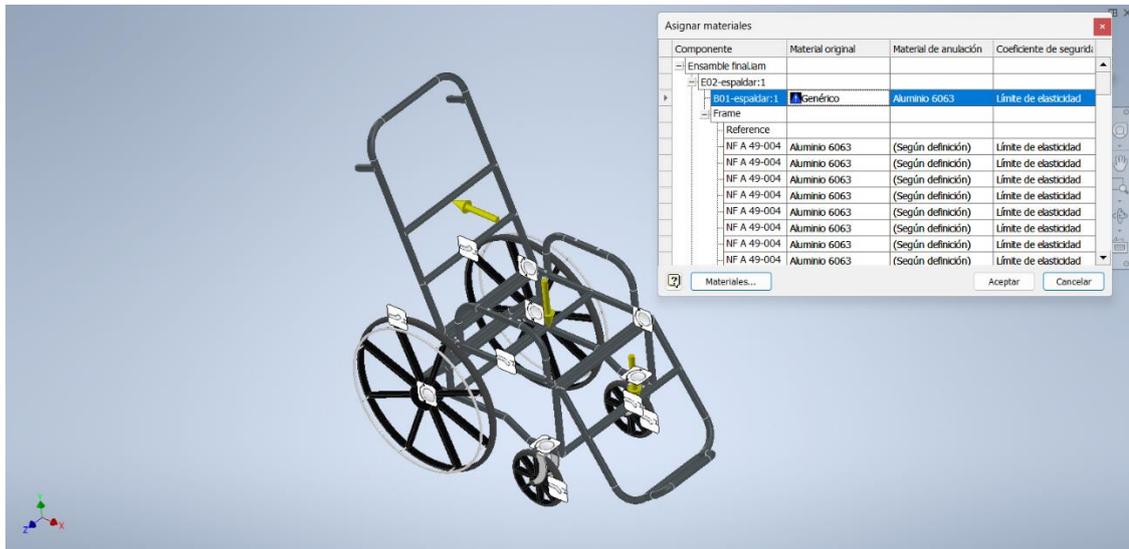
## ***2.5 Análisis por elementos finitos (simulación)***

Se realizó una simulación de esfuerzos y deflexión en Autodesk Inventor, para esto, primero se aseguró que el modelo 3D de la pieza estuviera completamente definido y sin errores. Se asignó el material base (Aluminio 6063) para cada parte de la estructura del dispositivo mientras que para los elementos decorativos y ergonómicos se definió el caucho, fue importante definir los

materiales antes de simular ya que las propiedades del material influyen en los resultados de la simulación.

Figura 2.11

Parámetros de simulación de la silla de ruedas.



Nota. En la parte superior derecha se observa la ventana en la cual se especifican los materiales.

Luego, se abrió el modelo en el entorno de simulación en la pestaña "Entornos", seleccionando "Análisis de tensión".

Se detallaron las fuerzas que actúan sobre el modelo, seleccionando las caras, bordes o vértices correspondientes y definiendo la magnitud y dirección de las cargas. Se definieron las condiciones de contorno para el modelo, fijando ciertas caras en posición y permitiendo desplazamientos en direcciones específicas.

## 2.6 Construcción del prototipo

Se utilizó hierro negro para la fabricación del prototipo debido a su disponibilidad y accesibilidad económica en el mercado. El prototipo fue construido con el objetivo de probar comodidad, dimensiones, esfuerzos del personal y del paciente al accionar sus mecanismos, encontrar posibles mejoras y aditamentos electrónicos.

Para la elaboración del prototipo se compraron los siguientes materiales:

- 3 tubos estructurales redondos de 6 m ASTM A36 1" x 2 mm.
- 1 tubo estructural rectangular de 6 m ASTM A36 1" x 2 mm.
- 1 plancha de esponja Lamitex negra 2 x 1 mt x 60 cm.
- 3 metros de Expand 2000 Bufalo negro mate.
- 2 ruedas locas para la parte frontal.

Se realizaron cortes y uniones por soldadura para la construcción del prototipo. Utilizando los planos que se encuentran en la sección de Anexos se construyeron todos los componentes de la silla de ruedas.

## **Capítulo 3**

### **3. Resultados y análisis**

Se obtuvieron y analizaron los resultados detallados para las partes de la silla de ruedas y para el dispositivo ensamblado. Para cada componente, se generaron diagramas de momentos flectores y fuerzas cortantes.

Además, se desarrollaron modelos detallados en 3D de la silla de ruedas y sus componentes utilizando Autodesk Inventor. Estos modelos permitieron visualizar con precisión cada componente, asegurando que todas las piezas encajen correctamente en el ensamblaje final. La utilización de Inventor fue crucial para identificar posibles interferencias y realizar ajustes en el diseño, lo que optimizó tanto la funcionalidad como la estética de la silla.

Posteriormente, se realizó un análisis por elementos finitos, el cual confirmó la capacidad de estos componentes para soportar las cargas previstas, especialmente en situaciones de máxima inclinación y carga dinámica. Los resultados obtenidos guiaron el proceso de optimización del diseño final, asegurando que cada parte de la silla cumpla con los criterios de seguridad y comodidad establecidos para los usuarios. Una vez ensambladas todas las partes, se realizó un análisis global de la silla mediante elementos finitos.

Los resultados demostraron una distribución uniforme de esfuerzos, confirmando que el diseño es capaz de operar bajo las condiciones de uso diarias sin comprometer su integridad estructural.

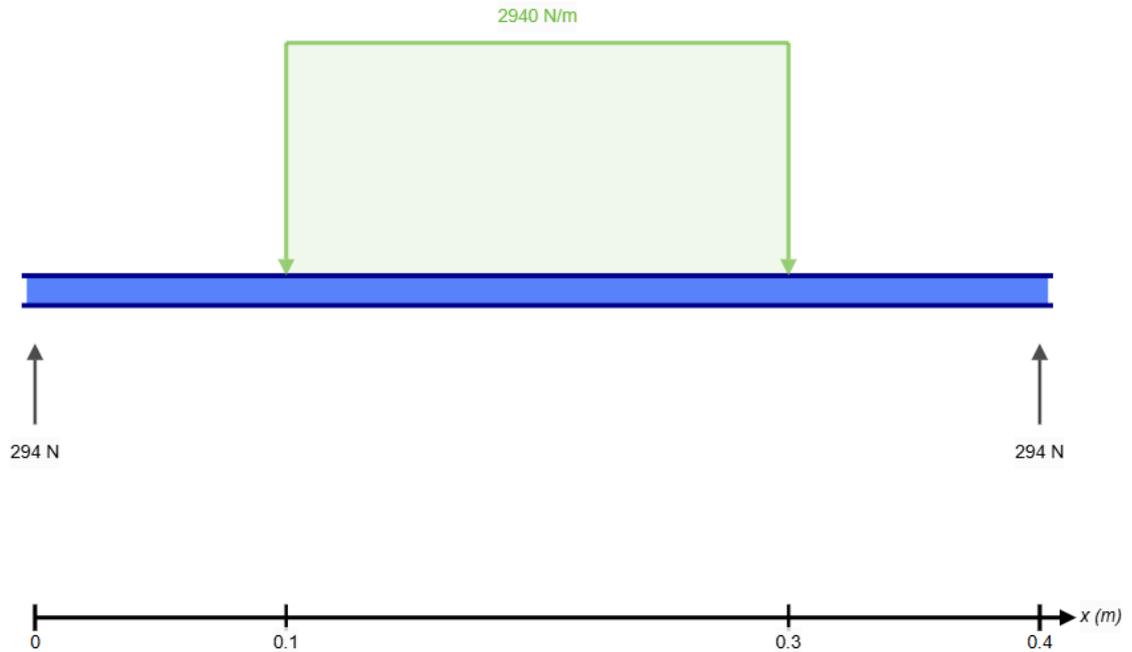
Estos análisis combinados validan la integridad del diseño final, asegurando que la silla de ruedas ensamblada cumple con los requisitos de funcionamiento, durabilidad y seguridad.

#### ***3.1. Reposabrazos***

A continuación, se observa el diagrama de momento flector y fuerza cortante del reposabrazos, con capacidad de resistir una carga de 588 N (60% de la carga máxima).

Figura 3.1

Diagrama de cuerpo libre del reposabrazos



Nota. Diagrama realizado con SkyCiv, en donde se observan las reacciones (flechas negras) y la carga distribuida (flecha verde).

Se validó lo anterior con un análisis estático, usando las leyes de Newton.

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_b + F_{n1} + F_{n2} = 0$$

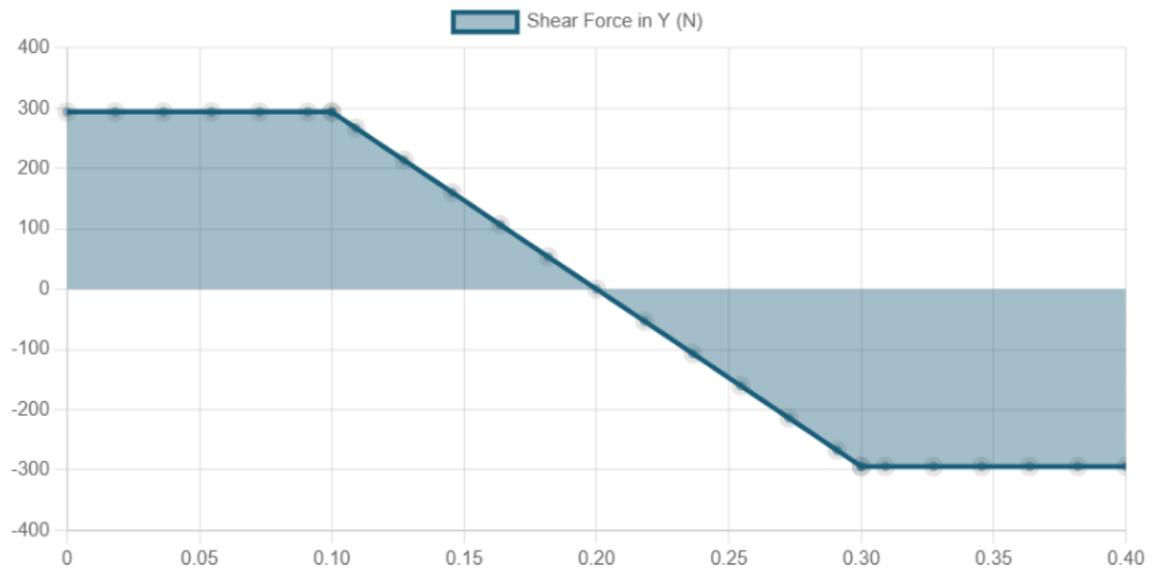
Por simetría se obtuvo que  $F_{n1} = F_{n2}$ , por lo tanto:

$$F_b = 2F_{n1} \rightarrow F_{n1} = \frac{F_b}{2}$$

El uso de SkyCiv permitió identificar con precisión el punto en donde se encuentra aplicado el mayor momento flector y fuerza cortante, esto lo que pudimos determinar de los diagramas de momento flector y fuerza cortante.

Figura 3.2

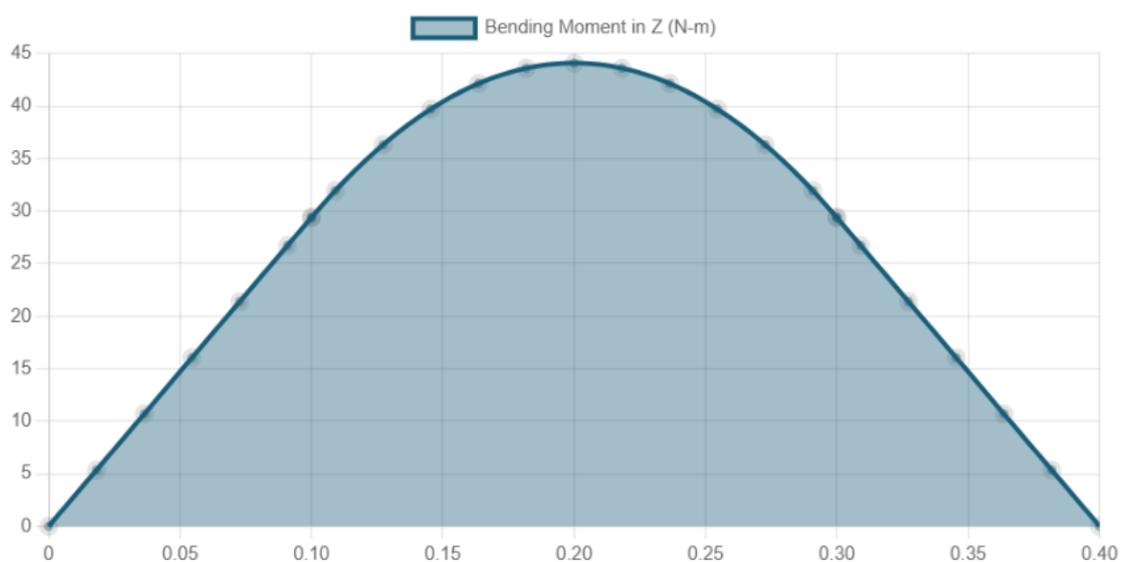
Diagrama de fuerzas cortantes del reposabrazos



Nota. Diagrama de fuerzas cortantes según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

Figura 3.3

Diagrama de momentos del reposabrazos



Nota. Diagrama de momento flector según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

El diagrama de fuerzas cortantes muestra una fuerza máxima positiva al inicio de 294 N y una fuerza negativa de -294 N en el otro extremo.

El diagrama de momento flector muestra una variación parabólica entre los apoyos, con un momento máximo positivo de 44.5 N-m (44500 N-mm) en la sección media. Estos resultados indican que la sección central del reposabrazos es la más crítica en términos de flexión.

Para determinar el esfuerzo máximo que soportará el reposabrazos se utilizó la ecuación 1.12. El material seleccionado fue una aleación de aluminio comercializada en el país, 6063 T5 ( $\sigma_y = 158.86 \text{ MPa}$ ).

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{158.86}{F.S.}$$

Para un tubo circular de 25.4 mm de diámetro y 3 mm de espesor el módulo seccional calculado fue el siguiente:

$$S = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi((25.4)^4 - (25.4 - 3)^4)}{32(25.4)} = 635.7 \text{ mm}^3$$

Reemplazando el momento máximo y el esfuerzo permisible en la ecuación 1.13 se obtuvo el factor de seguridad del reposabrazos.

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{S} \rightarrow F.S. = \frac{\sigma_y S}{|M_{m\acute{a}x}|} = \frac{(158.86)(635.7)}{44.5 \times 10^3} = 2.27$$

Un factor de seguridad de 2.27 sugiere que el reposabrazos ha sido diseñado con un margen de seguridad considerable ya que la mayoría de los fabricantes de sillas de ruedas utilizan factores de seguridad que oscilan entre 1.5 y 3, lo cual es positivo para garantizar la durabilidad y seguridad del usuario.

El dibujo 3D del reposabrazos de la silla de ruedas fue desarrollado utilizando Autodesk Inventor, permitiendo una representación detallada y precisa del componente. El dibujo fue utilizado para generar vistas en 2D, cortes seccionales y anotaciones técnicas que fueron esenciales para la fabricación.

Figura 3.4

Dibujo de la estructura del reposabrazos

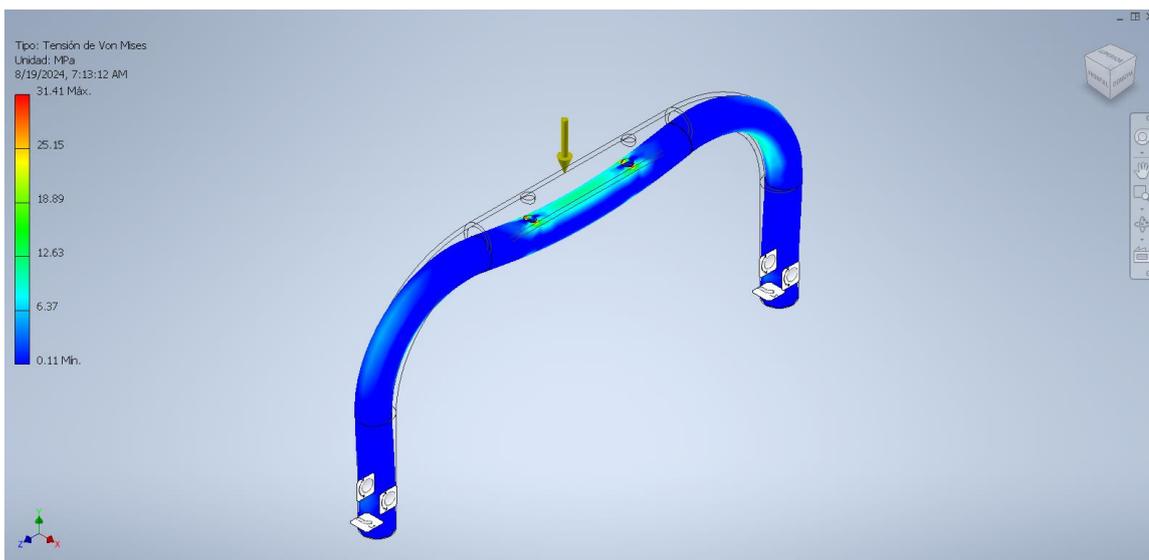


Nota. Estructura del reposabrazos dibujada con Autodesk Inventor.

Para confirmar que el reposabrazos no fallará durante su uso, se realizó un análisis por elementos finitos, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 3.5

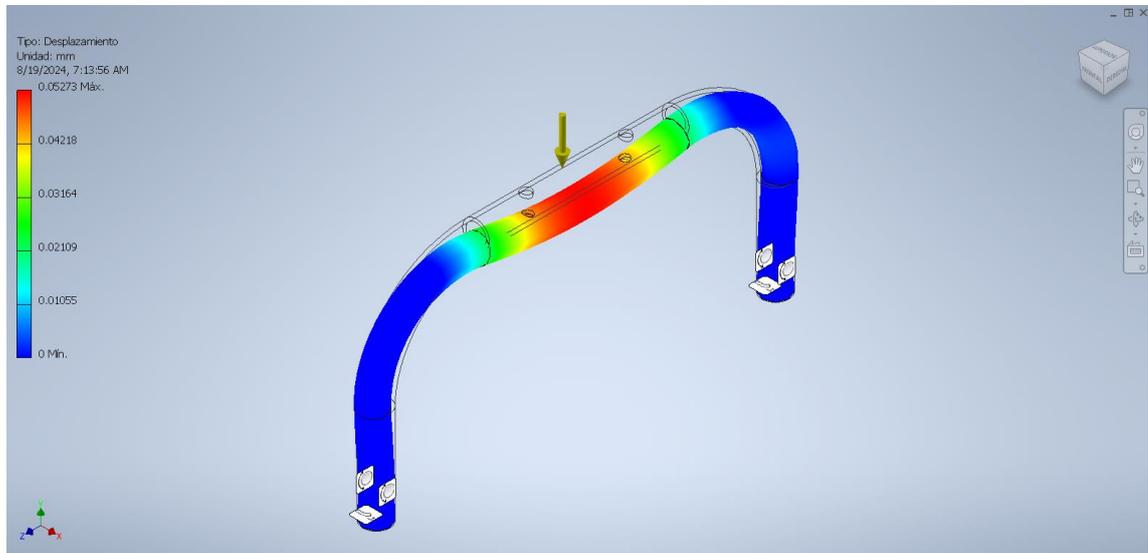
Análisis de elementos finitos: tensión de Von Mises



Nota. En la barra de colores se observó que el esfuerzo máximo fue de 31.41 MPa.

Figura 3.6

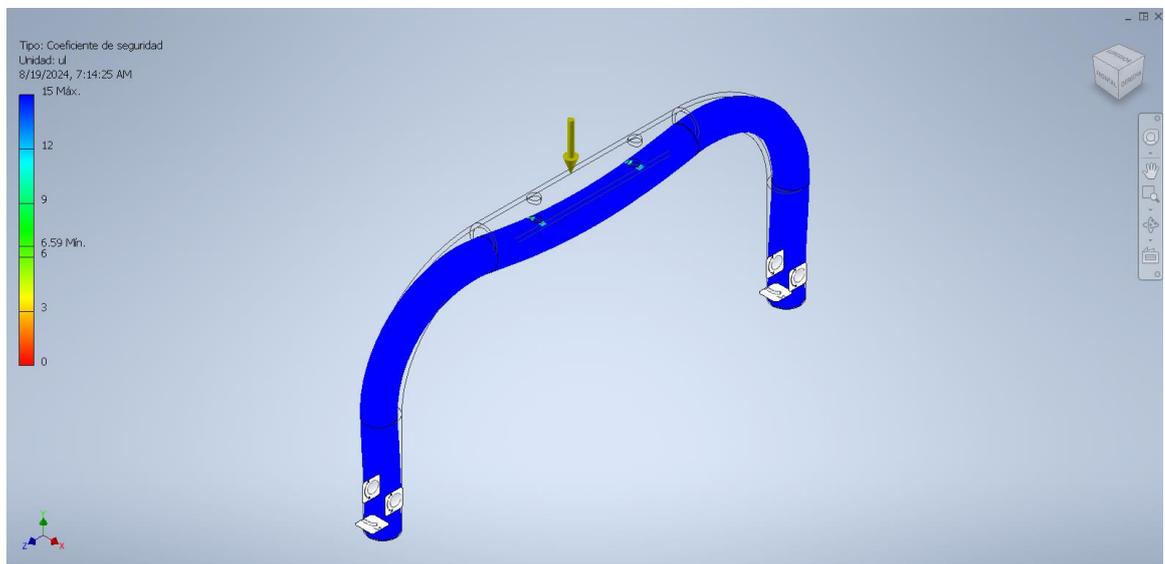
Análisis de elementos finitos: desplazamiento



Nota. En la barra de colores se observó que el desplazamiento máximo fue de 0.05 mm.

Figura 3.7

Análisis de elementos finitos: coeficientes de seguridad



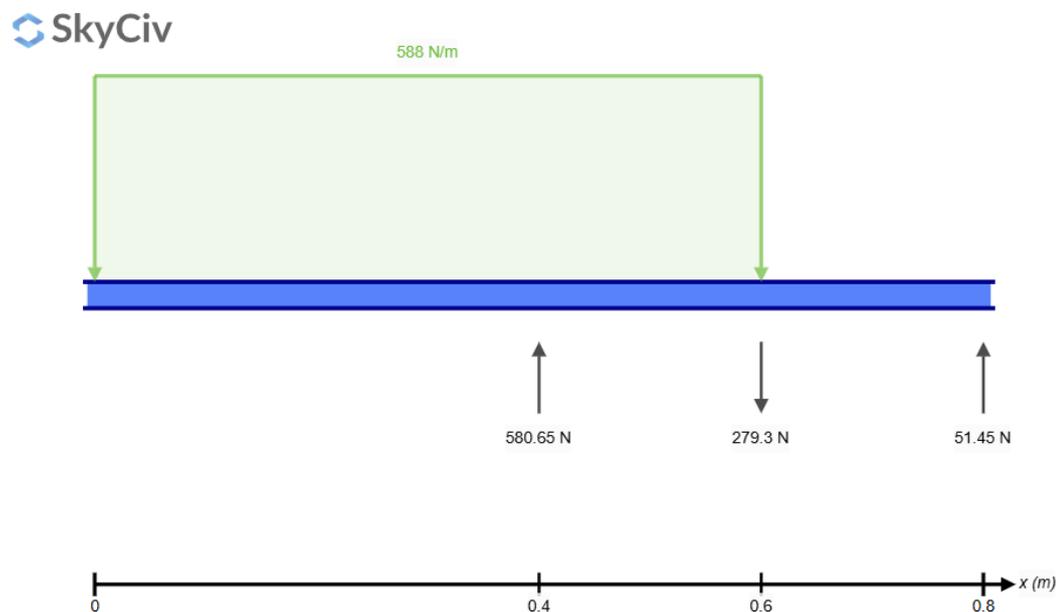
Nota. En la barra de colores se observó que el coeficiente mínimo fue de 6.59.

### 3.2 Espaldar

A continuación, se observa el diagrama de momento flector y fuerza cortante del espaldar, con capacidad de resistir una carga distribuida de 588 N/m (60% de la carga máxima).

Figura 3.8

Diagrama de cuerpo libre del espaldar



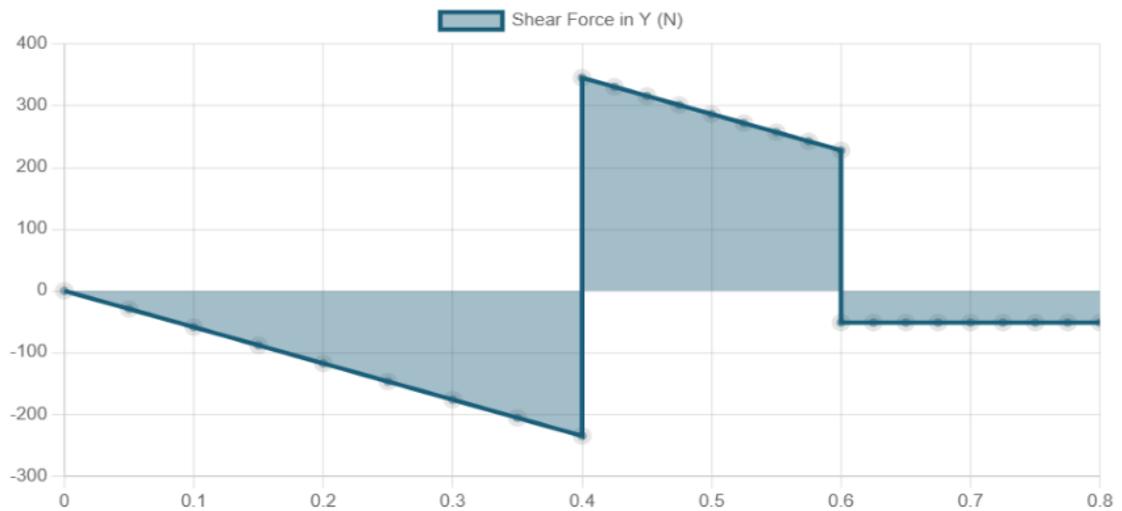
Nota. Diagrama realizado con SkyCiv, en donde se observan las reacciones (flechas negras) y la carga distribuida (flecha verde).

Se validó lo anterior con un análisis estático, usando las leyes de Newton.

El uso de SkyCiv permitió identificar con precisión el punto en donde se encuentra aplicado el mayor momento flector y fuerza cortante, esto se lo determinó de los diagramas de momento flector y fuerza cortante.

Figura 3.9

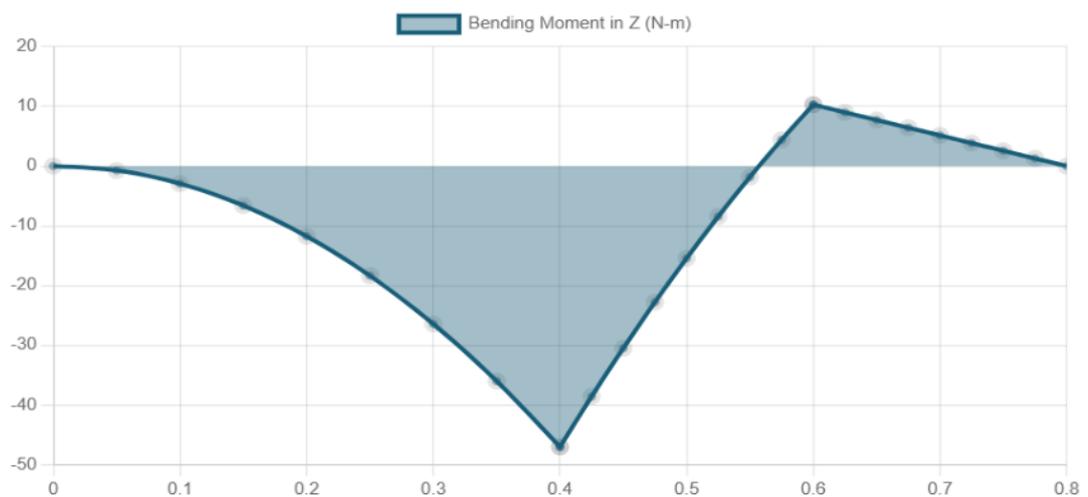
Diagrama de fuerzas cortantes del espaldar



Nota. Diagrama de fuerzas cortantes según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

Figura 3.10

Diagrama de momentos del espaldar



Nota. Diagrama de momento flector según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

El diagrama de fuerzas cortantes muestra una fuerza máxima positiva de 345.45 N y una fuerza negativa de -235.2 N.

El diagrama de momento flector muestra una variación entre los apoyos, con un momento máximo positivo de 10.29 N-m (10290 N-mm) en una de las juntas y un momento máximo negativo de -47.04 N-m (-47040 N-mm) en la zona media. Estos resultados indican que la sección central del espaldar fue la más crítica en términos de flexión.

Para determinar el esfuerzo máximo que soportará el espaldar se utilizó la ecuación 1.12. El material seleccionado fue una aleación de aluminio, 6063 T5 ( $\sigma_y = 158.86 \text{ MPa}$ ).

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{158.86}{F.S.}$$

Para un tubo circular de 25.4 mm de diámetro y 3 mm de espesor el módulo seccional calculado fue el siguiente:

$$S = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi((25.4)^4 - (25.4 - 3)^4)}{32(25.4)} = 635.7 \text{ mm}^3$$

Reemplazando el momento máximo y el esfuerzo permisible en la ecuación 1.13 se obtuvo el factor de seguridad del espaldar.

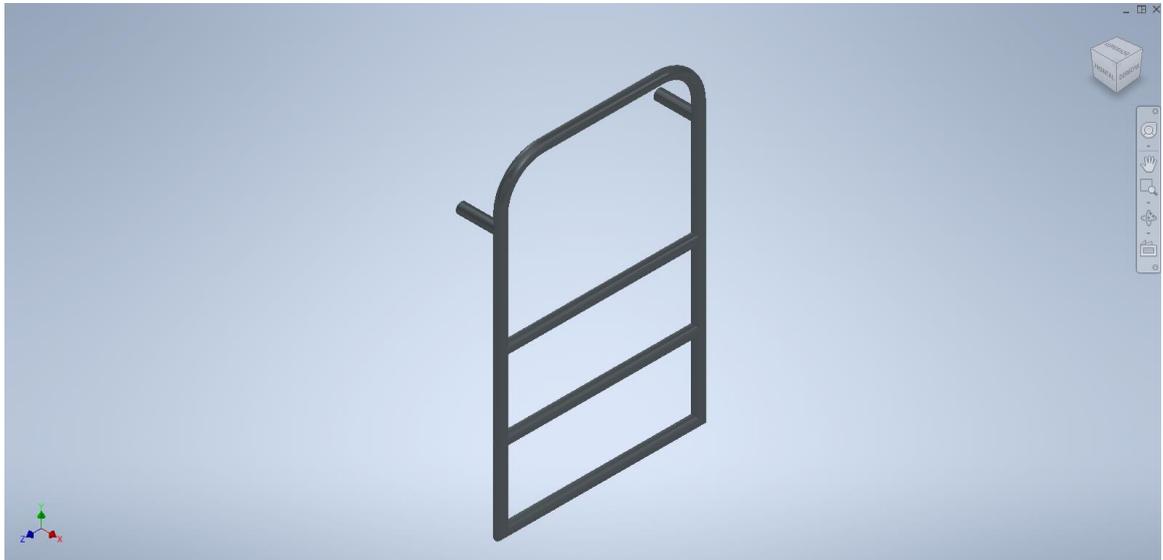
$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{S} \rightarrow F.S. = \frac{\sigma_y S}{|M_{m\acute{a}x}|} = \frac{(158.86)(635.7)}{47.04 \times 10^3} = 2.15$$

Un factor de seguridad de 2.15 indica que el espaldar ha sido diseñado con un margen de seguridad dentro del rango estándar utilizado para estos dispositivos, lo cual es positivo para garantizar la durabilidad y seguridad del usuario.

El dibujo 3D del espaldar de la silla de ruedas fue desarrollado utilizando Autodesk Inventor, permitiendo una representación detallada y precisa del componente. El dibujo fue utilizado para generar vistas en 2D, cortes seccionales y anotaciones técnicas que fueron esenciales para la fabricación.

Figura 3.11

Dibujo de la estructura del espaldar

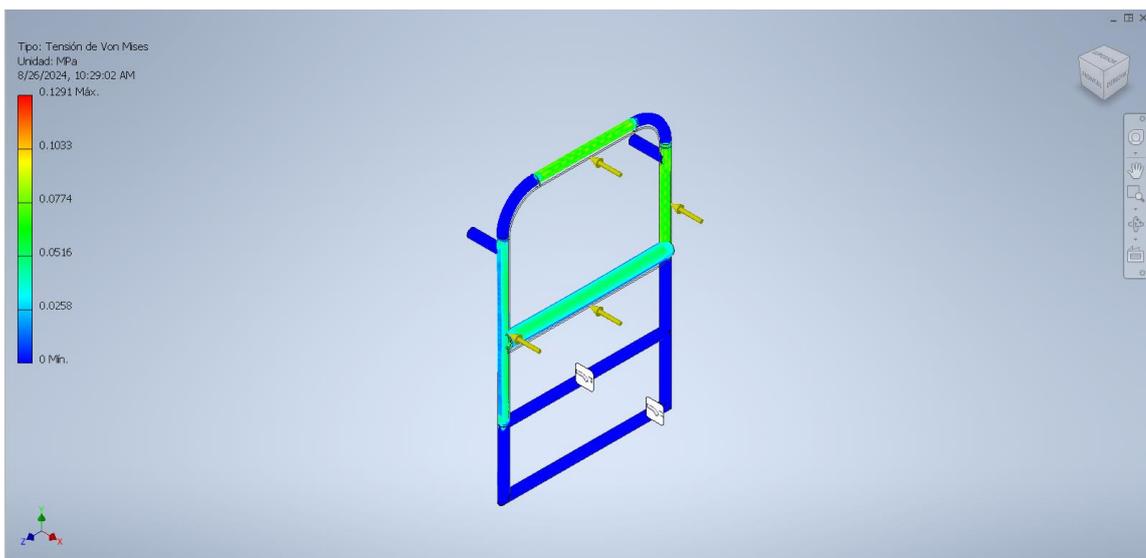


Nota. Estructura del espaldar dibujada con Autodesk Inventor.

Para confirmar que el espaldar no fallará durante su uso, se realizó un análisis por elementos finitos, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 3.12

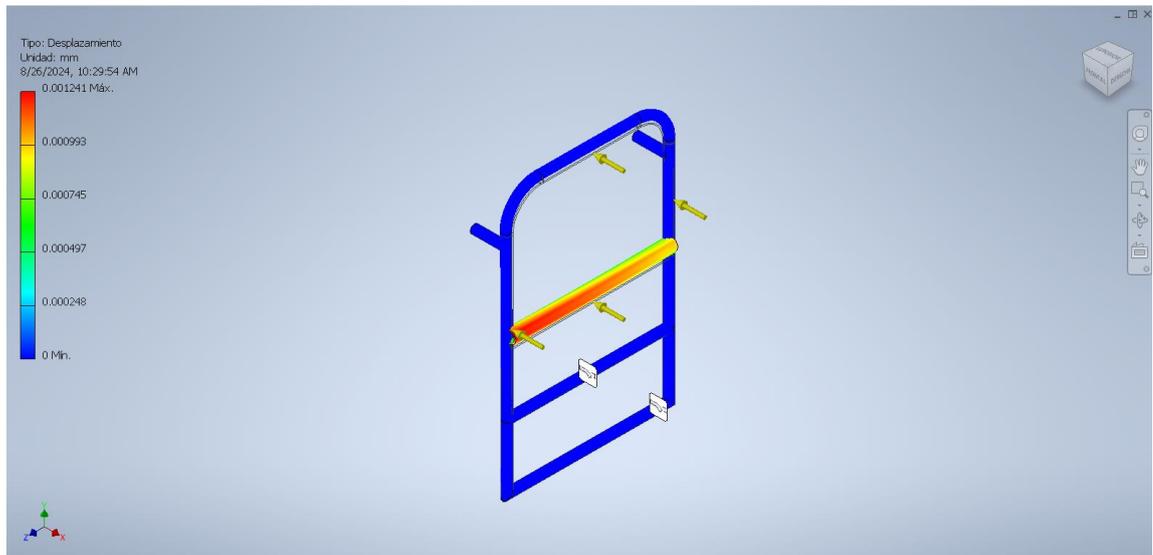
Análisis de elementos finitos: tensión de Von Mises



Nota. En la barra de colores se observó que el esfuerzo máximo fue de 0.13 MPa.

Figura 3.13

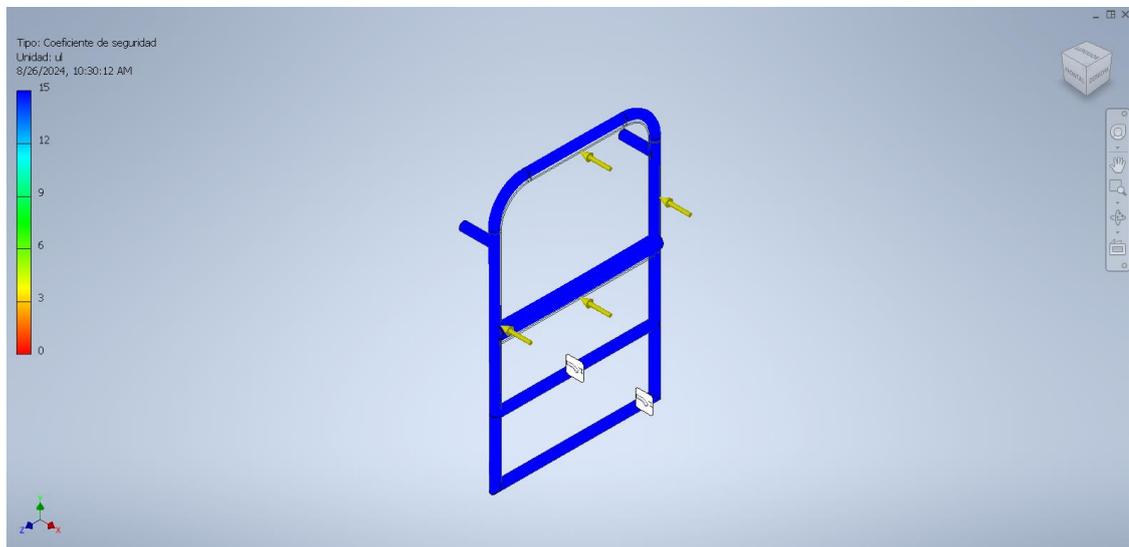
### Análisis de elementos finitos: desplazamiento



Nota. En la barra de colores se observó que el desplazamiento máximo fue de 0.001 mm.

Figura 3.14

### Análisis de elementos finitos: coeficientes de seguridad



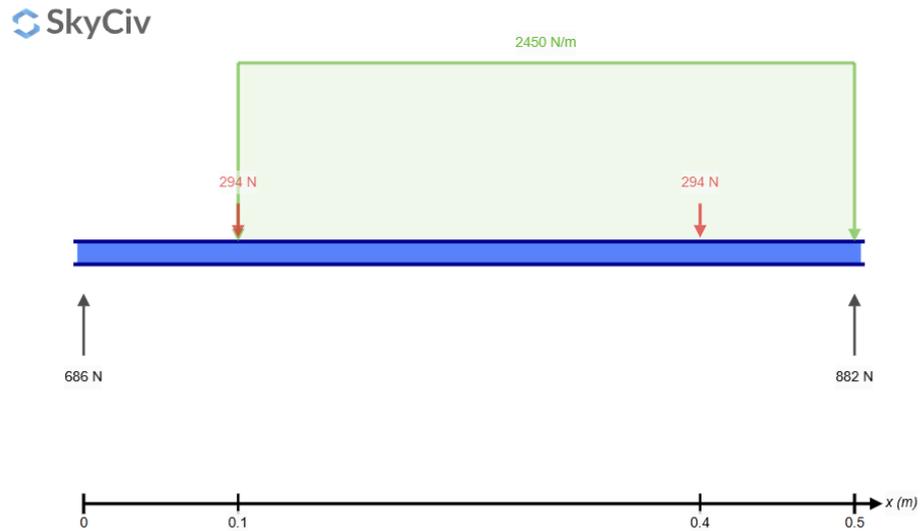
Nota. En la barra de colores se observó que el coeficiente mínimo fue más de 15.

### 3.3 Asiento/Chasis

A continuación, se observa el diagrama de momento flector y fuerza cortante del asiento, con capacidad de resistir una carga distribuida de 2450 N/m (100% de la carga máxima).

Figura 3.15

Diagrama de cuerpo libre del asiento

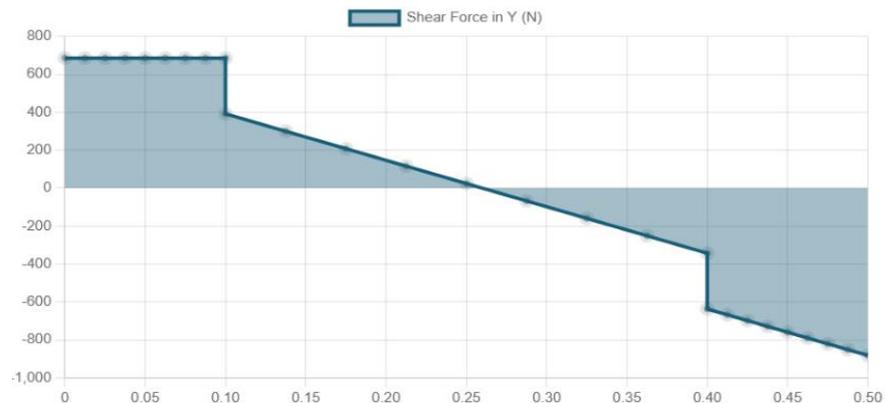


Nota. Diagrama realizado con SkyCiv, en donde se observan las reacciones (flechas negras), las fuerzas de reacción del reposabrazos (flechas rojas) y la carga distribuida (flecha verde).

El uso de SkyCiv permitió identificar con precisión el punto en donde se encuentra aplicado el mayor momento flector y fuerza cortante, esto se lo determinó de los diagramas de momento flector y fuerza cortante.

Figura 3.16

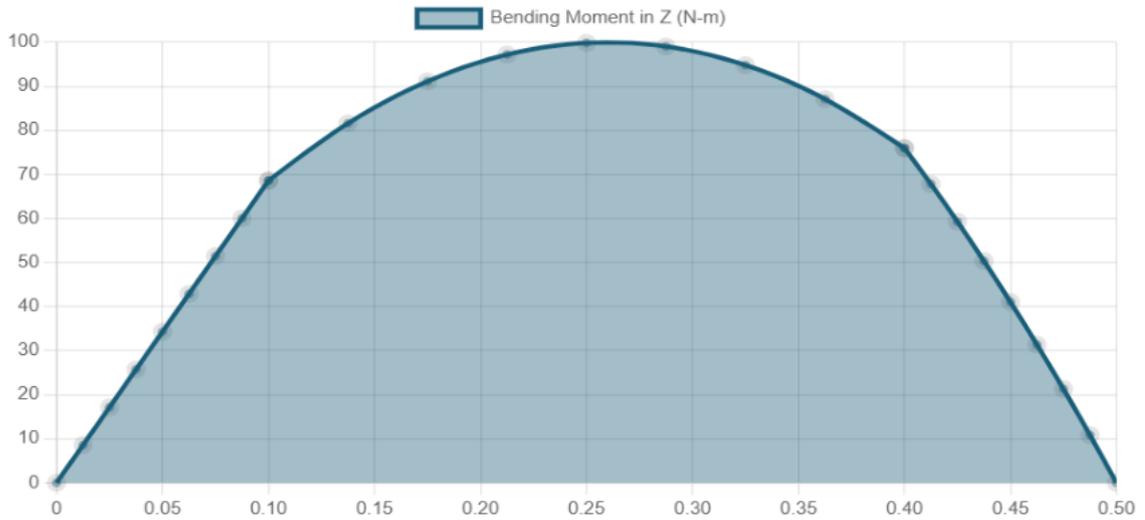
Diagrama de fuerzas cortantes del asiento



Nota. Diagrama de fuerzas cortantes según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

Figura 3.17

Diagrama de momentos del asiento



Nota. Diagrama de momento flector según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

El diagrama de fuerzas cortantes muestra una fuerza máxima positiva de 686 N y una fuerza negativa de -882 N.

El diagrama de momento flector muestra una variación parabólica entre los apoyos, con un momento máximo positivo de 99.84 N-m (99840 N-mm) en la zona media. Estos resultados indican que la sección central del asiento fue la más crítica en términos de flexión.

Para determinar el esfuerzo máximo que soportará el asiento se utilizó la ecuación 1.12. El material seleccionado fue una aleación de aluminio, 6063 T5 ( $\sigma_y = 158.86 \text{ MPa}$ ).

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{158.86}{F.S.}$$

Para un tubo circular de 33.7 mm de diámetro y 3.2 mm de espesor el módulo seccional calculado fue el siguiente:

$$S = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi((33.7)^4 - (33.7 - 3.2)^4)}{32(33.7)} = 1236.44 \text{ mm}^3$$

Reemplazando el momento máximo y el esfuerzo permisible en la ecuación 1.13 se obtuvo el factor de seguridad del asiento.

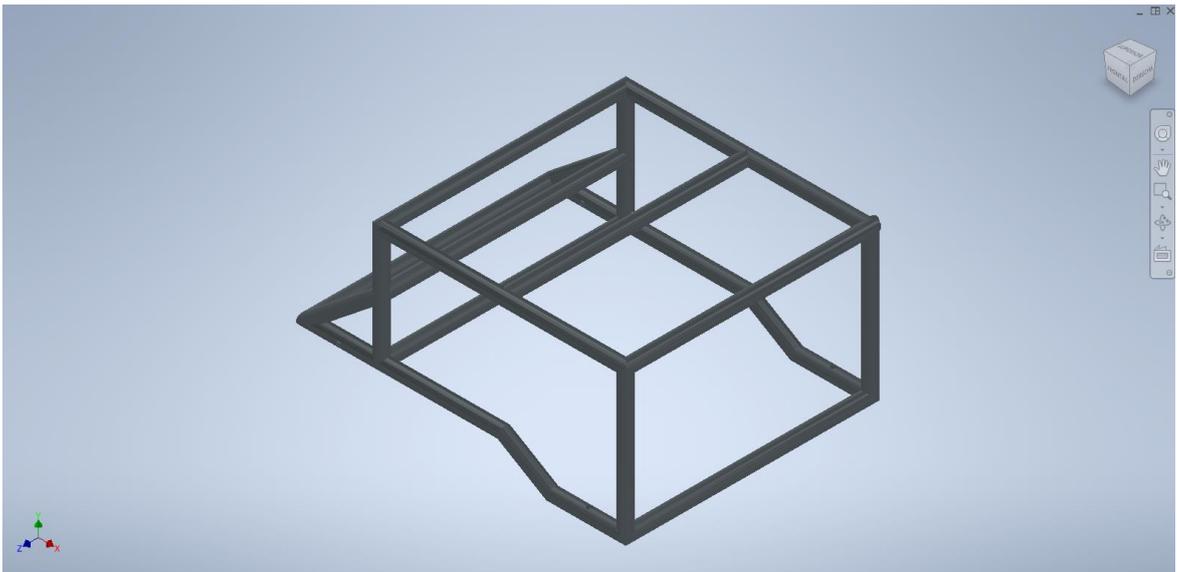
$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{S} \rightarrow F.S. = \frac{\sigma_y S}{|M_{m\acute{a}x}|} = \frac{(158.86)(1236.44)}{99.84 \times 10^3} = 1.97$$

Un factor de seguridad de 1.97 indica que el asiento ha sido dise\u00f1ado con un margen de seguridad considerable.

El dibujo 3D del asiento de la silla de ruedas fue desarrollado utilizando Autodesk Inventor, permitiendo una representaci\u00f3n detallada y precisa del componente. El dibujo fue utilizado para generar vistas en 2D, cortes seccionales y anotaciones t\u00e9cnicas que fueron esenciales para la fabricaci\u00f3n.

Figura 3.18

Dibujo de la estructura del asiento

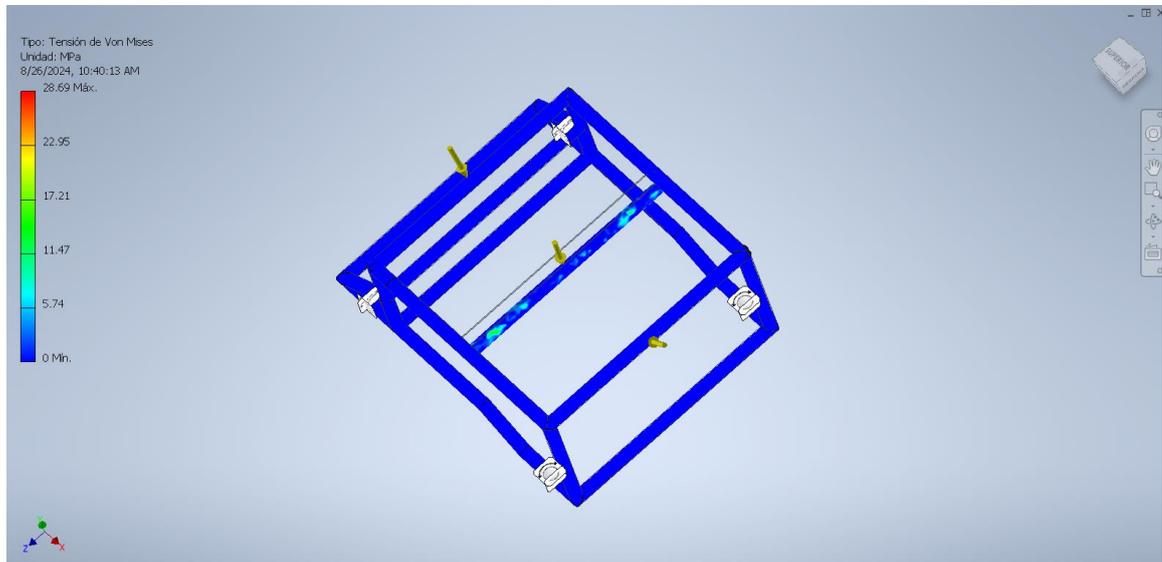


Nota. Estructura del asiento dibujada con Autodesk Inventor.

Para confirmar que el asiento no fallar\u00e1 durante su uso, se realiz\u00f3 un an\u00e1lisis por elementos finitos, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 3.19

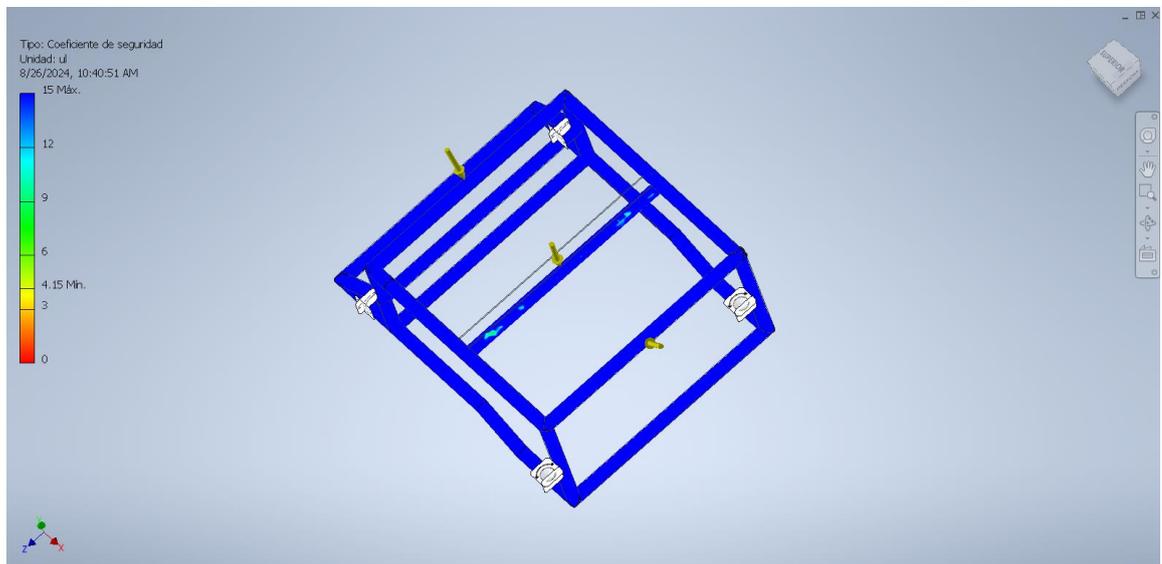
Análisis de elementos finitos: tensión de Von Mises



Nota. En la barra de colores se observó que el esfuerzo máximo fue de 26.89 MPa.

Figura 3.20

Análisis de elementos finitos: coeficientes de seguridad



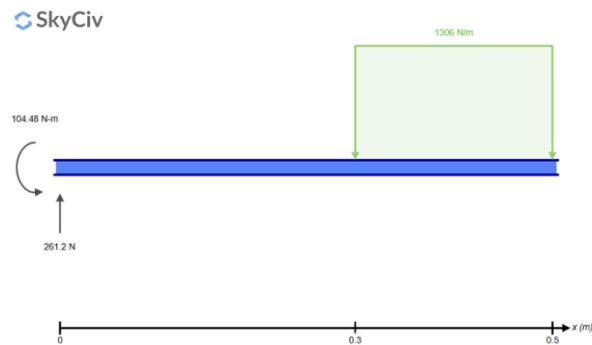
Nota. En la barra de colores se observó que el coeficiente mínimo fue de 4.15.

### 3.4 Reposapiés

A continuación, se observa el diagrama de momento flector y fuerza cortante del reposapiés, con capacidad de resistir una carga distribuida de 2450 N/m (100% de la carga máxima).

Figura 3.21

Diagrama de cuerpo libre del reposapiés

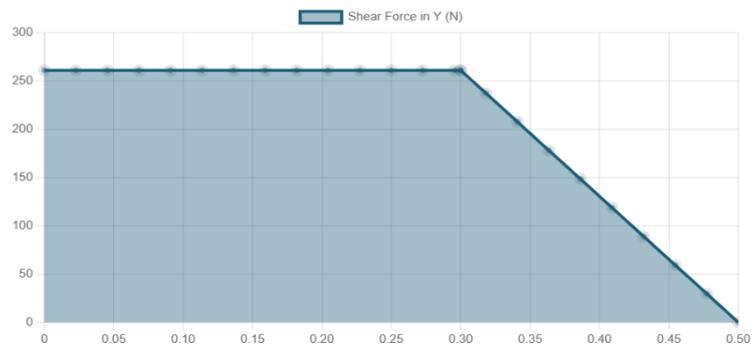


Nota. Diagrama realizado con SkyCiv, en donde se observan las reacciones (flechas negras) y la carga distribuida (flecha verde).

El uso de SkyCiv permitió identificar con precisión el punto en donde se encuentra aplicado el mayor momento flector y fuerza cortante, esto se lo determinó de los diagramas de momento flector y fuerza cortante.

Figura 3.22

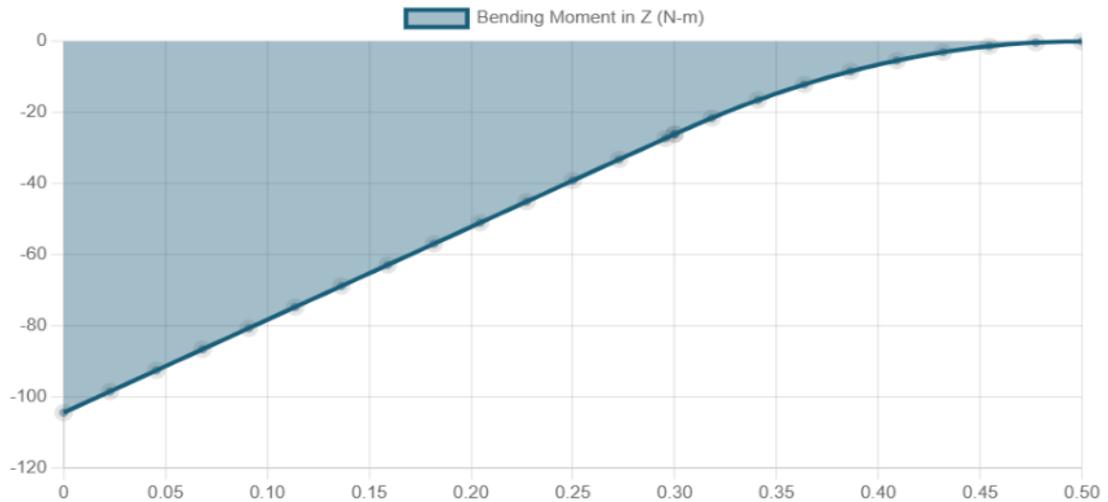
Diagrama de fuerzas cortantes del reposapiés



Nota. Diagrama de fuerzas cortantes según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

Figura 3.23

Diagrama de momentos del reposapiés



Nota. Diagrama de momento flector según el diagrama de cuerpo libre planteado en SkyCiv.

El diagrama de fuerzas cortantes muestra una fuerza máxima positiva de 261.2 N desde el inicio al tramo donde empieza la carga distribuida.

El diagrama de momento flector muestra un momento máximo negativo de -104.48 N-m (104480 N-mm) en la junta del reposapiés con el chasis. Estos resultados indican que la junta del reposapiés fue la más crítica en términos de flexión.

Para determinar el esfuerzo máximo que soportará el reposapiés se utilizó la ecuación 1.12. El material seleccionado fue una aleación de aluminio, 6063 T5 ( $\sigma_y = 158.86 \text{ MPa}$ ).

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{158.86}{F.S.}$$

Para un tubo circular de 33.7 mm de diámetro y 3.2 mm de espesor el módulo seccional calculado fue el siguiente:

$$S = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi((33.7)^4 - (33.7 - 3.2)^4)}{32(33.7)} = 1236.44 \text{ mm}^3$$

Reemplazando el momento máximo y el esfuerzo permisible en la ecuación 1.13 se obtuvo el factor de seguridad del reposapiés.

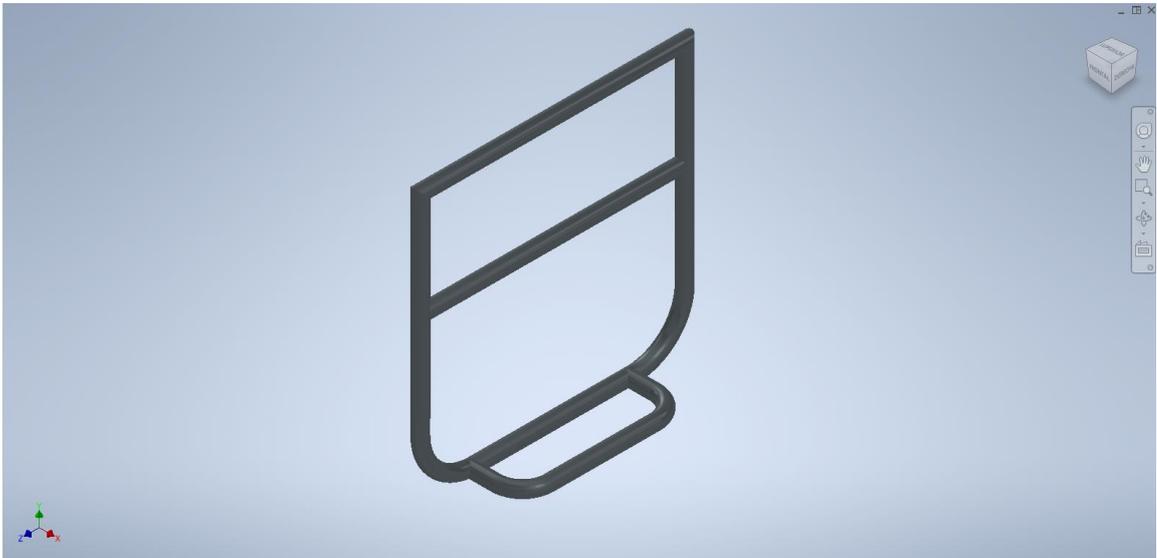
$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{S} \rightarrow F.S. = \frac{\sigma_y S}{|M_{m\acute{a}x}|} = \frac{(158.86)(1236.44)}{104.48 \times 10^3} = 1.88$$

Un factor de seguridad de 1.88 indica que el reposapiés ha sido diseñado con un margen de seguridad considerable.

El dibujo 3D del reposapiés de la silla de ruedas fue desarrollado utilizando Autodesk Inventor, permitiendo una representación detallada y precisa del componente. El dibujo fue utilizado para generar vistas en 2D, cortes seccionales y anotaciones técnicas que fueron esenciales para la fabricación.

Figura 3.24

Dibujo de la estructura del reposapiés

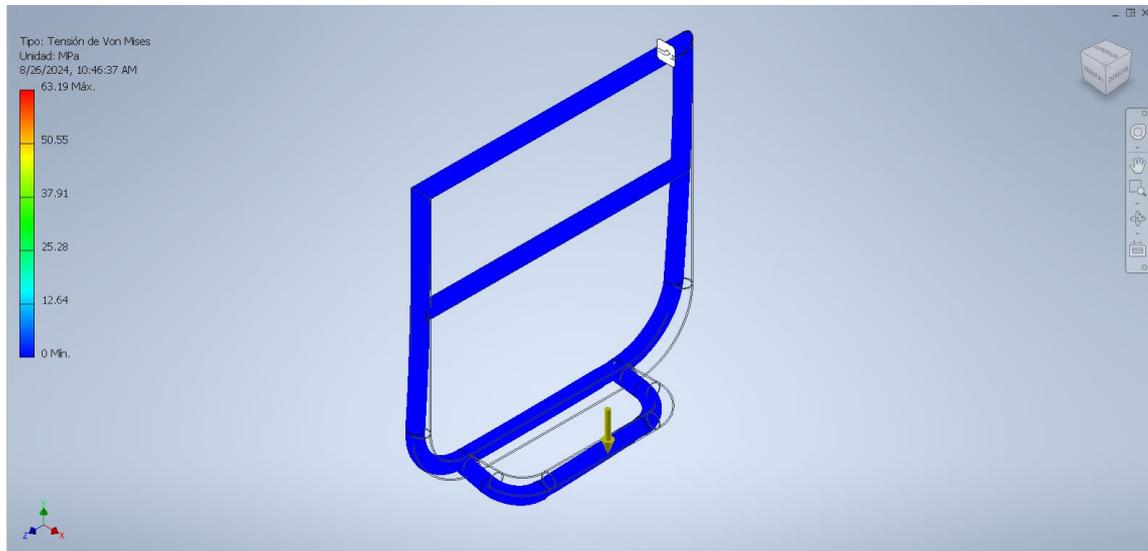


Nota. Estructura del reposapiés dibujada con Autodesk Inventor.

Para confirmar que el reposapiés no fallará durante su uso, se realizó un análisis por elementos finitos, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 3.25

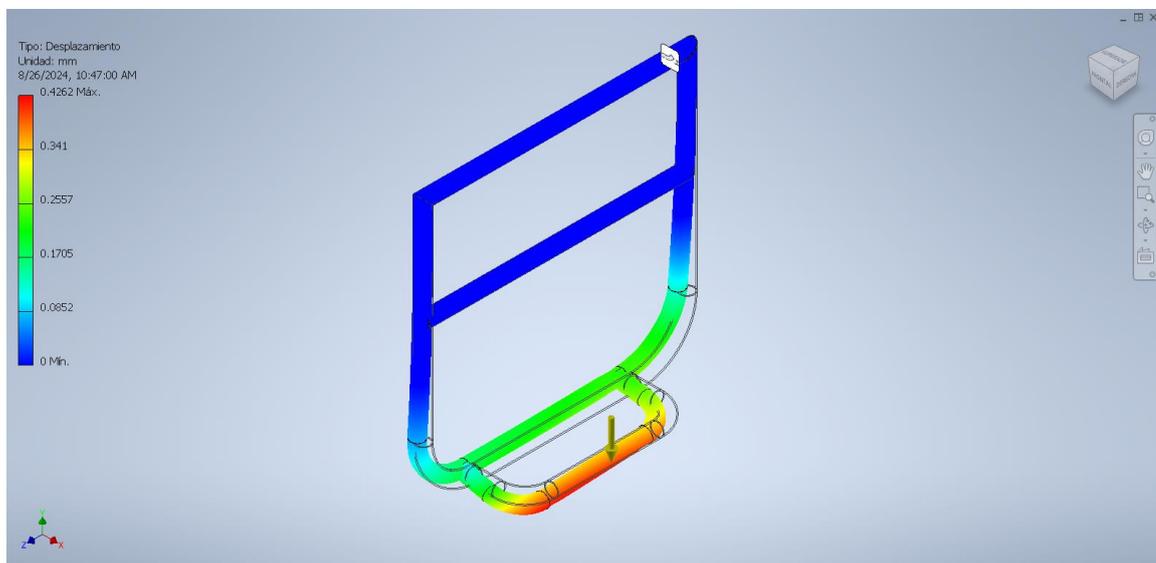
### Análisis de elementos finitos: tensión de Von Mises



Nota. En la barra de colores se observó que el esfuerzo máximo fue de 63.19 MPa.

Figura 3.26

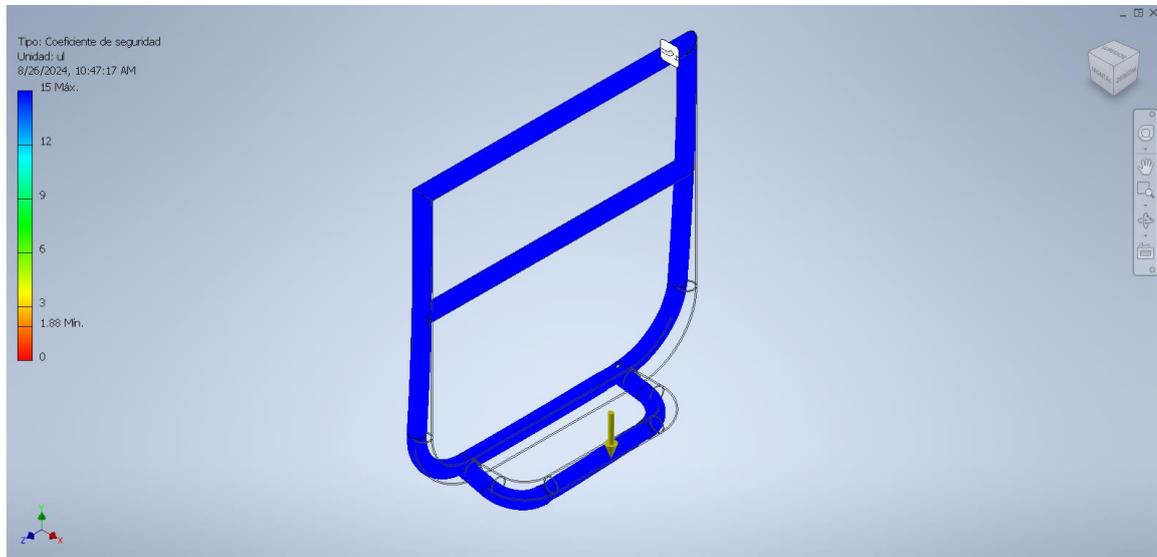
### Análisis de elementos finitos: desplazamiento



Nota. En la barra de colores se observó que el desplazamiento máximo fue de 0.42 mm.

Figura 3.27

### Análisis de elementos finitos: coeficientes de seguridad



Nota. En la barra de colores se observó que el coeficiente mínimo fue de 1.88.

### 3.5 Pernos y pasadores

El diámetro mínimo de los pernos que van a fijar las ruedas al chasis fue seleccionado de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

Con la ecuación 1.5 se encontró el esfuerzo máximo permisible del elemento de fijación.

Para determinar el factor de seguridad, se sustituyó en la ecuación 1.12.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S} = \frac{F}{A} \rightarrow F.S = \frac{\sigma_y A}{F} = \frac{(\sigma_y) \left( \frac{\pi}{4} d^2 \right)}{F} = \frac{(158.86) \left( \frac{\pi}{4} (10 \times 10^{-3})^2 \right)}{294} = 42.44$$

Utilizando un perno de 10 mm de diámetro se obtiene un coeficiente de seguridad de 42.44 lo que significa que está sobredimensionado, sin embargo, no se realizó ningún cambio ya que estos componentes no tienen un valor significante que afecten al presupuesto del proyecto.

### 3.6 Mecanismo de inclinación

Figura 3.28

Dibujo del mecanismo de inclinación

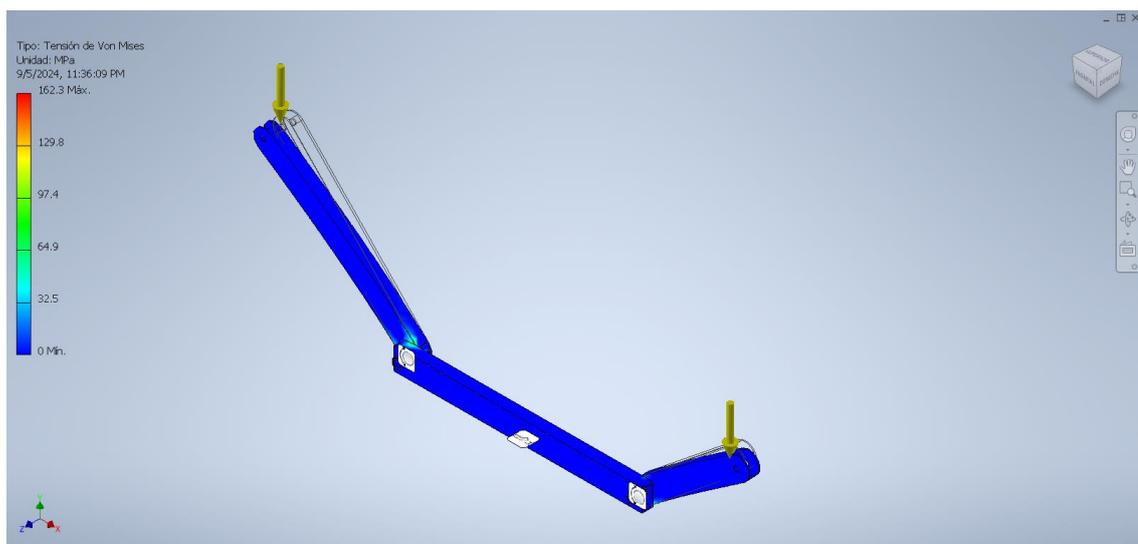


Nota. Mecanismo de inclinación dibujado con Autodesk Inventor.

Para confirmar que el mecanismo de inclinación no fallará durante su uso, se realizó un análisis por elementos finitos, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 3.29

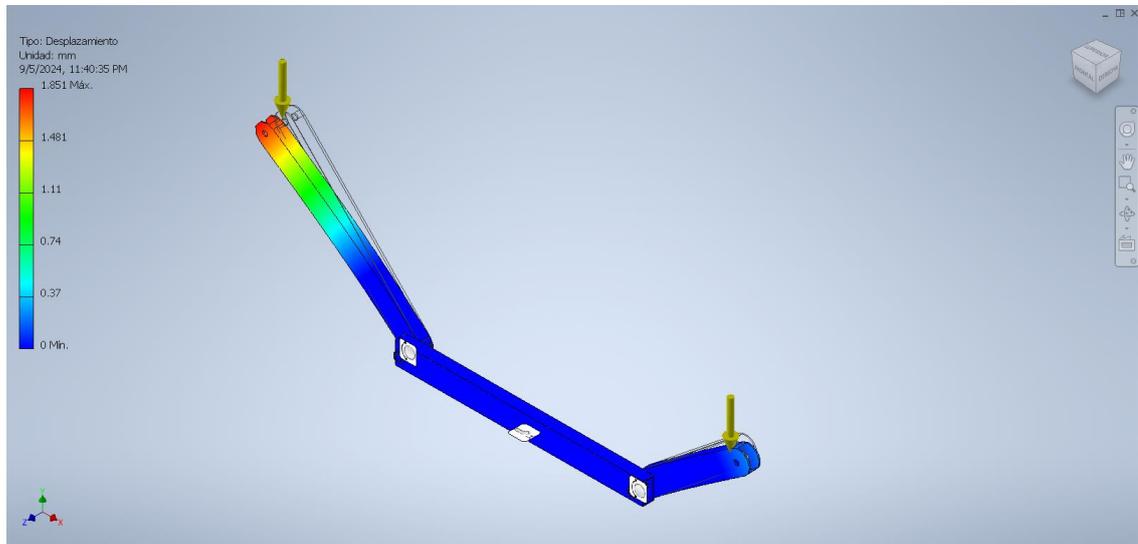
Análisis de elementos finitos: tensión de Von Mises



Nota. En la barra de colores se observó que el esfuerzo máximo fue de 162.3 MPa.

Figura 3.30

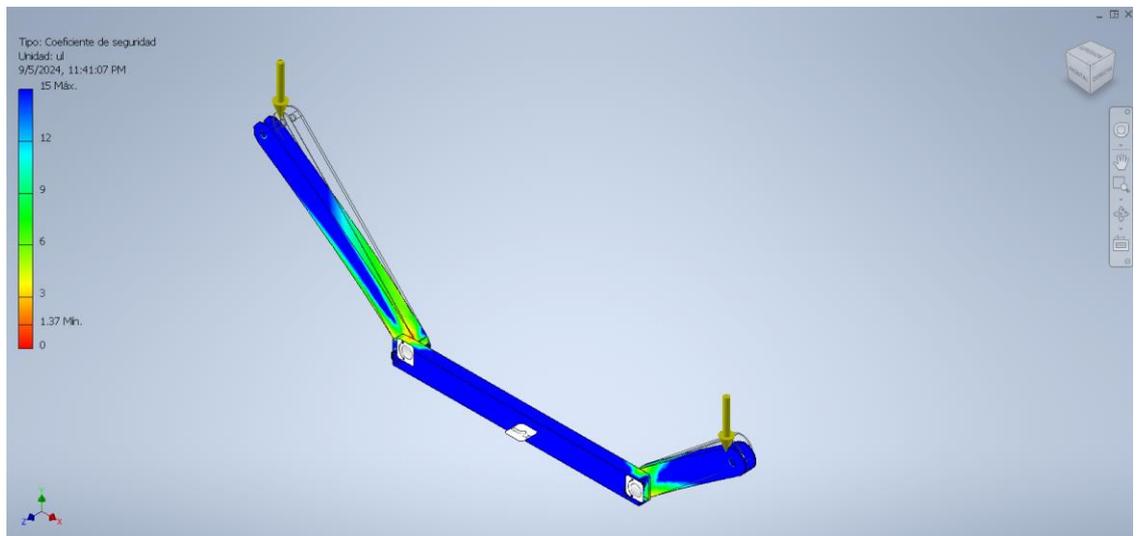
Análisis de elementos finitos: desplazamiento



Nota. En la barra de colores se observó que el desplazamiento máximo fue de 1.85 mm.

Figura 3.30

Análisis de elementos finitos: coeficientes de seguridad



Nota. En la barra de colores se observó que el coeficiente mínimo fue de 1.37.

### 3.7 Diseño final

Figura 3.32

Diseño final de la silla de ruedas tipo camilla (Posición vertical)

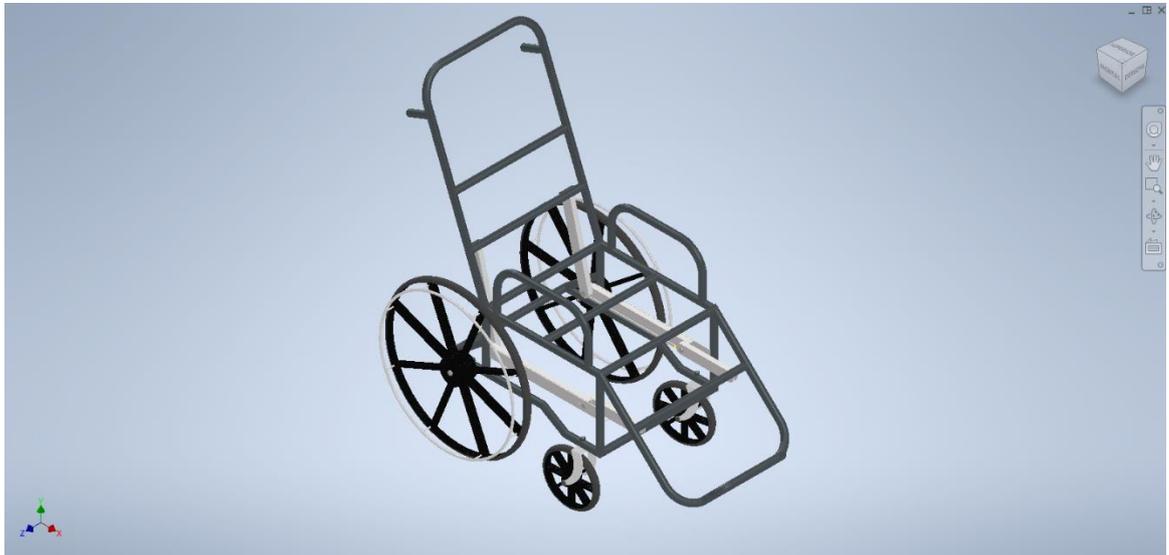


Figura 3.33

Diseño final de la silla de ruedas tipo camilla (Posición horizontal)

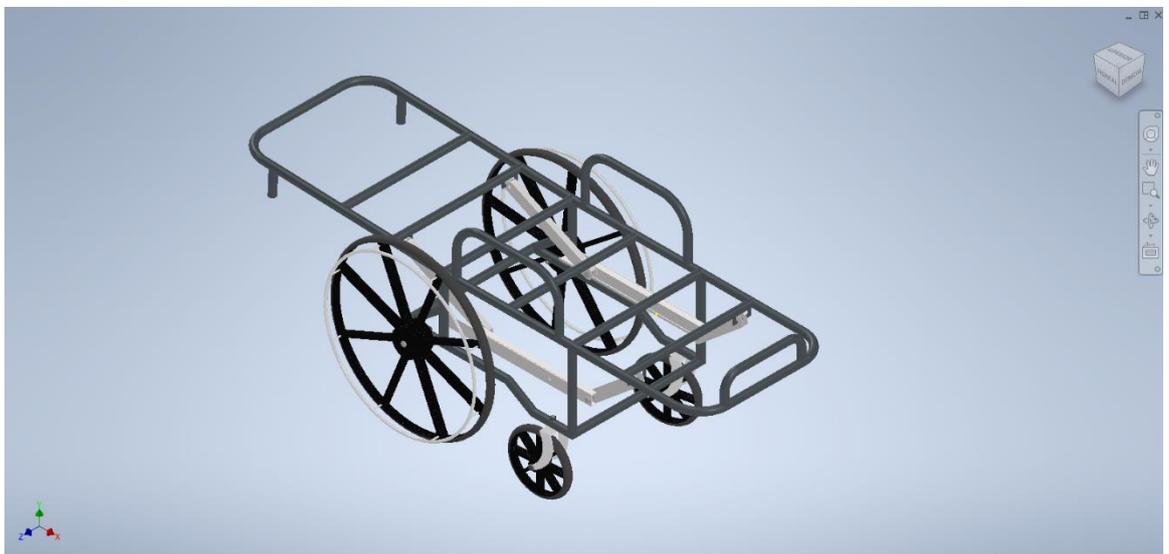
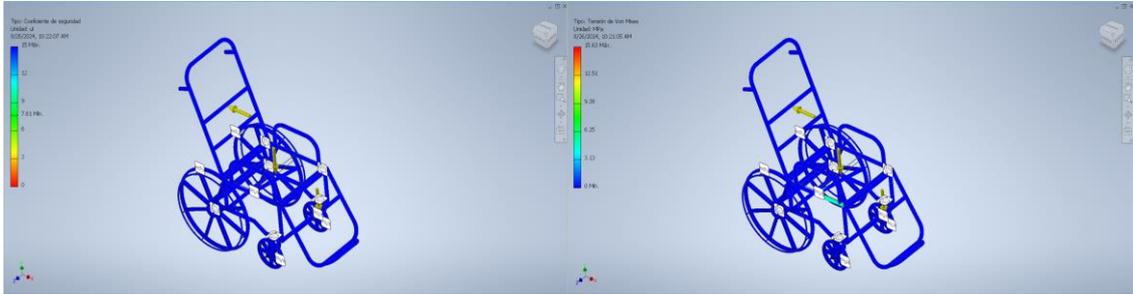


Figura 3.34

### Resultados de simulación



Se realizó una evaluación exhaustiva del diseño y simulación de una silla de ruedas usando análisis por elementos finitos (FEA). Se analizaron la resistencia, durabilidad y comportamiento bajo carga, así como el impacto en la seguridad, comodidad del usuario y la viabilidad a largo plazo del diseño.

Por lo cual el reposapiés de la silla de ruedas está diseñado para soportar cargas considerables durante el uso diario, incluyendo fuerzas verticales y posibles impactos laterales. El material seleccionado es crucial, ya que determina la capacidad del reposapiés para absorber y distribuir estas cargas. El análisis realizado utilizó un material con una resistencia a la tracción adecuada para las condiciones de operación previstas (Aluminio 6063 T5). El comportamiento del material bajo cargas estáticas fue simulado, mostrando que el reposapiés puede manejar un esfuerzo máximo de 63.19 MPa sin superar el límite elástico. El resultado es positivo, pero es importante considerar cómo el material se comportaría bajo condiciones de carga cíclica y fatiga, lo que no se abordaba del todo en el análisis inicial. De la misma manera, el análisis de elementos finitos reveló que las concentraciones de esfuerzo se localizan principalmente en las zonas cercanas a los puntos de anclaje y en las uniones entre componentes. Por consiguiente, estas áreas son propensas a fallas si el diseño no es optimizado adecuadamente. La máxima tensión de Von Mises, aunque esté dentro de los límites permitidos, debe ser monitoreada especialmente en estas zonas críticas para asegurar que no se desarrollen grietas o deformaciones permanentes con el

tiempo. Por ello, es crucial que el diseño minimice las concentraciones de esfuerzo para prevenir fallas por fatiga. El análisis sugiere que la distribución actual es aceptable, pero podría beneficiarse de una optimización adicional para reducir aún más las tensiones en áreas críticas.

El espaldar, simulado con aleación de aluminio 6063 T5, fue diseñado para proporcionar un soporte adecuado al usuario mientras mantiene un peso ligero. Este material fue elegido por su excelente relación resistencia-peso, lo que es vital para un dispositivo que debe ser manejable y cómodo.

El aluminio 6063 T5 ofrece una buena resistencia a la corrosión y una alta resistencia a la tracción, lo que lo convierte en una elección adecuada para aplicaciones que requieren durabilidad en entornos diversos. Sin embargo, la selección de este material debe ser acompañada por un análisis cuidadoso de la resistencia a la fatiga, ya que las cargas cíclicas pueden eventualmente causar grietas y fallas en el material.

El cálculo del módulo seccional es un parámetro clave que influye en la resistencia del espaldar ante momentos flectores. Un módulo seccional adecuado asegura que el espaldar puede resistir las fuerzas aplicadas sin experimentar deformaciones significativas.

La distribución de tensiones en el espaldar fue analizada para identificar áreas potencialmente críticas. El factor de seguridad teórico de 2.15, aunque indica que el diseño es seguro bajo condiciones normales de operación, sugiere que el espaldar está más cerca de los límites de diseño en comparación con otros componentes de la silla de ruedas.

Un factor de seguridad más bajo puede ser aceptable en ciertos contextos, pero también indica la necesidad de una vigilancia continua y posible optimización del diseño para mejorar la durabilidad del espaldar a lo largo del tiempo.

Dado que el espaldar estará sometido a cargas repetitivas a lo largo de su vida útil, es esencial realizar pruebas adicionales para evaluar la resistencia a la fatiga. El diseño actual podría

beneficiarse de un análisis de vida útil que estime cuánto tiempo el espaldar puede operar de manera segura antes de que se presenten signos de falla.

La simulación del ensamblaje completo bajo cargas estáticas y dinámicas es un paso crucial para asegurar que la silla de ruedas puede manejar las condiciones reales de operación. Estas simulaciones fueron realizadas considerando diferentes escenarios de carga, incluyendo fuerzas de torsión, que podrían ocurrir durante el uso diario.

La precisión de los resultados de la simulación depende en gran medida de la calidad de los modelos y las condiciones de frontera utilizadas. Es fundamental que las simulaciones incluyan una amplia gama de escenarios posibles para asegurar que el diseño es robusto frente a diversas condiciones de uso.

Este análisis mostró que la distribución de esfuerzos en el ensamblaje es relativamente uniforme, lo cual es indicativo de un diseño bien balanceado. No obstante, es importante continuar optimizando la estructura para minimizar cualquier concentración de tensiones que pudiera llevar a fallas localizadas.

La optimización topológica y el análisis paramétrico podrían ser utilizados para identificar posibles mejoras en la distribución de materiales y la geometría del diseño. Esto no solo mejoraría la resistencia estructural, sino que también podría reducir el peso total del ensamblaje, lo cual es beneficioso para la portabilidad de la silla de ruedas.

Aunque las simulaciones proporcionan una base sólida para el diseño, es esencial que los prototipos sean sometidos a pruebas físicas exhaustivas. Estas pruebas deben incluir evaluaciones de carga máxima, resistencia al impacto, y pruebas de fatiga para validar los resultados de las simulaciones.

Se recomienda desarrollar un plan de pruebas que abarque todas las áreas críticas identificadas en el análisis. Esto incluye pruebas de ciclo de carga para evaluar la fatiga, así como pruebas de impacto para asegurar que la silla de ruedas puede resistir condiciones extremas.

### 3.8 Prototipo

Para la construcción del prototipo del dispositivo se realizó una inversión de \$97.5. Cabe recalcar que el material utilizado para el prototipo no es el ideal para este tipo de dispositivos ya que es muy denso y por ende muy pesado.

Tabla 3.1

Desglose de costos del prototipo

Rubro	Cantidad	Precio	Total
Tubo estructural redondo de 6 m ASTM A36 1" x 2 mm	3	\$ 9.00	\$ 27.00
Tubo estructural rectangular de 6 m ASTM A36 1" x 2 mm	1	\$ 14.00	\$ 14.00
Rueda loca frontal	2	\$ 9.00	\$ 18.00
Esjonja Lamitex negra 2 x 1 mt x 60 cm	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Expand 2000 Bufalo negro mate	3	\$ 3.50	\$ 10.50
Mano de obra por costura	1	\$ 13.00	\$ 13.00
<b>Total</b>			<b>\$ 97.50</b>

Las ruedas grandes de accionamiento manual fueron reutilizadas, motivo por el cual no constan en el desglose de costos.

Figura 3.315

Componentes del dispositivo contruidos



Nota. Chasis, espaldar y reposapiés del dispositivo.

Figura 3.36

Prototipo del dispositivo de ayuda técnica.



### 3.9 Análisis de costos

Se realizó un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica de la producción de la silla de ruedas convertible en camilla, considerando tanto los costos directos de materiales y mano de obra relacionados con la fabricación. Este estudio permitió identificar los principales componentes que impactaron el costo total y calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto.

Tabla 3.2

#### Costo de materiales

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Tubo estructural redondo de 6 m aluminio 6063 1" x 2 mm	4	\$12.61	\$50.44
Tubo estructural rectangular de 6 m aluminio 6063 1 1/2" x 3/4"	1	\$14.33	\$14.33
Rueda posterior	2	\$20.00	\$40.00
Rueda loca frontal	2	\$5.00	\$10.00
Esponja Lamitex negra 2 x 1 mt x 60 cm	1	\$15.00	\$15.00
Expand 2000 Bufalo negro mate	3	\$3.50	\$10.50
<b>Total</b>			<b>\$140.27</b>

Tabla 3.3

#### Costo de mano de obra

Mano de obra	Salario mensual	Por dispositivo (8h)
Metalmecánico	\$600.00	\$6.67
Pintor	\$460.00	\$5.11
Costurero	\$460.00	\$5.11
<b>Total</b>		<b>\$16.89</b>

El costo total de producción por dispositivo fue de \$157.16 por lo tanto para que la silla de ruedas compita en el mercado ecuatoriano (\$189 – \$235) se estableció un precio de venta de \$200.

Tabla 3.4

Flujo de caja proyectado (5 años)

Año	Inversión Inicial (USD)	Ingresos por Venta (USD)	Costos de Producción (USD)	Flujo de Caja Neto (USD)	Unidades vendidas
0	\$10,000.00	-	-	-\$10,000.00	-
1	-	\$12,600.00	\$9,901.08	\$2,698.92	63
2	-	\$16,000.00	\$12,572.71	\$3,427.29	80
3	-	\$20,200.00	\$15,873.16	\$4,326.84	101
4	-	\$25,600.00	\$20,116.48	\$5,483.52	128
5	-	\$32,400.00	\$25,459.92	\$6,940.08	162
<b>TIR</b>				29%	

Un TIR del 29% indica que el proyecto generará un rendimiento significativamente superior a muchas oportunidades de inversión, especialmente si lo comparamos con la tasa de retorno promedio en sectores industriales o en comparación con la tasa de interés de mercado. En general, una TIR que supere el 10-15% es considerada atractiva para inversionistas, por lo que este valor resalta el potencial económico del proyecto.

## Capítulo 4

## **4. Conclusiones y recomendaciones**

### ***4.1 Conclusiones***

- Se construyó una silla de ruedas convertible en camilla utilizando un mecanismo de reclinación similar al de los sillones y que reduce el esfuerzo tanto del paciente como del personal médico brindando atención.
- El dispositivo diseñado en este trabajo, utilizando herramientas computacionales como Autodesk Inventor y SkyCiv, ha demostrado cumplir con su funcionalidad para la que fue diseñado utilizando materiales de bajo costo que son accesibles para el mercado ecuatoriano.
- El dispositivo quedó disponible para recibir futuras mejoras y adiciones como un control o un motor eléctricos que brinde mayor autonomía al usuario.
- Se propuso la lista de materiales a utilizar para la fabricación del prototipo, permitiendo así la construcción de un prototipo que nos permitió comprobar la efectividad de los cálculos realizados y que nos permitió manipular un ejemplo palpable.
- Se elaboraron los respectivos planos para la construcción del prototipo, quedando así preparado para futuras mejoras y adiciones.

### ***4.2 Recomendaciones***

Es recomendable llevar a cabo una revisión exhaustiva del diseño para minimizar las concentraciones de tensiones en áreas críticas, como los puntos de anclaje y las uniones entre componentes. La utilización de herramientas de optimización topológica y análisis paramétrico podría ayudar a identificar y aplicar mejoras en la geometría y en la distribución de materiales, lo que reduciría el riesgo de fallas estructurales y aumentaría la durabilidad del ensamblaje completo.

Se recomienda complementar las simulaciones con pruebas físicas exhaustivas, especialmente enfocadas en la resistencia a la fatiga y la vida útil bajo cargas cíclicas. Realizar pruebas de ciclo de carga en prototipos reales permitirá validar los resultados de las simulaciones

y asegurar que los componentes, como el reposapiés y el espaldar, puedan soportar el uso prolongado sin comprometer su integridad estructural.

Considerar la adopción de materiales avanzados, como aleaciones de alta resistencia o materiales compuestos, podría mejorar la relación resistencia-peso y la durabilidad de la silla de ruedas. También es recomendable explorar nuevas técnicas de fabricación que puedan ofrecer mayor precisión y calidad en la producción de los componentes, reduciendo defectos y variaciones que podrían afectar el desempeño del producto final.

Se recomienda realizar estudios de usabilidad y recopilar retroalimentación directa de los usuarios potenciales de la silla de ruedas. Esta información es valiosa para identificar posibles problemas ergonómicos o funcionales que no se detectan en la fase de diseño inicial. Incorporar las mejoras sugeridas por los usuarios en futuras iteraciones del diseño puede aumentar significativamente la comodidad, la satisfacción y la aceptación del producto en el mercado.

## Referencias

Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (5a. ed.).

Budynas, R. G. (2008). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*.

Mejía, M., & Rodrigo, Á. (2008). *Diseño y construcción de sillas de ruedas de bajo costo*.

Escuela Politécnica Nacional.

Mott, R. L. (1996). *Resistencia de materiales aplicada*.

Beer, F. P., Johnston, E. R., Saldarriaga, J. G., & DeWolf, J. T. C. (1993). *Mecánica de materiales*.

Norton, R. L. (2020). *Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*.

Ortoprono. (2022). Tipos de sillas de ruedas. *Ortoprono*. <https://ortoprono.es/blog/movilidad-y-transporte/tipos-de-sillas-de-rueda/>

Autodesk. (s. f.) *Análisis de elementos finitos*. Autodesk.

<https://www.autodesk.com/mx/solutions/finite-element-analysis#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20elementos%20finitos,efectos%20f%C3%ADsicos%20del%20mundo%20real>.

Gámez-Calvo, L., Hernández-Beltrán, V., Díaz-Valdés, J., & Gamonales, J. M. (2021).

Evaluación del rendimiento deportivo en rugby en silla de ruedas. Revisión sistemática exploratoria. *Anatomía Digital*, 4(4), 49-68.

<https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v4i4.1890>

Welding techniques. (2019). Ahmad Hussain Abloushi Journal Of Engineering Research And Application, 9, www.ijera.com. <https://doi.org/10.9790/9622>

Ministerio de Salud Pública. (2024). *Entrega de ayudas técnicas para personas con discapacidad*. <https://www.gob.ec/msp/tramites/entrega-ayudas-tecnicas-personas-discapacidad>

Ministerio de Salud Pública. (2024). *Emisión de certificado o recalificación de discapacidad en el establecimiento de salud*. <https://www.gob.ec/msp/tramites/emision-certificado-calificacion-recalificacion-discapacidad-establecimiento-salud>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (s.f). *Clasificación de Tipo de Discapacidad - Histórica*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion\\_de\\_tipo\\_de\\_discapacidad.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion_de_tipo_de_discapacidad.pdf)

## **Apéndice A**

**Encuestas realizadas con su respectivo Consentimiento Informado**

**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

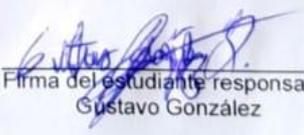
Yo, Nella Sanchez Villotta, de 73 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 16 de Abril del 2024

Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

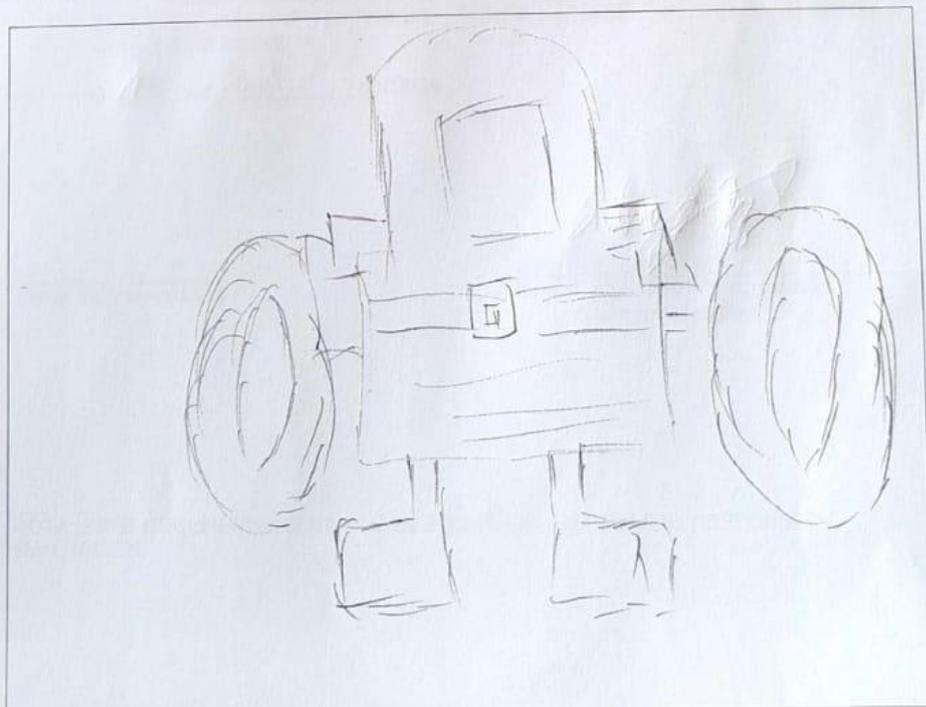
Nivel de dependencia: NA

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describa su necesidad:

La silla debería tener un respaldo reconfortable inclinable hacia atrás, las ruedas deberían tener el caucho pegable sin solarse, tener frenos más resistentes, un cinturón notan visible

Elabore un boceto de la necesidad:



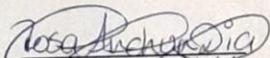
**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

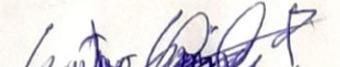
Yo, Rosa Anchundia, de 58 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 16 de Abril del 2024

  
Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

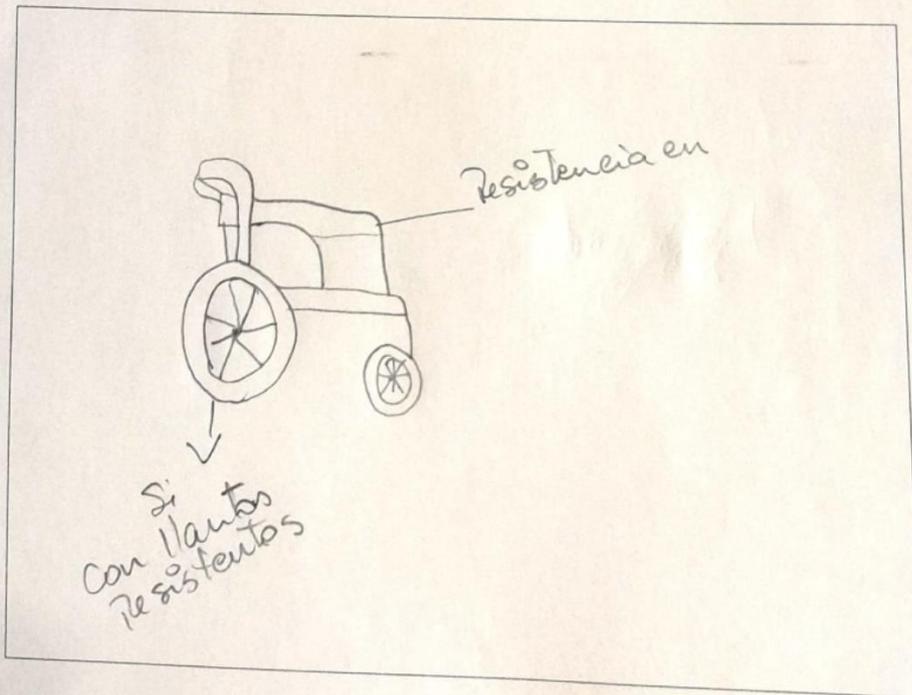
Nivel de dependencia: 30%

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

una silla que sea cómoda y de resistencia en las llantas para que al subir y bajar de las rampas no se sienta tanto el impacto al bajar que en los brazos tenga sujetadores para poder llevar ya sea algo de uso personal.

Elabore un boceto de la necesidad:



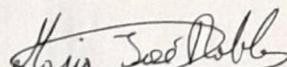
**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

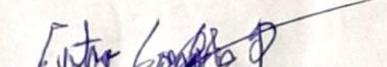
Yo, Maria José Robles Perullo, de 33 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 17 de Abril del 2024

  
Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación: *Profesional de la Salud.*

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

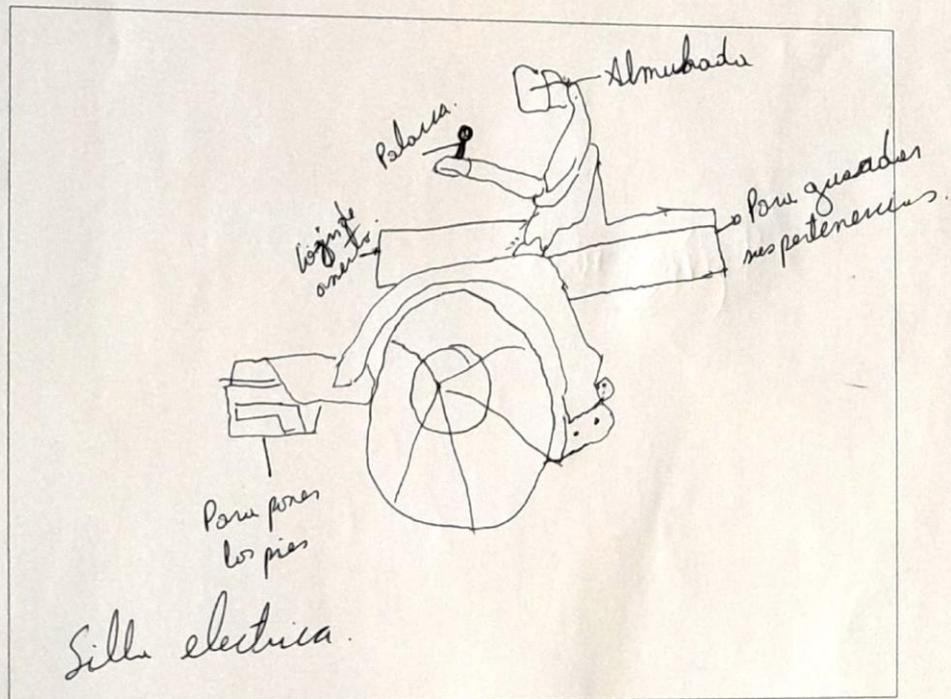
Nivel de dependencia: *N/A*

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

La silla de rueda debe ser eléctrica que la parte de la espalda debe tener una rueda en la parte de atrás para que el paciente o la persona pueda acortarse y fácil de guardarlo. También debe tener descansos pies abatibles y desmontables. Y tiene que soportar 15 kg para que esto libere y poder doblarlo y guardarlo.  
También donde la persona ponga los brazos debe tener una palanca donde la persona pueda manejarlo y ser dependiente sin tener a una persona que lo empuje.  
También debería tener un sistema auto equilibrado para que tenga la silla pueda subir las escaleras.

Elabore un boceto de la necesidad:



**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

Yo, Samuel Gili, Marco, de 39 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 04 de Abril del 2024

Samuel Gili, Marco  
Firma del evaluado(a)

Gustavo González  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra   
Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

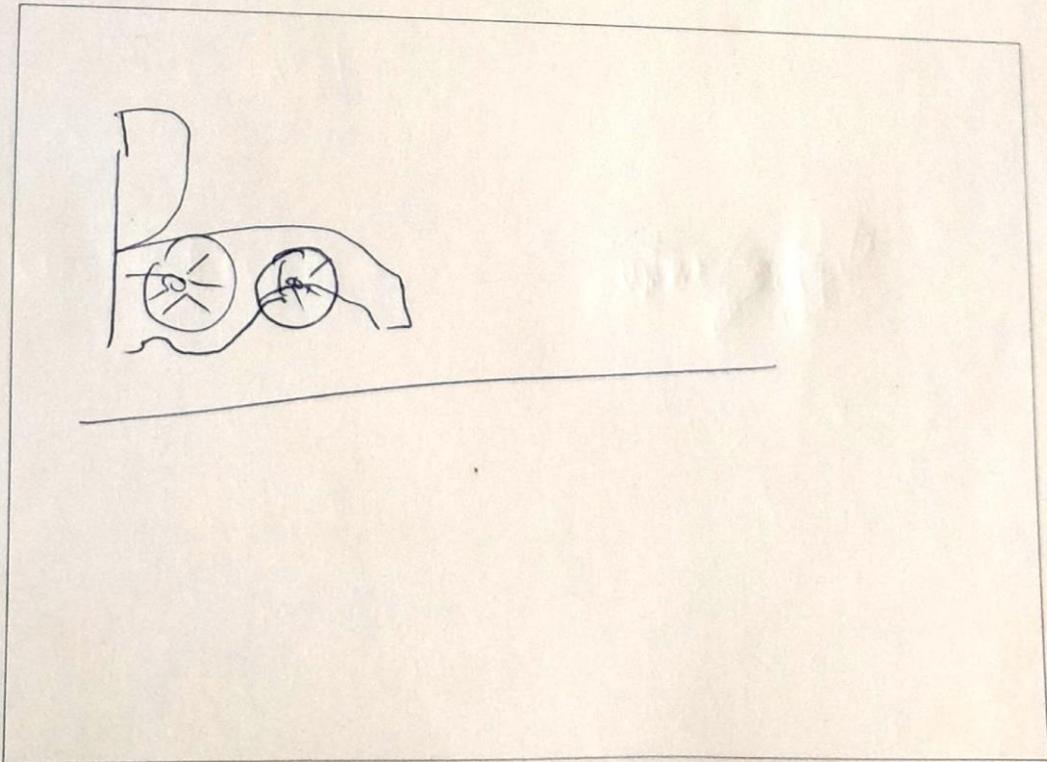
Nivel de dependencia: \_\_\_\_\_

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

Silla no puestas

Elabore un boceto de la necesidad:



**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de personas con discapacidad:  
Participante adulto**

Yo, Roberto Lucas Olmgj Plaza, de 50 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 11 de abril del 2024

Roberto Olmgj Plaza  
Firma del evaluado(a)

Gustavo González  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

Nivel de dependencia: 70%

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

Silla Eléctrica  
para mejor  
movilidad

Elabore un boceto de la necesidad:



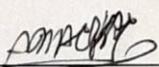
**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

Yo, ANTONIO H. MACKAY OLIVERA de 66 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 17 de Abril del 2024

  
Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

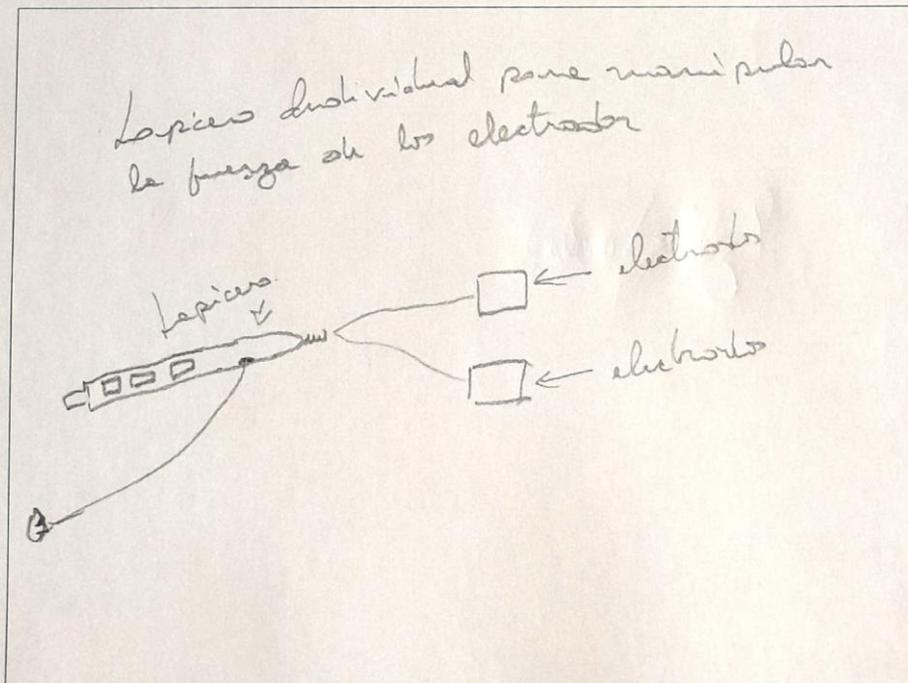
Nivel de dependencia: 60%

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

Terapia en extremidades inferiores.

Elabore un boceto de la necesidad:



**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

Yo, Cisette Macha Nabea, de 35 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 04 de Abril del 2024

Cisette Macha Nabea  
Firma del evaluado(a)

Gustavo González Puertas  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

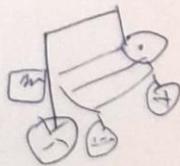
Nivel de dependencia: 36

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

movilidad, que tenga fácil acceso, y facilidad de llevar cosas personales y de comunicación

Elabore un boceto de la necesidad:



**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

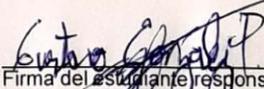
Yo, ALBERTO RIZZO SORRINIS, de 41 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 17 de abril del 2024

  
Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

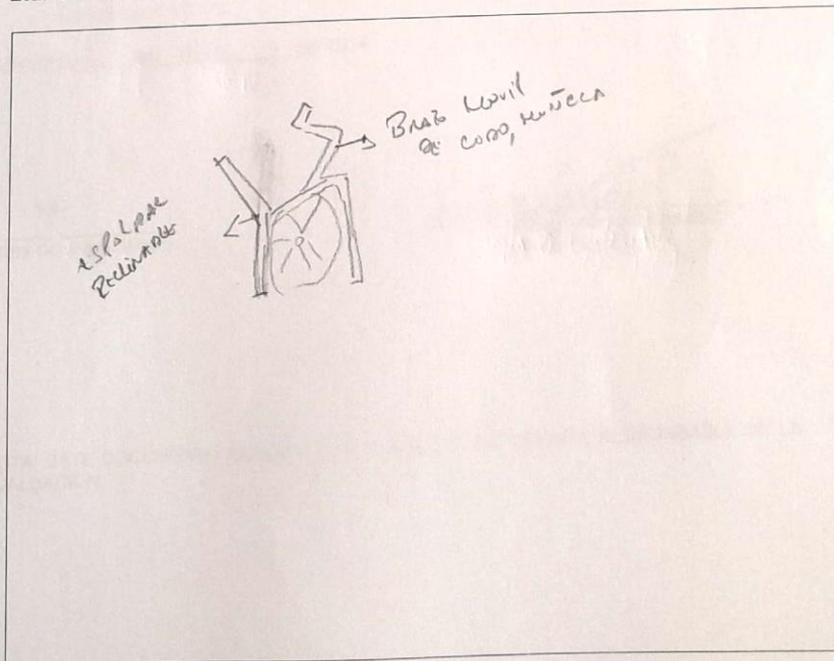
Nivel de dependencia: N/A

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

Se solicita Silla de Ruotas Reclinable ya en los gases  
levantes al igual Sillón Bar, con ruedas

Elabore un boceto de la necesidad:



**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de personas con discapacidad:  
Participante adulto**

Yo, Viviana Stuardo, de 49 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 14 de Abril del 2024

Viviana Stuardo  
Firma del evaluado(a)

Gustavo González  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

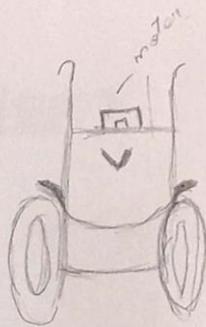
Nivel de dependencia: 70%

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

Una mejor silla de Rueda para la movilidad  
del paciente, donde él pueda manejar fácilmente.  
Que tenga motor, frenos, el respaldo cómodo, ruedas  
finas y duraderas.

Elabore un boceto de la necesidad:



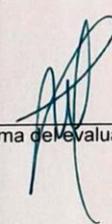
**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

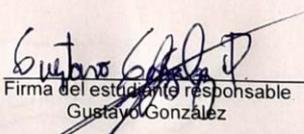
Yo, López Gonzales René, de 45 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 16 de Abril del 2024

  
Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

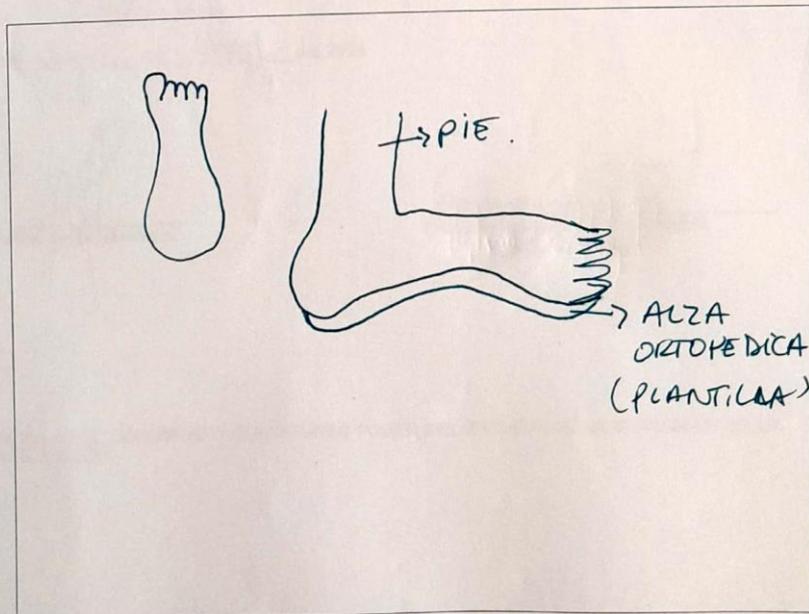
Nivel de dependencia: Si

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

- Limitación funcional para realizar la marcha.
- Dificultad para moverse en terrenos irregulares.

Elabore un boceto de la necesidad:



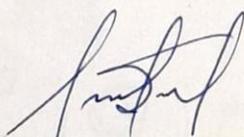
**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

Yo, Gabriela Acuña Chong, de 45 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 18 de abril del 2024

  
Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física       Auditiva       Visual       Otra       Prof. salud

Nivel educativo: Básica       Bachillerato       Superior       Ninguna

Nivel de dependencia: N/A

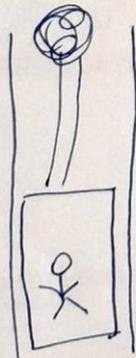
Tipo de necesidad: Mecánica       Electrónica       Software

Describe su necesidad:

1. Software que con comandos de voz se agenden citas, horarios de medicinas, recordatorios de actividades cognitivas, etc.. ayudaría a personas con discapacidad visual y con trastornos ejecutivos, deficit atención...
2. Montacargas pequeño para viviendas de personas con discapacidad que pueda utilizarse con energía eléctrica y sin ella (energía solar).

Elabore un boceto de la necesidad:

1.  ← dispositivo electrónico

2.       pelota  
dentro de los  
carros o  
fuera de ellos.

**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

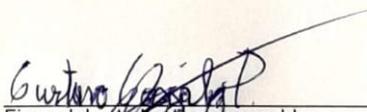
Yo, Sonnja Almey Vico, de 46 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 16 de Abril del 2024

Firma del evaluado(a)

  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación: Profesional de la Salud

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

Nivel de dependencia: \_\_\_\_\_

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

Necesidad de Aplicar en las sillas de ruedas  
una opaya brazos ya que muchos pacientes  
tienden a mantener el brazo pegado al  
tronco y es recomendable que el brazo este  
abierto del tronco para mejorar circulación  
y movilidad del brazo que este afecto.

Elabore un boceto de la necesidad:



**Consentimiento informado para evaluación de necesidades de  
personas con discapacidad:  
Participante adulto**

Yo, Marcelo Pazmiño, de 62 años de edad, acepto de manera voluntaria participar en el proceso de evaluación de necesidades de personas con discapacidad. El trabajo será realizado por el estudiante GUSTAVO ANDRÉS GONZÁLEZ PUERTAS de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La evaluación se realizará como parte del curso MATERIA INTEGRADORA y tiene como finalidad LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FIN DE CARRERA del estudiante. El alumno se encuentra bajo la supervisión del profesor FRANCIS LOAYZA PAREDES.

Me han informado que las condiciones de este proceso son las siguientes:

- El proceso de evaluación no perjudicará la integridad del evaluado(a).
- El estudiante responsable del proceso de evaluación se compromete a no revelar la identidad del evaluado en ningún momento del proceso, ni después de finalizado el mismo.
- Los resultados de la evaluación serán discutidos en las clases correspondientes con fines de aprendizaje y/o tomar decisiones sobre el desarrollo del proyecto en clases, manteniendo siempre el anonimato del evaluado(a).
- Al dar su consentimiento, el participante se compromete a culminar el proceso de evaluación con rigurosidad y empeño, dada su importancia para la formación profesional del estudiante a cargo. Sin embargo, el participante podrá solicitar no continuar con el proceso, previa comunicación con el alumno(a), para que éste no se perjudique.
- Para cualquier información adicional y/o dificultad, el (la) evaluado(a) puede contactarse con el profesor(a) Francis Loayza al correo electrónico floayza@espol.edu.ec.

Guayaquil, 16 de 4 del 2024

Marcelo Pazmiño H.  
Firma del evaluado(a)

Gustavo González  
Firma del estudiante responsable  
Gustavo González

NOTA: ESTE DOCUMENTO QUEDARÁ EN PODER DEL ESTUDIANTE RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN.

Información a considerar para esta evaluación:

Tipo de discapacidad: Física  Auditiva  Visual  Otra

Nivel educativo: Básica  Bachillerato  Superior  Ninguna

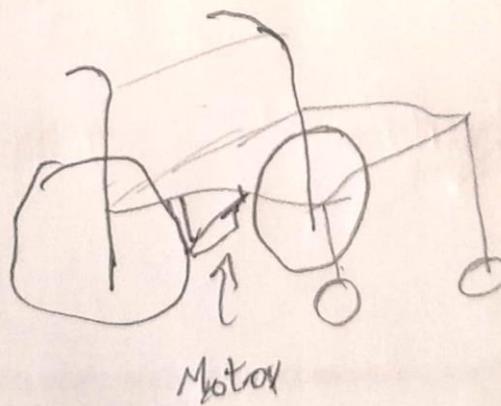
Nivel de dependencia: 100/100

Tipo de necesidad: Mecánica  Electrónica  Software

Describe su necesidad:

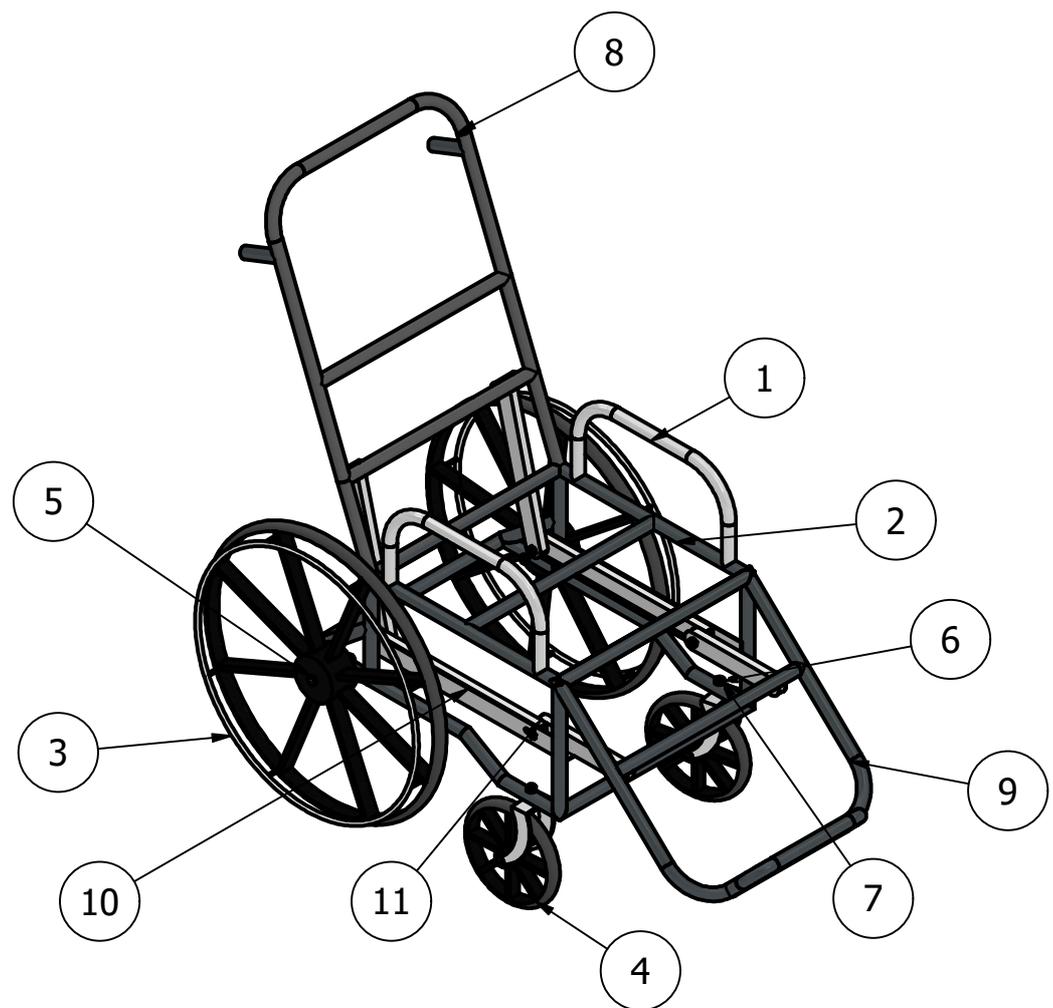
UNA SILLA de Ruedas  
eléctrica

Elabore un boceto de la necesidad:

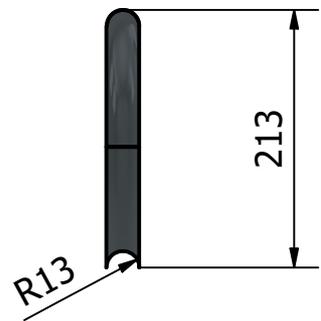
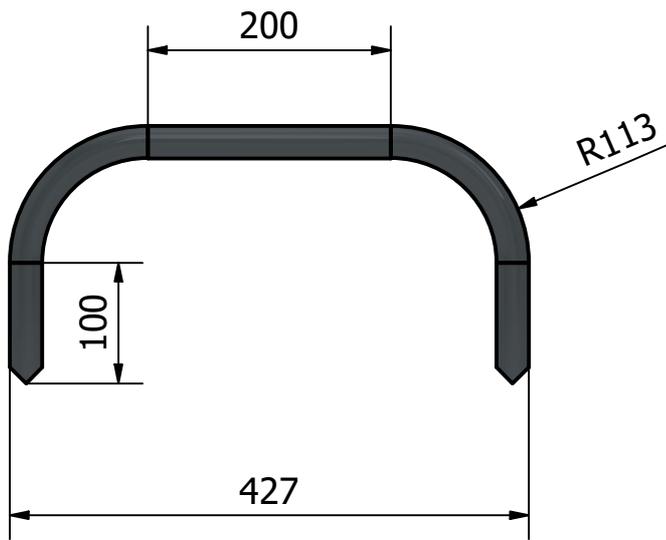


**Apéndice B**  
**Planos completos de todos los elementos**

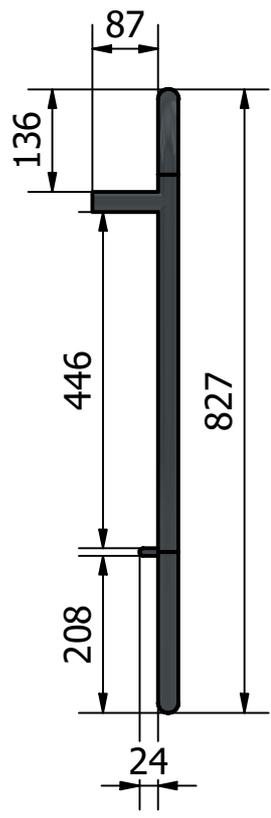
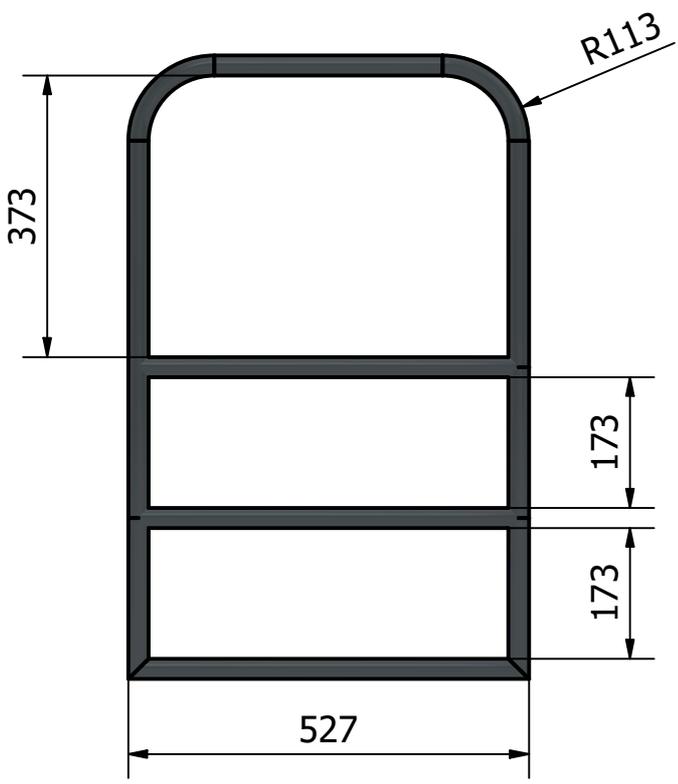
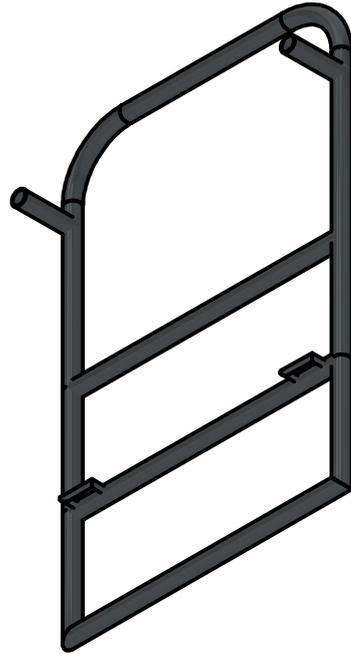
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Reposabrazos
2	1	Chasis-asiento
3	2	Rueda trasera
4	2	Rueda loca
5	2	ISO 4017 - M10 x 100
6	4	ISO 4034 - M10
7	2	CSN EN 24018 - M10x45
8	1	Espaldar
9	1	Reposapiés
10	2	Corredera
11	2	Mecanismo de reclinación



Diseño de Lino - Gonzales	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/4/2024	
ESPOL			Dispositivo de ayuda técnica		
			PLANO 1	Edición	Hoja 1 / 1

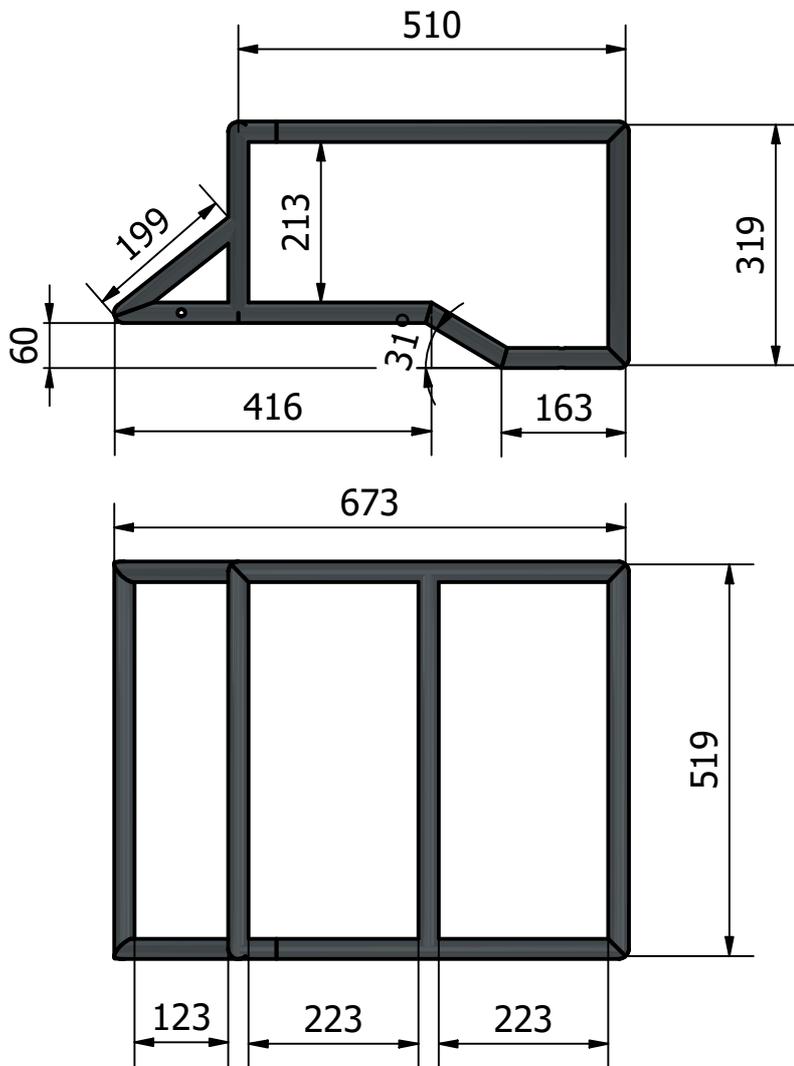
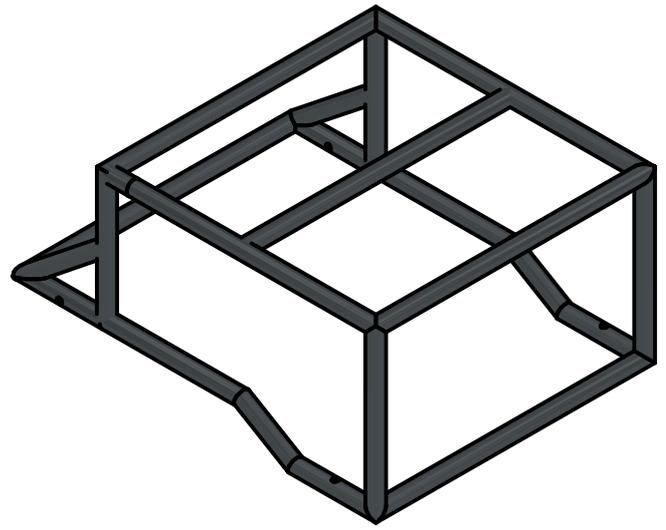


Diseño de Lino - Gonzáles	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/4/2024	
ESPOL			Reposabrazos		
			PLANO 2	Edición	Hoja 1 / 1

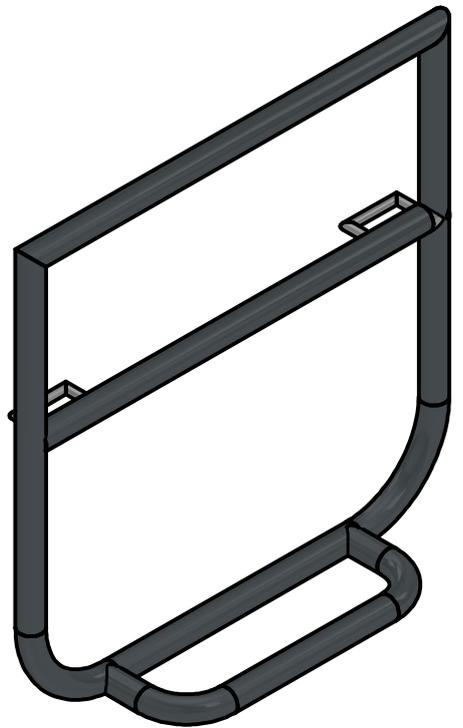
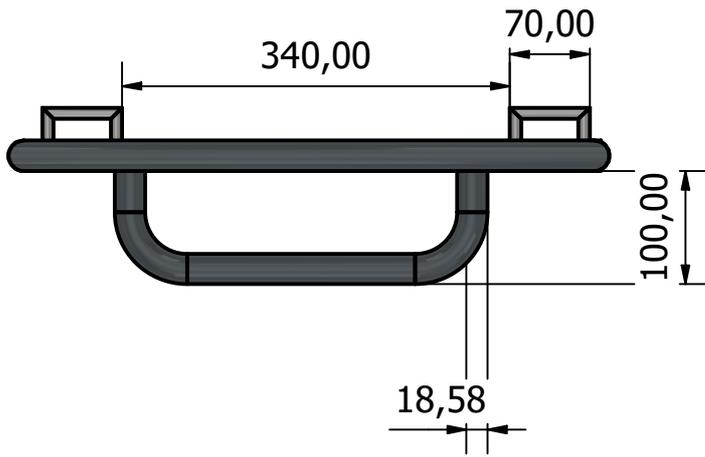
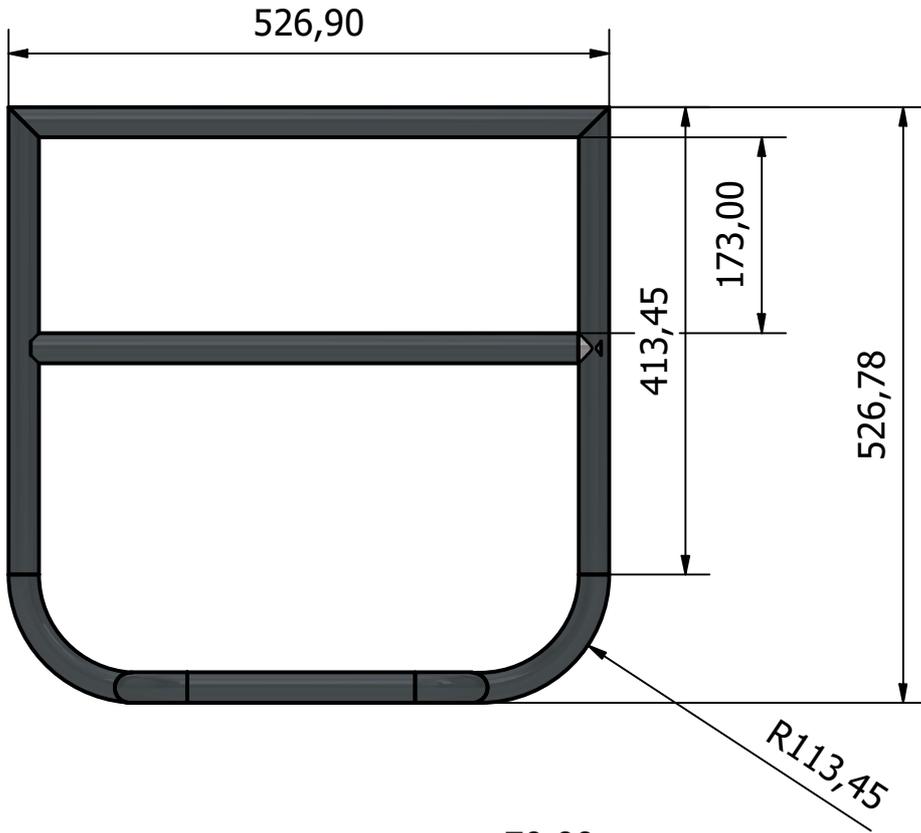


Diseño de Lino - Gonzales	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/5/2024	
ESPOL			Espaldar		
PLANO 3			Edición	Hoja 1 / 1	





Diseño de Lino - Gonzalez	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/5/2024	
ESPOL			Chasis - Asiento		
			PLANO 4	Edición	Hoja 1 / 1

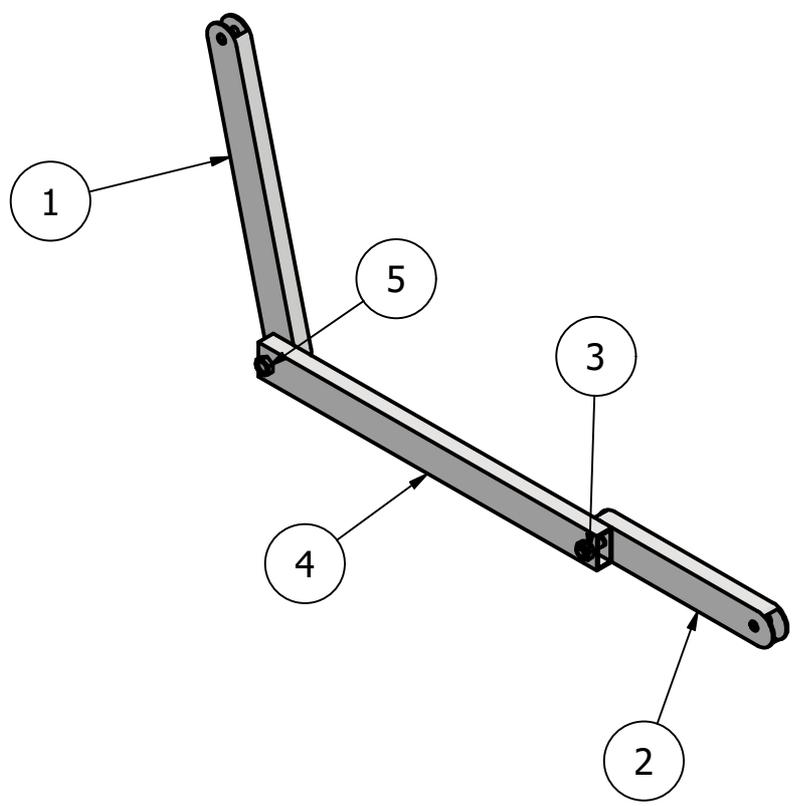


Diseño de Lino - Gonzales	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/5/2024	
ESPOL			PLANO 5		
			Edición	Hoja 1 / 1	



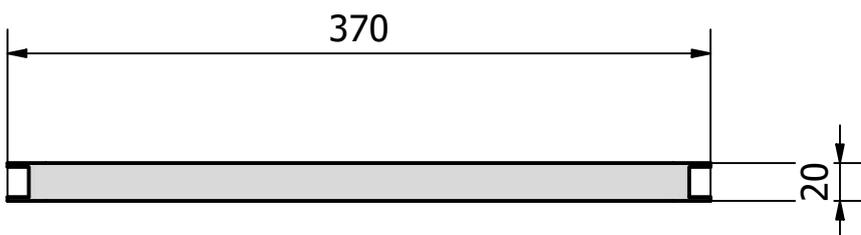
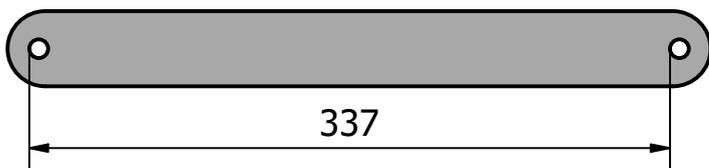
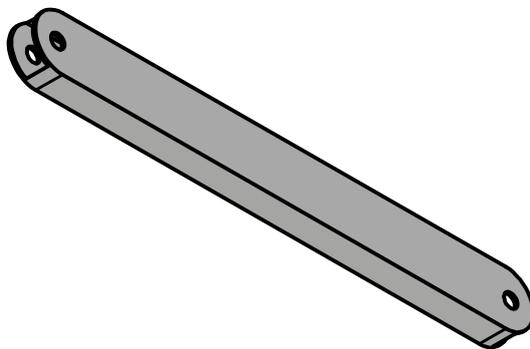
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Eslabón 1
2	1	Eslabón 2
3	2	ISO 4032 - M10
4	1	Elabon - corredera
5	2	ISO 4015 - M10 x 50

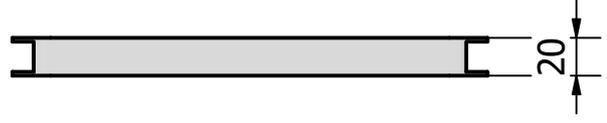
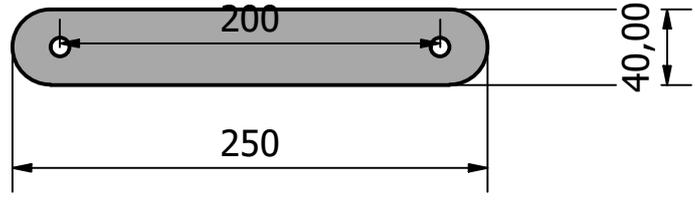
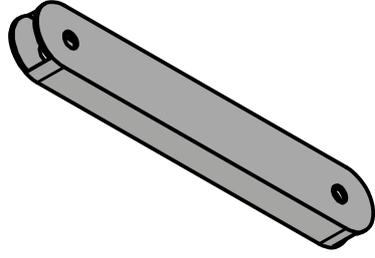


Diseño de Lino - Gonzales	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/5/2024	
ESPOL			Mec. de reclinación.		
			PLANO 6	Edición	Hoja 1 / 1

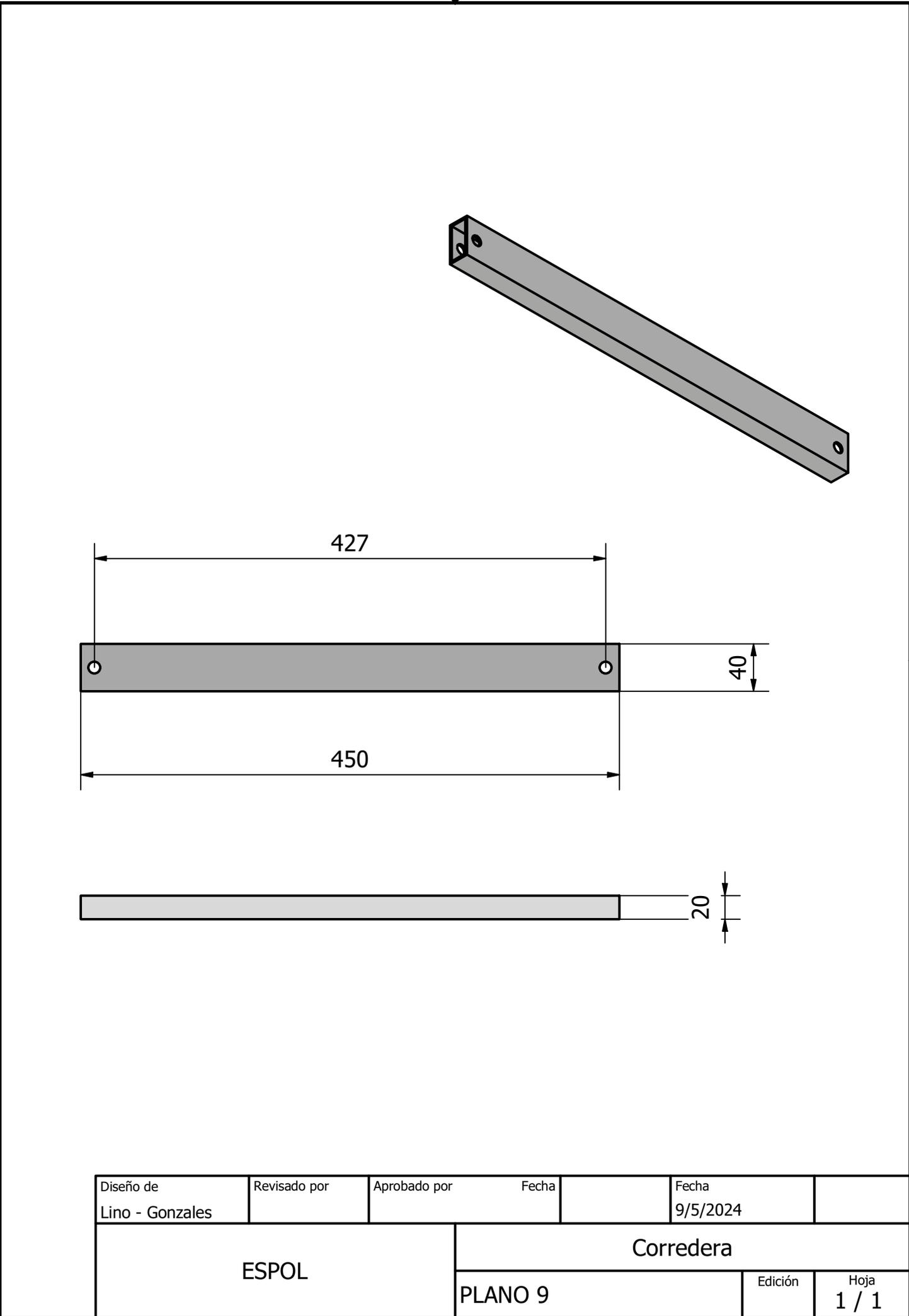




Diseño de Lino - Gonzales	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/5/2024	
ESPOL			Eslabón 1		
			PLANO 7	Edición	Hoja 1 / 1



Diseño de Lino - Gonzales	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/5/2024	
ESPOL			Eslabón 2		
			PLANO 8	Edición	Hoja 1 / 1



Diseño de Lino - Gonzales	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/5/2024	
ESPOL			Corredera		
			PLANO 9	Edición	Hoja 1 / 1