



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA

**DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON  
BIPEDESTACIÓN PARA PERSONAS CON  
MOVILIDAD REDUCIDA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROF. GUÍA: JOSÉ ROJAS HERRERA.

**JAVIER FUENTES TAPIA**

**CURICÓ - CHILE**

2022

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures in blue ink. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS UNIVERSIDAD DE TALCA' and the right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO'.

Curicó, 2022

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer en especial a la familia, amigos como también a profesores. quienes tuvieron desde el inicio una buena disponibilidad para enseñar y solucionar dudas, al profesor Gonzalo Salinas, a la profesora Karin Saavedra, Al profesor Carlos Ambrosio, a Don José Rojas, al profesor Diego Gormaz quien siempre tuvo buena disposición para ayudarme y corregirme.

A la gente de la universidad dedicada a la mantención y limpieza de los pasillos, baños y patio que siempre se preocuparon de mantener todo en orden para que nosotros los estudiantes tuviésemos las mejores condiciones para desarrollar nuestros estudios.

Agradecer en especial a la Municipalidad de Curicó por brindar información y contribuir al desarrollo de esta memoria.

*Javier Elías Fuentes Tapia.*

## **DEDICATORIA**

Por todas aquellas personas que confían en mí y se sienten orgullosas, por mi Madre, Padre, Hermanos y Hermana, y en toda mi familia, también quisiera dedicarle este trabajo mi profesora quien lamentablemente dejó este mundo en 2005, y a Sofia Andrea Herrera Gutiérrez quien me ha brindado compañía y amor en estos tiempos difíciles.

*Javier Elías Fuentes Tapia.*

## **RESUMEN**

En el siguiente documento se busca dar solución a un problema que a lo largo de los años ha sido invisible para gran parte de la sociedad chilena.

En Chile existen muchas personas con una dependencia ya sea leve o severa, dada estas circunstancias estas personas necesitan de una silla de rueda cuyo propósito sea brindarle una vida más placentera a aquellos individuos que requieran de dicho dispositivo.

Se propone diseñar una silla de ruedas con elevación mecánica y de bajo presupuesto porque hay muchas personas en estado de dependencia, pero también gran parte de estas personas no tienen los recursos necesarios para acceder a estos dispositivos y los pocos que lo logran, lo adquieren mediante ayudas sociales.

El proyecto propiamente tal se enfoca en el diseño de una silla de ruedas con bipedestación, fundamentándose a través de un estado del arte, marco teórico, análisis estructural, etc. Realizando cálculos estructurales y simulación computacional para que sea más preciso y acorde a la realidad y brindar una mayor seguridad al usuario.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES y motivación.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA .....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivo específico.....	4
1.5. RESULTADOS ESPERADOS .....	4
1.6. METODOLOGÍA.....	5
1.6.1. Objetivo específico 1 .....	5
1.6.2. Objetivo específico 2.....	5
1.6.3. Objetivo específico 3.....	6
1.6.4. Objetivo específico 4.....	6
1.7. Organización del documento .....	6
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. DISCAPACIDAD EN EL MUNDO LABORAL .....	8
2.2. CATASTRO DE PERSONAS EN SITUACION DE DISCAPACIDAD.....	9
2.3. DEFINICION POSICIÓN ANATOMICA. ....	11
2.4. LA SILLA DE RUEDAS. ....	12
2.4.1 Tipos de sillas de ruedas.....	12
2.4.2 Componentes generales de una silla de ruedas.....	13
2.5. ESTADO DEL ARTE. ....	14
2.5.1 Sillas de rueda tradicional con alza pierna.....	14
2.5.2. Silla de ruedas eléctrica Premium. ....	15
2.5.3. Silla de rueda eléctrica R400.....	15
2.5.4. Get up .....	16
2.5.5. Exoesqueleto Hank.....	17
2.5.6. Silla de ruedas Arise.....	17
2.6. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	18
2.7. MECANICA DE CUERPOS RIGIDOS .....	19
2.7.1. Equilibrio de partículas.....	19

2.7.2. Momento de una fuerza .....	19
2.7.3. Ecuaciones de equilibrio de momentos. ....	20
2.8. FUERZAS INTERNAS.....	20
2.8.1. Fuerza axial.....	21
2.8.2. Fuerza de corte.....	21
2.8.3. Momento flexionante.....	21
2.8.4. Momento de torsión.....	21
2.8.4. Deflexión .....	21
2.9. UNIONES PERMANENTES.....	22
2.9.1 Soldadura .....	22
2.9.2 Sujetadores .....	23
2.9.3 Actuador neumático (pistón eléctrico) .....	24
2.10. Resistencia de materiales.....	25
2.10.1. ESFUERZO AXIAL.....	25
2.11. ESFUERZO CORTANTE.....	26
2.12. FACTOR DE SEGURIDAD .....	26
2.13. MATEIALES DE INGENIERIA .....	27
2.13.1. Aluminio 6061 (metal) .....	27
2.13.2. Gel elástico. ....	27
2.14. PRINCIPALES SOPORTES Y SUS REACCIONES .....	28
2.14.1 Ruedas .....	29
2.14.2. Coeficiente de fricción y fuerza normal. ....	29
2.14.3. Llantas .....	31
2.15. Centro de masa en el cuerpo humano .....	32
CAPITULO III. DESARROLLO.....	33
3.1. REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN .....	34
3.1.1. Carga del diseño .....	34
3.1.2. Alcance de diseño.....	35
3.2. diseño de la solución .....	37
3.2.1. Antecedentes de diseño .....	37
3.2.2. Boceto preliminar .....	37
3.3. BOCETO DFINITIVO.....	39
3.4. DISEÑO 3D.....	42
3.4.1 Dimensionamiento del actuador eléctrico. ....	49

3.5. CÁLCULOS ESTRUCTURALES.....	50
3.5.1. Cálculo de empuje .....	51
3.5.2. Dimensionamiento en el pasador.....	53
3.5.3 Soldadura en la placa del cojín.....	56
3.5.4 Esfuerzo en la horquilla.....	58
3.5.5 Pandeo y esfuerzo en los soportes laterales del chasis .....	60
3.5.6 Esfuerzo en el asiento .....	62
3.6 SISTEMA DE BARRAS PARA LA SUJECIÓN DEL RESPALDO. ....	66
3.7 ANALISIS DE ESTABILIDAD .....	69
3.8 CÁLCULO DE SOLDADURAS .....	72
3.7 LISTA DE MATERIALES Y COSTEO.....	75
3.8 MEDIDAS FINALES .....	76
3.8 SIMULACIÓN COMPUTACIONAL .....	77
3.8.1 Simulación en el asiento.....	77
3.8.2 Simulación en el Chasis y apoyapiés.....	79
3.8.3 Simulación computacional del respaldo.....	82
3.8.3 Simulación computacional del pistón con rodamientos.....	84
3.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
4.0 CONCLUSIÓN. ....	87
ANEXOS .....	91
ANEXO 1: CATÁLOGO SKF RODAMIENTOS.....	91
ANEXO 2: ACTUADOR NEUMATICO CON CONTROL INCLUIDO.....	92
ANEXO 3: ESFUERZO MÁXIMO DE SOLDADURA apoyapié.....	93
ANEXO 4: PLANCHAS DE ALUMINIO.....	94
ANEXO 5. PROPIEDADES DE SOLDADURA.....	95
ANEXO 7. PLANOS DE FABRICACIÓN.....	96
ANEXO 7: CATALOGO TORNILLO DIN 931.....	103

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Personas con Discapacidad en Chile .....	3
Ilustración 2. Estudio nacional de la discapacidad. ....	3
Ilustración 3. Distribución nivel país discapacidad. ....	8
Ilustración 2. Distribución de la población de niños, niñas y adolescentes según sexo por situación de discapacidad. ....	8
Ilustración 3. Porcentaje de población adulta en situación de discapacidad según grado de discapacidad por quintil de ingreso autónomo per cápita del hogar.....	9
Ilustración 4: Porcentaje de la población adulta en situación de discapacidad que utiliza ayudas técnicas y servicios de apoyos. ....	10
Ilustración 5. Silla de ruedas tradicional con alza pierna. ....	14
Ilustración 6. Silla de ruedas eléctrica premium.....	15
Ilustración 7. Silla de ruedas eléctrica R400. ....	16
Ilustración 8. Silla de ruedas Get Up.....	16
Ilustración 9. Exoesqueleto Hank.....	17
Ilustración 10. Silla de ruedas Arise. ....	18
Ilustración 11. Consideraciones de diseño.. ....	18
Ilustración 12. Componentes de fuerzas internas.. ....	20
Ilustración 13. Esfuerzo en una soldadura de ranura tipo V. ....	23
Ilustración 14. Propiedades Mecánicas de Pernos.....	24
Ilustración 15. Pistón de Gas. Fuente: ofisillas.es .....	25
Ilustración 16. Cojín de gel elástico para silla de ruedas.....	28
Ilustración 17. Apoya Brazos y altura de asiento de la silla de ruedas.....	36
Ilustración 18. Fuerza normal en un plano inclinado.....	22
Ilustración 19. Fuerza de rozamiento estático.....	23
Ilustración 20. Centro de gravedad en la pelvis .....	24
Ilustración 21. Peso de personas en estado de dependencia.....	26
Ilustración 22. Anchos y longitudes de una silla de ruedas.....	25
Ilustración 21. Apoya Brazos y altura de asiento de la silla de ruedas.....	27
Ilustración 24. Altura y ancho de apoyapié.....	29
Ilustración 25. Boceto a mano alzada asiento y respaldo con mecanismo de elevación.....	30
Ilustración 26. Boceto a mano alzada chasis y ruedas.....	33
Ilustración 27. Diseño definitivo asiento.....	35
Ilustración 28. Diseño definitivo respaldo.....	37
Ilustración 29. Diseño definitivo Chasis.....	39
Ilustración 30. Diseño 3D Silla de ruedas con elevación de 70 grados (izquierda) y en estado normal (derecha).....	40
Ilustración 31. Diagrama de cuerpo libre silla de ruedas elevada.....	41

Ilustración 32. Diagrama de cuerpo libre silla de ruedas en reposo.....	43
Ilustración 33. Actuador neumático con medidas de compresión y extensión.....	43
Ilustración 34. Fuerza actuadora eléctrico en función al ángulo de elevación.....	44
Ilustración 35. Sistema de elevación en la silla de ruedas.....	46
Ilustración 36. Posición y ángulo de actuador eléctrico silla de ruedas en reposo.....	49
Ilustración 37. Posición y ángulo de actuador eléctrico silla de ruedas elevada.....	50
Ilustración 38. Representación gráfica de las masas para su cálculo de empuje.....	51
Ilustración 39. Diagrama de cuerpo libre.....	52
Ilustración 40. Distancias y carga de diseño en el pasador.....	52
Ilustración 41. Momento máximo en el pasador.....	54
Ilustración 42. Soldadura en el soporte del cojín.....	56
Ilustración 43. Diagrama de cuerpo libre y efecto de deflexión en el soporte.....	57
Ilustración 44. Deflexión en la placa del cojín.....	58
Ilustración 45. Fuerzas provenientes del pistón.....	59
Ilustración 46. Pasador DIN EN 22341 16x55.....	60
Ilustración 47. Soportes laterales mayor.....	62
Ilustración 48. Dimensiones cojín de gel elástico para el asiento. ....	62
Ilustración 49. Mecanismo de 4 barras paralelos en la silla de ruedas. ....	63
Ilustración 50. Determinación de momento en las bisagras.....	64
Ilustración 51. Diagrama de cuerpo libre y fuerzas en las barras largas con posición de 70 grados.....	67
Ilustración 52. Diagrama de cuerpo libre y fuerzas en las barras largas con posición de 0 grados. ....	69
Ilustración 53. Centro de gravedad con persona incluida.....	70
Ilustración 54. Ubicación centro de gravedad.....	71
Ilustración 55. Soldadura en la placa inferior del cojín de gel elástico ....	72
Ilustración 56. Resistencia a la tensión según tipo de electrodo.....	72
Ilustración 57. Esfuerzo permisible según el tipo de carga en soldaduras.....	73
Ilustración 58. Fuerza en el asiento. Fuente: Elaboración propia. ....	74
Ilustración 59. Deformación total en el asiento con pasamanos ....	75
Ilustración 60. Esfuerzo Von Misses mediante simulación computacional en el asiento.....	78
Ilustración 61. Factor de seguridad mínimo.....	79
Ilustración 62. Fuerzas y condiciones en el chasis por simulación computacional.....	80
Ilustración 63. Deformación total por simulación computacional en el chasis.....	80
Ilustración 64. Esfuerzo de Von Misses en el Chasis.....	82
Ilustración 65. Factor de seguridad en el chasis.....	82
Ilustración 66. Fuerzas y presiones en el respaldo por simulación computacional. ....	82
Ilustración 67. Deformación total en el respaldo por simulación computacional.....	83
Ilustración 68. Esfuerzo De Von Misses en el respaldo por simulación computacional.....	83
Ilustración 69. Factor de seguridad en el respaldo.....	84
Ilustración 70. Fuerza en los rodamientos por simulación computacional.....	84
Ilustración 71. Deflexión máxima en el pistón por simulación computacional.....	85

Ilustración 72. Esfuerzo de Von Mises del pistón por simulación computacional.....85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de seguridad mínimos recomendados. ....	26
Tabla 2. Propiedades del aluminio 6061.. ....	27
Tabla 3. Propiedades del gel elástico. . ....	28
Tabla 4. Coeficientes de roce según superficies en contacto.. . <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 5. Reacciones en el punto D y fuerza del actuador eléctrico en función al ángulo de elevación.....	54
Tabla 6. Posicionamiento del actuador eléctrico en función al ángulo de elevación.. ....	55
Tabla 7. Fuerza de corte, momento flector y deflexión máxima .....	54
Tabla 8. Fuerza de corte, momento flector y deflexión máxima en el pasador.....	55
Tabla 9. Datos del soporte de chasis de aluminio 6061..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 10. Descomposición de la fuerza P del actuador eléctrico. ....	59
Tabla 11. Esfuerzos en el pasador y diámetros sugeridos por inventor desing accelerator .....	60
Tabla 12. Datos del soporte lateral del chasis. .... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 13. Datos del cojin del asiento.....	63
Tabla14 Lista de materiales.....	75
Tabla 15 Medidas de referencias vs medidas reales de la silla de ruedas.....	76

Introducción.

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

Introducción.

## **1.1.ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN**

La idea de la silla de ruedas tiene su origen aproximadamente alrededor del año 525 A.C gracias al imperio Chino, lo cual consistía en un sillón con tres ruedas para desplazar enfermos, sin embargo, a lo largo de los años se ha actualizado de diferentes maneras, existiendo a la vez la silla de ruedas convencional, hasta aquellas sillas de ruedas complejas que son capaces de realizar diversas tareas.

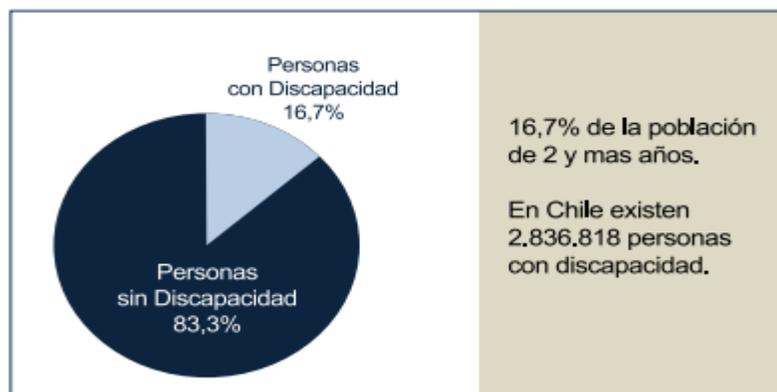
Hoy en día las sillas de ruedas de mejor calidad están compuestas en su mayoría de materiales muy caros, en su gran mayoría de aluminio, también componentes de precios elevados, como por ejemplo motores y actuadores automatizados, razón para que estos dispositivos sean inaccesibles para algunas personas de situación económica bajo. Dicha situación motiva al diseño de una silla de ruedas con bipedestación de fácil acceso y de bajo costo al alcance de todas las personas con la idea de transformar el dispositivo en una herramienta que facilite la vida de sus usuarios. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil que pueda fabricarse y comercializarse. (Badinas y Nisbett, 2008 pág. 4)

Para el desarrollo del proyecto se deben considerar diversas áreas específicas de la ingeniería Civil Mecánica impartida en la Universidad de Talca, Facultad de Ingeniería los Niches, Curicó. Entre las áreas que serán abordadas se encuentra: Diseño de máquinas, Desarrollo de productos, Materiales de Ingeniería, Procesos de fabricación.

Introducción.

## 1.2.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Chile existe una gran cantidad de personas con algún tipo de discapacidad, donde la gran mayoría se concentra en la reducción de movimiento como ilustra la siguiente figura:



*Ilustración 0-1 Personas con Discapacidad en Chile*

## 1.3.SOLUCIÓN PROPUESTA

Según el servicio nacional de discapacidad “Desde años se viene planteando en Chile y el mundo la Accesibilidad como una necesidad fundamental, transversal y parte del quehacer para promover la inclusión social en igualdad de oportunidades” (Senadis, 2017). Es por ello por lo que se busca dar solución a aquellas personas que se encuentren con movilidad reducida mediante el diseño de una silla de ruedas con bipedestación al alcance de todas las personas, derivando así a mejorar su calidad de vida y su rutina diaria.



*Ilustración 0-2. Estudio nacional de la discapacidad. Fuente: Senadis.cl*

Introducción.

## **1.4.OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar a través del software Autodesk Inventor, una silla de ruedas para personas con movilidad reducida que les permita mejorar su calidad de vida y autonomía, aplicando para ello un sistema de elevación mecánica dirigido a personas de baja situación económica.

### **1.4.2. Objetivo específico**

**Objetivo específico 1:** Realizar estado de arte Investigar las distintas situaciones y requerimientos de las personas con movilidad reducida, para ello se contactará con la oficina de discapacidad de la comuna de Curicó y/o Constitución para conocer la realidad de los potenciales usuarios.

**Objetivo específico 2:** Bocetos de la solución y sus componentes, mediante el estado del arte se escogerá la opción más viable según factores de costos para los usuarios

**Objetivo específico 3:** Diseñar modelo 3D de la herramienta en software INVENTOR 2020 y selección de materiales a utilizar.

**Objetivo específico 4:** Validación del diseño mediante análisis estructural, resultados, y si es que sea necesario, Rediseñar.

## **1.5.RESULTADOS ESPERADOS**

Se desea obtener un diseño de una silla de ruedas con elevación para personas con movilidad reducida, realizando para ello la investigación que corresponda para la problemática a resolver, realizando esquemas 3d, estudio de mecanismos etc.

Además, se espera poder fabricar dicho dispositivo y poner a disposición como una herramienta útil hacia las personas que sufran de algún impedimento al moverse, ya sea en centros asistenciales, consultorios o idealmente poder obtener alguna ayuda económica con los programas de la oficina de discapacidad que existen en las municipalidades a lo largo de Chile.

Introducción.

## **1.6.METODOLOGÍA**

Dentro de las herramientas más destacadas que se debe considerar para la solución de la problemática planteada, es sin duda el apoyo de una base sobre los distintos dispositivos existentes en el mercado, ya que sirven como guía para poder mejorar y optimizar recursos en cuanto a su composición, en otras palabras, el estado del arte.

Luego ello se trabajará en el dimensionamiento de la silla de ruedas a través de bocetos que luego se implementaran en el Software de dibujo asistido por computadora INVENTOR 2020, teniendo en cuenta las medidas brindadas por la mutual de seguridad en cuanto a la silla de ruedas involucra. Luego se reunirá una lista con los componentes y se confeccionará un listado de materiales.

Posteriormente se debe analizar la silla de ruedas mediante análisis estructural y resultados obtenidos mediante la teoría que se puede encontrar en el marco teórico del documento para verificar la viabilidad.

### **1.6.1. Objetivo específico 1**

Realización del estado del arte, conocer las diversas sillas de ruedas existentes en el mercado, sistema de funcionamiento y accesibilidad.

Objetivo cuya finalidad es contextualizar la problemática, conocer las características de los potenciales usuarios, dimensiones de la silla de ruedas brindadas por la mutual de seguridad e información útil brindada por la oficina nacional de discapacidad que será clave para el desarrollo del proyecto.

### **1.6.2 Objetivo específico 2**

Usando como guía el estado de arte, se obtienen bocetos de las distintas partes de la silla de ruedas, verificando que sean precisos y no presenten anomalías a la hora de diseñar y ensamblar, una vez finalizado dicho objetivo se procede a diseñar a través de dibujo asistido por computadora.

Introducción.

### **1.6.3. Objetivo específico 3**

Diseñar los bocetos del objetivo anterior mediante INVENTOR 2020 y seleccionar materiales a utilizar, este objetivo tiene la finalidad de presentar el modelo final de la silla de ruedas presentando una visualización clara de cómo sería realmente teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento

### **1.6.4. Objetivo específico 4**

Análisis estructural mediante hoja de cálculo y/o ANSYS, con el propósito de validar la silla de ruedas, finalizado este objetivo se realiza una evaluación de costos para el trabajo de fabricación y los diferentes procesos de diseño y fabricación.

## **1.7. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO**

El documento se organiza en 4 capítulos, en el primer capítulo se contextualiza el problema, se da a conocer los motivos, el problema a resolver para dar paso a una solución junto con sus respectivos objetivos específicos y metodologías. Luego en el capítulo dos se aborda el estado del arte respecto la silla de rueda propiamente tal, además se explican los funcionamientos y tipos de silla de ruedas existentes en el mercado junto con sus componentes. En el capítulo 3 comprende el desarrollo de este proyecto, ahí se encuentran bocetos, modelos 3d, cálculos estructurales, análisis mediante softwares para validar los diseños mostrados al principio del capítulo. Finalmente, en el capítulo 4 se discuten resultados y se procede a concluir.

Marco Teórico.

## **CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO**

## 2.1. DISCAPACIDAD EN EL MUNDO LABORAL

Actualmente, las personas que están ocupadas en el país son 7.680.211, el total de personas desocupadas son 527.338 y el total de personas que se encuentran inactivas son 3.229.411. Del total de personas ocupadas el 13,3% corresponde a personas en situación de discapacidad; del total de personas desocupadas el 14,9% corresponde a personas en situación de discapacidad; y del total de personas inactivas el 31,6% corresponde a personas en situación de discapacidad. (Estudio nacional de discapacidad, 2015, Pp 92-103)

En base a esta información se puede afirmar que 1 de cada 10 personas que trabajan son personas en situación de discapacidad, a la vez, 1 de cada 10 personas que están buscando trabajo son personas en situación de discapacidad; y, finalmente, 3 de cada 10 personas que no participan del mercado laboral son personas en situación de discapacidad.

Sexo	PsSD		PeSD		Total	
	N	%	N	%	N	%
Hombre	1.872.606	50,2	144.208	62,7	2.016.814	50,9
Mujer	1.860.675	49,8	85.696	37,3	1.946.371	49,1
<b>Total</b>	<b>3.733.281</b>	<b>100</b>	<b>229.904</b>	<b>100</b>	<b>3.963.185</b>	<b>100</b>

Ilustración 1. Distribución nivel país discapacidad. Fuente: Estudio nacional de discapacidad 2015)

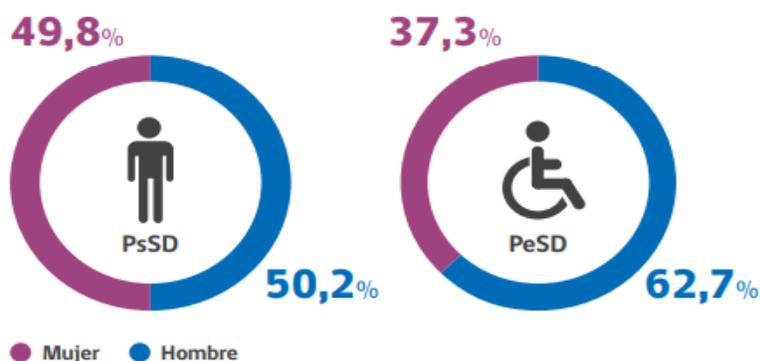
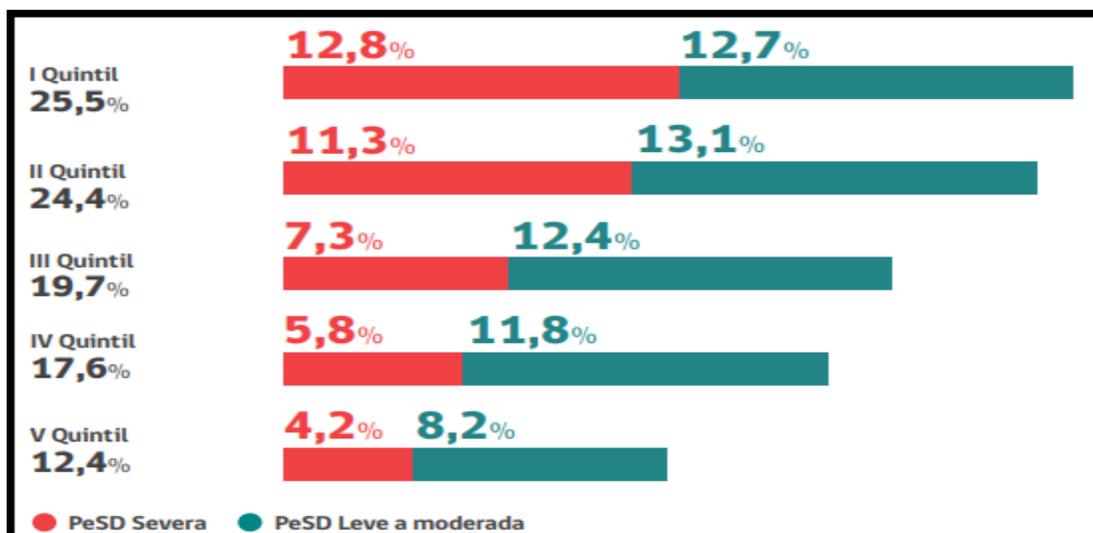


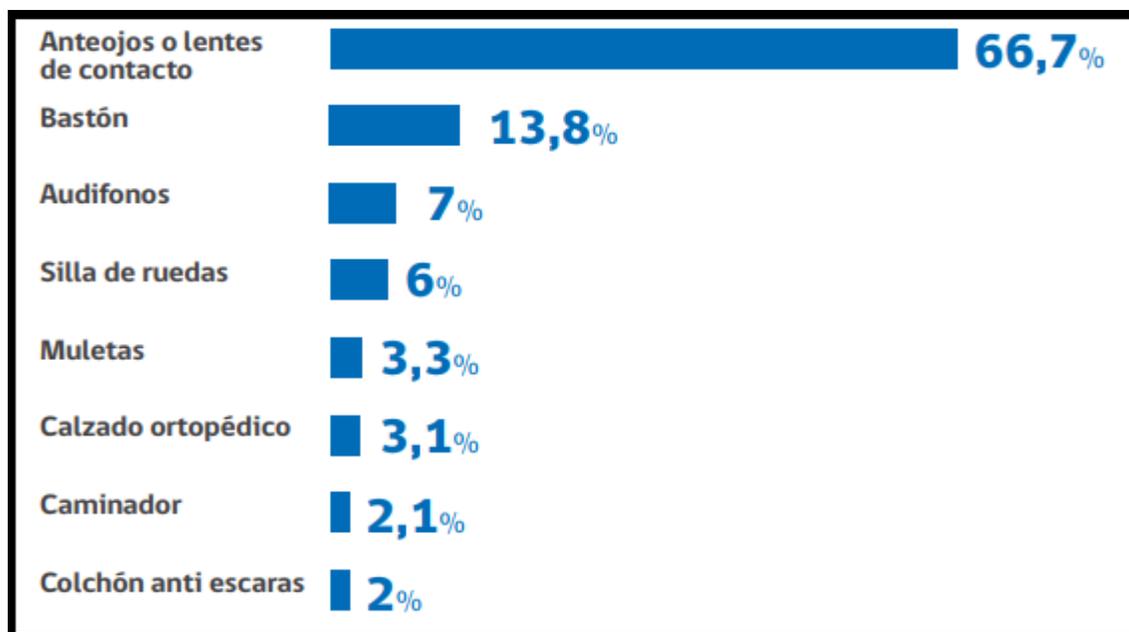
Ilustración 2. Distribución de la población de niños, niñas y adolescentes según sexo por situación de discapacidad. Fuente: Estudio nacional de discapacidad, 2015

## 2.2. CATASTRO DE PERSONAS EN SITUACION DE DISCAPACIDAD.

Según el estudio nacional de discapacidad realizada en 2015, tal como se puede apreciar en la ilustración 2-3, existe una brecha significativa entre las personas con discapacidad del primer quintil y el último quintil, en otras palabras, la gente en situación de discapacidad se ubica en los quintiles de menores ingresos per cápita a nivel nacional, esto influye en el poder de adquisición de estas personas al tener dificultad para adquirir aparatos cuya finalidad sea brindar y facilitar la vida de los individuos.



*Ilustración 3. Porcentaje de población adulta en situación de discapacidad según grado de discapacidad por quintil de ingreso autónomo per cápita del hogar. Fuente: Estudio nacional de discapacidad 2015.*



*Ilustración 4: Porcentaje de la población adulta en situación de discapacidad que utiliza ayudas técnicas y servicios de apoyos. Fuente: Estudio nacional de discapacidad 2015.*

Según se puede apreciar en la ilustración 2-4 los individuos en situación de discapacidad se concentran en los menores quintiles (I, II y III) respectivamente, en consecuencia, para aquella gente se les dificulta el acceso a un dispositivo que les permita una autonomía satisfactoria, teniendo en cuenta las ilustraciones 2-1 y 2-3, la población total en Chile que requiere de una silla de ruedas es de:

- $6 [\%] * 7,696,466 [\text{Personas}] = 461,788 \text{ Personas}$

Según los datos suministrados por el estudio nacional de discapacidad, en Chile existen 461,788 personas que requieren del uso de una silla de ruedas, y la gran mayoría presenta problemas al adquirir una de ellas que le brinde autonomía, con un sistema de elevación, cabe señalar que estas cifras, no se contemplan la población NNA (niños, niñas y adolescentes).

### **2.3. DEFINICION POSICIÓN ANATOMICA.**

Según Rois Medical la postura correcta en silla de ruedas varía en cada persona. Pues, cada usuaria o usuario de silla de ruedas tiene unas características y necesidades diferentes, que afectan directamente a su postura adecuada en silla de ruedas. Este aspecto es primordial para aquellas personas que sean usuarias de sillas de ruedas, ya que repercute en su comodidad y en su salud. Una buena postura reduce la presión en nalgas, muslos, zonas cervicales y lumbares.

La postura está directamente relacionada con el esfuerzo que realiza la persona usuaria de silla de ruedas. Y es que, con una correcta postura tendrá que hacer menos esfuerzos, ya que llegará mejor a los aros de las ruedas y evitará presiones en los tendones de las articulaciones de los brazos. La silla de ruedas también tiene mucha repercusión para una buena postura. Por lo que, es importante asegurarse de que la silla de ruedas se ajusta a la persona usuaria y proporciona un buen soporte postural para cada parte de su cuerpo.

**Estabiliza la pelvis:** La base de una correcta posición corporal es la pelvis. Para ello, debe contar con un asiento adecuado, acorde a sus características y necesidades. Pues, la profundidad del asiento asegura que estés sentado en la silla de ruedas hacia atrás, con el peso extendido uniformemente por los muslos y glúteos.

**Estabiliza la curva ‘S’ de la columna vertebral:** Se debe de sentar derecho, con los hombros retraídos y con la seguridad de no desplomarse ni balancearse hacia ningún lado.

**Apoya los pies:** Los pies proporcionan estabilidad a la pelvis. Para ello, debe verificar la altura y la posición de los reposapiés. De modo que, la altura coloque las piernas y la pelvis en un ángulo recto.

**Apoya los brazos:** Descansa los músculos de los brazos. Apoya los brazos en el reposabrazos, previamente regulado en una posición y altura adecuada para ofrecer una postura adecuada.

**Centra tu cabeza:** La cabeza debe estar siempre en posición vertical, con la barbilla ligeramente inclinada. Si no puedes mantener la postura central de tu cabeza, es necesario contar con un soporte para la cabeza o el cuello. De este modo, la postura correcta en una silla de ruedas es la siguiente:

- ✓ Hombros relajados y brazos libres.
- ✓ Glúteos en la parte trasera del asiento, pegados al respaldo.
- ✓ Rodillas en paralelo, en ángulo recto y ligeramente separadas.
- ✓ Piernas apoyadas en el reposapiés.
- ✓ Pies libres y en paralelo al suelo.

Marco Teórico.

- ✓ Pelvis con mínima inclinación, para evitar que se produzcan balanceos y movimientos bruscos.
- ✓ Cabeza recta, con una leve inclinación hacia abajo.

## **2.4. LA SILLA DE RUEDAS.**

La silla de rueda es un dispositivo de adaptación física lo cual consta como mínimo de tres ruedas, aunque la mayoría posee cuatro, fue diseñada para personas con problemas de locomoción de movilidad reducida. Según registros históricos la primera adaptación grafica de una silla de ruedas data del año 525 A.C donde se muestra un sillón con ruedas que es impulsado por una persona pero no es hasta el año 1783 donde John Dawson fabrica la primera silla de ruedas convencional , posteriormente en Londres , en el año 1916 , se desarrolló el primer modelo de una silla de ruedas motorizadas, luego a partir del año 1932 el ingeniero Harry Jennings construye la primera silla de ruedas plegable, la misma que se ha venido desarrollando hasta modelos conocidos hasta hoy en la actualidad

### **2.4.1 Tipos de sillas de ruedas.**

Manuales: El movimiento de este tipo de silla de ruedas se basa en que la persona haga girar las ruedas posteriores, para así lograr un desplazamiento, se han fabricado de dos formas rígidas y plegables para ahorrar espacio y poder ser trasladadas, estos modelos se han fabricado en materiales ligeros con la finalidad de otorgarle una mayor vida útil.

Eléctricas: sillas de ruedas impulsados por motores que son accionados por baterías, la persona controla la silla por medio de un joystick, donde se puede configurar la velocidad, la posición de respaldo de asiento etc. Este tipo de sillas depende de las características del paciente.

### **2.4.2 Componentes generales de una silla de ruedas.**

Según Senadis los elementos básicos de una silla de ruedas son los siguientes:

- ✓ Empuñadura de empuje: Manillas que van en la parte posterior de la silla, que facilitan el desplazamiento causado por otra persona.
- ✓ Respaldos: Componente que permite el correcto posicionamiento de la columna vertebral.
- ✓ Apoyabrazos: Componente para posicionar correctamente las extremidades superiores de manera de evitar posturas viciosas.
- ✓ Asiento: Elemento base de la silla de ruedas, que permite posicionar la pelvis en línea con el trono, favoreciendo así la distribución del peso y presión
- ✓ Pernera: Componente que permite favorecer la alineación entre el tronco, pelvis y miembros inferiores.
- ✓ Apoyapiés: Componente que permite apoyar los pies sobre bases incorporadas en las perneras. Estos favorecen el correcto alineamiento entre las caderas y rodillas. Estos elementos, pueden ser telescópicos, fijos o regulables y de acuerdo con la silla que se requiera, pueden ser de una o dos hojas.
- ✓ Ruedas delanteras: Elemento que permite mayor radio de giro y movilidad de la silla de ruedas. Existen ruedas macizas e inflables, características que dependen del tipo de silla que se requiera.
- ✓ Ruedas traseras: Componente que otorga estabilidad estructural de la silla y regulación de fuerza de propulsión dependiendo del tamaño de la rueda. Existen ruedas macizas e inflables, características que dependen del tipo de silla que se requiera.
- ✓ Sistema antivuelco: Son elementos de menor tamaño que pueden ser incorporados en la parte anterior o posterior de la silla de ruedas dependiendo del tipo de esta. Este componente reduce la posibilidad de volcar, ya que tienen un efecto de tope en el suelo.
- ✓ Frenos: Componente que permite mantener la silla de manera estática y estabilizan la silla de ruedas cuando se realizan transferencias. Este elemento no favorece la

Marco Teórico.

prevención de elementos involuntarios de la silla. Existen de tipo alargados, tambor, de mano, entre otros, el cual dependerá del tipo de silla de ruedas a requerir.

## **2.5. ESTADO DEL ARTE.**

Con la finalidad de orientarse con las ideas existentes en el mercado, se investigará diversos dispositivos que dan solución a la problemática, ya sea utilizando herramientas mecánicas, eléctricas o motorizadas, siempre y cuando se cumplan con los requisitos mínimos mencionados anteriormente.

### **2.5.1 Sillas de rueda tradicional con alza pierna**

Consiste en una silla de ruedas tradicional, que posee como accesorio un alza pierna regulable y desmontable que funciona como apoyo para posicionar en estado de reposo la pierna, con un aro de ruedas de 64 [cm] con un peso total neto de 21 [Kg] y como una máxima capacidad de 100 [Kg].

Una silla de ruedas tradicional que cumple con las características mínimas para una persona con reducción de movimiento, sin embargo, no permite al individuo erguirse para poder realizar distintas actividades y carece de un reposa pies para otorgarle estabilidad a la pelvis. Esta silla posee un valor de 119.000 CLP.



*Ilustración 5. Silla de ruedas tradicional con alza pierna. Fuente: [www.nemed.cl](http://www.nemed.cl).*

Marco Teórico.

### 2.5.2. Silla de ruedas eléctrica Premium.

La Silla de Ruedas Eléctrica a diferencia de la silla de rueda estándar funciona completamente con electricidad por lo que consecuentemente le brinda al usuario una mayor independencia y una mayor autonomía, Posee dos motores con una potencia de 200 [W] cada uno con una duración de hasta 30 kilómetros, posee una capacidad de carga de hasta 120 [Kg] , estas características son ideales para una persona con movimiento reducido, sin embargo posee un precio muy elevado ya que al ser completamente eléctrica necesita accesorios muy difícil y complejos, y teniendo en cuenta que según el Instituto Nacional de estadísticas en Chile 2 de cada 5 personas con discapacidad vive en una situación económica baja de conseguir que es de 999.000 CLP.



*Ilustración 6. Silla de ruedas eléctrica premium.*

*Fuente: [www.firstcare.cl](http://www.firstcare.cl).*

### 2.5.3. Silla de rueda eléctrica R400

Posee características similares a la silla eléctrica Premium, con la diferencia que esta silla de ruedas posee una elevación a través de un cilindro con una elevación de 58 [cm] hasta 70 [cm] con una potencia de motor de 480 [W] y autonomía de 29 [km] y un peso máximo de 159 [Kg], sin embargo, posee las mismas falencias que la silla de ruedas Premium.



*Ilustración 7. Silla de ruedas eléctrica R400.*

*Fuente: [www.firstcare.cl](http://www.firstcare.cl).*

#### **2.5.4. Get up**

Es una silla de ruedas de desplazamiento manual con mecanismo de bipedestación eléctrico, mediante un control remoto, el usuario activa el mecanismo de bipedestación gracias a un cilindro, existen cuatro modelos del Get Up donde cada modelo varía según las necesidades del usuario, capacidad de control del tronco de tronco bueno, moderado, bajo, nulo, edad, estatura, etc. El precio de esta silla de ruedas es de 1.490.000 CLP.



*Ilustración 8. Silla de ruedas Get Up.*

*Fuente: [www.firstcare.cl](http://www.firstcare.cl).*

### 2.5.5. Exoesqueleto Hank

Es un exoesqueleto que se puede acoplar a una silla de ruedas desarrollado por científicos españoles, destinada para usuarios en rehabilitación para miembros inferiores del cuerpo, la característica más relevante de este producto son los tobillos motorizados ya que esta articulación imprescindible para evitar estancias de pie caído y equino. Cabe señalar que el dispositivo se puede ajustar a personas que midan de entre 1.5 hasta 1.95 metros de altura, posee una batería de 4 horas lo cual permite caminar una distancia de 10 kilómetros.



*Ilustración 9. Exoesqueleto Hank.*

*Fuente: [www.gogoa.es](http://www.gogoa.es)*

### 2.5.6. Silla de ruedas Arise

El funcionamiento de esta silla de ruedas radica en el uso de los brazos como medio de inclinación a través de un sistema mecánico y un cilindro neumático. Su principal ventaja es su bajo costo, ya que no emplea dispositivos tan elaborados y complejos para su óptimo funcionamiento. Algunas de las características de la silla de ruedas Arise son las siguientes:

- ✓ Angulo de inclinación al estar de pie: 75 grados
- ✓ Peso máximo de usuario: 110 [kg]
- ✓ La distancia entre ejes más larga garantiza la estabilidad en posición de pie.
- ✓ Precio asequible.



*Ilustración 10. Silla de ruedas Arise. Fuente: [www.phoenixmedicalsystems.com](http://www.phoenixmedicalsystems.com)*

## 2.6. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Dada las condiciones actuales de pandemia que se registra a nivel mundial, la idea de este proyecto es que aún pese a las adversidades se llegue a concretar, por ende, para poder diseñar y fabricar el producto propiamente tal se debe tener en cuenta las siguientes características priorizando desde el número bajo hasta el más alto.

- |    |                              |    |  |
|----|------------------------------|----|--|
| 1  | Funcionalidad                | 14 | Ruido  |
| 2  | Resistencia/esfuerzo         | 15 | Estilo   |
| 3  | Distorsión/deflexión/rigidez | 16 | Forma  |
| 4  | Desgaste                     | 17 | Tamaño   |
| 5  | Corrosión                    | 18 | Control  |
| 6  | Seguridad                    | 19 | Propiedades térmicas                             |
| 7  | Confiabilidad                | 20 | Superficie                                       |
| 8  | Manufacturabilidad           | 21 | Lubricación                                      |
| 9  | Utilidad                     | 22 | Comercialización                                 |
| 10 | Costo                        | 23 | Mantenimiento                                    |
| 11 | Fricción                     | 24 | Volumen  |
| 12 | Peso                         | 25 | Responsabilidad legal                            |
| 13 | Vida                         | 26 | Capacidad de reciclado/ recuperación de recursos |

*Ilustración 11. Consideraciones de diseño. Fuente: *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.**

## 2.7. MECANICA DE CUERPOS RIGIDOS

La mecánica de cuerpos rígidos proporciona los fundamentos básicos con los cuales se desarrolla cualquier análisis avanzado de componentes mecánicos o elementos estructurales como se menciona en R. C. Hibeller, además se debe desatacar que esta materia se compone de dos áreas las cuales son la dinámica y la estática, sin embargo, este estudio se centrará en esta última la cual estudia el equilibrio de los cuerpos ya sea en reposo o con velocidad constante.

### 2.7.1. Equilibrio de partículas

El equilibrio de partículas se fundamenta en la primera ley de Newton, la cual hace mención de que un cuerpo se mantiene en un determinado estado inercial a menos que intervengan fuerzas externas las cuales cambian el estado en el que se encontraba el cuerpo, este equilibrio permite la realización de sistemas de fuerzas y las posteriores ecuaciones de equilibrio, con las cuales se logran separar las fuerzas que interactúan en el análisis en sus respectivas componentes i, j, k, estos conceptos se desarrollan a continuación.

$$\sum F = \sum Fx_i + \sum Fy_j + \sum Fz_k = 0 \quad (\text{Ec.1})$$

La ecuación anterior se verifica cuando se cumple la condición para el equilibrio de una partícula para cada una de las componentes involucradas:

$$\sum F = 0 \quad (\text{Ec.2})$$

### 2.7.2. Momento de una fuerza

El momento se produce cuando una fuerza se aplica sobre un punto del cuerpo y este tiende a girar alrededor de un eje que no está en la línea de acción de esa fuerza, esto quiere decir que la fuerza producirá un momento cuando esta se ejerza a una distancia perpendicular al punto de referencia, cabe destacar que la magnitud del momento es directamente proporcional a la fuerza aplicada y a la distancia perpendicular, como se presenta a continuación. (R. C Hibeller).

$$M = F * d \quad (\text{Ec.3})$$

Marco Teórico.

Donde:

M = Momento de una fuerza

F = Fuerza ejercida

d = Distancia perpendicular al punto de aplicación

### 2.7.3. Ecuaciones de equilibrio de momentos.

Al igual que para el caso anterior se pueden determinar las ecuaciones para el equilibrio de momentos que actúan sobre una partícula o un cuerpo con respecto a un determinado punto, estas ecuaciones se presentan a continuación. [6]

$$\sum M = \sum M_{x_i} + \sum M_{y_j} + \sum M_{z_k} = 0 \quad (\text{Ec.4})$$

Sin embargo, la ecuación anterior, se satisface únicamente cuando los momentos involucrados estas en equilibrio en sus respectivas componentes:

$$\sum M = 0 \quad (\text{Ec.5})$$

## 2.8. FUERZAS INTERNAS

Cada vez que se analiza un elemento mecánico, se debe tener en cuenta que existen fuerzas internas que mutuamente se ejercen entre sí en las diferentes partículas del cuerpo o del sistema, y cada vez que se requiera analizar cierto punto, aquellas fuerzas internas se deben considerar como fuerzas externas, ejerciendo así la ley de acción y reacción como se ilustra en la siguiente imagen. (R. C. Hibeller.)

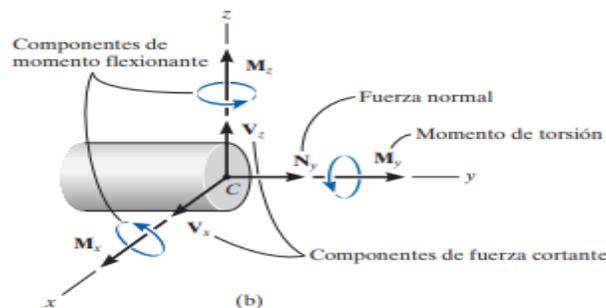


Ilustración 12. Componentes de fuerzas internas. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.

Marco Teórico.

### **2.8.1. Fuerza axial**

Esta fuerza representada anteriormente y denominada como  $N_Y$  actúa de manera axial a la sección B del elemento dividido, esta carga se utilizará posteriormente para encontrar el esfuerzo axial de una estructura.

### **2.8.2. Fuerza de corte**

Las fuerzas de corte designadas como  $V_Z$  y  $V_X$  es tangente a la sección transversal del elemento presentado en la imagen anterior, además esta carga permitirá obtener el esfuerzo de corte que posee un determinado elemento.

### **2.8.3. Momento flexionante.**

Los momentos flectores que se representan por las variables  $M_X$  y  $M_Z$ , que se induce al momento de dividir una sección, en la realidad está influenciado por todas las cargas externas que influyen en la estructura de estudio, además de la fuerza de corte producto del seccionamiento del elemento.

### **2.8.4. Momento de torsión**

El momento de torsión se genera producto las cargas externas sobre los elementos, el cual se ve representado por la variable  $M_Y$ , la cual genera un giro en el elemento en el eje de la sección transversal en el punto donde se llevó a cabo el método de secciones.

### **2.8.4. Deflexión**

El método de la doble integración es un procedimiento que facilita el planteamiento de las ecuaciones para la deflexión en distintos puntos a lo largo del eje longitudinal de una viga cargada.

Marco Teórico.

La ecuación se obtiene integrando dos veces la ecuación diferencial de la curva elástica de ahí el nombre de la doble integración.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

M= Momento flector

E= Modulo de elasticidad

I= Momento de inercia

y= deflexión en el eje y

x= variación de distancia

## 2.9. UNIONES PERMANENTES

Se denominan uniones permanentes cuando las partes unidas no se pueden separar sin ser destruidas o sufrir daños. Los elementos de unión empleados habitualmente en este tipo de unión son los adhesivos y la soldadura (Budines, 2010).

### 2.9.1 Soldadura

Las soldaduras se ven sometidas a esfuerzos, ya que deben mantener unidas dos superficies, la fórmula que representa dicho esfuerzo para una soldadura de ranura en V sometida a una carga de tensión F.

$$\sigma = \frac{F}{hl} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo de la soldadura

h = garganta de soldadura sección

l= longitud de soldadura.

Marco Teórico.

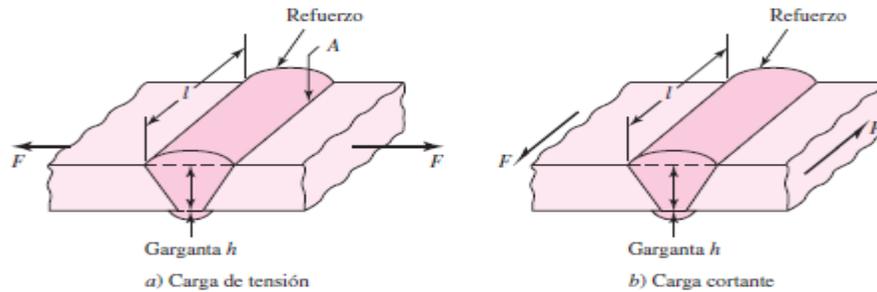


Ilustración 13. Esfuerzo en una soldadura de ranura tipo V. Fuente: Diseño de ingeniería mecánica de Shigley.

## 2.9.2 Sujetadores

Gran parte de la estructura de la silla de ruedas contienen uniones permanentes que vienen siendo las soldaduras.

El propósito de un tornillo es sujetar dos o más partes. La carga de sujeción estira o alarga el tornillo; la carga se obtiene haciendo girar la tuerca hasta que el tornillo se alargue casi hasta su límite elástico. Si la tuerca no se afloja, la tensión en el tornillo permanece como la fuerza de precarga o de sujeción. Cuando se aprieta, el mecánico debe, si es posible, mantener estacionaria la cabeza del tornillo y hacer girar la tuerca: de esta manera el cuerpo del tornillo no sentirá el par de torsión de fricción de la rosca. (Shigley,2008).

Marco Teórico.

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima,† MPa	Resistencia mínima a la tensión,† MPa	Resistencia mínima a la fluencia,† MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

*Ilustración 14. Propiedades Mecánicas de Pernos.*

### 2.9.3 Actuador eléctrico

Un actuador eléctrico es un dispositivo que convierte el movimiento rotatorio de un motor en movimiento lineal. Se puede aplicar en cualquier equipo ya sea para empujar, tirar o levantar, bajar, posicionar o girar.

Un actuador es un dispositivo mecánico cuya función es brindar una fuerza para mover o actuar frente a otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico). Será necesario contar un actuador mecánico con el fin de reducir la velocidad de descenso originado por el peso que ocasionará el usuario y el respaldo de la silla en sí.

$$F_c = P_c * \frac{\pi * D^2}{4} \tag{Ec.8}$$

Donde:

F<sub>c</sub> = Fuerza de cilindro

P<sub>c</sub> = Presión aire comprimido en barg

D = Diámetro interior cilindro.



*Ilustración 15. Pistón de Gas. Fuente: ofisillas.es*

## **2.10. RESISTENCIA DE MATERIALES**

El objetivo del estudio basado en la resistencia de los materiales es el de proporcionar los medios para analizar y diseñar estructuras o componentes capaces de soportar las cargas y acciones a las que estos están o pueden estar sometidos durante su vida útil, tal como lo mencionan en [5], el estudio de esta materia se realiza dentro de la zona elástica de los materiales, además mediante este análisis se llevará a cabo el desarrollo del modelo matemático el que se utilizará posteriormente para el desarrollo de esta investigación.

### **2.10.1. ESFUERZO AXIAL**

Se define esfuerzo axial como la intensidad de la fuerza que actúa en dirección normal a la sección donde se ejerce tal fuerza, esta se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo axial

M = Momento interno de la sección

c = Distancia máxima desde el eje neutro al punto más alejado de este

I = Momento de inercia de toda la sección transversal respecto del eje neutro

## 2.11. ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo cortante es la intensidad de la fuerza que se ejerce de forma tangencial al área donde se realiza la división del elemento a estudiar, este esfuerzo se determina por medio de la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo cortante transversal

V = Fuerza ejercida tangencial a la sección

A= Área sección transversal.

## 2.12. FACTOR DE SEGURIDAD

Con el propósito de diseñar correctamente un elemento estructural se debe tener presente el límite del esfuerzo del material, es por esto por lo que el factor de seguridad permite encontrar un valor de esfuerzo permisible con el cual se asegura que el elemento no falle, se debe señalar que este factor debe de ser mayor a 1, este se presenta a continuación.

$$F. S. = \frac{\sigma_{falla}}{\sigma_{perm}} \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

F.S. = Factor de seguridad

$\sigma_{falla}$  = Esfuerzo de falla del material

$\sigma_{perm}$  = Esfuerzo permisible

La tabla de factores de seguridad mínimos recomendados en función a la tensión ultima son los siguientes.

*Tabla 1. Factores de seguridad mínimos recomendados. Fuente: pdt.edu.com*

Tipo de carga	Acero, metales dúctiles.	Hierro fundido, metales frágiles.	Madera de construcción.
Carga muerta o variable.	3-4	5-6	7

## 2.13. MATEIALES DE INGENIERIA

Sin duda alguna el desarrollo tecnológico siempre ha sido favorecido por el gran avance en cuanto respecta a los materiales de ingeniería, que se pueden distinguir en cuatro grandes grupos, según sus propiedades mecánicas y aplicaciones en las diversas áreas de la ingeniería.

Existen cuatro tipos de materiales que son los metales, polímeros, cerámicos y materiales compuestos, pero se detallara específicamente los metales es el tipo de material perfecto para el uso y empleo en sillas de ruedas debido a sus excelentes propiedades mecánicas.

### 2.13.1. Aluminio 6061 (metal)

El aluminio es uno de los metales más versátiles industrialmente utilizado por la humanidad dadas a sus propiedades de ligerezas, maleabilidad y larga vida, además mencionar que es muy resistente a la corrosión. Se emplea en una enorme variedad de aleaciones para fabricar numerosos utensilios y envases, así como partes de diversa maquinaria.

El aluminio (Al) en la naturaleza se puede encontrar como un metal brillante y liviano y su apariencia varía según las aleaciones la cual se le somete.

*Tabla 2. Propiedades del aluminio 6061. Fuente: Elaboración propia.*

Propiedad	Aluminio 6061
Esfuerzo Fluencia	145 [MPa]
Resistencia a la tracción	240 [Mpa]
Módulo de elasticidad	68.9 [GPa]

### 2.13.2. Gel elástico.

Tanto el asiento como el respaldo serán confeccionados mediante este material, El gel se ajusta perfectamente a la forma del cuerpo y aportan el apoyo que los músculos atrofiados no pueden dar. Existen cojines de gel que disponen de diverso compartimiento para evitar que el gel se propague hacia zonas en las que no existe presión, de forma que siempre se tendrá el apoyo perfecto sobre la silla de ruedas.



*Ilustración 16. Cojín de gel elástico para silla de ruedas. Fuente: mhhealthcare.es*

*Tabla 3. Propiedades del gel elástico. Fuente: Elaboración propia.*

Propiedad	Magnitud
Esfuerzo Fluencia	25 [MPa]
Resistencia a la tracción	33 [Mpa]
Módulo de elasticidad	110 [GPa]

## **2.14. PRINCIPALES SOPORTES Y SUS REACCIONES**

Existen diversos tipos de soportes que se utilizan en el área de ingeniería como de la construcción, todos y cada uno de ellos cumplen la misma función que es la de dar soporte estructural en las bases de cada estructura de distintas maneras, las cuales se pueden identificar mediante la cantidad de reacciones que se producen desde una reacción simple hasta momentos de una fuerza en todos sus ejes, es por esto por lo que los soportes más comunes se presentan en la ilustración 3-2.

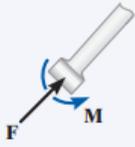
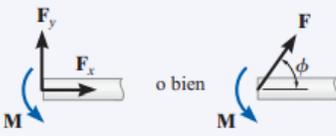
Tipos de conexión	Reacción	Número de incógnitas
<p>(8)</p>  <p>pasador liso o articulación lisa</p>	<p>Reacción</p>  <p>o bien</p>	<p>Dos incógnitas. Las reacciones son dos componentes de fuerza, o la magnitud y la dirección <math>\phi</math> de la fuerza resultante. Observe que <math>\phi</math> y <math>\theta</math> no son necesariamente iguales [no suelen serlo, a menos que la barra mostrada sea un eslabón como en (2)].</p>
<p>(9)</p>  <p>elemento con conexión fija a un collar sobre una barra lisa</p>	<p>Reacción</p> 	<p>Dos incógnitas. Las reacciones son el momento de par y la fuerza que actúa perpendicularmente a la barra.</p>
<p>(10)</p>  <p>soporte fijo</p>	<p>Reacción</p>  <p>o bien</p>	<p>Tres incógnitas. Las reacciones son el momento de par y las dos componentes de fuerza, o el momento de par y la magnitud y la dirección <math>\phi</math> de la fuerza resultante.</p>

Ilustración 17. Reacciones y apoyos. Fuente: Libro de ingeniería Mecánica Estática-Hibbeler 12ed.

### 2.14.1 Ruedas

Las ruedas son utilizadas para el desplazamiento o transporte de objetos, en este caso se usarán ruedas metálicas de aluminio que se pueden encontrar fácilmente en el mercado, que serán guiadas gracias al movimiento en 360 grados de las ruedas delanteras permitiendo así un fácil desplazamiento por parte del usuario

### 2.14.2. Coeficiente de fricción y fuerza normal.

La mayoría de las superficies, aun las que se consideran pulidas son extremadamente rugosas si se llegase a observar microscópicamente, los picos de ambas superficies en contacto determinan el área real de contacto que es un porcentaje del área aparente de contacto, el área real de contacto es proporcional a la presión (fuerza normal) ya que los picos se deforman.

Marco Teórico.

La fuerza normal es la reacción que ejerce en plano sobre un determinado cuerpo que depende de su masa, inclinación del plano y otras fuerzas que se ejerzan sobre el cuerpo.

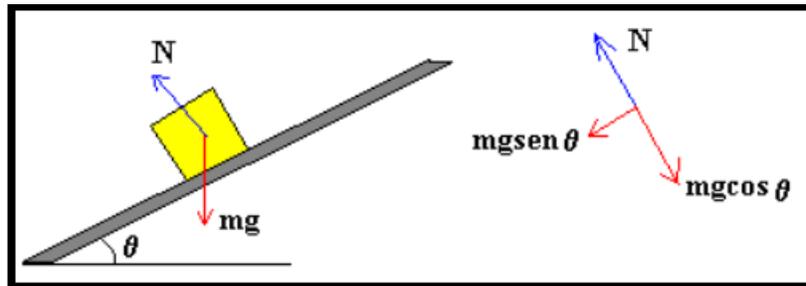


Ilustración 18. Fuerza normal en un plano inclinado. Fuente: [www.sc.ehu.es](http://www.sc.ehu.es)

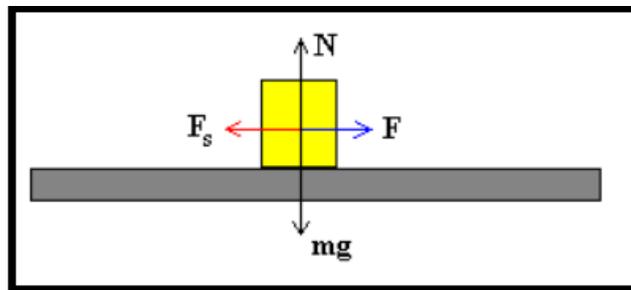


Ilustración 19. Fuerza de rozamiento estático. Fuente: [www.sc.ehu.es](http://www.sc.ehu.es)

Para determinar la fuerza de roce se tiene la siguiente ecuación en función a los distintos coeficientes de las superficies en contacto.

$$F_r = C_s * N \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

$F_r$ : Fuerza de roce.

$C_s$ : Coeficiente de roce estático.

$N$ : Fuerza Normal.

*Tabla 4. Coeficientes de roce según superficies en contacto. Fuente: sc.ehu.es*

Superficies en contacto.	Coefficiente de roce estático.
Acero-Acero	0.18
Acero-Hielo	0.03
Acero-Hierro	0.19
Neumático-Terreno firme	0.2
Cuero-Metal	0.56
Bronce-Bronce	0.2
Bronce-Acero	0.18

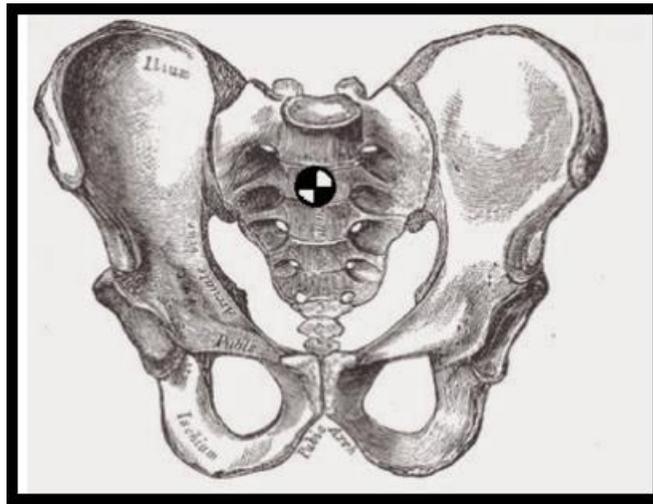
Para este caso en particular se considerará que las ruedas de la silla de ruedas, tanto delanteras como traseras poseen gomas que harán contacto con la superficie en terreno firme, por ende, se considera un coeficiente de roce estático de 0.2.

### **2.14.3. Llantas**

Las llantas comúnmente están llenas de aire (neumáticas) y por lo tanto son ligeras. También requieren mantenimiento y se pueden ponchar. Si les da mantenimiento, suelen ser la mejor opción. Las llantas neumáticas pueden también estar rellenas de espuma sólida; éstas no se ponchan, pero son un poco más pesadas y no funcionan tan bien. Las llantas macizas son de bajo costo y no requieren de mantenimiento, pero sí vuelven la conducción incómoda y generalmente no son recomendables.

## 2.15. CENTRO DE MASA EN EL CUERPO HUMANO

El denominado centro de gravedad es el centro de simetría de masa, en este punto se aplica la resultante de las fuerzas gravitatorias que ejercen su efecto sobre el cuerpo. En el cuerpo humano el centro de gravedad se halla en la pelvis, en las mujeres el punto de gravedad varía según la contextura del cuerpo, ya que los muslos y la pelvis contienen mayor masa en comparación a los hombres. En resumen, dentro de la pelvis el centro de gravedad se encuentra delante de la vértebra lumbar L5 (Miralles, 2007).



*Ilustración 20. Centro de gravedad en la pelvis*

*Fuente: Fisioterapia.Blogstop.com*

Mediante experimentos caseros se determina que la altura de la pelvis es de unos 92 [cm] la vértebra lumbar L5 que es donde se concentra el centro de masa tiene una altura de 20 [cm] a la pelvis..

Desarrollo.

## **CAPITULO III. DESARROLLO**

Desarrollo.

### 3.1. REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN

Para el diseño de la solución se tendrá en cuenta la información brindada tanto por la municipalidad de Curicó como la mutual de seguridad de Chile, con el propósito de satisfacer las necesidades posibles al usuario.

#### 3.1.1. Carga del diseño

Es importante conocer la carga que soportará el diseño porque en base a esta carga, se realizarán los cálculos posteriores, según lo que se ilustra en el gráfico 3.1 que representa a la comuna de Curicó, se estima que el peso máximo de las personas en estado de dependencia que se puede atribuir en estado de discapacidad, es de 90 [kg], sin embargo por un tema de seguridad se utilizará un peso máximo de 120 [kg], además es posible que pueda existir un paciente atípico que no esté en los registros de las municipales a lo largo de todo Chile y que pueda abarcar este valor numérico



Ilustración 21. Peso de personas en estado de dependencia. Fuente: Municipalidad de Curicó

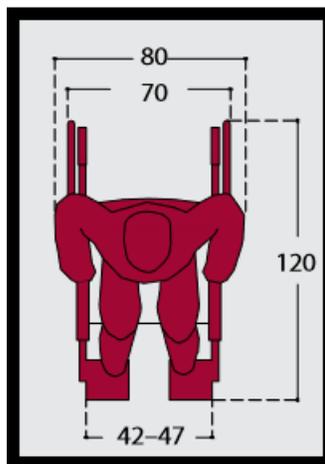
Según la mutual de seguridad en su manual de accesibilidad universal, las medidas máximas y mínimas corresponden al espacio necesario y confortable para que cualquier persona pueda circular y usar libremente el espacio. (Manual de seguridad, 2010)

Desarrollo.

### 3.1.2. Alcance de diseño

En contexto a la silla de ruedas el ancho total se relaciona con el espacio necesario requerido por una silla de ruedas en zonas de circulación, en especial, en paso en vano y puertas. Las medidas ilustradas en la ilustración 3-1 son las siguientes:

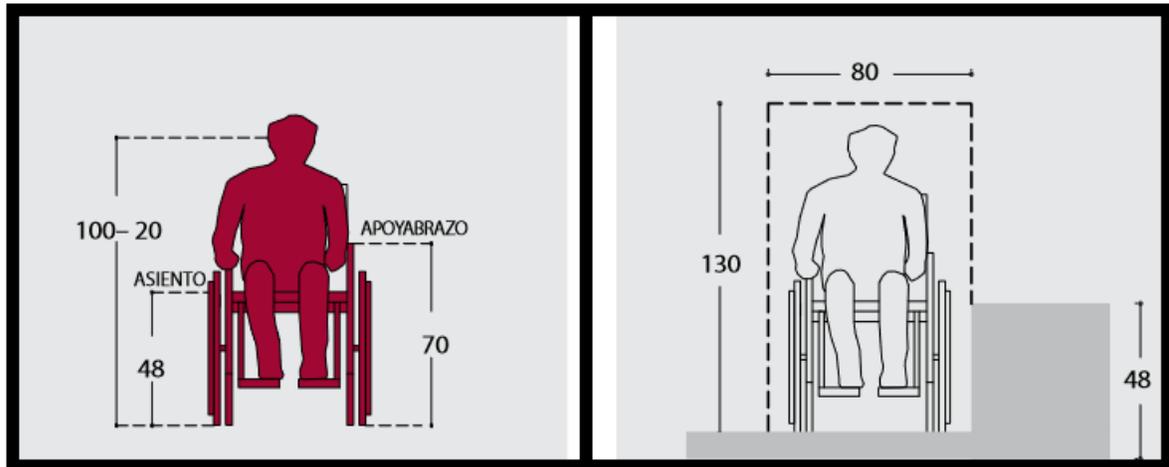
- ✓ Ancho promedio de una silla de ruedas: 70 [cm]
- ✓ Ancho de paso vano o pasillo: 80 [cm]
- ✓ Longitud de la silla: 120 [cm]
- ✓ Longitud de la silla con acompañante: 180 [cm].
- ✓ Altura de la persona sentada en la silla: 130 [cm]
- ✓ Altura libre de obstáculos: 210 [cm]



*Ilustración 22. Anchos y longitudes de una silla de ruedas. Fuente: Corporación ciudad accesible.*

Con respecto al apoya brazo tal como se observa en la ilustración 3-2, que limitan el acercamiento de los usuarios a determinados elementos como cubiertas, mesas, lavamanos entre otros, Este debe estar situado bajo cubierta. Sin embargo, la altura del asiento está relacionado con los elementos que el usuario necesita para realizar transferencias laterales hacia la cama, inodoro, ducha, etc.

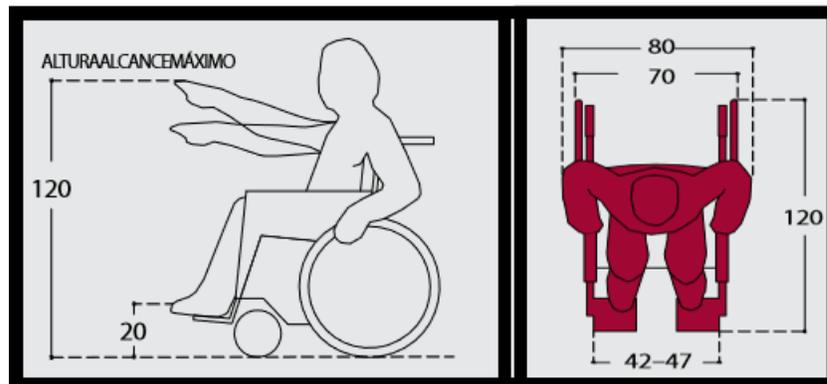
Desarrollo.



*Ilustración 21. Apoya Brazos y altura de asiento de la silla de ruedas. Fuente: mutual de seguridad.*

- ✓ Altura apoyabrazos: 70 [cm]
- ✓ Altura asiento: 48 [cm]

Los apoyapiés limitan el acercamiento de los usuarios a ciertos elementos y mobiliario como lavamanos con pedestales, puertas de vidrios sin protección, entre otros, tiene relación con la altura máxima de protección de los elementos y del choque del apoya pies. (Ver ilustración 3-3).



*Ilustración 24. Altura y ancho de apoyapié. Fuente: mutual de seguridad.*

- ✓ Altura apoyapié: 12 a 20 [cm]
- ✓ Ancho apoyapié: 42 a 47 [cm]

Cabe mencionar que las medidas enseñadas anteriormente pueden estar ligadas a ligeros cambios, según conforme avance el diseño.

Desarrollo.

## **3.2. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

### **3.2.1. Antecedentes de diseño**

Diseñado con tubos de aluminio 6061 de 2 [mm] de espesor, cuyas partes principales como el chasis, asiento y respaldo serán unidos mediante pasadores que permitan la bipedestación de la silla de ruedas, tanto el respaldo como el asiento poseen cojines especiales fabricados con gel elástico fijados mediante tornillos, con el fin de optimizar el diseño y brindar una mayor comodidad al usuario

El chasis cuenta con dos pasadores cilíndricos, el primero hará pivotar el asiento por una fuerza provocada por el actuador eléctrico situado en la zona inferior de la silla de ruedas alimentado por una batería de 12 [V]. El segundo ubicado de tal forma que cumplirá el rol de ser la conexión entre el asiento y el respaldo.

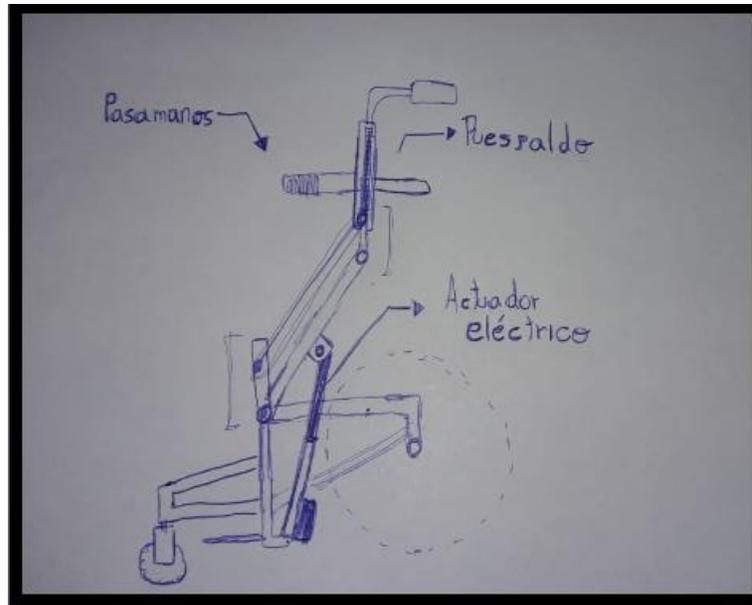
Se utilizará ruedas estandarizadas aro 24, y ruedas delanteras, Respecto a la estabilidad de la silla de ruedas, el chasis está diseñado de tal forma que el centro de gravedad este ubicado entre las dos ruedas, posteriormente mediante un análisis estático se procederá a determinar la altura correcta para que no exista volcamiento.

Para que el respaldo se mantenga estable a medida que el asiento se eleve hasta los 70°, se utilizará en mecanismo de barras paralelos para mantener el respaldo en forma vertical.

### **3.2.2. Boceto preliminar**

El boceto que se ilustrará a continuación corresponde al funcionamiento del asiento con el respaldo, donde el usuario apoyará sus muslos y espalda, el asiento tiene dimensiones de 540[mm] x 500[mm] fijado mediante 3 tornillos a la estructura de aluminio del asiento para el pivoteo a medida que se eleva el mecanismo, también se pueden apreciar los apoyabrazos soldados al respaldo como lo ilustra la imagen 3-5.

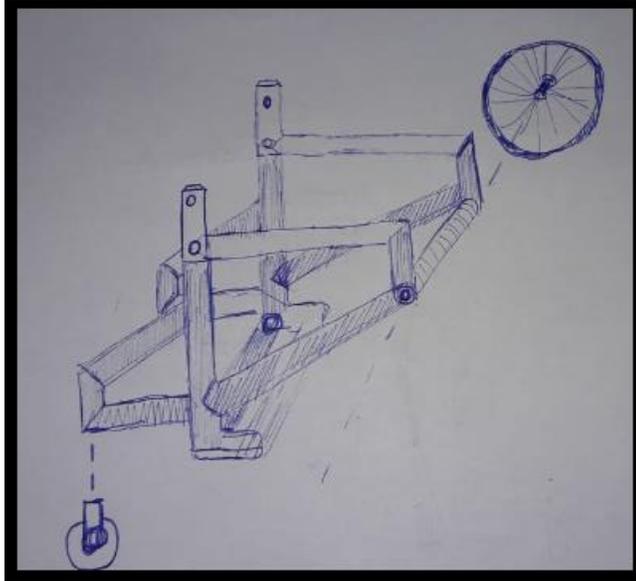
Desarrollo.



*Ilustración 25. Boceto a mano alzada asiento y respaldo con mecanismo de elevación. Fuente: Elaboración propia.*

En la ilustración 3-5. se puede apreciar el boceto correspondiente al chasis, que contiene el apoyapié junto con el actuador, la estructura en general está confeccionada perfiles tubulares de aluminio de 1 pulgada con 2 [mm] de espesor, contiene el pasador que se conectará al asiento para permitir el pivoteo y posteriormente la elevación, también posee en su parte inferior un conector para anclar el actuador eléctrico con el asiento.

Desarrollo.

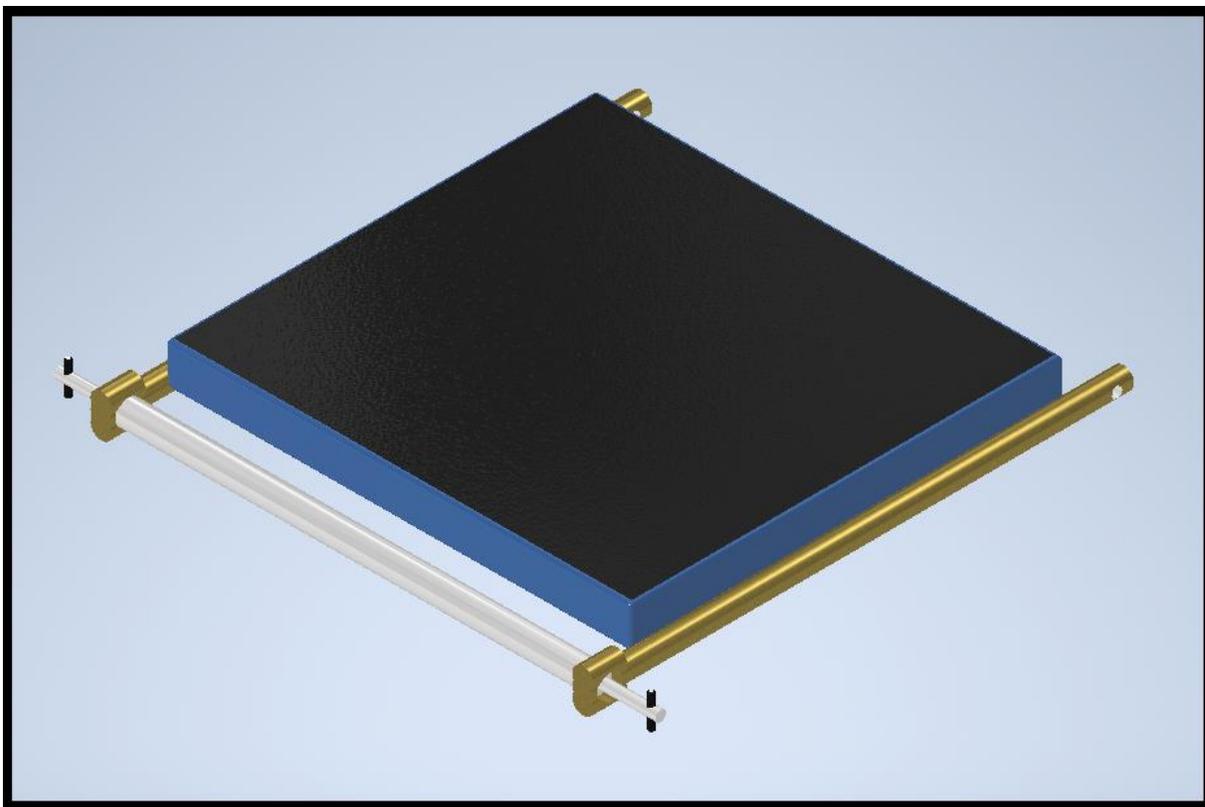


*Ilustración 26. Boceto a mano alzada chasis y ruedas. Fuente: Elaboración propia*

### **3.3. BOCETO DFINITIVO**

Originalmente se decidió crear el apoyabrazos y el asiento como dos piezas distintas, pero con el fin de ahorrar trabajo de ensamblado y de soldadura, se diseña una sola pieza como se puede apreciar en la ilustración 3-7 también posee una estructura en su parte trasera que no se consideró en el momento de crear los bocetos preliminares, cuyo fin es funcionar como un soporte para el respaldo.

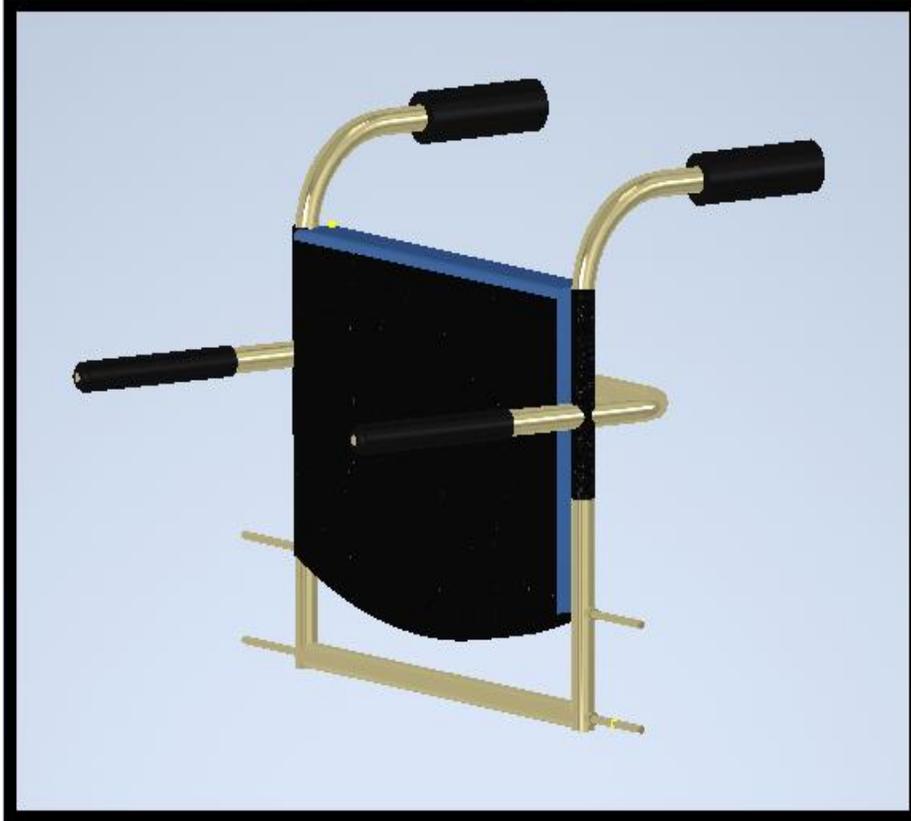
Desarrollo.



*Ilustración 27. Diseño definitivo asiento. Fuente: Elaboración propia.*

Con respecto al diseño definitivo del respaldo se le añadieron manecillas de 20 [cm] de largo para el impulso manual en caso de asistencia para el usuario, con perfiles de 1 pulgada con esquinas redondeadas de 10 [mm].

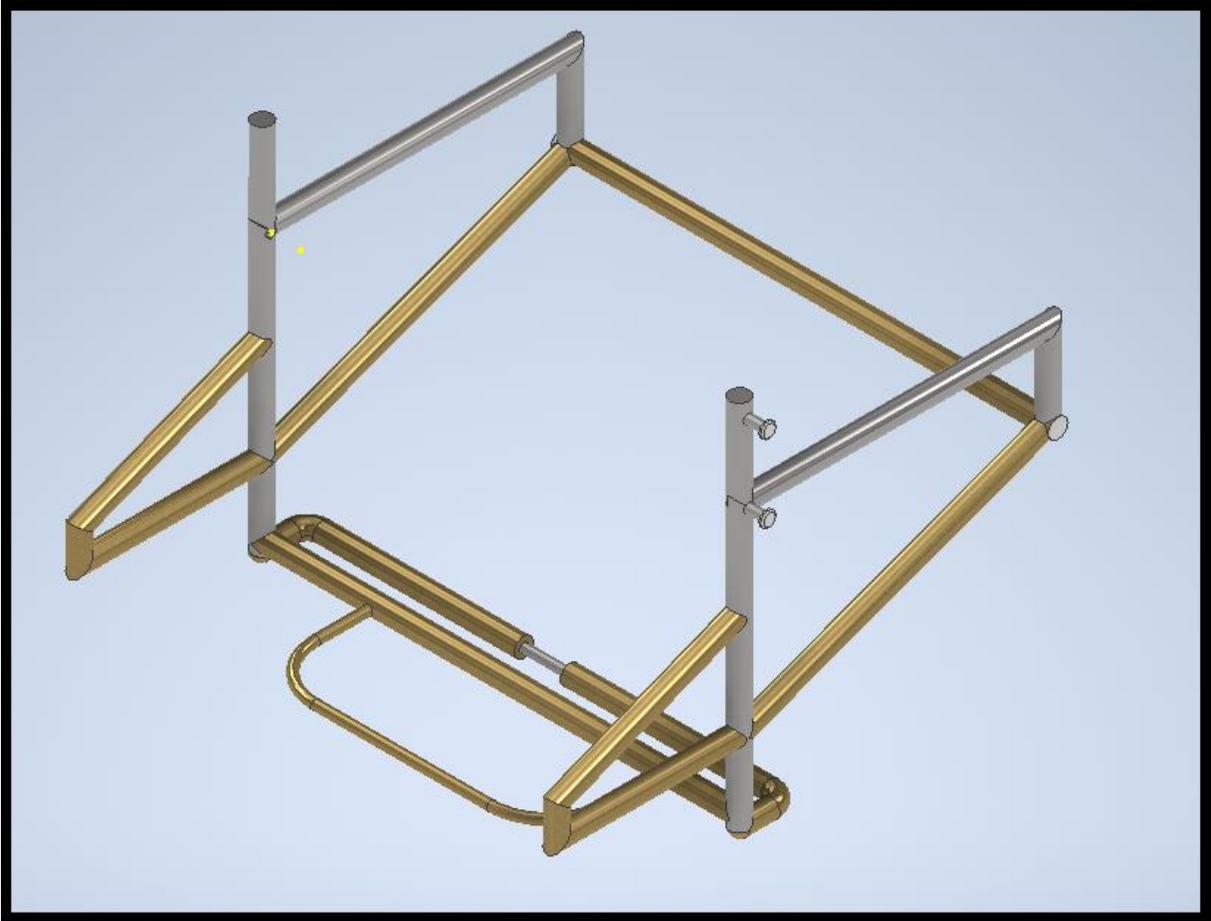
Desarrollo.



*Ilustración28. Diseño definitivo respaldo. Fuente: Elaboración propia.*

El chasis posee estructuras para el acople del actuador neumático, también cuenta con un soporte con el fin de evitar que se desplome el respaldo una vez estando en posición normal, El diseño del chasis es de tal forma que se puede añadir placas en la parte inferior mediante tornillos con el fin de soportar el peso de la batería que hará funcionar el actuador neumático con la silla de ruedas como se puede observar en la ilustración 3-9.

Desarrollo.



*Ilustración29. Diseño definitivo Chasis. Fuente: Elaboración propia.*

### **3.4. DISEÑO 3D**

El diseño 3D se presentará en la ilustración 3-10, que muestra el ensamble completo junto a los componentes del boceto a través del software asistido por computador INVENTOR en la versión 2020 pudiendo así contemplar una buena visualización de la silla de ruedas propiamente tal.

Desarrollo.



*Ilustración 30. Diseño 3D Silla de ruedas con elevación de 70 grados (izquierda) y en estado normal (derecha). Fuente: Elaboración propia.*

Una vez la silla de ruedas se encuentra en la posición de 70 grados (ilustración 30) con un pistón eléctrico se activa mediante la aplicación de una pequeña fuerza causada por el motor eléctrico del actuador eléctrico alimentado por una batería de 12 V, el pistón de gas tiene una extensión comprimida de 420 [mm] y extendido de 720 [mm].

Cabe señalar que el actuador eléctrico seleccionado ejerce una fuerza máxima de 2500 [N] y funciona con un motor eléctrico par alimentado por una batería de 12 [V]. La fuerza que ejerce el actuador a medida que se eleva la silla de ruedas va disminuyendo ya que el peso se concentra en otras zonas.

Desarrollo.

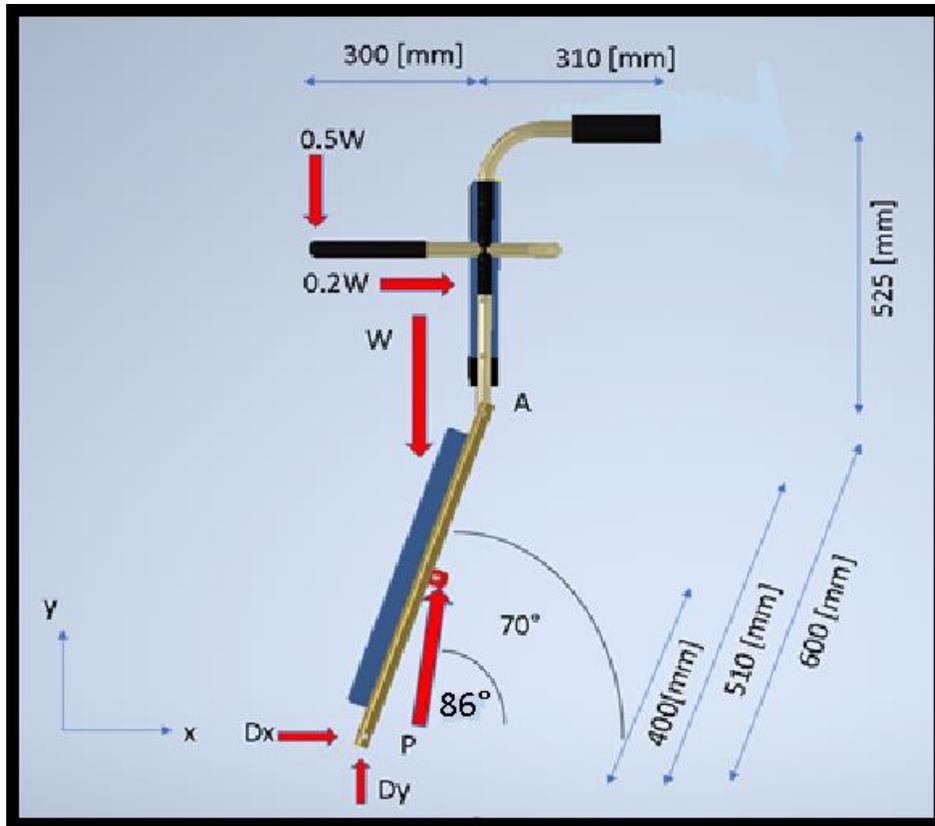


Ilustración 31. Diagrama de cuerpo libre silla de ruedas elevada.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza del actuador eléctrico se representa con la letra P, cuando la silla de ruedas se encuentra en posición de bipedestación de 70° grados, el actuador eléctrico está a 86°. La fuerza W representa la carga de diseño de 120 [Kg] y las fuerzas ubicadas tanto en el pasamanos y respaldo es una aproximación respecto a la cantidad de fuerza que puede ejercer una persona en dichos lugares guiándose para ello a través de un experimento casero gracias a una pesa. La fuerza del actuador eléctrico se determina a través de las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow D_y + P \text{Sen}(86^\circ) - W - 0.5W \quad (\text{Ec.13})$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow D_x + P \text{Cos}(86^\circ) + 0.2W \quad (\text{Ec.14})$$

Desarrollo.

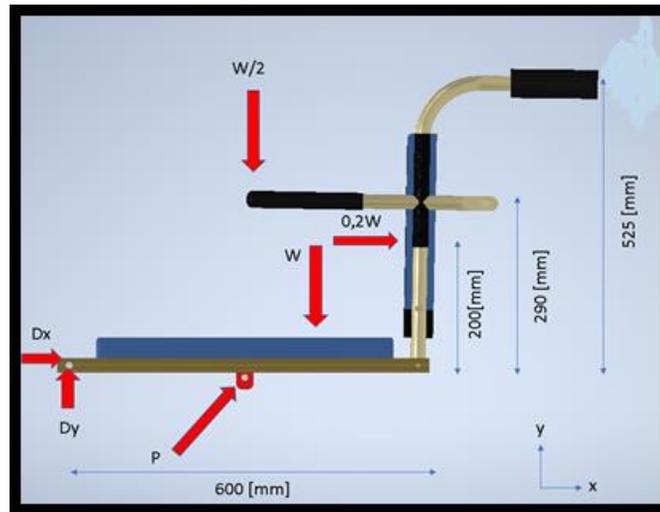
$$\sum Fy = 0 \rightarrow Dy + P\text{Sen}(86^\circ) - W - 0.5W \quad (\text{Ec.15})$$

$$\sum Fx = 0 \rightarrow Dx + P\text{Cos}(86^\circ) + 0.2W \quad (\text{Ec.16})$$

$$\sum MD = 0 \quad (\text{Ec.18})$$

$$P = \frac{0.51W * \text{Cos}(70) + (0.2 * W * (0.29 + 0.6\text{Sen}(70))) + 0.5W * \text{Cos}(70)}{\text{Sen}(86)}$$

$$P = 609 \text{ [N]}$$



*Ilustración 32. Diagrama de cuerpo libre silla de ruedas en reposo.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Se repite el mismo proceso, pero ahora en un estado de reposo de la silla de ruedas para determinar la fuerza ejercida por el actuador eléctrico.

Desarrollo.

$$\sum MD = 0 \quad (\text{Ec.19})$$

$$\sum Fy = 0 \rightarrow Dy + P\text{Sen}(52.55) - W - 0.5W \quad (\text{Ec.20})$$

$$\sum Fx = 0 \rightarrow Dx + P\text{Cos}(52.55) + 0.2 * W \quad (\text{Ec.21})$$

$$\sum MD = 0 \rightarrow 0.4 * P * \text{Sen}(86) - W * 0.51 + 0.2 * W * 0.2 - 0.3 * 0.5 * W = 0$$

$$P = \frac{0.51 * W - 0.2 * 0.2 * W + 0.3 * 0.5 * W}{0.4\text{Sen}(86)}$$

$$P = 1829 [N]$$

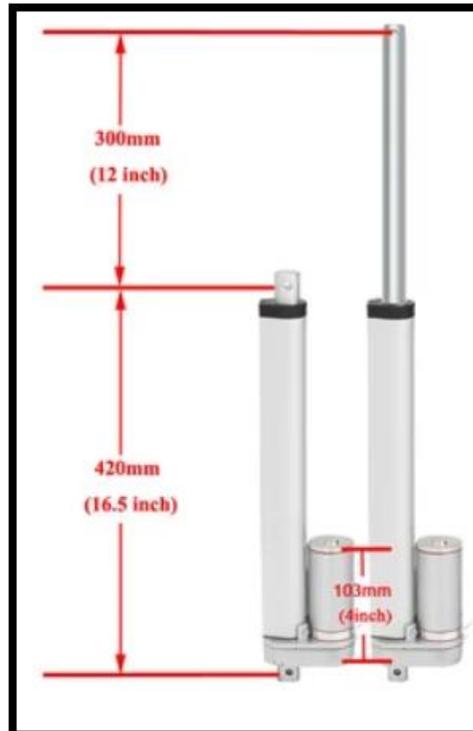
En resumen, se tienen los siguientes resultados en función al ángulo de inclinación de la silla de ruedas como se puede observar en la tabla 4.

*Tabla 5. Reacciones en el punto D y fuerza del actuador eléctrico en función al ángulo de elevación  
Fuente: sc.ehu.es*

Item	Elevado 0° grados	Elevado 70° grados
Dx	-1347 [N]	-278 [N]
Dy	313.7 [N]	1158 [N]
Fuerza P	1829 [N]	605 [N]

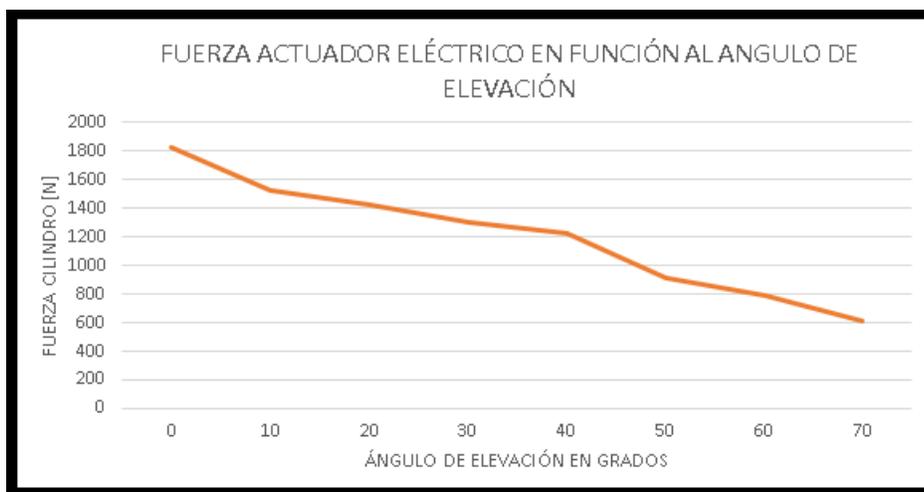
El actuador eléctrico seleccionado tiene una elevación máxima de 300 [mm] con una longitud de compresión de 400 [mm] y con una capacidad máxima de fuerza de 2500 [N] Para cumplir con los requerimientos de la silla de ruedas como se puede observar en la ilustración 3-12.

Desarrollo.



*Ilustración 33. Actuador neumático con medidas de compresión y extensión. Fuente: Elaboración propia.*

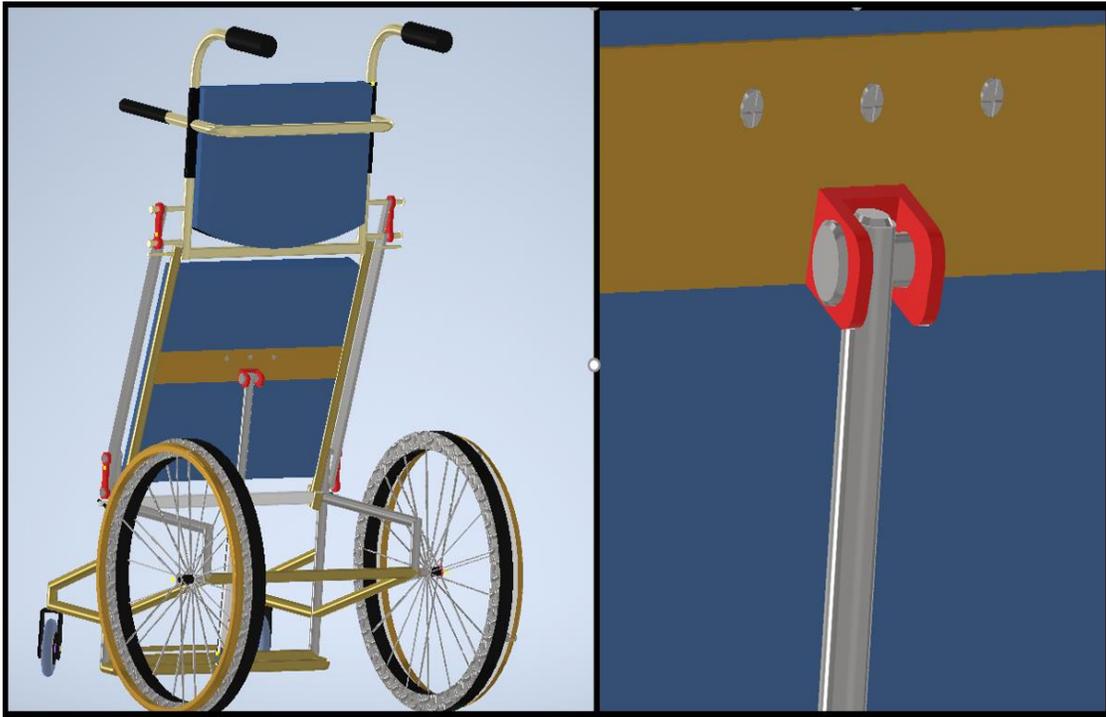
Como bien se puede observar en la ilustración 3-13 el actuador eléctrico ejerce su mayor fuerza cuando la silla de ruedas se encuentra en reposo, ya que debe soportar todo el peso de la carga de diseño de 120 [Kg], una vez la silla de ruedas se eleva el actuador eléctrico ejerce menos fuerza debido a que parte de peso se lo llevan las reacciones entre el asiento y el chasis.



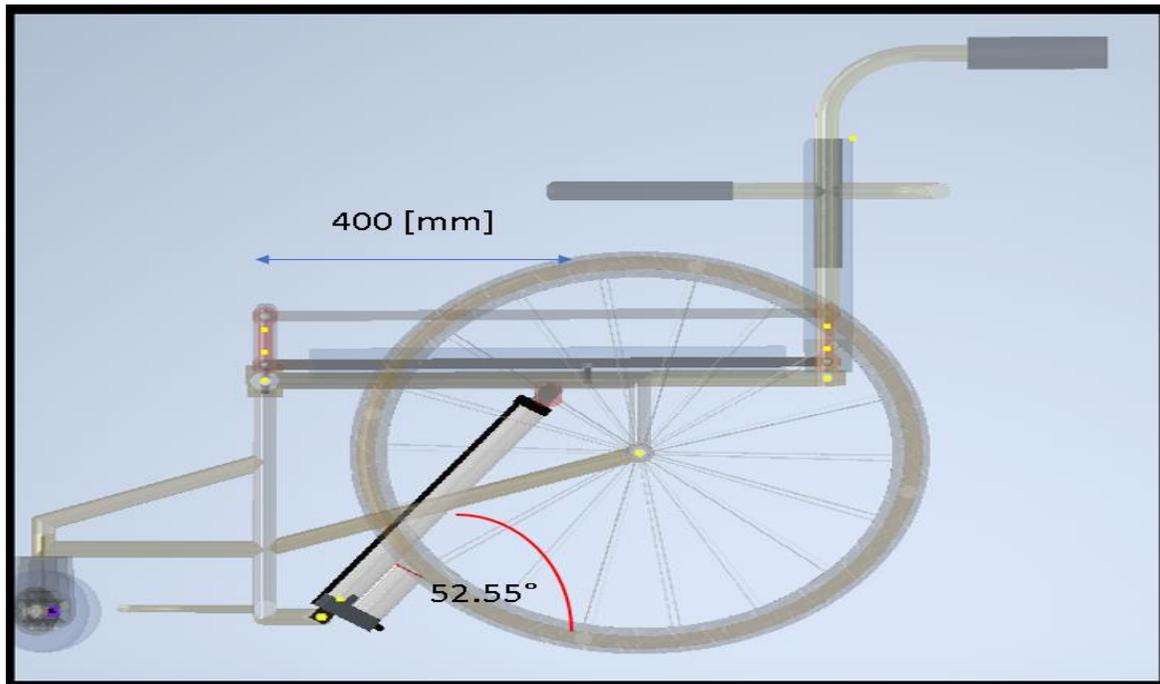
*Ilustración 34. Fuerza actuadora eléctrica en función al ángulo de elevación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Desarrollo.

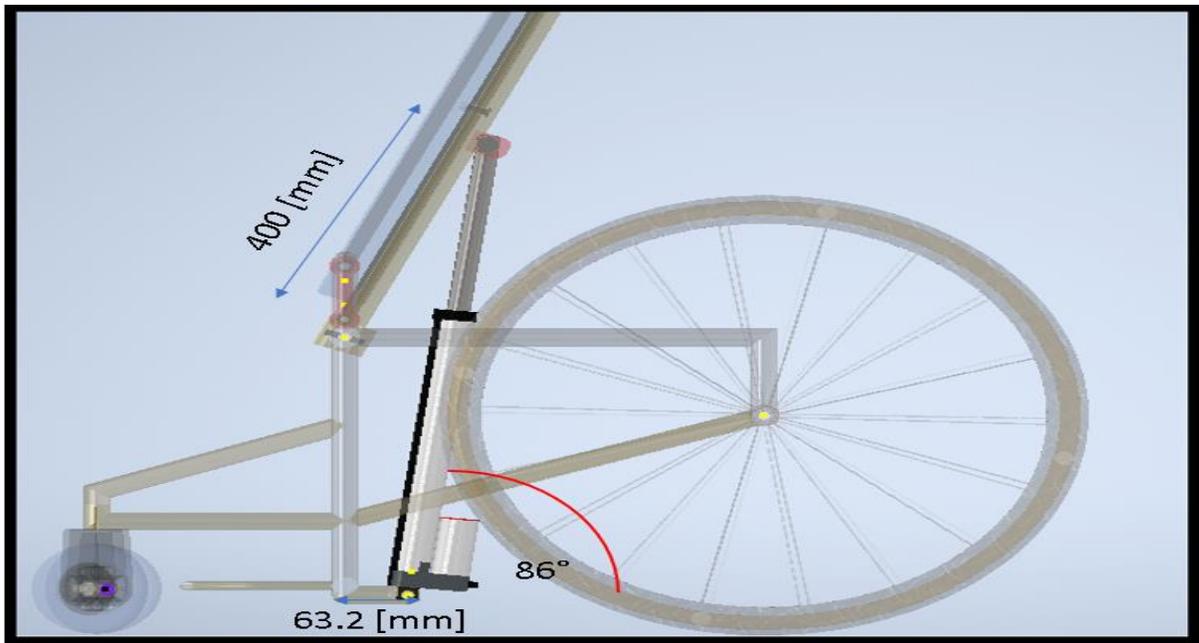


*Ilustración 35. Sistema de elevación en la silla de ruedas. Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 36. Posición y ángulo de actuador eléctrico silla de ruedas en reposo. Fuente: Elaboración propia*

Desarrollo.



*Ilustración 37. Posición y ángulo de actuador eléctrico silla de ruedas elevada.*

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 6. Posicionamiento del actuador eléctrico en función al ángulo de elevación.*

*Fuente: Elaboración propia*

Ítem	Elevación de 0 grados	Elevación en 70 grados
Distancia posición superior	400 [mm]	136.8 [mm]
Angulo actuador eléctrico	52.55 [°]	86 [°]
Distancia posición inferior	63.2[mm]	63.2 [mm]

### 3.4.1 Dimensionamiento del actuador eléctrico.

El máximo esfuerzo que está sometido el actuador eléctrico es de 1829 [N] y un valor de 605 [N] como mínimo. En función a estas fuerzas se determinará el diámetro de pistón como mínimo que se requiere para que el actuador eléctrico no presente fallas en su estructura de la parte superior. Los fabricantes de actuadores eléctricos fabrican la mayoría de estos dispositivos de aluminio. Por ende, el valor del esfuerzo ultimo que se considera es de 124 [MPa].

$$\text{Esfuerzo maximo} \leq 124 \text{ [Mpa]}$$

Desarrollo.

Teniendo en cuenta que el esfuerzo en el actuador eléctrico no debe superar los 124 [MPa] para que no sufra una fractura el dispositivo, se procede a calcular el diámetro mínimo para que esta condición no se cumpla.

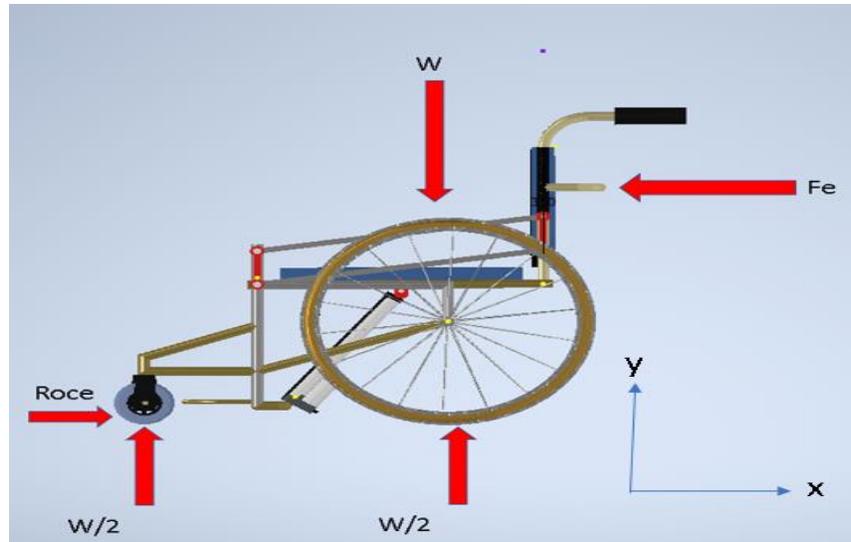
$$d = \sqrt{\frac{1829 N * 4}{\sigma * \pi}} \quad (\text{Ec.22})$$

El diámetro mínimo sugerido para el actuador eléctrico es de 4.3 mm, muy inferior al diseño del diámetro real del actuador eléctrico seleccionado que es de 22 [mm], Por consiguiente, se puede decir que el diseño del actuador eléctrico por parte del fabricante es seguro.

### 3.5. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Para el correcto funcionamiento de la silla de ruedas hay que considerar dos opciones, el primero es cuando se tiene la silla en 0 grados de elevación, es decir considerar solamente cuando la silla de ruedas se encuentra en reposo y cuando se encuentra en estado de elevación para determinar la fuerza que ejerce el cilindro.

Desarrollo.



*Ilustración 38. Representación gráfica de las masas para su cálculo de empuje. Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.1. Cálculo de empuje

En el diagrama de cuerpo libre de la ilustración 3-14 se puede apreciar la fuerza de empuje que se necesitará para que el usuario pueda impulsar la silla de ruedas o un tercero pueda asistirlo teniendo en cuenta el peso del usuario mencionado anteriormente. La fuerza de empuje necesario depende de la aceleración requerida según la segunda ley de Newton.

Dicho de otra forma, la aceleración de un cuerpo es proporcional a la fuerza neta que se le aplica, es decir, si aplicamos una fuerza mayor el cuerpo aumenta su aceleración.

$$F = m * a \quad (\text{Ec.23})$$

Donde F es la fuerza aplicada en función a la masa en kilogramos y una aceleración en función a la variación de velocidad sobre el tiempo transcurrido.

Desarrollo.

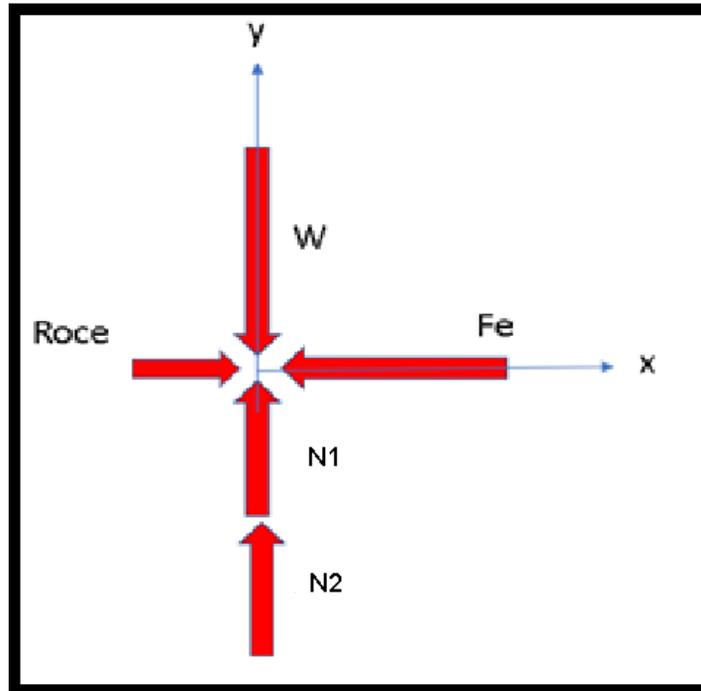


Ilustración 39. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia

Por medio del diagrama de cuerpo libre se presentan las ecuaciones de equilibrio tanto para el eje Y como el eje X.

$$\sum F_x = 0 \quad (\text{Ec.24})$$
$$\text{Roce} - F_e = m \cdot a$$

$$\sum F_y = 0 \quad (\text{Ec.25})$$
$$W - N_1 - N_2 = 0$$

Teniendo en cuenta que las fuerzas en el eje Y se anulan, dado que la fuerza Normal (N) es igual como también contraria al peso, ambas se contrarrestan, además, despejando la ecuación en el eje X y sabiendo que el coeficiente de roce rodante es de 0.2:

$$\text{Roce} = N \cdot \mu \quad (\text{Ec.26})$$
$$\text{Roce} = 1177.2 \text{ [N]} \cdot 0.2$$
$$\text{Roce} = 235 \text{ [N]}$$

Para calcular la fuerza de empuje que tiene una persona en silla de ruedas se considera la velocidad promedio la cual andan las personas en sillas de ruedas, suponiendo una cifra semejante a la realidad de 1.5 [m/s] como velocidad final, partiendo desde el reposo, recorriendo

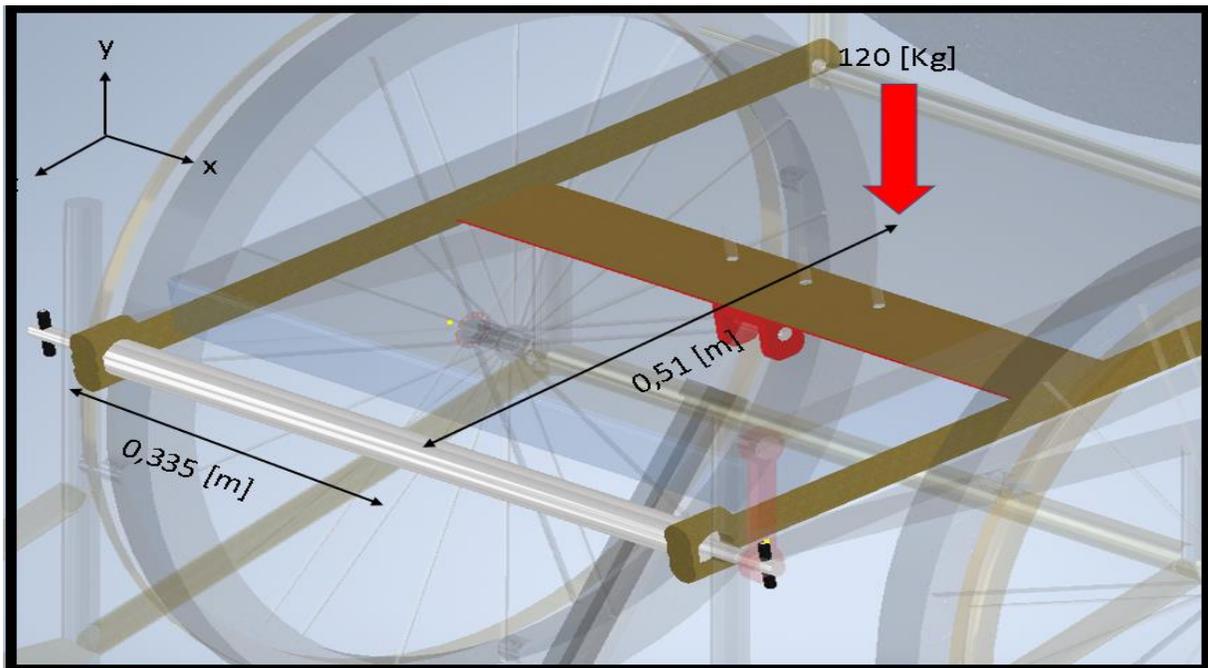
Desarrollo.

de esta forma un trayecto de 20 segundos por una persona en situación de discapacidad se llega a una aceleración promedio  $0.075 \text{ [m/s}^2]$

Considerando una aceleración de  $0.075 \text{ [m/s}^2]$  y despejando la fuerza de empuje, se llega a una fuerza equivalente de  $226 \text{ [N]}$ .

### 3.5.2. Dimensionamiento en el pasador

El pasador que permite el pivoteo del asiento asegurados con otros dos pasadores pequeños de  $20 \text{ [mm]}$ , esta sometido bajo un momento torsoe causado por la carga del usuario tal como se refleja en la ilustración 40.



*Ilustración 40. Distancias y carga de diseño en el pasador. Fuente: Elaboración propia*

Desarrollo.

Tabla 7. Fuerza de corte, momento flector y deflexión máxima. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Expresión
Momento torsor	$\frac{Mc}{J}$
Torque	1177,2 [N]x0,51 [m]
Momento en el eje z	1177,2[N]x 0,335 [m]

Teniendo estos datos se puede analizar cuál es la zona más crítica, y en para este caso sería en los dos puntos donde se está ejerciendo la fuerza de 588.6 [N] tal como se presenta en el diagrama de corte y momento de la ilustración 3-17.

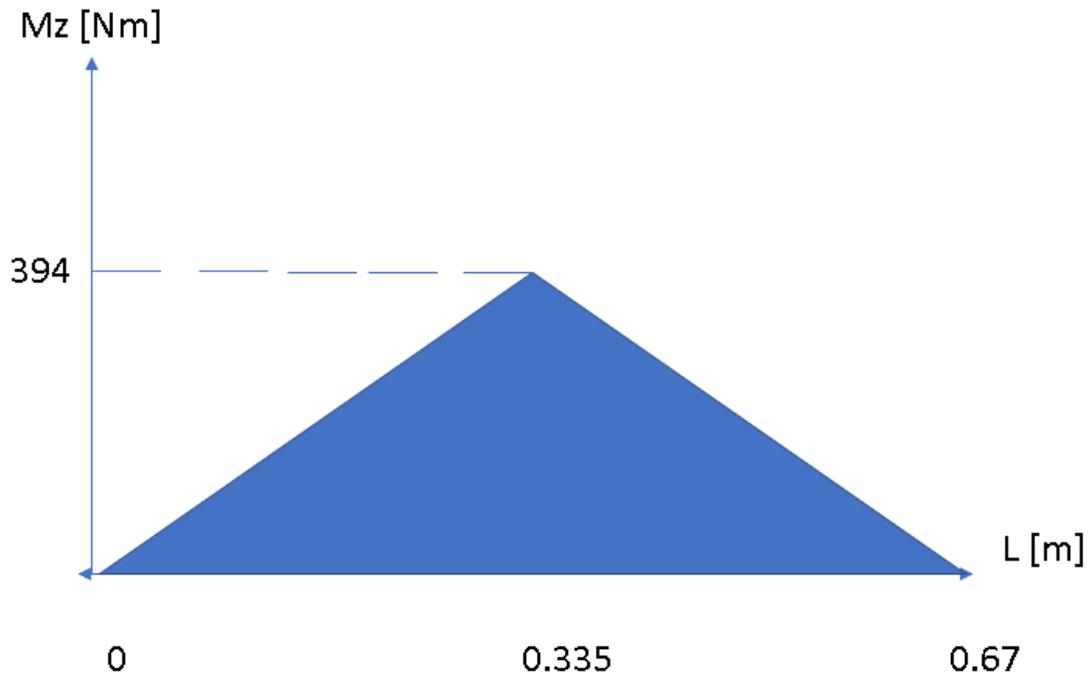


Ilustración 41. Momento máximo en el pasador. Fuente: Elaboración propia

Desarrollo.

La magnitud de las fuerzas de corte y momento flector se presentarán a continuación en la tabla 3.3.:

*Tabla 8. Fuerza de corte, momento flector y deflexión máxima en el pasador. Fuente: Elaboración propia.*

Criterio	Magnitud
Fuerza de corte.	1177.2 [N]
Momento Flector.	394 [Nm]
Deflexión máxima.	0.001 [m]

Usando la ecuación 9 se puede determinar el esfuerzo de corte considerando que se conoce la fuerza de corte y el área de la sección transversal. Cabe señalar que la fuerza de corte a utilizar es la diferencia entre el máximo y mínimo como se puede observar en el diagrama de corte

$$\frac{\pi}{2} r^3 = \frac{\sqrt{394^2 + 600^2}}{124 [Mpa]} \quad (\text{Ec.27})$$

$$r = 0,015 [m]$$

El radio necesario del pasador según la carga de diseño existente en el pasador es de 15 mm teniendo en cuenta que se realiza bajo máximas condiciones.

Desarrollo.

### 3.5.3 Soldadura en la placa del cojín.

Una parte crítica con respecto al chasis es específicamente la zona que aguantará todo el peso del usuario, por lo que a continuación se simulará y determinará el factor de seguridad recomendado para esta parte de la silla de ruedas.

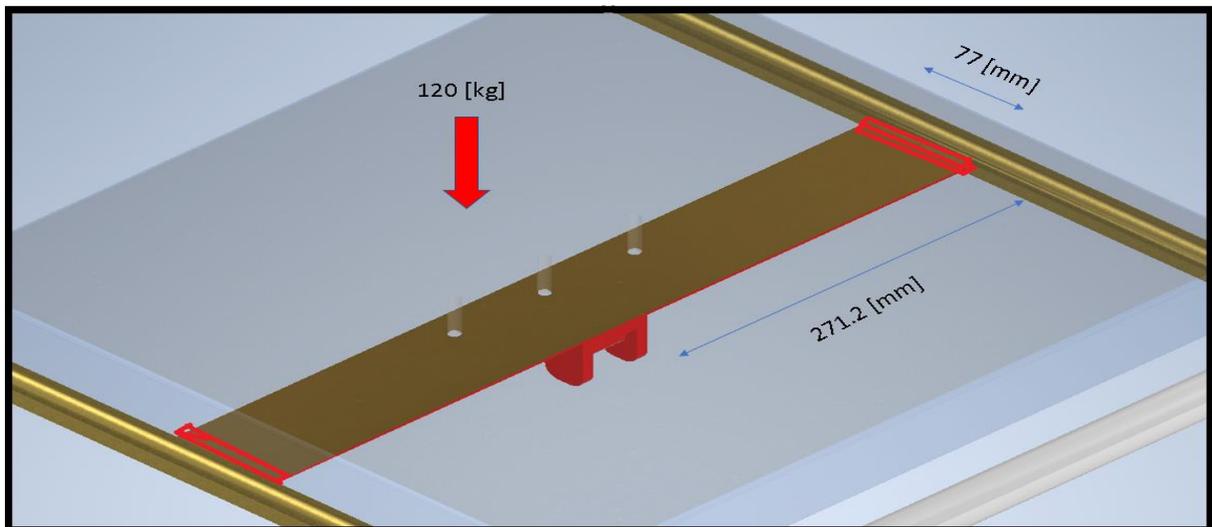


Ilustración 42. Soldadura en el soporte del cojín. Fuente: Elaboración propia

La situación queda ejemplificada en la ilustración 3-19 donde se puede evidenciar el comportamiento de la fuerza del actuador eléctrico y la fuerza distribuida causada por el usuario.

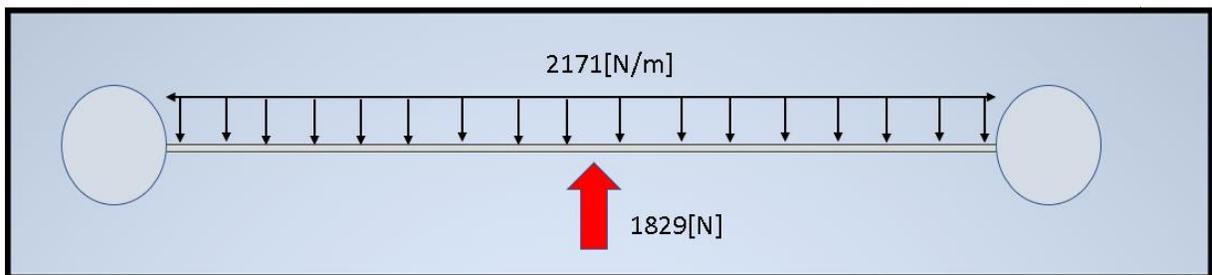


Ilustración 43. Diagrama de cuerpo libre y efecto de deflexión en el soporte. Fuente: Elaboración propia

Desarrollo.

Para calcular la deflexión es necesario conocer algunos datos de la estructura propiamente tal como el módulo de elasticidad y la inercia en el eje x del soporte teniendo en cuenta que es un listón de aluminio 6061 de 542x77x4 [mm].

Tabla 9. Datos del soporte de chasis de aluminio 6061. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Magnitud	Unidad
L	542	[mm]
E	69,8	[GPa]
P	1829	[N/m]
I	0.000000001	[m <sup>4</sup> ]
A	0,041	[m <sup>2</sup> ]

A continuación, se hará el diagrama de momento flector en la estructura para determinar cuál es la zona más crítica.

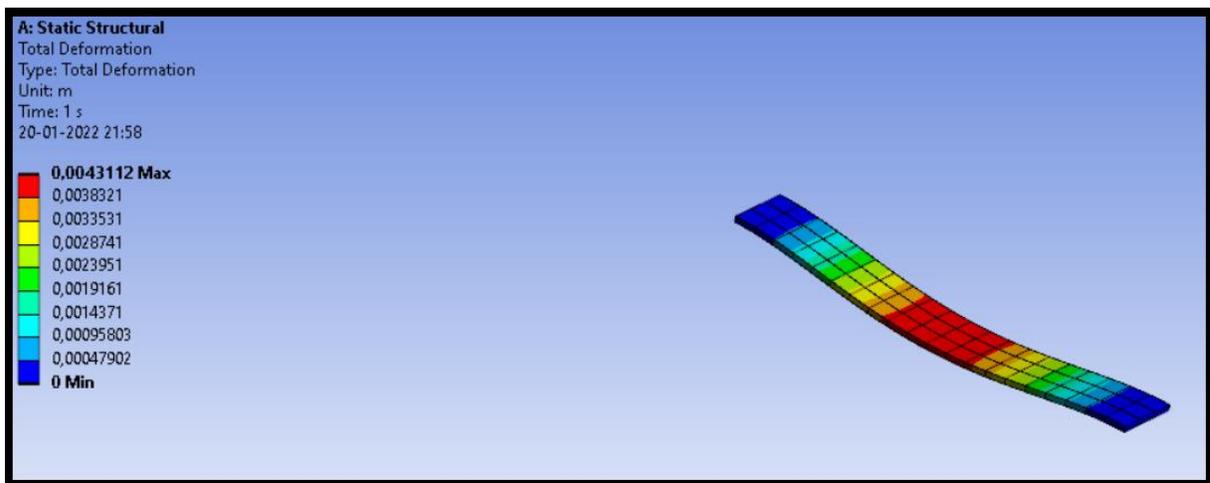


Ilustración 44. Deflexión en la placa del cojín. Fuente: Elaboración propia

A simple vista y con ayuda del software ANSYS se puede concluir que la zona más crítica es la parte de al medio de la estructura, donde ocurrirá una máxima deflexión debido a la carga distribuida del sistema causado por el usuario y el actuador eléctrico, causando una deflexión de 4.3 [mm].

A continuación, usando la ecuación 11 se determina el factor de seguridad en función al máximo esfuerzo la cual está sometido la estructura que es de 162 [MPa]. El factor de seguridad recomendado la estructura es de 1.9 aproximadamente.

Desarrollo.

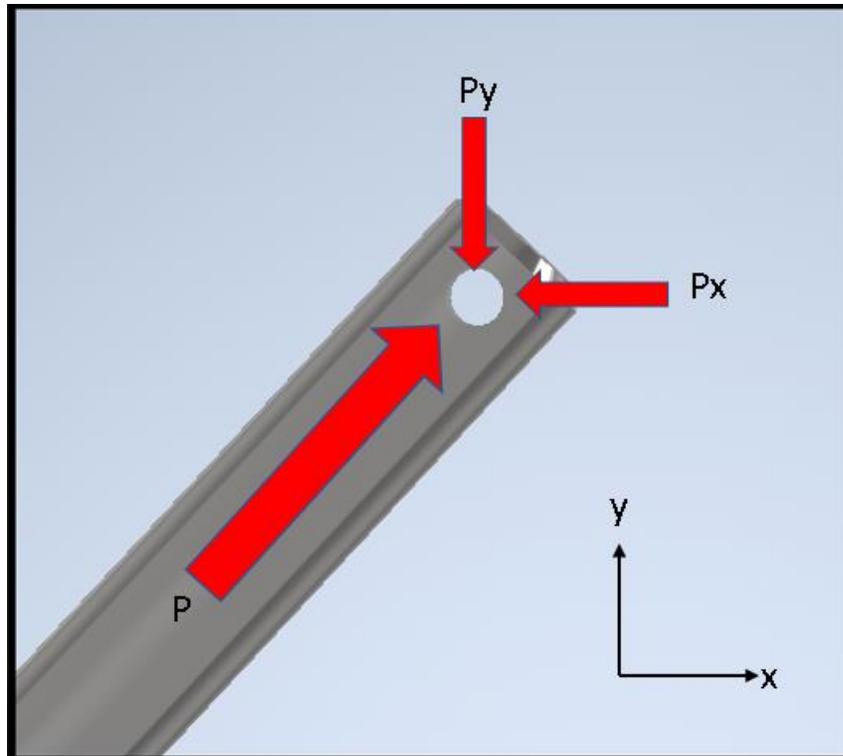
$$F. S. = \frac{\sigma_{falla}}{\sigma_{perm}} \quad (Ec.28)$$

$$F. S. = \frac{310 [MPa]}{162 [MPa]}$$

#### **3.5.4 Esfuerzo en la horquilla.**

La horquilla ubicada la parte inferior de la placa de aluminio en el cojín del asiento, cumple la función de realizar el pivoteo del actuador eléctrico para que la silla de ruedas se pueda elevar. La fuerza a la que se somete el eje de articulación proveniente del actuador eléctrico son las siguientes

Desarrollo.



*Ilustración 45. Fuerzas provenientes del pisón.*

*Fuente: Elaboración Propia.*

En función al ángulo de  $52.55$  [°], debido a que es el ángulo donde existe mayor fuerza ejercida en el actuador eléctrico, se procede a descomponer la fuerza  $P$ .

*Tabla 10. Descomposición de la fuerza  $P$  del actuador eléctrico. Fuente: Elaboración propia.*

$P$	1829 [N]
$P_y$	1452 [N]
$P_x$	1112 [N]

Considerando que el pasador a utilizar para la horquilla es un Perno DIN A-16x55 se obtienen los siguientes resultados.

Desarrollo.



*Ilustración 46. Pasador DIN EN 22341 16x55.*

*Fuente: fasteners.eu*

Se considera el material del perno en base a hierro teniendo así mismo una tensión máxima del material de 540 [MPa].

*Tabla 11. Esfuerzos en el pasador y diámetros sugeridos por inventor desing accelerator.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Tensión de corte en el pasador por $P_y$	7.22 [MPa]
Tensión de corte en el pasador por $P_x$	5.56 [MPa]
Esfuerzo máximo	11.09 [MPa]
Diámetro mínimo sugerido	9.56 [mm]
Diámetro mínimo para la rotura	1.02 [mm]

### **3.5.5 Pandeo y esfuerzo en los soportes laterales del chasis**

Para el cálculo de los soportes laterales del chasis, existe una fuerza de compresión causado por la reacción del asiento hacia el chasis, por ende, se considera el valor de esta fuerza  $D_y$  que como bien se pudo observar en la tabla 4 su máximo valor alcanza cuando la silla se encuentra en una posición de 70 grados, para este caso el valor es de 1158 [N].

Desarrollo.

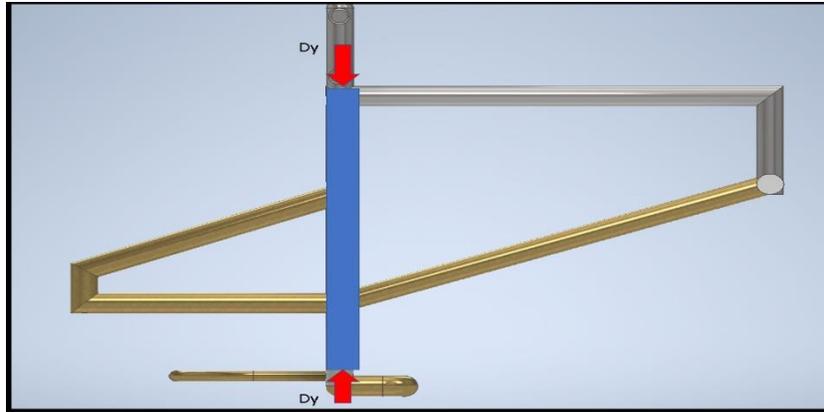


Ilustración 47. Soportes laterales mayor. Fuente: Elaboración Propia.

Para realizar los cálculos necesarios se necesita conocer algunos datos respecto a las vigas, en la tabla 3.8 se puede apreciar algunos de los datos a necesitar.

Tabla 3. Datos del soporte lateral del chasis. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Magnitud	Unidad
Largo equivalente	370	[mm]
Módulo de elasticidad	68.9	[GPa]
Inercia	13599	[mm <sup>4</sup> ]
Coefficiente de pandeo	2	

Con estos datos se puede conocer la carga crítica, lo cual provocaría una falla por pandeo en la estructura aplicando la siguiente ecuación:

$$P_{crítica} = \frac{\pi^2 * E * I}{(KL)^2} \quad (\text{Ec.29})$$

Donde:

$Le$  = Largo Equivalente.

$E$  = Módulo de elasticidad.

Desarrollo.

$K$  = Coeficiente de pandeo

$I$  = Momento de Inercia.

$P_{crítica}$  = Carga crítica de falla por pandeo.

Remplazando los datos en la ecuación 19 se obtiene que la carga crítica de los soportes laterales es de 962[kg].

El esfuerzo que está sometido el lateral mayor está determinado mediante la ecuación 11 donde se tiene:

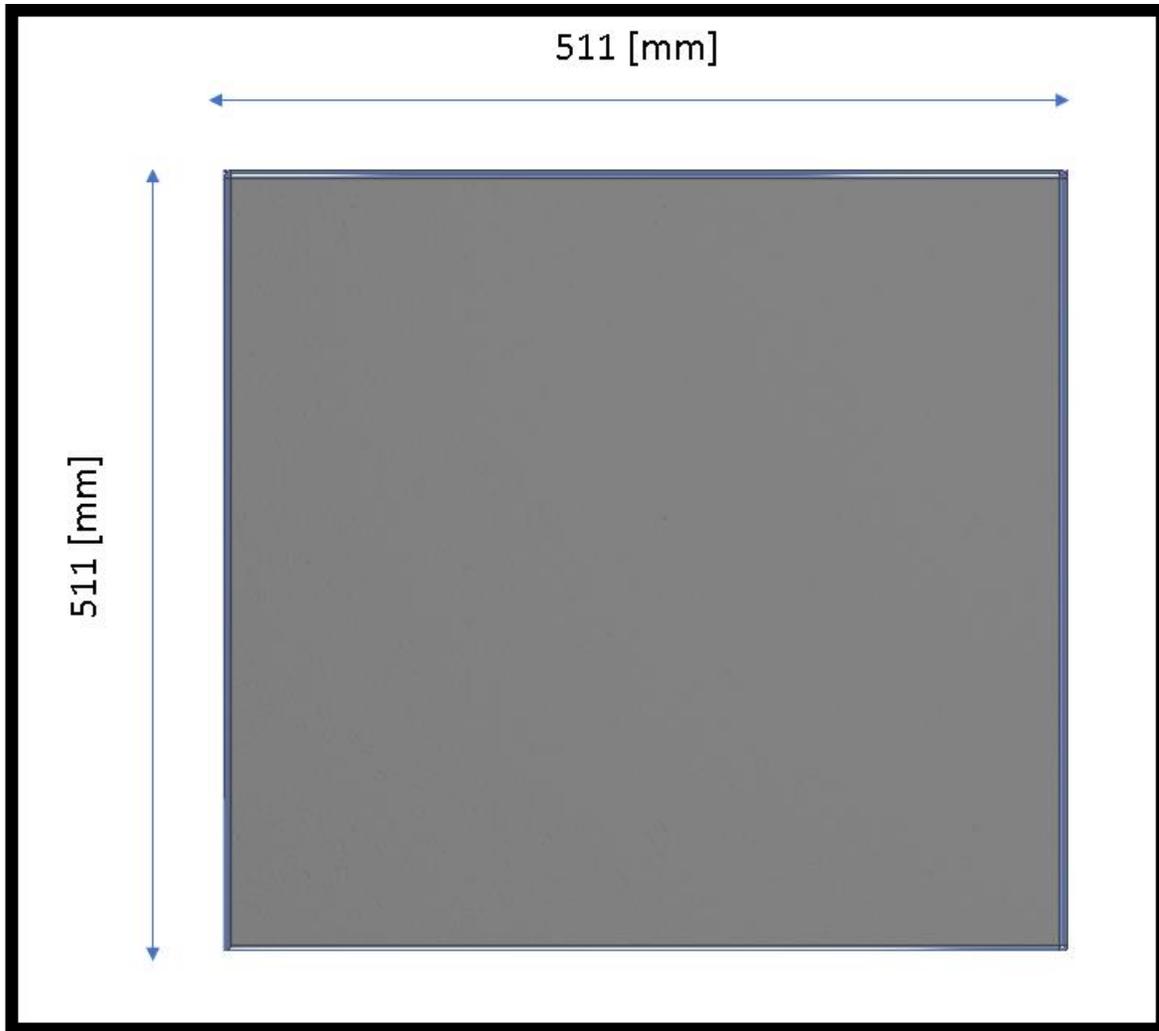
$$Esfuerzo = \frac{F}{A} = \frac{1158 [N]}{\pi * (0.0127^2 - 0.0107^2)} = 7.87 [MPa]$$

Teniendo en cuenta que el esfuerzo de fluencia del aluminio 6061 es 55.2 [MPa] el factor de seguridad para esta barra es de 7.

### 3.5.6 Esfuerzo en el asiento

El asiento será donde el usuario apoyara todo su peso, es por ello que está diseñado con una sustancia denominada como gel elástico que cumple la función de acolchar al usuario y tiene un efecto de memoria para una mejor comodidad de 511x511x50 milímetros.

Desarrollo.



*Ilustración 48. Dimensiones cojín de gel elástico para el asiento.*

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 12. Datos del cojín para el asiento. Fuente: Elaboración propia.*

Criterio	Magnitud	Unidad
Largo	511	[mm]
Ancho	511	[mm]
Espesor	50	[mm]

Desarrollo.

La Se utiliza el largo del cojín como distancia desde el eje de pivoteo hasta la fuerza ejercida equivalente a la carga de diseño para determinar una deflexión en función a la inercia, al módulo de elasticidad del material. Para ello se utiliza la ecuación 6 de deflexión.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (\text{Ec.30.})$$

Integrando la ecuación 6 en función a la distancia, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$y = \frac{Pl^3}{3EI} \quad (\text{Ec.31.})$$

Para el cálculo de la inercia se considera una sección rectangular con una base y una altura, sabiendo que el cojín de gel elástico es de 511x511x50 milímetros respectivamente.

$$I = \frac{1}{3} * h * b^3 = \frac{1}{3} * 0,511 * 0,05^3 = 0,0000221 [m^4]$$

Desarrollo.

*Tabla 13. Datos del cojín para el asiento. Fuente: Elaboración propia.*

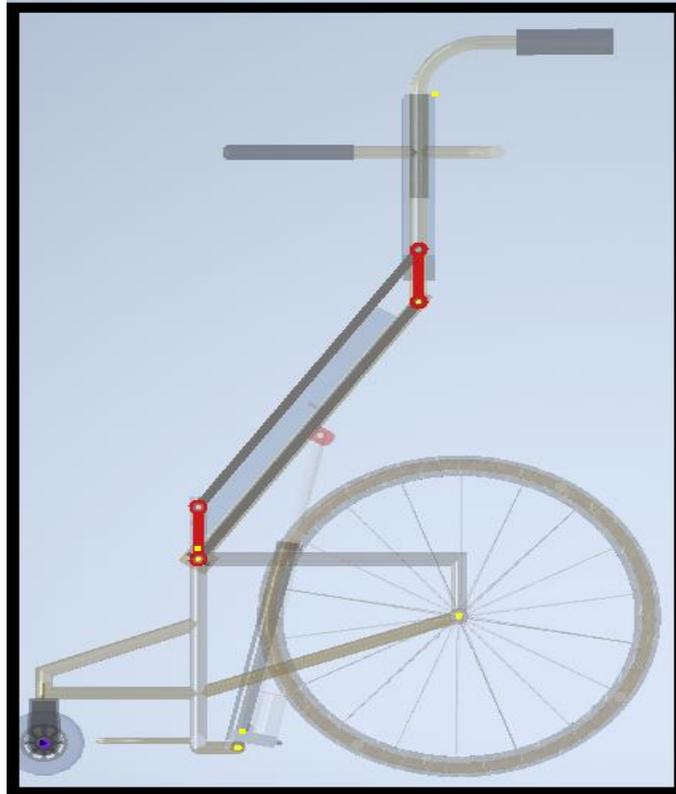
Criterio	Magnitud	Unidad
largo	511	[mm]
Carga P	1177,2	[N]
Módulo de elasticidad (E)	110	[GPa]
Inercia	0,0000221	[m <sup>4</sup> ]

La Tomando los valores de la tabla 14 y a su vez aplicando la ecuación X se obtiene una deflexión máxima en el cojín de elástico gel de 0.25 [mm].

Desarrollo.

### 3.6 SISTEMA DE BARRAS PARA LA SUJECCIÓN DEL RESPALDO.

La finalidad del mecanismo de 4 barras es mantener el respaldo en una posición vertical mientras el actuador eléctrico eleva el asiento a la posición de 70. El sistema consiste en un total de 4 barras por lado, subdivididos en 2 barras de 100 [mm] y 2 barras de 600 [mm]. Las dos barras de 100 [mm] están sujetas al chasis y respaldo de forma fija



*Ilustración49. Mecanismo de 4 barras paralelos en la silla de ruedas. Fuente: Elaboración Propia.*

El peso del respaldo equivale a [9,9 Kg] con una longitud de 500 [mm], la fuerza que actúa equivale a la carga aplicada que ejerce el torso de la persona contra el respaldo equivalente a la mitad del peso promedio visto en el gráfico 3.1.

Desarrollo.

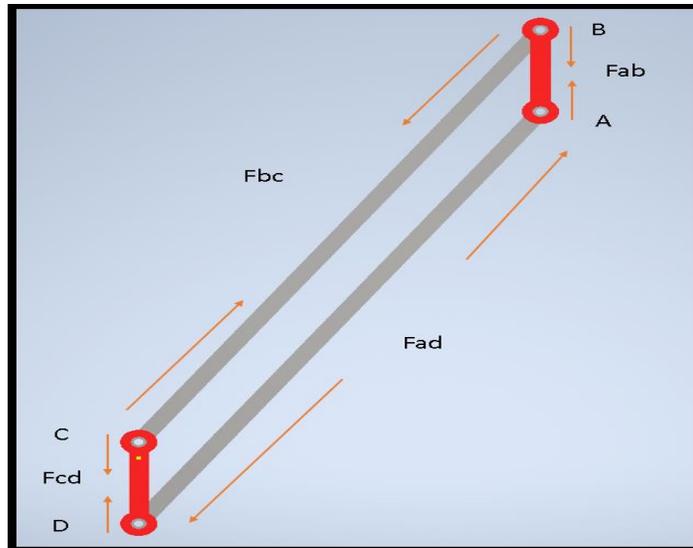


Ilustración 50. Determinación de momento en las bisagras. Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar las fuerzas  $F_{bc}$  y  $F_{ad}$  se necesita hacer un diagrama de cuerpo libre del respaldo como lo refleja la imagen 3-32.

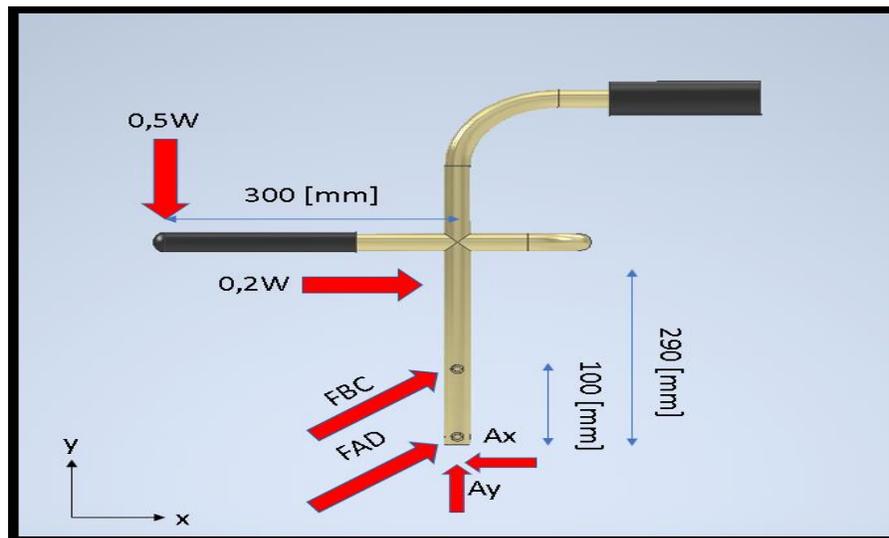


Ilustración 51. Diagrama de cuerpo libre y fuerzas en las barras largas con posición de 70 grados. Fuente: Elaboración Propia.

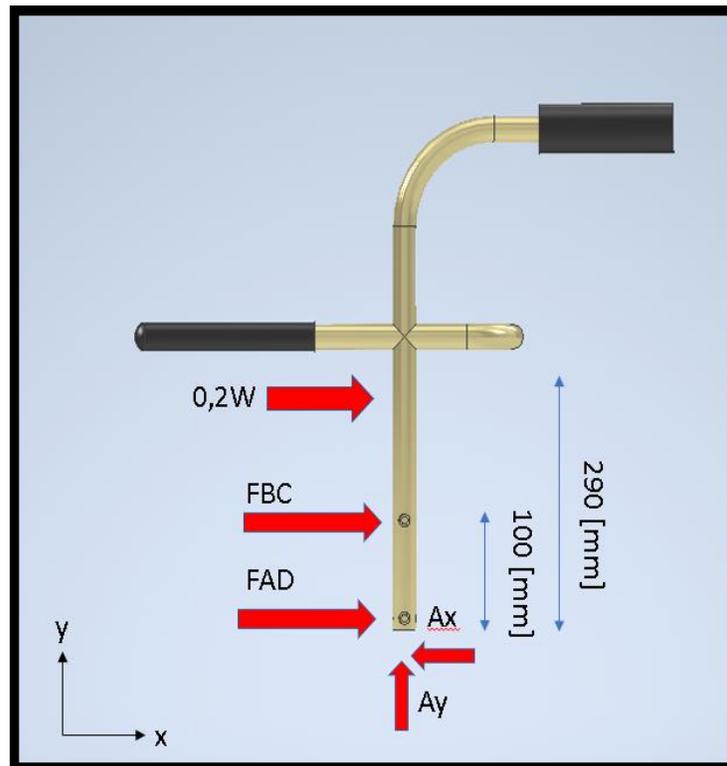
$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 &\rightarrow Ay - 0,5 * W + FAD * \text{Seno}(20^\circ) + FBC * \text{Seno}(20^\circ) = 0 \\ \sum F_x = 0 &\rightarrow 0.2W + FAD * \text{Seno}(20^\circ) + FBC * \text{Seno}(20^\circ) - Ax = 0 \end{aligned}$$

Desarrollo.

$$\sum MA = 0 \rightarrow 0.1 * FBC * \text{Seno}(20^\circ) - 0.29 * 0.2 * W + 0.3 * 0.2 * W = 0$$

La fuerza equivalente en la barra FBC da un total de -68,8 [N] , lo que significa que mientras la silla de ruedas se encuentre en una posición de 70 grados esta barra estará en compresión. En cuanto a la barra FAD su magnitud es de -165 [N] sometido a compresión.

Luego para calcular las fuerzas involucradas en las barras más largas cuando la silla de ruedas se encuentre en 0 grados hay que considerar el diagrama de cuerpo libre de la imagen 3-33.



*Ilustración52. Diagrama de cuerpo libre y fuerzas en las barras largas con posición de 0 grados. Fuente: Elaboración Propia.*

Para determinar las fuerzas involucradas en las barras más largas hay que tener en cuenta las siguientes ecuaciones de equilibrio de partículas.

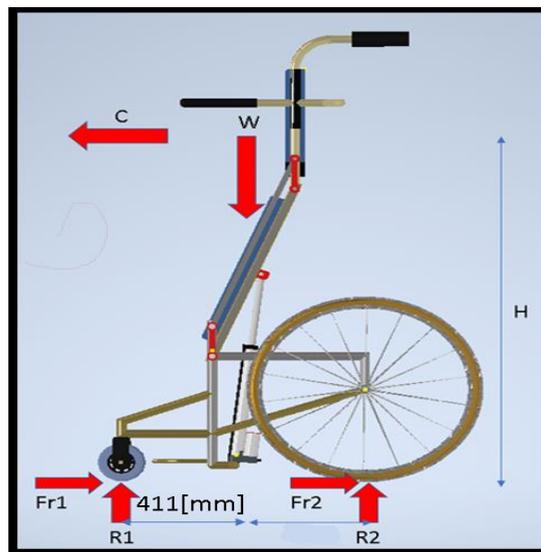
$$\begin{aligned} \sum Fy &= 0 \rightarrow -Ay = 0 \\ \sum MA &= 0 \rightarrow -FBC * 0.1 - 0.2 * W * 0.29 = 0 \\ \sum Fx &= 0.2 * W + FBC + FAD - Ax \rightarrow = 0 \end{aligned}$$

La barra FBC está sometido a una fuerza de compresión de 682 [N] mientras que la barra FAD se somete a una fuerza de 234 [N] de compresión.

Desarrollo.

### 3.7 ANALISIS DE ESTABILIDAD

Para garantizar que la silla de ruedas no se desplome al suelo cuando el actuador eléctrico se encuentre en posición extendida, se requiere de un análisis de estabilidad, se considerará el problema como un análisis estático realizando un diagrama de cuerpo libre, se debe tener en cuenta seguros tanto para las ruedas delanteras y traseras para llevar a cabo la solución se considera un coeficiente de roce estático de 0.2 causado por el roce entre la rueda y la superficie del suelo.



*Ilustración 53. Centro de gravedad con persona incluida. Fuente: Elaboración Propia*

Utilizando las ecuaciones de equilibrio estático tanto para las fuerzas en el eje x e y se tienen las siguientes igualdades.

$$\begin{aligned}\sum F_y = 0 &\rightarrow R1 + R2 = W \\ \sum F_x = 0 &\rightarrow Fr1 + Fr2 = C\end{aligned}$$

Sabiendo que la relación de fuerza normal y coeficiente de roce son magnitudes proporcionales dependiendo del coeficiente de roce 0.2 tal como lo indica la siguiente formula.

$$\begin{aligned}Fr &= u * R \\ Fr1 + Fr2 &= 120[Kg] * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0.2 \\ Fr1 + Fr2 &= 235.44 [N]\end{aligned}$$

Desarrollo.

Recurriendo a la suma de fuerzas en x se tiene la siguiente igualdad, una fuerza equivalente a 235.44 [N] para ejercer un movimiento en la silla de ruedas considerando que las ruedas están totalmente bloqueadas.

$$C = 235.44 [N]$$

Al momento de hacer el análisis de volcamiento, ante un posible desplome de la silla de ruedas, todo el cuerpo pivotaría en torno a una de las reacciones, en este caso vendría siendo en la reacción 1. Por ende, se debe hacer una sumatoria de momentos para determinar la altura mínima para donde se ejerce la fuerza C.

$$\sum MR1 = 0$$

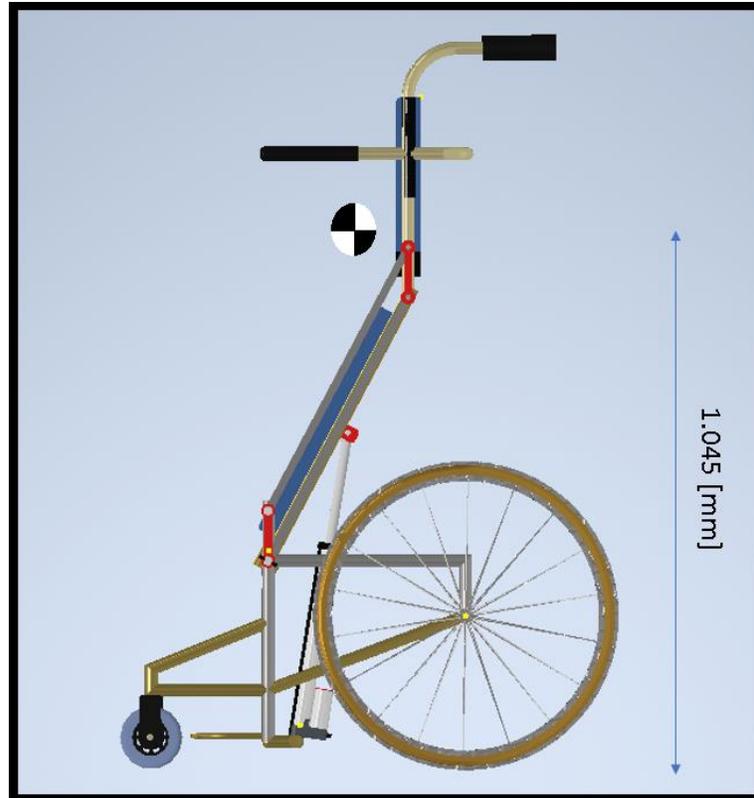
$$\sum MR1 = 0 \rightarrow 120[Kg] * 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 0.411 [m] - 235.44 [N] * H$$

$$\sum MR1 = 0 \rightarrow H = \frac{120[Kg] * 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 0.411 [m]}{235.44[N]}$$

$$H = 2.05 [m]$$

En resumen, la silla de ruedas necesita una fuerza de 235.44 [N] aplicada a una altura de 2.05 [m] para que el sistema se desplome pivotando en la rueda delantera.

Desarrollo.



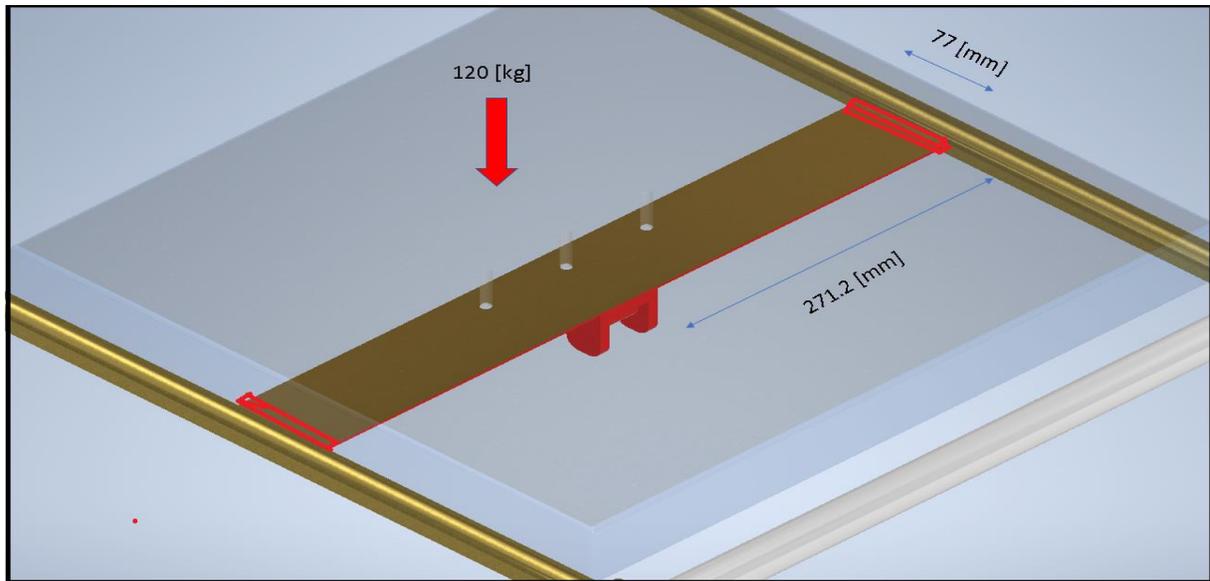
*Ilustración 54. Ubicación centro de gravedad. Fuente: Elaboración Propia*

La única fuerza ejercida que puede existir a una altura similar a la carga  $C$  mientras está en posición de 70 grados es la de centro de masa, al querer el usuario inclinarse hacia adelante, no podrá volcar la silla de ruedas debido a que la altura del centro de gravedad es menor a la altura donde podrá existir volcamiento, esto garantiza estabilidad al sistema.

Desarrollo.

### 3.8 CÁLCULO DE SOLDADURAS

Algunas zonas críticas en la silla de ruedas requieren de uniones permanentes, como es el caso de la placa ubicada en la zona inferior al cojín de gel elástica, que a su vez soportará la carga de diseño establecida en 120 [Kg].



*Ilustración 55. Soldadura en la placa inferior del cojín de gel elástico*

*Fuente: Elaboración Propia*

La soldadura es de tipo filete y está distribuida en forma lineal entre la placa y la estructura de la silla de ruedas, cabe mencionar que el electrodo a utilizar es de tipo E60XX con un esfuerzo cortante como lo refleja la ilustración 56. Sin embargo, al trabajar con aluminio el electrodo más recomendado es uno de tipo 3/32.

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

*Ilustración 56. Resistencia a la tensión según tipo de electrodo.*

Desarrollo.

*Fuente: Libro Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley 9na edición*

Se considera un tamaño de filete de 8 [mm] ya es lo más recomendado debido al espesor de la zona más delgada que en este caso es de 2 [mm]. Según lo que indica la imagen 3-37 la resistencia a la tensión de una soldadura E60xx es de 427 [MPa].

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

*Ilustración57. Esfuerzo permisible según el tipo de carga en soldaduras.*

*Fuente: Libro Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley 9na edición*

Para este caso debido a que la soldadura está sometida a torsión su esfuerzo permisible equivale al 60 por ciento de la resistencia a la tensión del electrodo, en este caso como resultado da 256.2 [MPa].

Como bien se sabe la garganta de soldadura es de 8 [mm] a lo largo de un cordón tipo filete de 77 [mm], por ende, se procede a calcular el esfuerzo cortante primario y secundario para descomponerlos y compararlos con el esfuerzo permisible.

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{V}{0.707 * h * L} = \frac{1177.2[N]}{0.707 * 0.008[m] * 0.077[m]}$$

$$\tau' = 7.205 [MPa]$$

El esfuerzo cortante secundario depende del segundo momento polar unitario del área, debido a su forma lineal el segundo momento polar viene dado de la siguiente forma.

Desarrollo.

$$J_u = \frac{L^3}{12} = \frac{0.077^3}{12} = 0.000039 [m^3]$$

El segundo momento polar del área del grupo de soldaduras viene dado por.

$$J = 0.707 * h * J_u$$

$$J = 0.707 * 0.008[m] * 0.000039[m^3] = 0.00000022 [m^4]$$

El esfuerzo de corte secundario se determina una vez conociendo el segundo momento polar del área del grupo de soldaduras para conocer su magnitud.

$$\tau'' = \frac{M * r}{J} = \frac{1177.2 [N] * 0.2712[m] * 0.077[m]}{0.00000022[m^4]} = 86.71 MPa$$

Descomponiendo ambos esfuerzos cortantes se llega al esfuerzo máximo total en la soldadura que luego se procede a comparar con el esfuerzo permisible para determinar el factor de seguridad en la soldadura.

$$\tau_{\max} = \sqrt{86.71^2 + 7.205^2} = 87 [MPa]$$

Aplicando la ecuación 11 se tiene que el factor de seguridad en la soldadura es de 2.8.

$$F.S = \frac{\text{Esfuerzo permisible}}{\tau_{\max}} = 2.8$$

Desarrollo.

### 3.7 LISTA DE MATERIALES Y COSTEO.

A continuación, se mostrará la cantidad de materiales que se necesita para la confección de la silla de ruedas, señalando además el proveedor, el precio y la cantidad de material que se necesita, cabe mencionar que los productos detallados a continuación fueron cotizados mediante páginas web, además se incluye el IVA y los costos de envíos para su fabricación. El costo total es de 623399 [CLP].

*Tabla 14: Lista de materiales. Fuente: Elaboración propia*

Item	Cantidad	Precio unitario	Proveedor
Rueda aro 5x1"	2	7080 [CLP]	Kairosmedical
Horquilla para rueda 7"	2	6200 [CLP]	Kairosmedical
Plancha aluminio 1000x3000x4	1	30999[CLP]	Acerosvalval.cl
Cable alimentación 12V	1	300 [CLP]	Sodimac.cl
Perno M8 DIN	3	590[CLP]	Sodimac.cl
DIN 22341	1	3990 [CLP]	Sodimac.cl
Rueda macizas abs aro 24	2	46000 [CLP]	Kairosmedical.cl
Actuador eléctrico 2000 N 12 V	1	101000[CLP]	Linio.cl
Tubo aluminio 1"x 220[mm]	23	8000 [CLP]	Metalvid.cl
Tubo aluminio ½" x 220[mm]	12	4880 [CLP]	Metalvid.cl
Bateria 12 [V] Long	1	38000 [CLP]	Casaroyal.cl
Frenos silla de ruedas	1	30420 [CLP]	Kairosmedical.cl
Cojín anti escaras gel elástico	2	33800 [CLP]	Kairosmedical.cl
Cinturón elástico de seguridad	1	22000[CLP]	Mercadolibre.cl

Desarrollo.

### 3.8 MEDIDAS FINALES

El diseño final de la silla de ruedas se realizó en base al manual de acceso universal con la finalidad de cumplir con la norma establecida por la mutual de seguridad, “Las medidas máximas y mínimas corresponden al espacio necesario y confortable para que cualquier persona pueda circular y usar libremente el espacio” (Corporación ciudad accesible, 2010).

*Tabla 15: Medidas finales de diseño comparadas a medidas de referencias. Fuente:  
Elaboración propia*

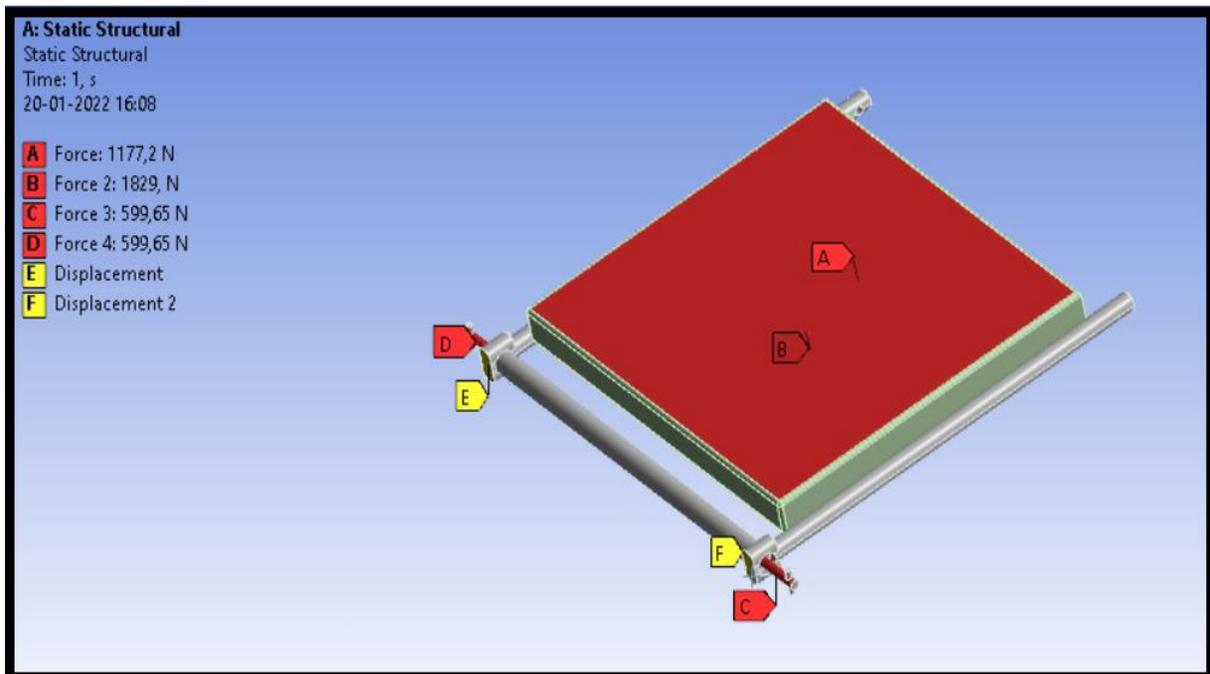
ITEM	MEDIDAS DEL DISEÑO	MEDIDAS DE REFERENCIA
Altura apoya mano	77 [cm]	70 [cm]
Altura apoyapié	10 [cm]	14-20 [cm]
Longitud silla de ruedas	110 [cm]	120 [cm]
Ancho de silla de ruedas	70 [cm]	80 [cm]
Altura de asiento	48 [cm]	48 [cm]
Ancho de apoya pies	37 [cm]	42-47 [cm]
Altura de una persona sentada.	130 [cm]	130 [cm]

Desarrollo.

### 3.8 SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

#### 3.8.1 Simulación en el asiento.

La simulación estructural del asiento se desarrolló con el propósito de obtener una mayor precisión y encontrar alguna falencia en el diseño para posteriormente volver a rediseñar para garantizar la integridad estructural del asiento y de la silla de ruedas propiamente ta



*Ilustración 58. Fuerza en el asiento. Fuente: Elaboración propia.*

La fuerza aplicada a lo largo del cojín corresponde a la carga de diseño de 120 [kg] ubicada a una distancia de 510 [mm] desde el pivote hasta el cojín de elástica, Se consideran las reacciones calculadas anteriormente con una magnitud de 599 [N] en la zona de los pivotes además de la carga que aplica el cilindro cuando la silla de ruedas se encuentra en reposo que equivale a 1829 [N], se considera esta fuerza debido a que es la máxima fuerza la cual se ve sometida la silla de ruedas en todo el trayecto desde los 0 grados de inclinación hasta los 70 grados. Las restricciones consideradas hacen referencia a que la fuerza ejercida tanto por el usuario que por cilindro provoque que el pasador se pueda desplazar libremente a excepción del eje propiamente tal del sujetador.

Desarrollo.

Se produce una deflexión equivalente a 15 [mm] como lo refleja la ilustración 3-39 en la zona extrema del cojín, un resultado esperable debido al material de confección es de gel elástico, un material muy flexible a comparación del aluminio 6061 lo cual este confeccionado gran parte de la silla de ruedas. El esfuerzo máximo en toda la estructura es de 110 [MPa] que ocurre a lo largo de los tubos cilíndricos brindando así un factor de seguridad de 2.1

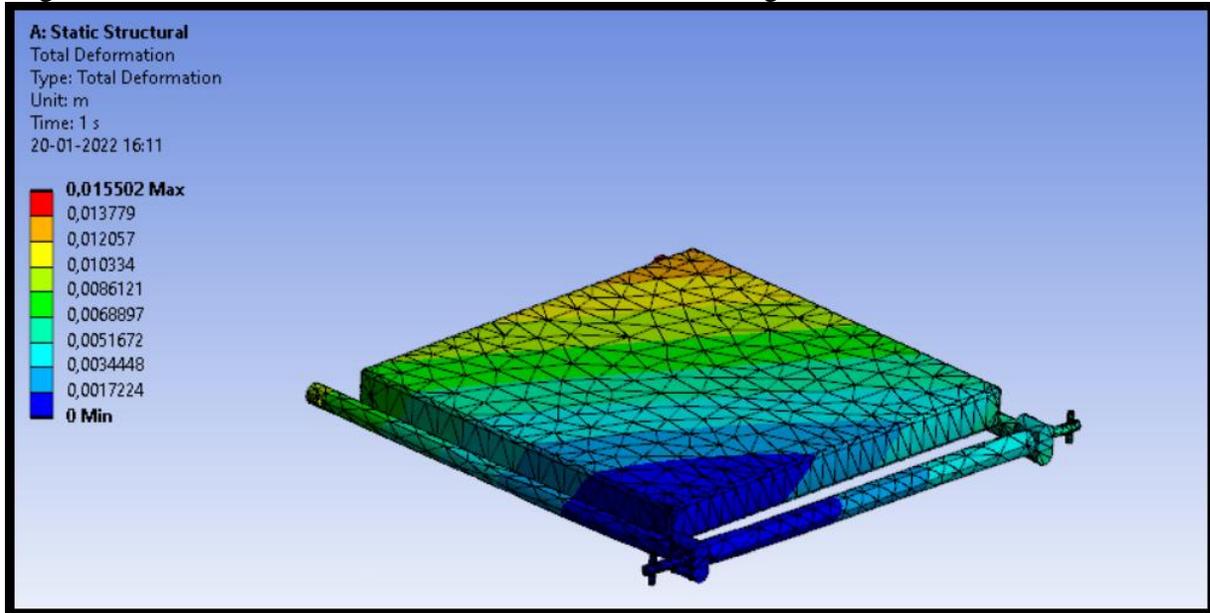


Ilustración 59. Deformación total en el asiento con pasamanos. Fuente: Elaboración propia.

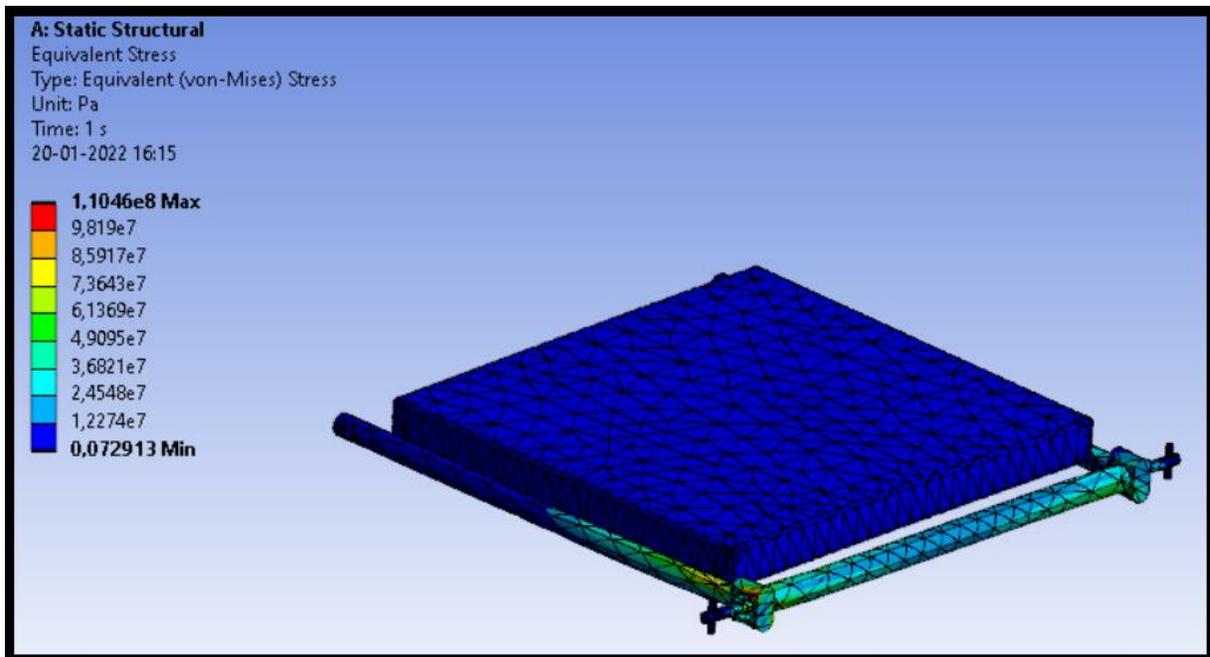
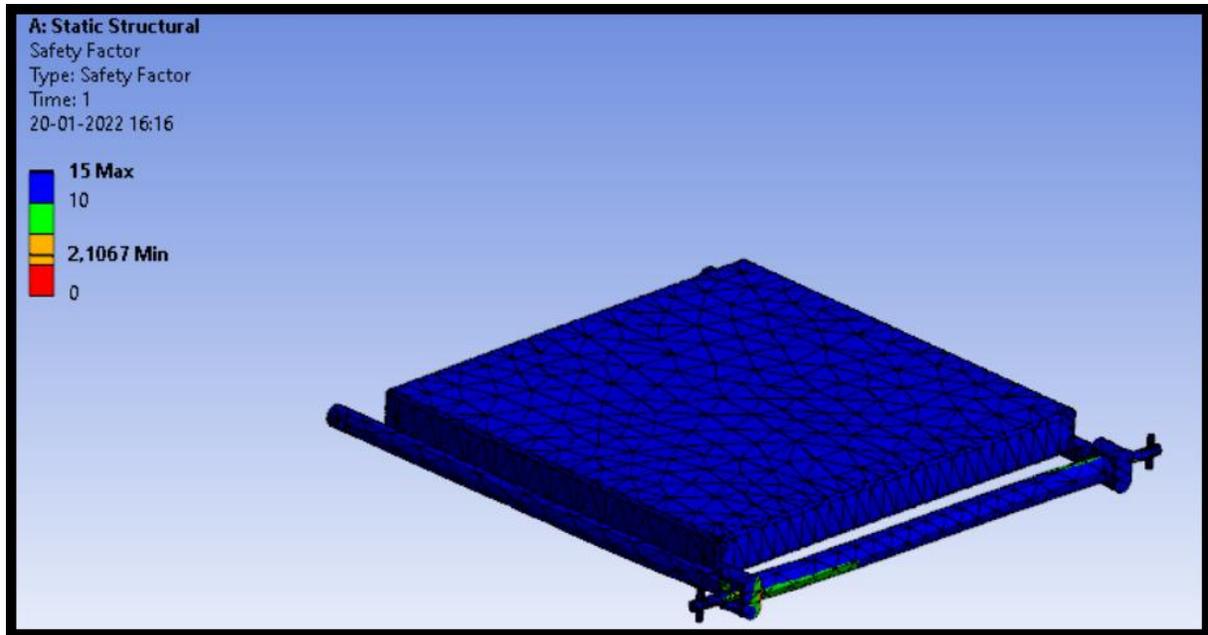


Ilustración 60. Esfuerzo Von Misses mediante simulación computacional en el asiento. Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo.



*Ilustración 61. Factor de seguridad mínimo. Fuente: Elaboración propia.*

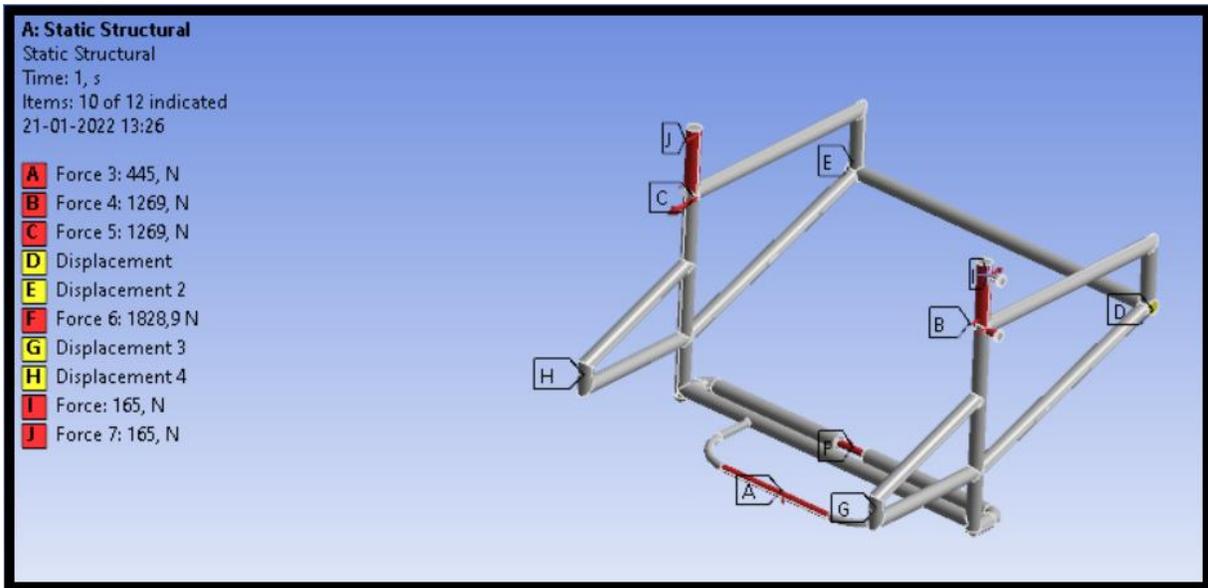
### **3.8.2 Simulación en el Chasis y apoyapiés.**

La simulación del chasis se considera en gran parte la fuerza ejercida en el apoyapié y la fuerza ejercida por el cilindro en el eje métrico de 16 [mm] ubicada en la zona posterior. Considerando a la vez las reacciones causadas por los mecanismos de barras ubicadas en la parte superior del chasis equivalente a 165 [N], cabe señalar que son fuerzas muy inferiores comparadas con la fuerza aplicada tanto en el apoyapié como en el eje métrico donde será ubicado el actuador eléctrico.

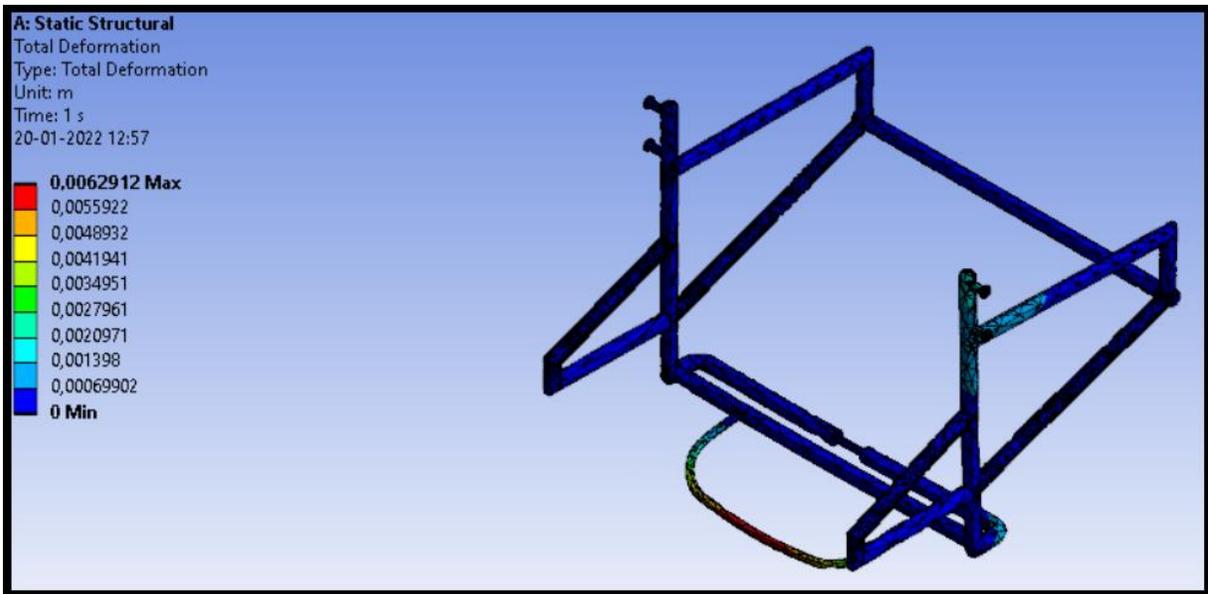
Se consideran 4 restricciones para esta simulación, una por cada rueda dejando una de estas restricciones totalmente restringidas. Las restricciones en las ruedas traseras están totalmente libres en 2 ejes, a excepción del eje a lo largo del pasador, al igual que en las ruedas delanteras. Hay que señalar que para la simulación del chasis se consideran perfiles circulares de 1 [Pulg] por 2 [mm] de espesor.

En el apoyapié existe una deformación de 6.2 [mm] debido al espesor de 12.7 [mm] y una fuerza aplicada de 445 [N], brindando un factor de seguridad de 1.8

Desarrollo.

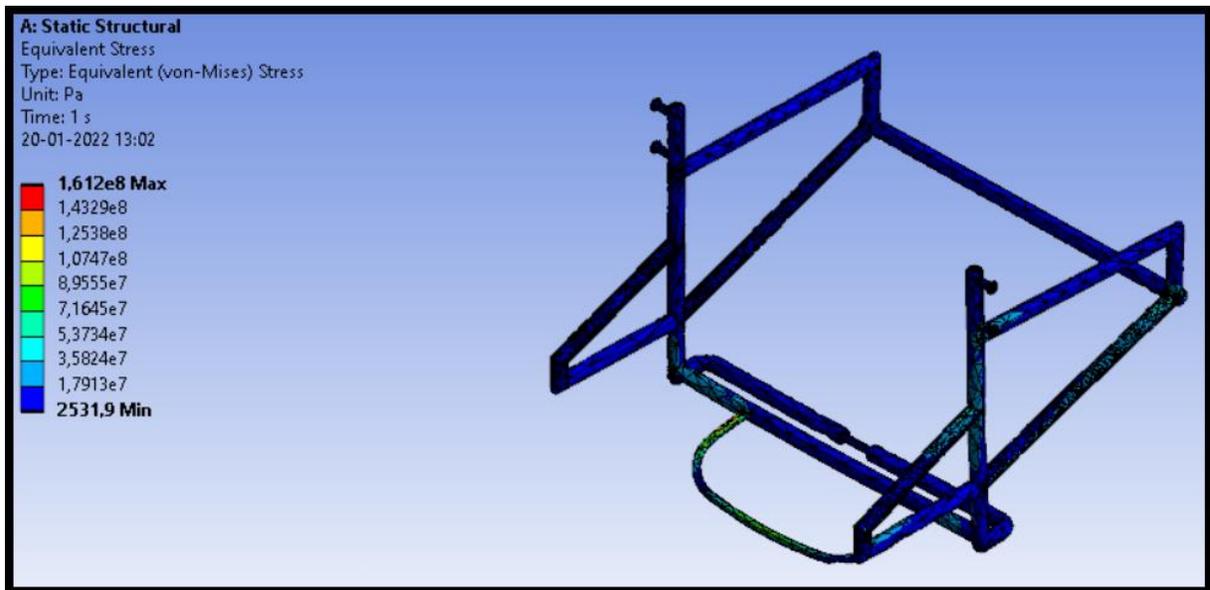


*Ilustración 62. Fuerzas y condiciones en el chasis por simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.*

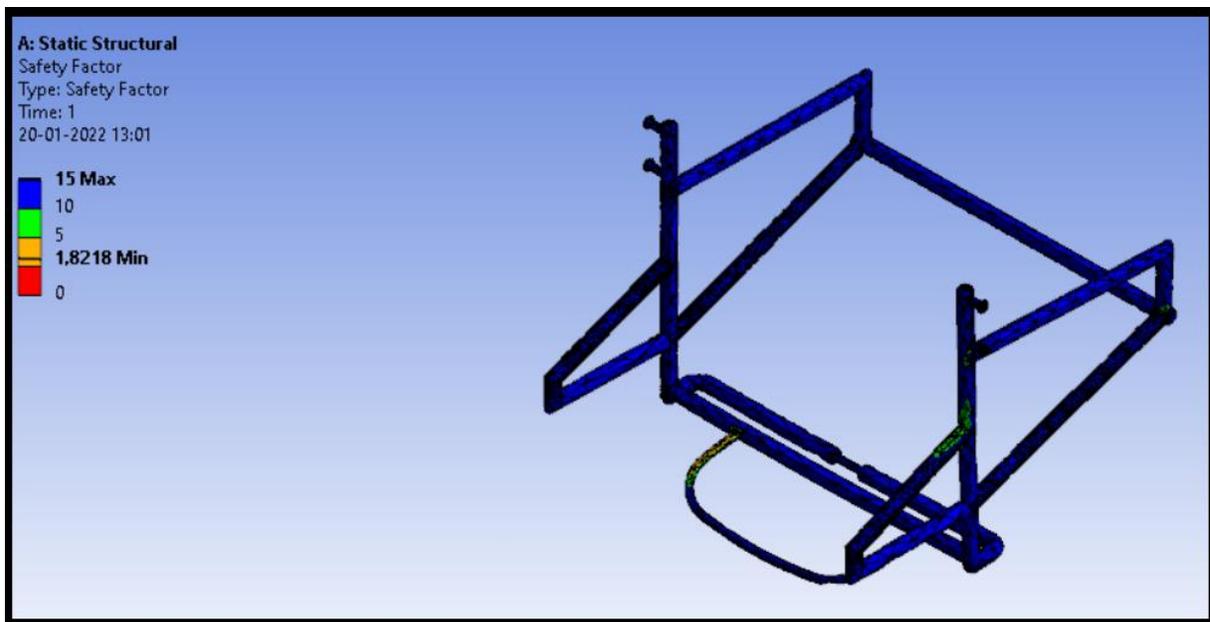


*Ilustración 63. Deformación total por simulación computacional en el chasis. Fuente: Elaboración propia.*

Desarrollo.



*Ilustración 64. Esfuerzo de Von Misses en el Chasis. Fuente: Elaboración propia.*

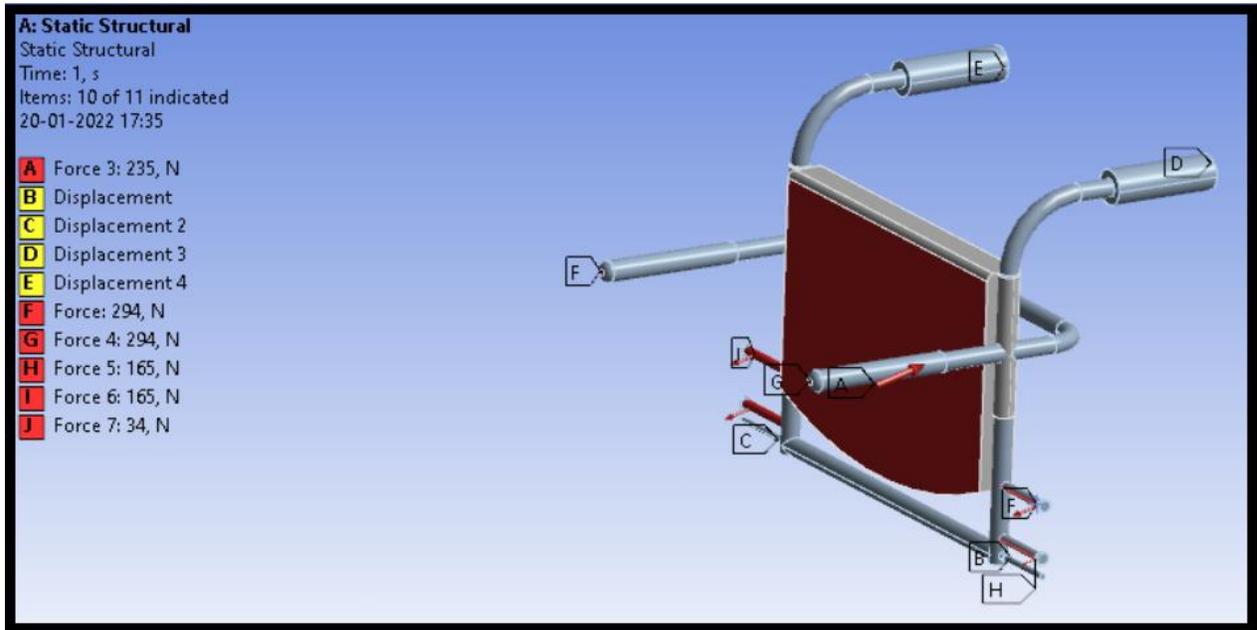


*Ilustración 65. Factor de seguridad en el chasis. Fuente: Elaboración propia.*

Desarrollo.

### 3.8.3 Simulación computacional del respaldo.

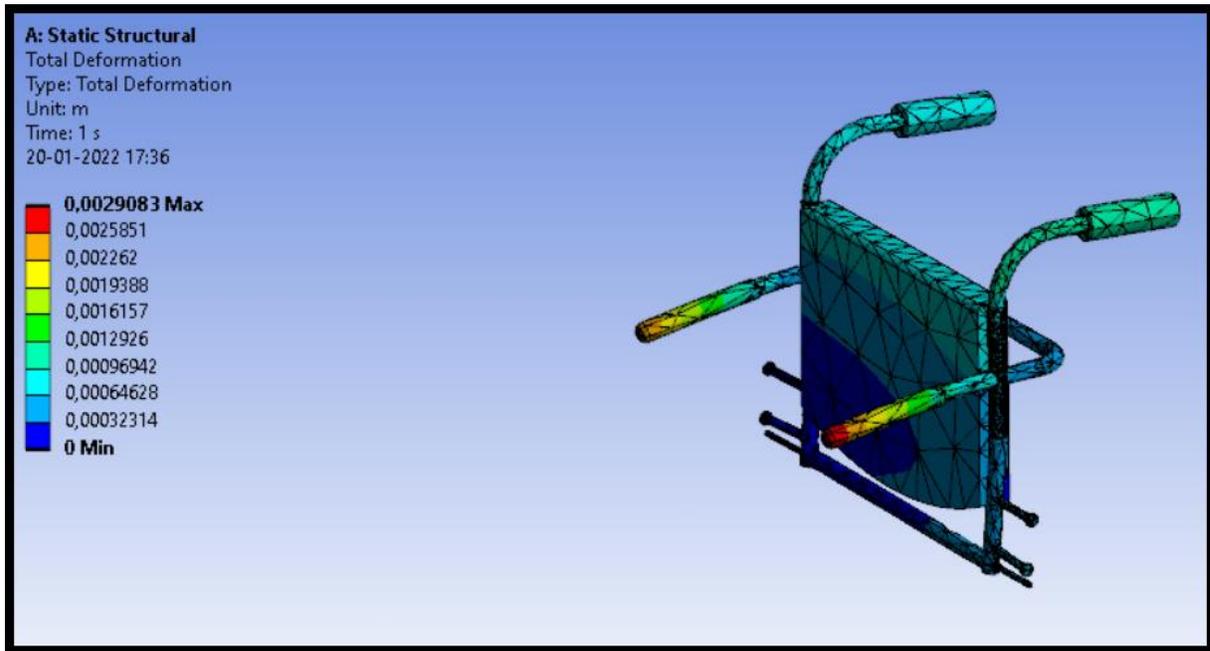
El respaldo tiene la función mantener la espalda en 90 grados y aguantar la fuerza del usuario al apoyar su espalda en todo el cojín. Cabe señalar que el cojín posee un espesor de 50 [mm], suficiente para aguantar gran parte de la carga de diseño y soportado por la estructura de aluminio 6061. Respecto al apoyabrazos se simula una carga vertical hacia debajo de los extremos con una magnitud del 25 por ciento del peso total.



*Ilustración 66. Fuerzas y presiones en el respaldo por simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.*

Con la fuerza aplicada en los extremos del apoyabrazos en simultaneo se obtiene una deflexión máxima de 2.9 [mm] se puede decir que la carga administrada por toda el área del cojín del respaldo se comportó de manera homogénea en toda la estructura gracias al material de confección de gel elástico, administrando todo el esfuerzo a lo largo de la estructura de aluminio equivalente a 60 [MPa] Aproximadamente brindando un factor de seguridad de 3.2.

Desarrollo.



*Ilustración 67. Deformación total en el respaldo por simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 68. Esfuerzo De Von Misses en el respaldo por simulación computacional. Fuente: Elaboración propia*

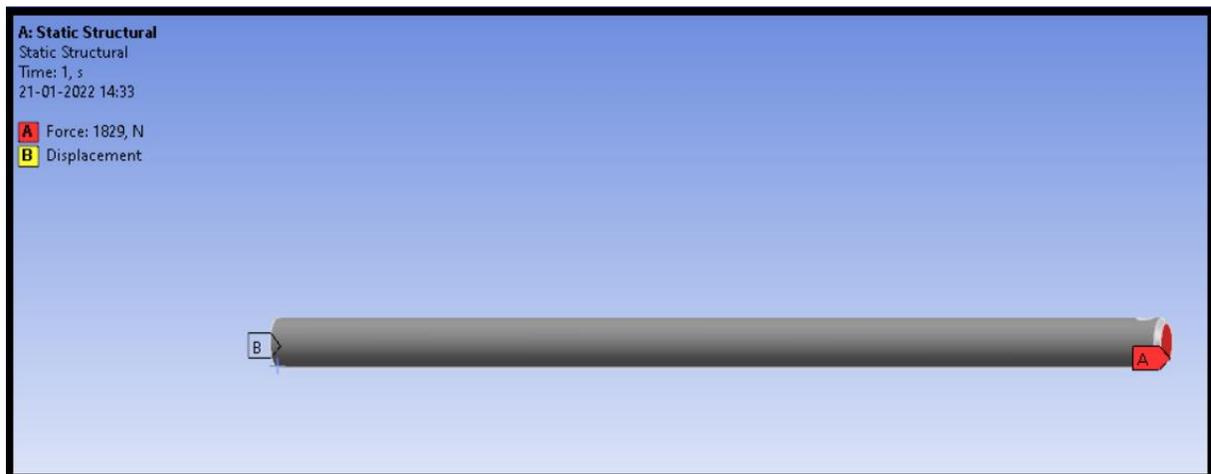
Desarrollo.



*Ilustración 69. Factor de seguridad en el respaldo. Fuente: Elaboración propia.*

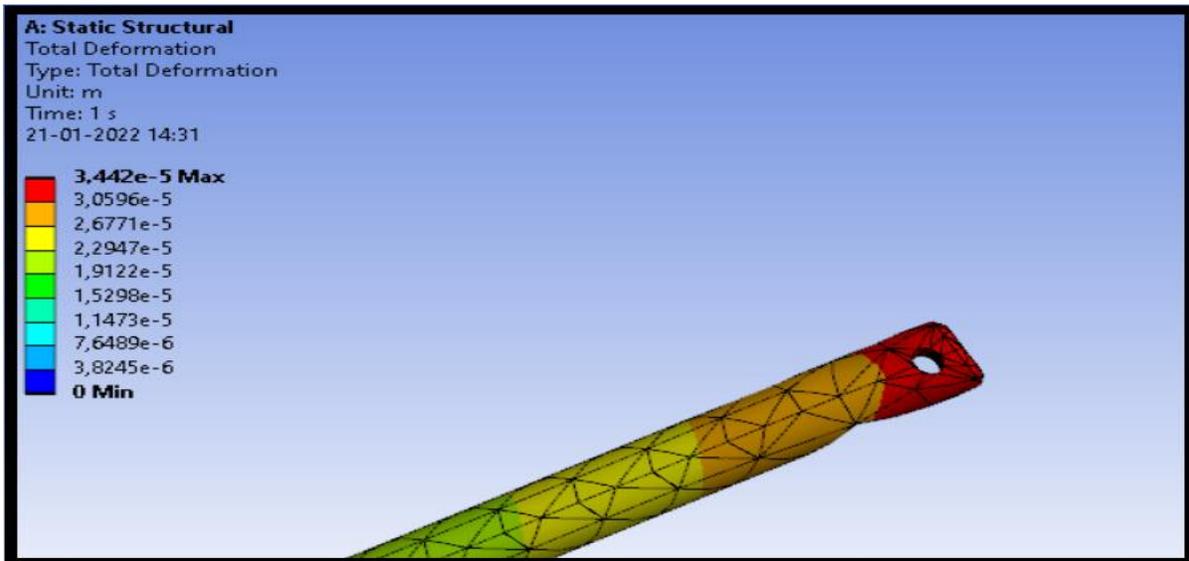
### 3.8.3 Simulación computacional del pistón con rodamientos.

El actuador eléctrico es alimentado por una batería de 12 V y activado mediante un controlador manual por parte del usuario, Según los diagramas de cuerpo libre el actuador eléctrico soporta fuerza de 1829 [N] como máximo cuando la silla de ruedas se encuentra en reposo, sufriendo así mismo una deformación en la zona extrema donde va el eje articulado de 0.03 [mm] representando que este tipo de actuador es muy seguro a la hora de soportar dichas cargas al estar confeccionado por aluminio al igual que el Chasis.

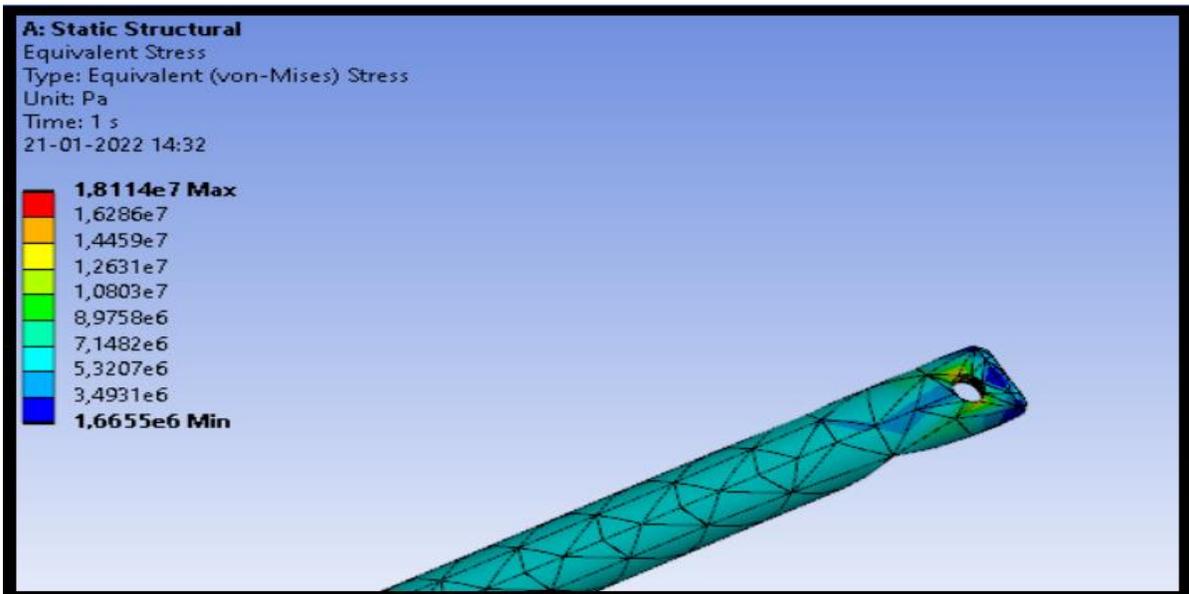


*Ilustración 70. Fuerza en los rodamientos por simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.*

Desarrollo.



*Ilustración 71. Deflexión máxima en el pistón por simulación computacional. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 72. Esfuerzo de Von Mises del pistón por simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.*

Desarrollo.

### 3.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El análisis estructural que se realiza tiene como función principal es aumentar la precisión y seguridad de los diseños realizados y poder otorgar un grado de confiabilidad al diseñador gracias a las herramientas utilizadas en el software Microsoft Office, Inventor y Ansys.

Los resultados en cuanto a la teoría de falla por medio del esfuerzo de Von Mises en la mayoría de las estructuras fueron valores congruentes a la realidad. Pudiendo validar los diseños realizados en la herramienta Inventor, sin embargo, en el caso del pistón se puede apreciar que el esfuerzo total de Von Mises se concentra en el eje que se conecta entre el pistón y el pasador de 16 [mm] con una magnitud de 18 [MPa], resultado que no presenta peligro alguno a la hora de soportar las fuerzas de 1829 [N] por parte del actuador eléctrico.

En cuanto al respaldo y al asiento, estos diseños no presentan anomalías algunas que puedan condicionar el correcto funcionamiento de la silla de ruedas por la sencilla razón de que están confeccionadas con cojines de gel elástico de 50 [mm] espesor, brindando seguridad y comodidad al usuario. En el respaldo se produce una pequeña deflexión en la zona de la manilla producido por la fuerza ejercida verticalmente hacia abajo simulando que el usuario concentre gran parte de su masa en el pasamano.]

Se decidió remplazar parte de la estructura de la silla de ruedas por cojines de gel elástico, por la sencilla razón de que se anteriormente se realizó trabajos simulando estas mismas zonas pero confeccionados con aluminio 6061 con 10 [mm], representando un costo elevado y un factor de seguridad innecesario, pudiendo así mismo optimizar el diseño a través de estos materiales de fácil adquisición y obteniendo resultados mucho más lógico con factores de seguridad de 3.2 para el respaldo y de 2.1 para el asiento.

Respecto al chasis compuesto de perfiles tubulares de aluminio 6061 con 2 [mm] de espesor, se decidió por imitar el marco de una bicicleta, para brindar un mayor comportamiento a la hora de estar sujetas a determinadas cargas que puedan afectar a la integridad de la estructura propiamente tal.

Para finalizar el comportamiento del mecanismo de barras cuya función es de mantener en una posición de 90 grados el respaldo, esta sujeta a esfuerzos muy inferiores, por ende estas zonas donde se aplica dicho esfuerzo no son determinantes en comparación a las zonas críticas como lo es el asiento, el actuador eléctrico, el apoyo manó y el apoyapié .

Desarrollo.

#### **4.0 CONCLUSIÓN.**

El estudio de la presente memoria tuvo sus inicios con la búsqueda exhaustivas de componentes y mecanismos que permitan la bipedestación de la silla de ruedas, explorando desde un mecanismo accionado por engranajes, un mecanismo funcionando con sistemas de rieles hasta llegar a un actuador eléctrico activado por un controlador. Se optó por el sistema de actuador eléctrico.

Prácticamente todo el diseño de la silla de ruedas se realizó en base a la información brindada por la oficina de discapacidad de la municipalidad de Curicó, determinando una carga de diseño, gracias a esto se logró realizar los diagramas de cuerpos respectivos para seleccionar un actuador que reúna dichas características y poder realizar el diseño con tal de brindar las facilidades a estas personas.

La resistencia e integridad del mecanismo se llevó a cabo del método analítico que permitió determinar las ecuaciones de equilibrio de todas las estructuras. Y la simulación computacional que ilustra el comportamiento más preciso de todas sus partes a la hora de ejercer la máxima exigencia en toda la silla. En base a esto último se puede concluir que todos los componentes poseen la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos y fuerzas que se generan en la estructura propiamente tal.

Finalmente se puede decir que se logró el objetivo general, debido a la obtención de un diseño de una silla de ruedas con la capacidad de elevar a una persona en posición de 70 grados como máximo en estado de dependencia. La silla de ruedas se realizó en base al diseño de la “GET UP” que contenía un costo de adquisición rondando los 15.000.000 [CLP]. Comparado con el diseño que se obtuvo de este informe de 657.203 [CLP] en cuanto a los materiales dispuestos en taller.

Realizar un trabajo futuro, como una idea de postular a alguna ayuda social brindada por las municipalidades de Curicó, Talca y/o Constitución, con la idea de llevar a cabo el diseño brindada por esta memoria y si es posible optimizar con ayuda de gente especializada en el área, tanto de la ingeniería como de la medicina.

Una propuesta a solución para ayudar a las personas con situación de discapacidad es realizando los planos y promover el desarrollo de silla de ruedas de este tipo para resolver problemas a las comunidades en contexto de vulnerabilidad desarrollando un concepto denominado “Ingeniería Humanitaria” cuya finalidad es aplicar los conceptos de la ingeniería en proyectos que beneficien gran parte de la población.

Desarrollo.

En Chile la inclusividad cada vez está tomando mayor fuerza, por ende, se puede categorizar este proyecto como un pequeño grano de arena que ayuda a impulsar la inclusividad y desarrollar un mejor futuro para Chile y por qué no para el mundo entero.

## REFERENCIAS

## REFERENCIAS

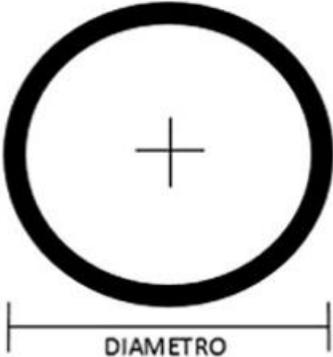
- Chile accesible, C. C. (2010). *Manual de accesibilidad universal*. Santiago: Boudeguer y Squella ARQ.
- ARQUETIPO. (2021). *Recuperado el 15 de Agosto de 2021*. [arquetipo.cl/inicio/distribuidora/aluminio/](http://arquetipo.cl/inicio/distribuidora/aluminio/).
- Budynas, R. (2010). *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley*. México: 8va Edición.
- Castañeda, D. (2018). *Diseño, construcción e implementación de una silla de ruedas plegable para una persona con problemas de movilidad*. Salesiana: Universidad Politecnica de Salesiana.
- Corporación Ciudad accesible. (2010). *Manual de accesibilidad universsal*. Santiago de Chile: Mutual de Seguridad.
- Correa, P. (2017). *Chile accesible*. Santiago de Chile: Senadis.
- Dares, V. M. (2010). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Limusa.
- Droguet, J. (2020). *Diseño de plataforma hidráulica para mantención segura de maquinaria pesada*. Curicó: Universidad de Talca.
- estadísticas, I. n. (2004). *Prevalencia de personas con discapacidad en Chile*. Santiago: GOBIERNO DE CHILE.
- FABORY. (2016). *Recuperado el 16 de Octubre de 2021 de* . [www.fabory.com/es/tornillo-cabeza-hexagonal-iso-4014-acerp-cindado-8-8-m8x40/p/p/01200080040](http://www.fabory.com/es/tornillo-cabeza-hexagonal-iso-4014-acerp-cindado-8-8-m8x40/p/p/01200080040).
- Grupo SKF. (2019). *Revisado el 11 de noviembre de 2021 de*. <https://www.skf.com/cl/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.
- Hibbeler, R. (2010). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: 8va Edición.
- INGEMECANICA. (2020). *Diseño y Cálculos de Uniones Atornilladas*. Consultado el 10 de Noviembre de: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn32.html>.
- Maquimetal. (2017). *Recuperado el 30 de Octubre del 2021 de* . [www.maquimetal.cl/productos\\_aluminios/planchas.php#](http://www.maquimetal.cl/productos_aluminios/planchas.php#).
- Medel, I. (2015). *Estudio nacional de discapacidad*. Santiago de Chile: Senadis.
- Miralles R. (2007) *E biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Barcelona, Masson.
- Montt, R. L. (2009). *Diseño de elemento de máquinas*. Juarez: Pearson educativo.
- Obbcare. (2021). *7 Modelos de sillas de ruedas existentes en el mercado*. [www.obbcare.com](http://www.obbcare.com).
- Porto, J. P. (2011). *Definición de centro de Gravedad*. México.
- R-, M. (2007). *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Barcelona: Masson.
- ROIS MEDICAL. (2020). *Recuperado el 10 de Septiembre de 2021 de* . [www.parquicienticoumh.es/es/node/5207](http://www.parquicienticoumh.es/es/node/5207).
- Verdejo, A. (2020). *Rediseño de estructura para el cambio de posición de decúbito supino a decúbito lateral mediante accionamiento manual para la prevención de úlceras por presión en personas en estado de dependencia severa*. Curicó: Universidad de Talca.

## REFERENCIAS

## ANEXOS

### ANEXO 1: CATÁLOGO SKF RODAMIENTOS.

Tabla 4. Dimensiones del Rodamiento 21" seleccionado. Fuente: Skf.com



CODIGO	DIAMETRO
IMET-TB1/4"	1/4" (6.3)mm
IMET-TB5/16"	5/16" (7.9)mm
IMET- TB3/8"	3/8" (9.5)mm
IMET-TB1/2"	1/2" (12.7)mm
IMET-TB5/8"	5/8" (15.8)mm
IMET-TB3/4"	3/4" (19.0)mm
IMET-TB7/8"	7/8" (22.2)mm
IMET-TB1"	1" (25.4)mm
IMET-0408	1 1/4" (31,75)mm
IMET-0411	2" (50.0)mm



## ANEXOS

### ANEXO 2: ACTUADOR NEUMATICO CON CONTROL INCLUIDO.

Tabla 5. Especificaciones técnicas actuador neumático. Fuente: linio.cl



Actuador Lineal De Putter  
Eléctrico 12v-200mm-2000n

\$ 101.942  
**\$ 92.233** 9% OFF  
en 12x \$ 7.686 sin interés  
[Ver los medios de pago](#)

 **COMPRA INTERNACIONAL** ▾

**ANEXO 3: ESFUERZO MÁXIMO DE SOLDADURA APOYAPIÉ.**

Tabla 6. Esfuerzo máximo de soldadura en el apoyapie. Fuente: Elaboración propia.

$h := 0.008m$	Garganta de soldadura.
$r := 0.0127m$	Radio del pasador.
$J := \pi * r^3$	Momento inercial.
$J_u := 0.707 * h * J_u$	Momento inercial Unitario.
$S_y := 145 MPa$	Esfuerzo Fluencia Aluminio 6061.
$m := 60kg$	Masa ejercida.
$F := m * g$	Peso ejercido.
$F := 60kg * 9.81m/s^3$	
$D := 0.242m$	Distancia perpendicular de la fuerza hasta la soldadura.
$M := F * D$	Momento.
$\sigma_{Perm} := 0.6 S_y$	
$\sigma_{Perm} := 87 MPa$	Esfuerzo permisible.
$\tau_x := \frac{M * r}{J}$	Esfuerzo cortante secundario.
$\tau := \frac{F}{1.414 * h * r * \pi}$	Esfuerzo cortante primario.
$\tau := 1.3 MPa$	
$\tau_x := 49.68 MPa$	
$\tau_x := \tau_y$	
$\tau_{max} = \sqrt{\tau_x^2 + (\tau_y + \tau)^2}$	
$\tau_{max} := 71.192 MPa$	Esfuerzo cortante máxima.

## ANEXOS

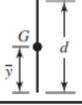
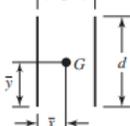
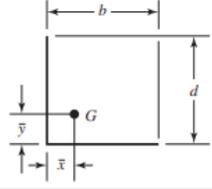
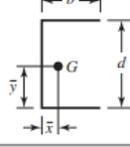
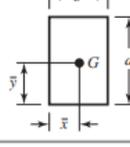
### ANEXO 4: PLANCHAS DE ALUMINIO.

Tabla 7: Planchas de aluminio catálogo. Fuente: [maquimetal.cl](http://maquimetal.cl)

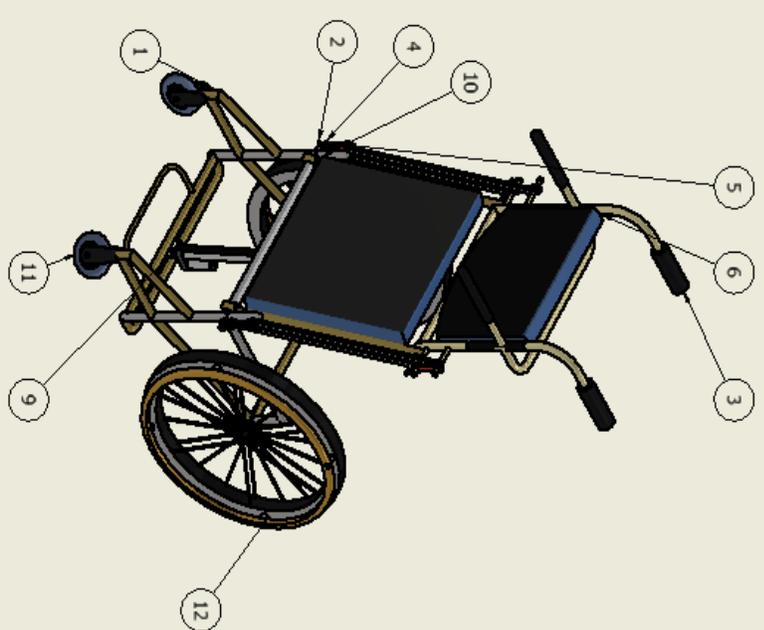
PLANCHA LISA		
Espesor	Ancho	Largo
0.5 mm	1100 mm	3000 mm
0.8 mm	1100 mm	3000 mm
1.0 mm	1100 mm	3000 mm
1.5 mm	1100 mm	3000 mm
2.0 mm	1100 mm	3000 mm
3.0 mm	1100 mm	3000 mm
4.0 mm	1100 mm	3000 mm
5.0 mm	1100 mm	3000 mm
6.0 mm	1100 mm	3000 mm
8.0 mm	1100 mm	3000 mm
10.0 mm	1100 mm	3000 mm
12.0 mm	1100 mm	3000 mm
14.0 mm	1100 mm	3000 mm
16.0 mm	1100 mm	3000 mm
19.0 mm	1100 mm	3000 mm
20.0 mm	1100 mm	3000 mm
25.0 mm	1100 mm	3000 mm

**ANEXO 5. PROPIEDADES DE SOLDADURA.**

Tabla 8. Propiedades de soldadura. Fuente: Diseño de ingeniería mecánica de Shigley.

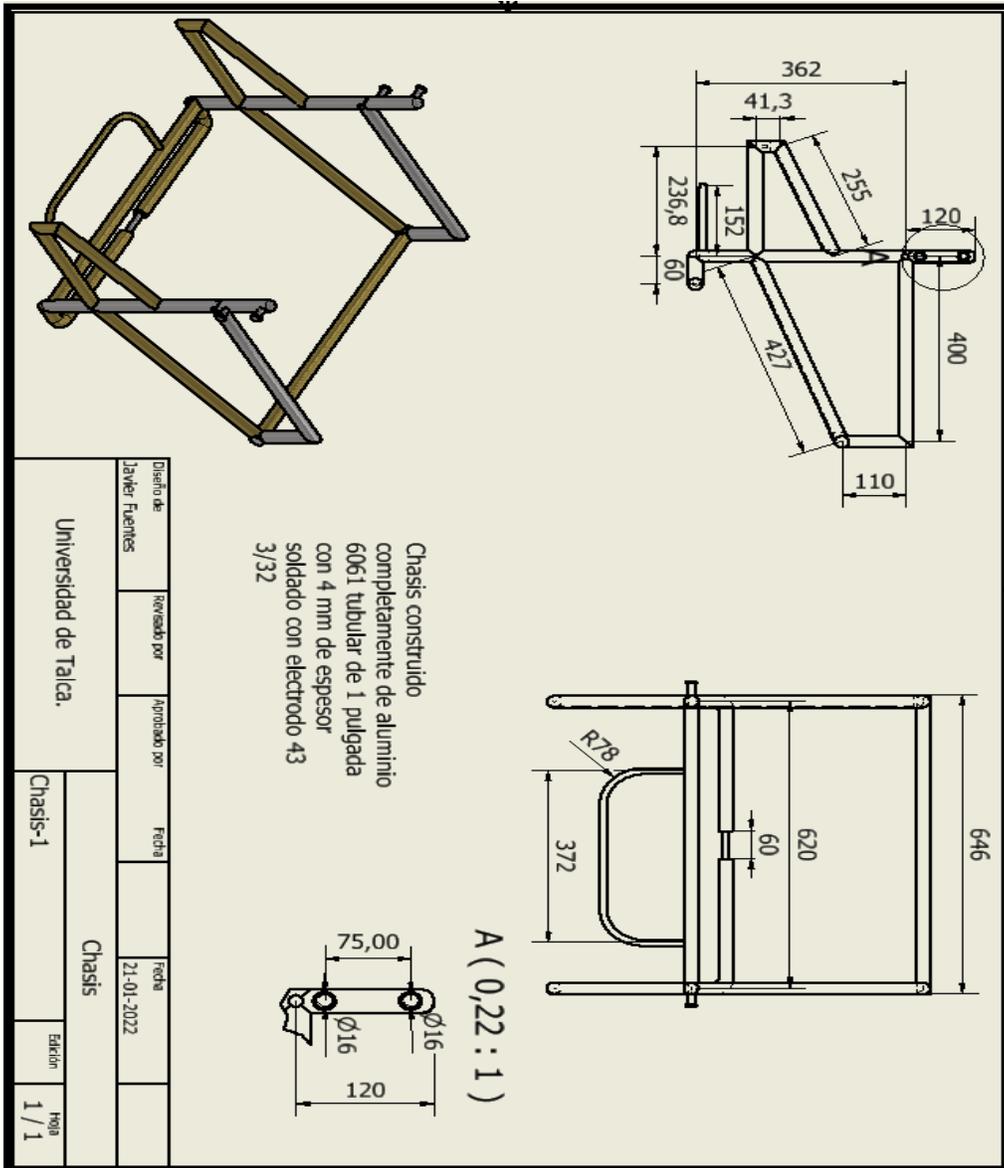
Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento polar unitario del área
	$A = 0.707 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.414 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b + d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b + d)}$	$J_u = \frac{(b + d)^4 - 6b^2d^2}{12(b + d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b + d)^3}{6}$
	$A = 1.414 \pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

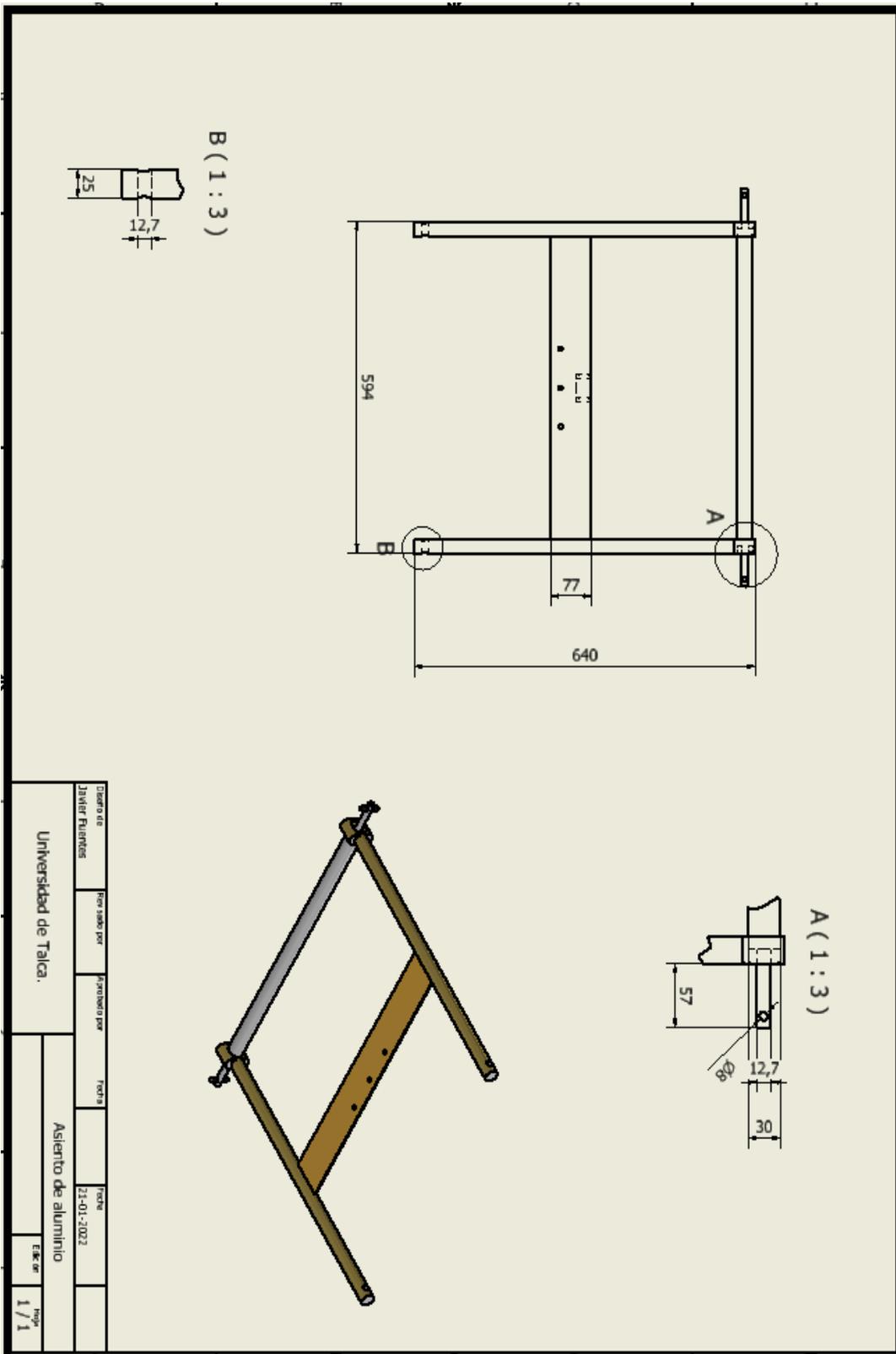
ANEXO 7. PLANOS DE FABRICACIÓN.



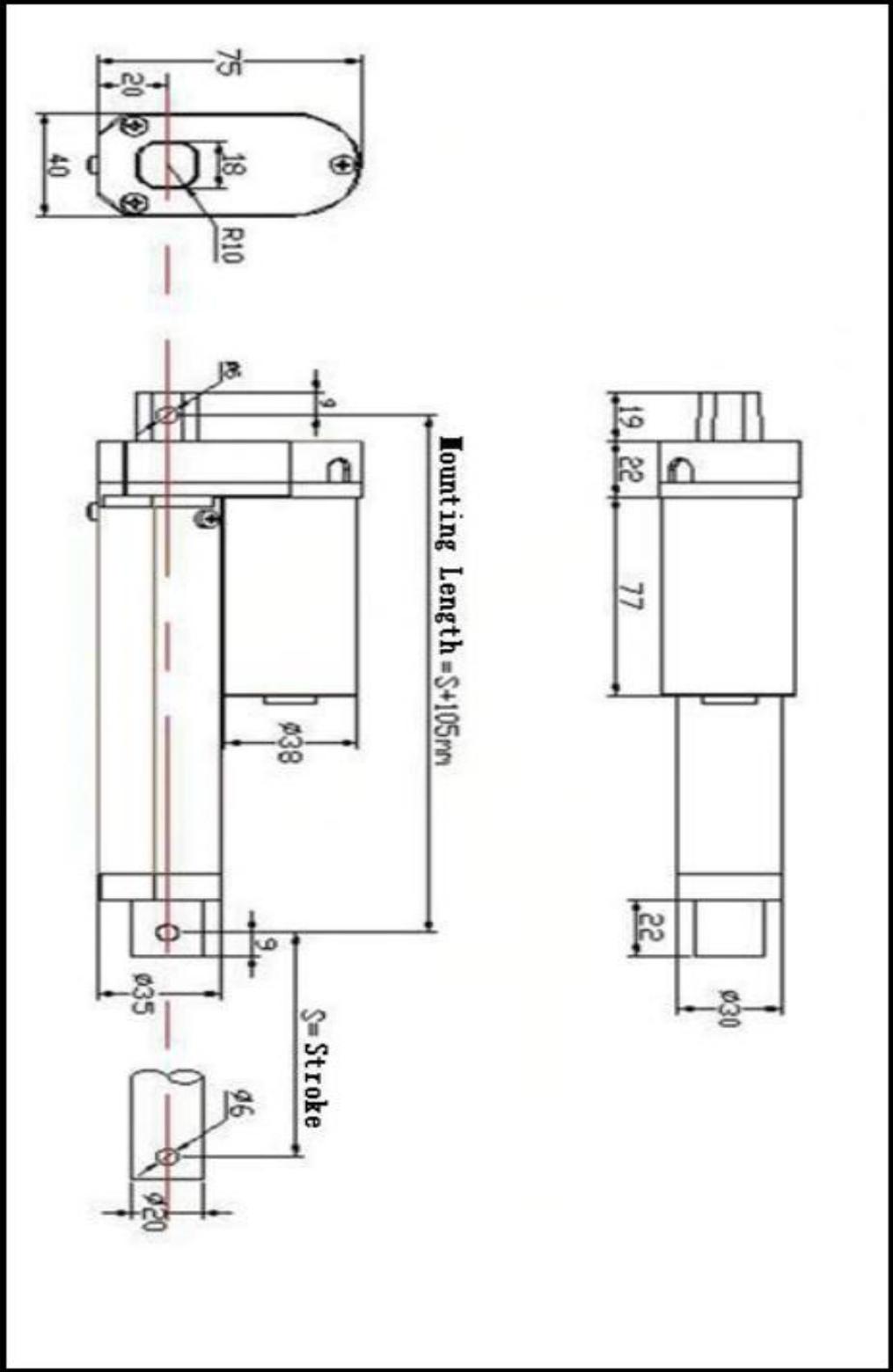
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Chasis	
2	1	Asiento lateral	
3	1	Respaldo	
4	4	Barra 100 mm	
5	4	Barra 600 mm	
6	1	Respaldo cojín	
7	1	Actuador superior	
8	1	ISO 2341 A - A - 16 x 55	Ejes de articulación con cabeza
9	1	Actuador vertical 1	
10	1	Cojín asiento	
11	2	Rueda delantera	
12	2	Rueda trasera aro 24	
13	3	Tornillos m8	

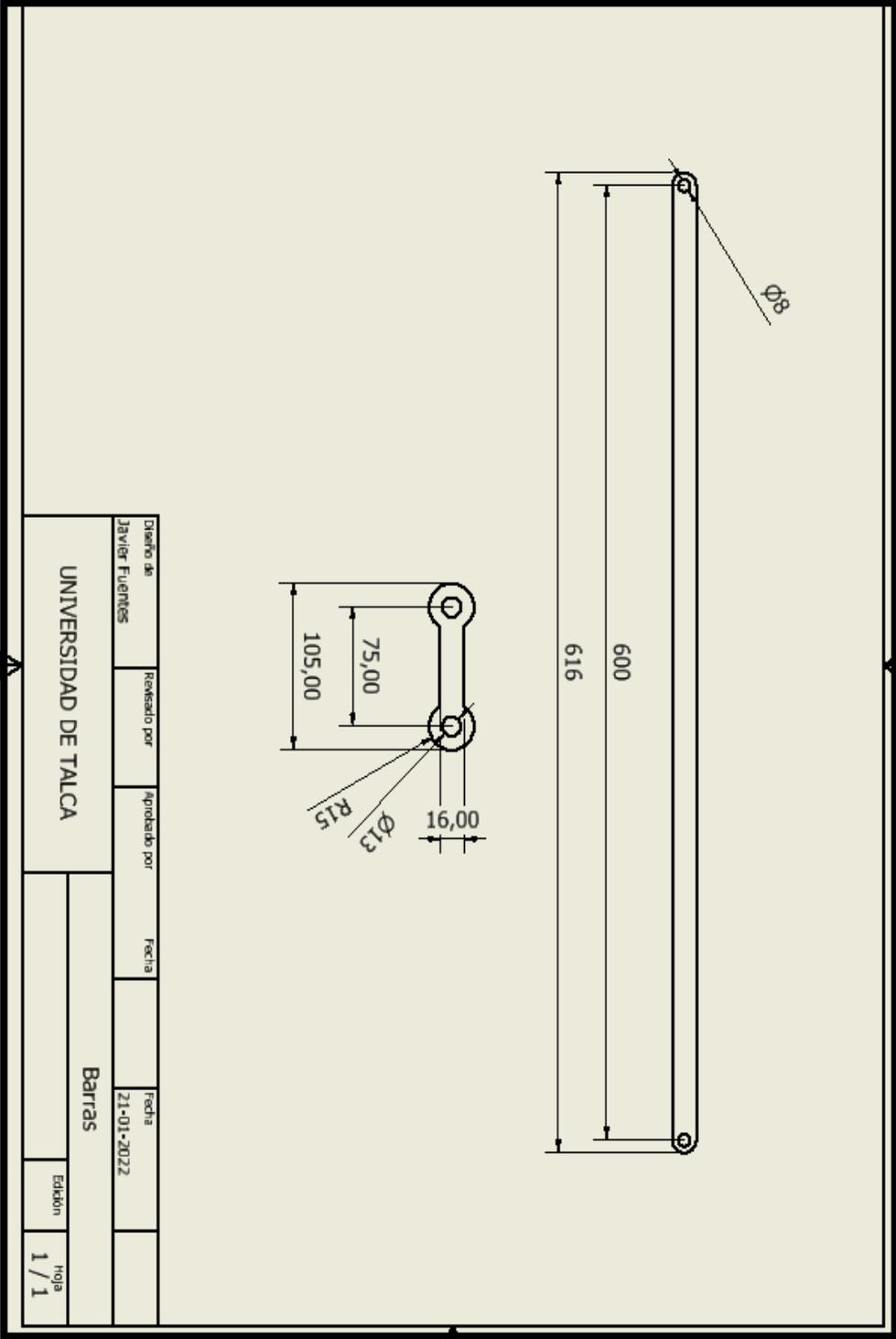
Diseño de Bayer Fuentes	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
Universidad de Talca.			21-01-2022	
silla de ruedas			1 / 1	

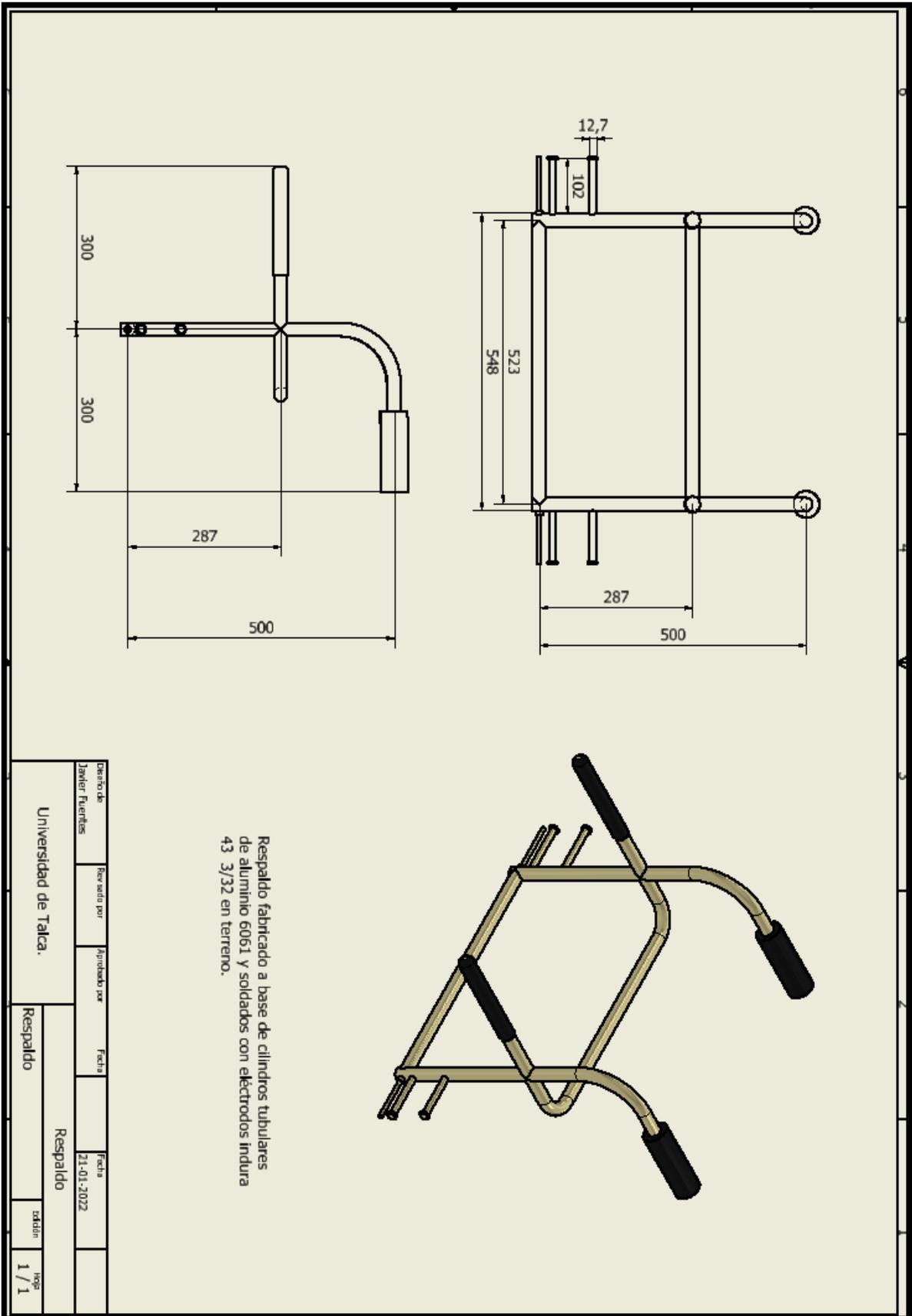




Diseno de	Por sake por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Asiento de aluminio	Escala	Hoja
Javier Fuentes				21-01-2022		1/1	1/1
Universidad de Talca.							







The image shows a technical drawing of a red 3D bracket. The drawing includes a perspective view of the object, which has two circular holes and a curved end. To the right of the perspective view are two orthographic projections: a side view showing a total width of 50 and a depth of 42, and a top view showing a circular hole with a diameter of  $\varnothing 16$  and a rounded corner with a radius of R10. Below the drawings is a metadata table.

Diseño de Javier Fuentes	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 21-01-2022	
Universidad de Talca.			Horquilla		
			Edición	Hoja	
			1 / 1	1 / 1	

**ANEXO 7: CATALOGO TORNILLO DIN 931.**

*Tabla 9. Catalogo perno hexagonal DIN. Fuente: gestión de compras.com*

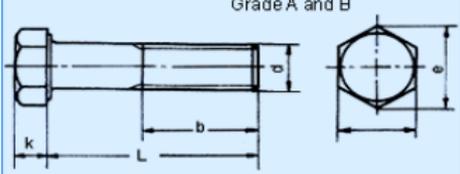


GESTIÓN DE COMPRAS

**PERNO HEXAGONAL MEDIA ROSCA**

**DIN 931**

Grade A and B



GRADO DE RESISTENCIA

8.8

10.9

12.9

Rosca		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
Paso		0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3.5
b	125	14	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66
	L ≥ 200	-	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72
	200	-	-	-	-	45	49	53	57	61	65	69	73	79	85
k		2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7
e	A	7.66	8.79	11.05	14.38	18.9	21.1	24.49	26.75	30.14	33.53	35.72	39.98	45.2	50.85
	B	-	8.63	10.89	14.20	18.72	20.88	23.91	26.17	29.56	32.95	35.03	39.55	45.2	50.85
S		7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46
L		25-40	25-50	30-60	35-80	40-100	45-120	50-140	55-160	65-180	65-200	70-220	80-240	90-260	90-300

mm