



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**“MANUFACTURA Y PRUEBAS DE UNA SILLA DE RUEDAS  
POSTURAL-BIPEDESTADORA CON SISTEMA DE  
REHABILITACIÓN MUSCULAR (PANTORRILLA) PARA NIÑOS  
CON PARÁLISIS CEREBRAL”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

**BRAYAN EDUARDO CASTILLO CAMACHO**

**OSCAR GABRIEL NACIMBA AMAGUA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**“MANUFACTURA Y PRUEBAS DE UNA SILLA DE RUEDAS  
POSTURAL-BIPEDESTADORA CON SISTEMA DE  
REHABILITACIÓN MUSCULAR (PANTORRILLA) PARA NIÑOS  
CON PARÁLISIS CEREBRAL”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:** BRAYAN EDUARDO CASTILLO CAMACHO

OSCAR GABRIEL NACIMBA AMAGUA

**DIRECTOR:** Ing. GEOVANNY GUILLERMO NOVILLO ANDRADE

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Brayan Eduardo Castillo Camacho, Oscar Gabriel Nacimba Amagua**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

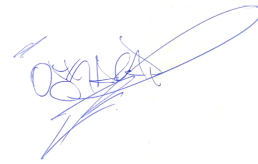
Nosotros, Brayan Eduardo Castillo Camacho y Oscar Gabriel Nacimba Amagua, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de junio de 2023



**Brayan Eduardo Castillo Camacho**  
**230020354-0**



**Oscar Gabriel Nacimba Amagua**  
**172144962-5**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**MANUFACTURA Y PRUEBAS DE UNA SILLA DE RUEDAS POSTURAL-BIPEDESTADORA CON SISTEMA DE REHABILITACIÓN MUSCULAR (PANTORRILLA) PARA NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL**”, realizado por los señores: **BRAYAN EDUARDO CASTILLO CAMACHO** y **OSCAR GABRIEL NACIMBA AMAGUA** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-06-20
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-06-20
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-06-20

## **DEDICATORIA**

Dedicado especialmente a mis padres Eduardo y Adela quienes con gran sacrificio y entrega me motivaron día a día para que no pierda de vista mi meta y con sus enseñanzas me han formado como una persona de bien y a mis hermanos que siempre tendieron su mano brindándome apoyo y confianza.

Brayan

A mi hijo Martín que ha sido el pilar fundamental para culminar mis estudios, a mi amada esposa Marilyn que ha estado incondicionalmente en cada etapa de mi vida, a mi madre Martha que con su cariño y enseñanzas, me han sabido guiar en cada paso de mi vida, a mis hermanos Fátima y Fernando que han sido un ejemplo de superación, a mis abuelitos Ofelia e Ignacio, han sido mis padres y me han ayudado de manera incondicional a lo largo de mi vida, a mi tío Francisco, que a sido como un padre y ejemplo para mí y fue él, quien me guió para estudiar esta hermosa carrera, a mis tíos Vinicio y Marco que me enseñaron que las cosas que realmente nos hacen crecer como personas, son las que fueron conseguidas con esfuerzo y humildad.

Oscar

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mis padres por el apoyo brindado en este largo camino, a la ESPOCH que permitió mi desarrollo y crecimiento profesional y me han ayudado a culminar una etapa tan valiosa en mi vida.

Brayan

Agradezco a mi madre, abuelitos y tíos que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. A mi hijo y esposa que son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. A mi familia quienes son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.

Oscar

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY .....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Antecedentes.....	2
1.2.	Justificación .....	3
1.2.1.	<i>Justificación teórica</i> .....	3
1.2.2.	<i>Justificación metodológica</i> .....	3
1.2.3.	<i>Justificación práctica</i> .....	4
1.3.	Delimitación.....	4
1.3.1.	<i>Delimitación espacial</i> .....	4
1.3.2.	<i>Delimitación sectorial</i> .....	4
1.4.	Formulación del problema .....	4
1.5.	Objetivos .....	5
1.5.1.	<i>Objetivo general</i> .....	5
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	6
2.1	Conceptos generales sobre la parálisis cerebral (PC) en niños .....	6
2.1.1.	<i>Trastornos asociados</i> .....	6
2.1.2.	<i>Estimulación temprana</i> .....	7
2.1.3.	<i>Estimulación sensorial</i> .....	7
2.1.4.	<i>Estimulación cognitiva</i> .....	7
2.1.5.	<i>Pilares del tratamiento de la parálisis cerebral</i> .....	7
2.2.	Ergonomía.....	7
2.3.	Bipedestación.....	8



2.3.1.	<i>Biomecánica de la bipedestación</i> .....	8
2.4.	<i>Sedestación</i> .....	9
2.4.1.	<i>Tipos de posturas en la sedestación</i> .....	9
2.4.2.	<i>Problemas en la sedestación de niños con parálisis cerebral</i> .....	10
2.5.	<i>Concepto sobre silla de ruedas</i> .....	11
2.5.1.	<i>Clasificación de las sillas de ruedas</i> .....	11
2.5.2.	<i>Consideraciones biomecánicas de la silla de ruedas</i> .....	13
2.5.3.	<i>Silla de ruedas bipedestadora</i> .....	14
2.5.3.1.	<i>Componentes de una silla de ruedas bipedestadora</i> .....	15
2.5.3.2.	<i>Beneficios de la silla de ruedas bipedestadora</i> .....	16
2.6.	<i>Tipos de bipedestadores</i> .....	17
2.7.	<i>Sistemas de verticalización para la bipedestación</i> .....	17
2.8.	<i>Silla bipedestadora con sistema de elevación hidráulica</i> .....	18
2.8.1.	<i>Partes de la silla bipedestadora con sistema de elevación hidráulica</i> .....	18
2.8.2.	<i>Características del sistema hidráulico</i> .....	18
2.9.	<i>Silla bipedestadora con sistema de elevación mecánica</i> .....	18
2.9.1.	<i>Característica ergonómica</i> .....	19
2.9.2.	<i>Ventajas</i> .....	19
2.9.3.	<i>Desventajas</i> .....	19
2.10.	<i>Silla bipedestadora con sistema de elevación eléctrico</i> .....	19
2.10.1.	<i>Ventajas</i> .....	19
2.10.2.	<i>Desventajas</i> .....	20
2.11.	<i>Ayudas técnicas</i> .....	20
2.11.1.	<i>Confiablez y validez de las ayudas técnicas especiales</i> .....	20
2.12.	<i>Materiales utilizados en equipos de rehabilitación</i> .....	21
2.12.1.	<i>Método Ashby</i> .....	21
2.13.	<i>Procesos de manufactura</i> .....	22
2.13.1.	<i>Relación entre proceso, material y diseño</i> .....	23
2.14.	<i>Innovación en sistemas tecnológicos para sillas de ruedas</i> .....	24
2.15.	<i>Flujograma de construcción de una silla de ruedas bipedestadora</i> .....	24

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	26
3.1.	<b>Definición de ingeniería concurrente</b> .....	26
3.1.1.	<i>Desde el punto de vista del producto</i> .....	26

3.1.2.	<i>Desde el punto de vista de los recursos humanos y las metodologías</i> .....	26
3.1.3.	<i>Desde el punto de vista de los recursos materiales</i> .....	26
3.2.	<b>Definición del producto</b> .....	26
3.2.1.	<i>Voz del usuario</i> .....	27
3.2.2.	<i>Voz del ingeniero</i> .....	27
3.3.	<b>Estudio de alternativas</b> .....	29
3.4.	<b>Validación y rediseño</b> .....	29
3.5.	<b>Análisis de las especificaciones para el sistema de bipedestación</b> .....	33
3.5.1.1.	<i>Tipología de varios fabricantes</i> .....	33
3.5.2.	<i>Voz del usuario para el sistema de bipedestación</i> .....	35
3.5.3.	<i>Voz del ingeniero para el sistema de bipedestación</i> .....	35
3.5.4.	<i>Análisis funcional para el mecanismo de bipedestación</i> .....	37
3.5.5.	<i>Alternativas de solución</i> .....	37
3.5.5.1.	<i>Evaluación de soluciones</i> .....	38
3.6.	<b>Valoración de factibilidad constructiva</b> .....	40
3.6.1.	<i>Descripción generalizada de la silla de ruedas</i> .....	40
3.6.2.	<i>Selección del material</i> .....	42
3.6.3.	<i>Metodología de selección de materiales Ashby</i> .....	44
3.6.4.	<i>Software CES EduPack</i> .....	48
3.6.5.	<i>Normativas nacionales referentes al material de sillas de ruedas</i> .....	49
3.6.6.	<i>Valoración del rediseño mecánico</i> .....	49
3.6.6.1.	<i>Carga máxima</i> .....	49
3.6.6.2.	<i>Rango de movimientos y desplazamientos</i> .....	50
3.7.	<b>Prediseño de los elementos mecánicos de la estructura</b> .....	51
3.7.1.	<i>Diseño de la estructura del asiento</i> .....	52
3.7.2.	<i>Diseño de la estructura del espaldar</i> .....	58
3.7.3.	<i>Diseño del bastidor</i> .....	61
3.7.3.1.	<i>Vigas del bastidor</i> .....	62
3.7.3.2.	<i>Columnas del bastidor</i> .....	65
3.7.4.	<i>Diseño de apoyo de ruedas</i> .....	68
3.8.	<b>Diseño de pasadores</b> .....	71
3.9.	<b>Selección de elementos estandarizados</b> .....	73
3.9.1.	<i>Selección de ruedas</i> .....	73
3.9.2.	<i>Selección de los actuadores</i> .....	74
3.9.2.1.	<i>Actuador lineal 1 (asiento-bastidor)</i> .....	75
3.9.2.2.	<i>Actuador lineal 1 en posición mínima de recorrido</i> .....	77

3.9.2.3.	<i>Actuador lineal 2 (espaldar)</i> .....	82
3.10.	<b>Análisis de estabilidad</b> .....	87
3.11.	<b>Construcción de la silla de ruedas bipedestadora y sistema de rehabilitación</b> ..	89
3.11.1.	<i>Proceso de construcción de la silla de ruedas</i> .....	89
3.11.2.	<i>Proceso de construcción del sistema de rehabilitación</i> .....	92
3.12.	<b>Sistema eléctrico y electrónico</b> .....	94
3.12.1.	<i>Ubicación y sujeción de batería</i> .....	94
3.12.2.	<i>Fabricación de PCB</i> .....	94
3.12.3.	<i>Circuito de funcionamiento para el actuador del asiento - bastidor</i> .....	96
3.12.4.	<i>Circuito de funcionamiento para el actuador del espaldar</i> .....	96
3.13.	<b>Costos</b> .....	97
3.12.1	<i>Costos directos</i> .....	97
3.12.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	100
3.12.3.	<i>Costo total</i> .....	101

#### **CAPÍTULO IV**

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	102
4.1.	<b>Validación en el software ANSYS 2023 R1</b> .....	102
4.1.1.	<i>Estructura del prototipo</i> .....	102
4.1.1.1.	<i>Preproceso</i> .....	102
4.1.2.	<i>Simulación de la estructura del asiento</i> .....	103
4.1.2.1.	<i>Preproceso</i> .....	103
4.1.2.2.	<i>Proceso</i> .....	104
4.1.2.3.	<i>Postproceso</i> .....	105
4.1.3.	<i>Simulación estructura espaldar</i> .....	107
4.1.3.1.	<i>Preproceso</i> .....	107
4.1.3.2.	<i>Proceso</i> .....	107
4.1.3.3.	<i>Postproceso</i> .....	109
4.1.4.	<i>Simulación de estructura del bastidor</i> .....	111
4.1.4.1.	<i>Preproceso</i> .....	111
4.1.4.2.	<i>Proceso</i> .....	111
4.1.4.3.	<i>Postproceso</i> .....	113
4.1.5.	<i>Factor de seguridad global de la estructura</i> .....	115
4.2.	<b>Validación en software MSC ADAMS</b> .....	116
4.2.1.	<i>Estructura</i> .....	116

4.2.2.	<i>Comportamiento del actuador ubicado en el espaldar</i> .....	117
4.2.3.	<i>Comportamiento de los actuadores en bipedestación</i> .....	118
4.3.	<b>Validación en software SAP 2000</b> .....	119
4.3.1.	<i>Aplicación de secciones</i> .....	119
4.3.2.	<i>Restricciones</i> .....	121
4.3.3.	<i>Definición de cargas</i> .....	122
4.3.3.1.	<i>Carga muerta</i> .....	122
4.3.3.2.	<i>Carga viva</i> .....	122
4.3.4.	<i>Definir combinaciones de carga</i> .....	124
4.3.5.	<i>Resultados</i> .....	126
4.3.5.1.	<i>Análisis por resistencia</i> .....	127
4.4.	<b>Parámetros de diseño de una silla postural-bipedestadora</b> .....	128
4.5.	<b>Aplicación de encuestas</b> .....	128
4.6.	<b>Protocolo de pruebas</b> .....	128
4.7.	<b>Guía para la correcta manipulación de la silla de ruedas</b> .....	130
4.8.	<b>Pasos para la correcta utilización de la silla de ruedas</b> .....	131
4.9.	<b>Normativas para uso y pruebas de silla de ruedas bipedestadoras</b> .....	132
4.9.1.	<b>Las normas ISO relevantes para las sillas de ruedas bipedestadoras</b> .....	132
4.9.2.	<b>Normativa FDA</b> .....	133
4.10.	<b>Ficha de pruebas</b> .....	133
<b>CONCLUSIONES</b> .....		138
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		140
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Tipos de sillas de ruedas .....	12
<b>Tabla 1-3:</b>	Medidas antropométricas de niños con PC.....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Medidas antropométricos de niños entre 5 a 10 años .....	28
<b>Tabla 3-3:</b>	Medidas antropométricas para diseño de la silla de ruedas .....	29
<b>Tabla 4-3:</b>	Tipología sillas de ruedas Mobilitec.....	33
<b>Tabla 5-3:</b>	Tipología sillas de ruedas Action Vertic .....	34
<b>Tabla 6-3:</b>	Tipología sillas de ruedas Tecnum .....	34
<b>Tabla 7-3:</b>	Evaluación del peso específico de cada criterio .....	38
<b>Tabla 8-3:</b>	Evaluación del peso específico del criterio "costo" .....	38
<b>Tabla 9-3:</b>	Evaluación del peso específico del criterio "estabilidad" .....	39
<b>Tabla 10-3:</b>	Evaluación del peso específico del criterio "accionamiento" .....	39
<b>Tabla 11-3:</b>	Evaluación del peso específico del criterio "accionamiento silencioso" .....	39
<b>Tabla 12-3:</b>	Resultados de análisis de las alternativas .....	40
<b>Tabla 13-3:</b>	Cuadro comparativo de propiedades de alternativas de material .....	44
<b>Tabla 14-3:</b>	Medidas máximas de peso.....	46
<b>Tabla 15-3:</b>	Pesos relativos de las partes del cuerpo.....	46
<b>Tabla 16-3:</b>	Requerimientos de diseño para la selección del material .....	47
<b>Tabla 17-3:</b>	Pesos de niños entre 3 a 15 años en el país .....	49
<b>Tabla 18-3:</b>	Carga total para el actuador lineal 1 .....	76
<b>Tabla 19-3:</b>	Carga total para el actuador lineal 2 .....	83
<b>Tabla 20-3:</b>	Datos de peso de elementos de la silla de ruedas bipedestadora .....	88
<b>Tabla 21-3:</b>	Descripción de la placa PCB .....	94
<b>Tabla 22-3:</b>	Componentes integrados a la PCB .....	95
<b>Tabla 23-3:</b>	Lista de materiales para costos directos .....	98
<b>Tabla 24-3:</b>	Costos de mano de obra.....	99
<b>Tabla 25-3:</b>	Costos de equipos y herramientas .....	99
<b>Tabla 26-3:</b>	Costo de transporte .....	100
<b>Tabla 27-3:</b>	Costos indirectos .....	100
<b>Tabla 28-3:</b>	Costo total.....	101
<b>Tabla 1-4:</b>	Propiedades del acero A 36 .....	102
<b>Tabla 2-4:</b>	Propiedades del acero inoxidable 304 .....	103
<b>Tabla 3-4:</b>	Tipos de mallados para la estructura del asiento .....	104
<b>Tabla 4-4:</b>	Tipos de mallado para la estructura del espaldar.....	107

<b>Tabla 5-4:</b>	Tipos de mallado para la estructura del bastidor .....	111
-------------------	--	-----

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Biomecánica de la bipedestación.....	9
<b>Ilustración 2-2:</b>	Posturas sedentes: posterior, anterior y media.....	10
<b>Ilustración 3-2:</b>	Problemas en la sedestación.....	10
<b>Ilustración 4-2:</b>	Elementos de silla de rueda.....	11
<b>Ilustración 5-2:</b>	Clasificación de las sillas de ruedas.....	11
<b>Ilustración 6-2:</b>	Recargo en la columna según la postura.....	14
<b>Ilustración 7-2:</b>	Silla de ruedas.....	14
<b>Ilustración 8-2:</b>	Componentes de la silla.....	15
<b>Ilustración 9-2:</b>	Tipos de bipedestadores.....	17
<b>Ilustración 10-2:</b>	Componentes y funcionamiento del sistema hidráulico.....	18
<b>Ilustración 11-2:</b>	Características del sistema mecánico.....	19
<b>Ilustración 12-2:</b>	Actuador lineal con motor eléctrico.....	19
<b>Ilustración 13-2:</b>	Representación de las familias de todos los materiales.....	21
<b>Ilustración 14-2:</b>	Interacción entre los requerimientos del diseño, el material.....	22
<b>Ilustración 15-2:</b>	Clasificación de los procesos de manufactura.....	23
<b>Ilustración 16-2:</b>	Relación entre la manufactura, el diseño y los materiales.....	24
<b>Ilustración 17-2:</b>	Proceso para la construcción de una silla de bipedestación.....	25
<b>Ilustración 1-3:</b>	Simulación estática (Factor de seguridad), barra de soporte.....	31
<b>Ilustración 2-3:</b>	Desarrollo de la matriz QFD para el sistema de bipedestación.....	36
<b>Ilustración 3-3:</b>	Función primaria del mecanismo de bipedestación.....	37
<b>Ilustración 4-3:</b>	Diagrama de las funciones secundarias del mecanismo de bipedestación..	37
<b>Ilustración 5-3:</b>	Alternativas de solución para el sistema de bipedestación.....	37
<b>Ilustración 6-3:</b>	Actuador eléctrico.....	40
<b>Ilustración 7-3:</b>	Descripción generalizada del sistema.....	41
<b>Ilustración 8-3:</b>	Cuadro comparativo de materiales de las principales familias.....	43
<b>Ilustración 9-3:</b>	Metodología Ashby para optimizar la fase de diseño.....	44
<b>Ilustración 10-3:</b>	Requerimientos necesarios para la manufactura.....	45
<b>Ilustración 11-3:</b>	Gráfica de materiales seleccionables (esfuerzo vs densidad).....	48
<b>Ilustración 12-3:</b>	Rango de movimientos y desplazamientos de la.....	51
<b>Ilustración 13-3:</b>	Estructura del nuevo modelo de silla.....	51
<b>Ilustración 14-3:</b>	Estructura del asiento.....	52
<b>Ilustración 15-3:</b>	Peso de la estructura del asiento parte 1.....	52
<b>Ilustración 16-3:</b>	Peso de la estructura del asiento parte 2.....	52

<b>Ilustración 17-3:</b>	Peso de la estructura del asiento parte 3 .....	53
<b>Ilustración 18-3:</b>	Pieza de ajuste para el asiento.....	53
<b>Ilustración 19-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar .....	55
<b>Ilustración 20-3:</b>	Diagrama de cortante y momento flector en la viga del asiento .....	56
<b>Ilustración 21-3:</b>	Selección del perfil para el espaldar .....	57
<b>Ilustración 22-3:</b>	Espaldar .....	58
<b>Ilustración 23-3:</b>	Peso de la estructura del espaldar .....	58
<b>Ilustración 24-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar .....	59
<b>Ilustración 25-3:</b>	Diagrama de cortante y momento flector de la viga del espaldar .....	60
<b>Ilustración 26-3:</b>	Selección del perfil para el espaldar .....	61
<b>Ilustración 27-3:</b>	Diagrama del bastidor.....	61
<b>Ilustración 28-3:</b>	Peso del bastidor .....	62
<b>Ilustración 29-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar .....	63
<b>Ilustración 30-3:</b>	Diagrama de momentos aplicado a las vigas del espaldar .....	64
<b>Ilustración 31-3:</b>	Selección del perfil estructural.....	65
<b>Ilustración 32-3:</b>	Factor k de longitud efectiva.....	67
<b>Ilustración 33-3:</b>	Estructura del apoyo de ruedas .....	68
<b>Ilustración 34-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar .....	69
<b>Ilustración 35-3:</b>	Diagrama de cortante y momento flector aplicado al apoyo de las ruedas	70
<b>Ilustración 36-3:</b>	Selección del perfil estructural.....	71
<b>Ilustración 37-3:</b>	Pasador crítico.....	72
<b>Ilustración 38-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre para el pasador.....	72
<b>Ilustración 39-3:</b>	Selección del pasador.....	73
<b>Ilustración 40-3:</b>	Medidas referenciales de la rueda.....	74
<b>Ilustración 41-3:</b>	Actuadores en la silla bipedestadora rediseñada.....	74
<b>Ilustración 42-3:</b>	Cargas en el actuador lineal 1 .....	75
<b>Ilustración 43-3:</b>	Porcentaje de peso según el segmento corporal.....	75
<b>Ilustración 44-3:</b>	Diagramas de cargas en sedestación .....	76
<b>Ilustración 45-3:</b>	Longitud de carrera para el actuador lineal 1 .....	77
<b>Ilustración 46-3:</b>	Cargas en el actuador lineal 1, .....	78
<b>Ilustración 47-3:</b>	Longitud de carrera para .....	79
<b>Ilustración 48-3:</b>	Diagrama de velocidad vs carga para el actuador lineal 1 .....	80
<b>Ilustración 49-3:</b>	Diagrama de corriente vs carga para el actuador lineal 1 .....	81
<b>Ilustración 50-3:</b>	Parámetros del actuador lineal 1 .....	81
<b>Ilustración 51-3:</b>	Actuador lineal eléctrico 12VDC,.....	82
<b>Ilustración 52-3:</b>	Cargas en el actuador lineal 2 .....	82



<b>Ilustración 53-3:</b>	Diagramas de cargas en posición camilla .....	83
<b>Ilustración 54-3:</b>	Posición del actuador lineal 2 .....	83
<b>Ilustración 55-3:</b>	Longitud de carrera para el actuador lineal 2.....	84
<b>Ilustración 56-3:</b>	Actuador lineal eléctrico de 12 VDC, 1500 N y 300 mm.....	85
<b>Ilustración 57-3:</b>	Silla de ruedas postural-bipedestadora rediseñada.....	85
<b>Ilustración 58-3:</b>	Silla rediseñada en posición.....	86
<b>Ilustración 59-3:</b>	Silla de ruedas rediseñada en posición.....	86
<b>Ilustración 60-3:</b>	Análisis de estabilidad .....	87
<b>Ilustración 61-3:</b>	Flujograma de construcción de la silla de ruedas. ....	91
<b>Ilustración 62-3:</b>	Flujograma de construcción del sistema de rehabilitación .....	93
<b>Ilustración 63-3:</b>	Diagrama del circuito PCB .....	95
<b>Ilustración 64-3:</b>	Diagrama de conexiones de la placa PCB .....	95
<b>Ilustración 65-3:</b>	Diagrama de control para el actuador .....	96
<b>Ilustración 66-3:</b>	Diagrama de control para el actuador del espaldar .....	97
<b>Ilustración 1-4:</b>	Geometría exportada a Ansys .....	102
<b>Ilustración 2-4:</b>	Fuerza aplicada al asiento en Ansys .....	103
<b>Ilustración 3-4:</b>	Calidad óptima de mallado para estructura del asiento.....	105
<b>Ilustración 4-4:</b>	Análisis de las deformaciones resultantes en el asiento en Ansys .....	105
<b>Ilustración 4-5:</b>	Esfuerzos resultantes en la estructura del asiento en Ansys .....	106
<b>Ilustración 6-4:</b>	Factor de seguridad resultante en la estructura del asiento .....	106
<b>Ilustración 7-4:</b>	Condiciones en el espaldar para simulación en Ansys .....	107
<b>Ilustración 8-4:</b>	Calidad de malla óptima para la estructura del espaldar.....	109
<b>Ilustración 9-4:</b>	Deformaciones resultantes en la estructura del.....	109
<b>Ilustración 10-4:</b>	Esfuerzos resultantes en la estructura del espaldar .....	110
<b>Ilustración 11-4:</b>	Factor de seguridad en el espaldar .....	110
<b>Ilustración 12-4:</b>	Análisis de condiciones para el bastidor.....	111
<b>Ilustración 13-4:</b>	Calidad de malla óptima para el bastidor.....	112
<b>Ilustración 14-4:</b>	Desplazamientos resultantes en el bastidor.....	113
<b>Ilustración 15-4:</b>	Esfuerzos resultantes de Ansys del bastidor .....	114
<b>Ilustración 16-4:</b>	Factor de seguridad en el bastidor .....	115
<b>Ilustración 17-4:</b>	Análisis de condiciones para el bastidor .....	115
<b>Ilustración 18-4:</b>	Factor de seguridad global de la estructura.....	116
<b>Ilustración 19-4:</b>	Silla bipedestadora de análisis en ADAMS .....	116
<b>Ilustración 20-4:</b>	Análisis de la posición camilla .....	117
<b>Ilustración 21-4:</b>	Gráfica de posición, velocidad y aceleración del actuador del espaldar .	117
<b>Ilustración 22-4:</b>	Análisis de bipedestación en ADAMS .....	118

<b>Ilustración 23-4:</b>	Gráfica de posición de los actuadores en bipedestación .....	118
<b>Ilustración 24-4:</b>	Gráfica de velocidad de los actuadores en bipedestación .....	119
<b>Ilustración 25-4:</b>	Gráfica de aceleración de los actuadores en bipedestación .....	119
<b>Ilustración 26-4:</b>	Propiedades de la tubería de 1 in .....	120
<b>Ilustración 27-4:</b>	Propiedades de la tubería de 7/8 in .....	120
<b>Ilustración 28-4:</b>	Perfil de tubería aplicado .....	121
<b>Ilustración 29-4:</b>	Restricción SAP 2000 .....	121
<b>Ilustración 30-4:</b>	Carga muerta aplicada a la estructura .....	122
<b>Ilustración 31-4:</b>	Carga viva aplicada al espaldar.....	123
<b>Ilustración 32-4:</b>	Carga viva aplicada al asiento.....	123
<b>Ilustración 33-4:</b>	Carga viva aplicada al reposapiés .....	124
<b>Ilustración 34-4:</b>	Combinaciones de carga para el estado de límite de resistencia.....	125
<b>Ilustración 35-4:</b>	Combinación 1 según la NEC.....	125
<b>Ilustración 36-4:</b>	Combinación 2 según la NEC.....	126
<b>Ilustración 37-4:</b>	Combinación de servicio.....	126
<b>Ilustración 38-4:</b>	Deformación obtenida en SAP 2000.....	127
<b>Ilustración 39-4:</b>	Análisis del diseño estructural .....	127
<b>Ilustración 40-4:</b>	Resultados demanda y capacidad SAP 2000 .....	128

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

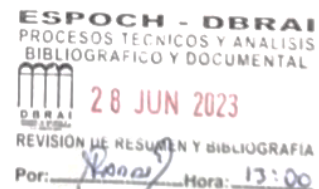
- ANEXO A:** FICHAS DE INSPECCIÓN
- ANEXO B:** PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN
- ANEXO C:** PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SILLA POSTURAL  
BIPEDESTADORA
- ANEXO D:** CATÁLOGO DE ACTUADORES LINEALES
- ANEXO E:** MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO
- ANEXO F:** PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el rediseño mecánico, construcción y evaluación de una silla de ruedas postural – bipedestadora para niños con parálisis cerebral y un sistema de rehabilitación de extremidades inferiores. Los parámetros de diseño se definieron utilizando métodos lógicamente relacionados, como la descripción general del producto, los criterios de aplicación del diseño conceptual, la referencia a los requisitos del usuario y la implementación de la función de calidad (QFD). Las características más importantes fueron resistencia, bajo costo, funcionalidad, seguridad y ergonomía, con estos criterios se plantearon tres principales alternativas, usando una matriz morfológica y el método ordinal corregido de criterios ponderados se seleccionó la mejor alternativa. El proyecto implicó el desarrollo de una silla de ruedas automatizada que permitiría al usuario mantener una postura erguida, mejorando así la participación en actividades que no serían posibles en una posición sentada, además de mejorar aspectos fisiológicos. Para el diseño y simulación se utilizó SolidWorks, mientras tanto para el análisis cinemático, así como para verificación respecto al diseño se empleó Ansys Mechanical, análisis que permitió obtener una selección adecuada del tipo y dimensiones del material. Finalmente, se presenta un análisis de costos unitarios, demostrando que el prototipo mantiene un costo relativamente bajo, características físicas y funcionales similares a los disponibles en el mercado local e internacional. Se concluye que se ha implementado con éxito un sistema postural-bipedestación, que permite trasladar a una persona de una posición sentada a una posición de pie, lo que permite un movimiento seguro en aproximadamente 30 segundos soportando una carga máxima de 80kg. Se recomienda la presencia de tutores y otros apoyos al realizarse pruebas en pacientes, pues debe tener un buen manejo de la silla, estar listo para responder a cualquier evento imprevisto y vigilar el comportamiento del paciente.

**Palabras clave:** <REDISEÑO MECÁNICO> <SILLA DE RUEDAS> <BIPEDESTADORA> <SISTEMA DE REHABILITACIÓN> <DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)>.

1319-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

The objective of this work was the mechanical redesign, construction and evaluation of a postural-standing wheelchair for children with cerebral palsy and a lower extremity rehabilitation system. Design parameters were defined using logically related methods such as product overview, conceptual design application criteria, reference to user requirements, and quality function implementation (QFD). The most important characteristics were resistance, low cost, functionality, safety and ergonomics, with these criteria three main alternatives were proposed, using a morphological matrix and the corrected ordinal method of weighted criteria, the best alternative was selected. The project involved the development of an automated wheelchair that would allow the user to maintain an upright posture, thus improving participation in activities that would not be possible in a sitting position, as well as improving physiological aspects. For the design and simulation SolidWorks was used, meanwhile for the kinematic analysis, as well as for verification regarding the design, Ansys Mechanical was used, an analysis that allowed obtaining an adequate selection of the type and dimensions of the material. Finally, an analysis of unit cost is presented, demonstrating that the prototype maintains a relatively low cost, physical and functional characteristics similar to those available in the local and international market. It is concluded that a postural-standing system has been successfully implemented, which allows moving a person from a sitting position to a standing position, allowing safe movement in approximately 30 seconds, supporting a maximum load of 80kg. The presence of tutors and other supports is recommended when carrying out tests on patients, since they must have a good handling of the chair, be ready to respond to any unforeseen event and monitor the behavior of the patient.

**Keywords:** <MECHANICAL REDESIGN> <WHEELCHAIR> <STANDING>  
<REFURBISHMENT SYSTEM> < QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.  
CI: 0603747809

## INTRODUCCIÓN

Según datos publicados por el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en el país una gran cantidad de niños entre 0 a 12 años con algún tipo de discapacidad intelectual y física, por lo que las personas que la padecen suelen permanecer lapsos largos de tiempo en una sola posición, disminuyendo su actividad física y a su vez provocando un retroceso en su desarrollo. El uso de un asiento regulable es fundamental en el cuidado de los niños con parálisis cerebral, contribuyen con su desarrollo y evitan problemas de salud a largo plazo, por lo tanto, es importante garantizar una correcta postura de sedestación, bipedestación y camilla, ya que, así como estos aparatos de rehabilitación pueden servir de ayuda, si se no se los manipula correctamente pueden ocasionar graves daños, por este motivo las funcionalidades de una silla pueden variar acorde a las necesidades de cada usuario.

El diseño del proyecto se basó en conocimientos teóricos basados en estudios previos como son parálisis cerebral, antropometría, sedestación y los problemas comunes en niños en la sedestación, bipedestación y locomoción, como también en recomendación de expertos en el tema de PCI como se justifica en la investigación “Diseño de una silla postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (Pantorrilla) para niños con parálisis cerebral”, desarrollada por Henry Rosero, a su vez incluye análisis tanto estático como dinámico para tener conocimiento previo del comportamiento del mecanismo antes de ser construido y puesto a prueba, por tanto el objetivo de este trabajo consiste en la continuación de esta investigación realizando la manufactura y posteriormente realizar las respectivas pruebas donde se recopilarán datos e información en todas las fases de construcción del prototipo.

El presente trabajo de integración curricular tiene como finalidad la manufactura de la silla de ruedas postural-bipedestadora para brindar el servicio como un sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla) para niños que presenten parálisis cerebral entre una edad de 3 a 12 años, mediante una adecuada selección de materiales, siguiendo un proceso adecuado para la construcción, realizar pruebas del equipo para poder brindar la seguridad y confort necesario en el tratamiento de los usuarios, y además servirá como prototipo de estudio para futuras mejoras y rediseños.

En el capítulo I se analiza la problemática y se proponen los objetivos tanto generales como específicos, el capítulo II comprende un compendio teórico enfocado en recopilar información y respaldar las acciones a realizar en el desarrollo de la construcción del prototipo, en el capítulo III se desarrolla el marco metodológico del proceso constructivo para que finalmente en el capítulo IV se realicen las pruebas funcionales y su respectivo análisis y valoración, obteniendo así las conclusiones y las respectivas recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

Según Gómez et al. (2013, p. 30), la parálisis cerebral infantil es un síndrome que se origina en el sistema nervioso central, en el que casi todos los niños con PCI tienen déficits posturales y motores, así como otros déficits y habilidades motoras deterioradas en la infancia.

Cuando un niño o niña presenta una condición de parálisis cerebral muestra dificultad para mantenerse en diferentes posiciones y realizar movimientos, por lo que al desarrollar actividades como sentarse, gatear y pararse lo realiza de manera diferente a los demás niños o niñas (Paz et al., 2010, p.10). Cada vez se presentan con mayor frecuencia niños con anomalías cerebrales congénitas y adquiridas, “constituye un síndrome o grupo de síndromes en los cuales existen actualmente muchas interrogantes y controversias que requieren ser constantemente revisadas a fin de dilucidar científicamente sus causas y mecanismos fisiopatológicos de producción” (Gómez et al., 2013, p. 31), pero se han llegado a determinar que los factores con mayor incidencia para la presencia de parálisis cerebral infantil son el peso y la edad de gestación.

Las estadísticas del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) del 2022 demuestran que en el Ecuador existen 108957 personas con discapacidad intelectual, de las cuales el 10.25 % son niños entre 0 a 12 años equivalente a 11172 pacientes.

Como se logra apreciar, un porcentaje considerable de niños padecen de discapacidad intelectual en general, es un antecedente importante para marcar la importancia de esta investigación y nos conlleva a encontrar una solución práctica y económica a esta problemática (Villacrés et al., 2022, p. 02).

Como expresa Espín (2018, p. 18) “dada la necesidad de rehabilitar y volver a una vida normal para la persona con discapacidad, ha hecho que la tecnología desarrolle implementos que ayuden a mejorar la independencia del paciente”. Tal es el caso que se tiene más de 20 años de constante evolución y desarrollo en prototipos y diseños que ayuden a mejorar el diario vivir de estos usuarios, Liljedahl Gunnar (2002) obtuvo la patente de su diseño presentando un sistema de asistencia para bipedestación para discapacitados que consiste en una grúa móvil que se puede utilizar para levantar a un paciente de una silla de ruedas con un tipo arnés, para mantenerlo de pie.

En el año 2009, Hunzikier Kurt diseñó una silla para terapias de rehabilitación y readecuación física, accionada hidráulicamente con un mecanismo de paralelogramo que permite al paciente pasar de la posición sentado a de pie (Saavedra et al., 2013, p. 26).

Saavedra et al. (2013, pp.25-33), diseñaron un dispositivo que permite realizar terapias de bipedestación, estudiaron el movimiento del cuerpo humano al estar de pie e imitaron este

movimiento utilizando el método del paralelogramo deformable, el dispositivo permite los movimientos de sentado a bípedo y de acostado a bípedo, adicionalmente permite ejercitar los miembros superiores e inferiores mediante un sistema que posibilita una caminata suave.

Las sillas para niños con PCI deben ser especializadas, a la medida y garantizar una excelente posición del niño, en el país existen innumerables propuestas de sillas de ruedas bipedestadoras, como el diseño presentado por Tambaco et al. (2017, pp.1-6), una silla de ruedas mecatrónica bipedestadora la cual cuenta con un mecanismo para bipedestación apropiado para un actuador lineal de 200 mm de recorrido, adecuada para la movilidad con motores de kits de bicicletas y en la bipedestación fueron implementados actuadores eléctricos lineales para un mejor control, precisión y menor peso.

Armijos y Criollo (2018, pp.1-110) en su trabajo presentaron el diseño, construcción e implementación de una silla de bipedestación eléctrica de bajo costo para personas cuadripléjicas activada por voz, el prototipo puede alcanzar la posición de bipedestación, con un ángulo máximo de 70 grados. En un trabajo más reciente, Ayala (2021, pp.1-103) aportó con el diseño y construcción de una silla de ruedas bipedestadora de bajo costo con la finalidad de ayudar a personas que presentan discapacidad en miembros inferiores, en donde afirma que la rehabilitación ayuda a los usuarios a fortalecerse física y psicológicamente al mismo tiempo que aumenta su autoestima.

Barbero y Ortega (2015, p.1) manifiestan que la mayoría de las sillas bipedestadoras que existen en el país son importadas y procedentes de Argentina, Brasil, Chile, Estados Unidos y España, entre otras cosas, las medidas realizadas corresponden a las medidas antropométricas de personas de los países mencionados anteriormente.

## **1.2. Justificación**

### ***1.2.1. Justificación teórica***

El diseño del prototipo se basó en conocimientos teóricos basados en estudios previos como son parálisis cerebral, antropometría, sedestación y los problemas comunes en niños en la sedestación, bipedestación y locomoción, como también en recomendaciones de expertos en el tema de PCI como se justifica en la investigación “Diseño de una silla postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (Pantorrilla) para niños con parálisis cerebral”, desarrollada por Henry Rosero, a su vez incluye análisis tanto estático como dinámico para tener conocimiento previo del comportamiento del mecanismo antes de ser construido y puesto a prueba, por lo tanto el objetivo de este trabajo consiste en la continuación de esta investigación realizando la manufactura y posteriormente realizar las respectivas pruebas donde se recopilarán datos e información en todas las fases de construcción del prototipo.

### ***1.2.2. Justificación metodológica***

La construcción de este proyecto se basa en métodos de investigación bibliográfica documental de autores especializados en procesos de manufactura, conceptos en diseño para fabricación y



montaje, con la finalidad de minimizar costos en comparación a prototipos que se encuentren en el mercado, siendo estos muchas veces inaccesibles para nuestra sociedad y optimizar tiempos tanto de manufactura como de montaje, además de una adecuada selección de materiales sin descuidar la ergonomía ni eficiencia del prototipo.

### ***1.2.3. Justificación práctica***

Este trabajo se basa en la necesidad de mejorar el día a día de niños que presenten discapacidad intelectual (Parálisis cerebral), por ende, los resultados permitirán a corto o mediano plazo que el proyecto puede extenderse a nivel nacional e incluirse en hospitales como solución en rehabilitación en niños con parálisis cerebral, mejorando así la calidad de vida de los usuarios permitiendo el movimiento en sus extremidades inferiores y lograr un impacto en la comunidad.

## **1.3. Delimitación**

### ***1.3.1. Delimitación espacial***

El presente trabajo de Integración Curricular se desarrollará en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador.

### ***1.3.2. Delimitación sectorial***

El actual trabajo de Integración Curricular se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025, en concordancia con el Eje Social, objetivo 6 el cual indica: Garantizar el derecho a la salud integral, gratuita y de calidad.

## **1.4. Formulación del problema**

Según datos publicados por el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en el país nos encontramos con un elevado porcentaje de niños entre 0 a 12 años con algún tipo de discapacidad intelectual. Una mejor calidad de vida es primordial para niños que padecen de este tipo de complicaciones tomando en cuenta que la mayoría de hogares en nuestro país no cuentan con los recursos necesarios para adquirir al menos un sistema bipedestador debido a los altos costos de los mismos, por lo que mediante la utilización de una silla de ruedas postural-bipedestadora ergonómica y funcional, los pacientes puedan realizar la movilidad de miembros inferiores mediante un sistema de rehabilitación muscular que será incorporado, mejorando así su estilo de vida a la vez que este proyecto pueda servir como guía para futuros estudios para el Grupo de Investigación y Estudios en Bioingeniería-GIEBI de la Facultad de Mecánica cuyo objetivo es generar y aplicar la ciencia y tecnología en biomecánica presentando soluciones a las problemáticas reales de los grupos vulnerables de la ciudad y provincia.

En la manufactura de este prototipo proponemos realizar el análisis funcional del mecanismo, que permita recopilar datos e información del prototipo, así determinar los factores de éxito para el avance de esta investigación.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Construir y evaluar un prototipo de silla de ruedas postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla) para niños con parálisis cerebral para el grupo de investigación GIEBI de la Facultad de Mecánica ESPOCH.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Evaluar el diseño previo de la silla y sus componentes (reposa pies y reposa cabezas) con el fin de permitir el uso a niños de diferentes edades (en el rango de diseño) y contexturas musculares.
- Seleccionar los materiales adecuados y disponibles para la construcción de la silla de ruedas.
- Elaborar los planos de construcción de la silla postural bipedestadora y del sistema de rehabilitación muscular.
- Realizar el análisis de costos.
- Manufacturar una silla postural-bipedestadora proporcionando las características básicas para que un niño con cualquier tipo de parálisis cerebral pueda usarla de manera cómoda y segura.
- Evaluar los resultados de las pruebas de funcionamiento del sistema bipedestador en vacío y con un paciente conservando la ergonomía necesaria para garantizar la seguridad e integridad de los niños con parálisis cerebral.
- Desarrollar documentos técnicos que faciliten una post fabricación y pruebas adecuadas, para el usuario.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detalla la información teórica de relevancia para el desarrollo del proyecto.

#### 2.1 Conceptos generales sobre la parálisis cerebral (PC) en niños

Según Espinoza et al. (2019, p. 1), la parálisis cerebral es la causa más común de discapacidad motora en la niñez, comprende una patología heterogénea no progresiva con cambios en el movimiento o la postura que limita la realización de las actividades diarias en pacientes asociada a trastornos sensoriales, perceptivos, cognitivos, de la comunicación, conductuales, epilepsia u otros trastornos musculoesqueléticos secundarios.

Conocer su repercusión sobre la capacidad funcional y posibles planes terapéuticos, ayuda a mejorar su calidad de vida (Muriel et al., 2014, p. 107). En consecuencia, parece ilógico ver los diferentes aspectos del desarrollo infantil como entidades separadas. Una lesión en el cerebro que causa parálisis cerebral afecta todos los aspectos del desarrollo de un niño en diversos grados. Evitar esto parece ser la razón principal para la detección temprana y el tratamiento de esta enfermedad.

“En los países desarrollados, afecta a 1,2-2,5 de cada 1000 recién nacidos vivos (RNV)” (Gómez et al., 2013, p. 30). Ecuador no tiene registros oficiales sobre el tema. Sin embargo, un informe del Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS) reporta 110.159 casos por causas genéticas congénitas y 20.000 casos por problemas de nacimiento de un total de 345.512 personas con discapacidad, pero este informe no representa la presencia de pacientes pediátricos con PCI que fallecen por complicaciones de enfermedades respiratorias.

El tratamiento debe planificarse y coordinarse de forma integral y multidisciplinar con el objetivo de mejorar la calidad de vida de estos niños. Prevenir el embarazo precoz, la consanguinidad, el incumplimiento del control prenatal y la desnutrición materna. “Actualmente más del 90% niños con PCI sobreviven hasta la edad adulta” (Gómez et al., 2013, p. 30).

##### 2.1.1. *Trastornos asociados*

Los niños con parálisis cerebral a menudo tienen otros trastornos y complicaciones asociados además de los trastornos motores. La frecuencia de esta patología asociada varía según su tipo y gravedad (Argüelles, 2008, pp. 275-276).

- Trastornos sensoriales
- Rendimiento cognitivo
- Problemas de comunicación y de lenguaje
- Epilepsia
- Complicaciones ortopédicas

- Problemas digestivos
- Problemas respiratorios

### **2.1.2. Estimulación temprana**

Un plan de estimulación temprana adecuado debe incluir un programa de estimulación múltiple desde el nacimiento; y debe proporcionar al niño la experiencia necesaria para desarrollar plenamente su potencial psicomotor. Se debe desarrollar un programa de estimulación correctivo y especializado adecuado a su lesión (Enireb y Patiño, 2017, p. 645).

### **2.1.3. Estimulación sensorial**

Se refiere a los sentidos y a la forma en que la información se procesa y transmite en el cerebro mientras se carga, acaricia y juega con el niño o niña, se puede jugar llevando al infante en diferentes posiciones, boca arriba, boca abajo, a la mitad, de derecha e izquierda, y meciéndolos suavemente en cada posición. También se puede masajear el cuerpo, brazos y manos, piernas y pies con aceite desde el hombro hasta las manos o desde a cintura hasta los pies, frotándolo con telas de diferentes texturas, empezando por las que le resulten cómodas al niño, luego por las que le molesten (Paz et al., 2007, p. 26).

### **2.1.4. Estimulación cognitiva**

Se refiere a las actividades realizadas para promover la comprensión y el aprendizaje de conceptos para que el niño o niña aprenda a mantener la atención y concentración en la actividad que se está realizando (Paz et al., 2007, p. 29).

### **2.1.5. Pilares del tratamiento de la parálisis cerebral**

Los niños con parálisis cerebral, sus familiares o personal de ayuda son miembros sumamente importantes del equipo de atención y deben participar de cerca en todos los pasos de la planificación, toma de decisiones y administración del tratamiento. Dominar ciertas habilidades, como caminar adecuadamente, por ejemplo, es un enfoque importante del tratamiento diario, pero el objetivo final debe ser ayudar a las personas a hacer una transición exitosa a la edad adulta y lograr la máxima independencia en la vida (Enireb y Patiño, 2017, p. 642).

Estos son los cuatro pilares del tratamiento de la parálisis cerebral:

- Terapia física
- Terapeuta de lenguaje o Logopedia
- Terapia Ocupacional
- Escuela o educación complementaria

## **2.2. Ergonomía**

En la actualidad, la ergonomía no se puede generalizar, especialmente en dispositivos médicos de rehabilitación, por lo que las habilidades, métodos y características que se desarrollan para cada profesión son diferentes según el tipo de máquina, persona y enfoque. Está definida por la

Asociación Internacional de Ergonomía como “una disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema. La profesión que aplica teoría, principios datos y métodos para diseñar un sistema a fin de optimizar el bienestar humano y el rendimiento global del sistema” (Cañas, 2011, p. 13).

### **2.3. Bipedestación**

La manera en la cual el equilibrio del ser humano se ha ido considerando un logro de los más grandes en los pasos de nuestra evolución, permitió reflexionar la forma en que el individuo debe mantener el mismo, una correcta postura se basa en el espacio, proporcionalidad, funcionamiento de las extremidades como del resto del cuerpo, erguir adecuadamente la espalda, entre otros. Con el paso del tiempo la adaptación de las vértebras junto a sus complementos en el cuerpo humano se ha visto mejor generación tras generación, pues también se considera que esto se logra mediante hábitos posturales o ergonómicos adecuados (Jara, 2019, pp. 10-119).

Estar de pie es una habilidad postural exclusivamente humana que implica mantener el cuerpo erguido contra la fuerza de la gravedad, con soporte de la parte inferior del cuerpo y distribución del peso entre los pies.

Según Gonzáles et al. (2008, pp. 71-75) la bipedestación requiere una serie de respuestas a los estímulos sensoriales en las plantas de los pies, establecidas en un equilibrio dinámico y estable que permita mantener una postura correcta de acuerdo con las siguientes características:

- La cabeza erguida y la barbilla recogida.
- La cabeza y los hombros equilibrados con la pelvis, las caderas y las rodillas.
- Las curvaturas de la columna están dentro de lo normal.
- El torso es recto, el estómago está tirado hacia atrás y plano, las caderas relativamente paralelas.
- Pies separados, distribuyendo uniformemente el peso del cuerpo entre las dos piernas.
- Las plantas de los pies descansan completamente en el suelo.

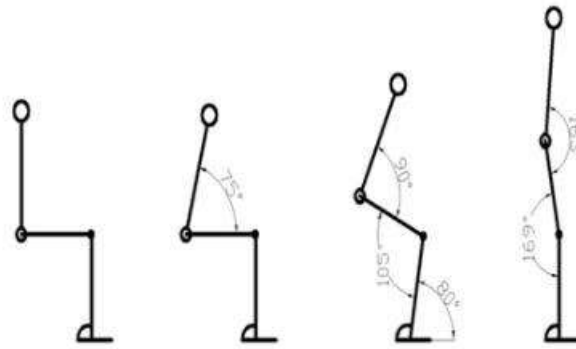
#### **2.3.1. Biomecánica de la bipedestación**

Los principios de la mecánica y la biomecánica se aplican para el estudio y análisis de los movimientos humanos, la mecánica para el estudio de las fuerzas y sus efectos, mientras que la biomecánica se basa en la aplicación de los principios de la mecánica, la anatomía, la antropometría y la fisiología los cuales permiten analizar a la persona en movimiento o en reposo (Saavedra et al., 2013, p. 27).

La transición de estar sentado a estar de pie implica la interacción de algunas articulaciones como:

- Tobillo
- Rodilla
- Cadera

- Columna Vertebral



**Ilustración 1-2:** Biomecánica de la bipedestación

Fuente: Saavedra et al., 2013.

## 2.4. Sedestación

La sedestación se utiliza a menudo para actividades de descanso o de trabajo, donde parte del peso del cuerpo se transfiere al asiento y parte al suelo y los reposabrazos, según el diseño de silla con la que se cuente. Investigadores y profesionales del ámbito sanitario consideran que la postura erguida en la que se mantiene un cierto grado de lordosis lumbar por contracción de los músculos posteriores del raquis es la más adecuada en posición de sedestación (Zapata, 2014, p. 9).

### 2.4.1. Tipos de posturas en la sedestación

Las personas sentadas suelen cambiar de postura para sentirse más cómodas, según la posición de la columna y la pelvis en la silla, es posible hablar de posturas sedentes anterior, media y posterior.

**Sedente posterior:** Por lo general, es la posición de descanso cuando se está sentado con la espalda apoyada en el asiento. Cuanto más inclinado esté el respaldo de la silla más peso se transfiere al mismo, por lo que la distribución de presiones se desplaza hacia el coxis y se requiere apoyo en la nuca. **Sedente anterior.** Es utilizado cuando se trabaja sentado frente a un escritorio. Zapata la define de la siguiente manera:

*Se puede adoptar a partir de la posición media flexionando el tronco hacia delante o con rotación anterior de la pelvis. Esta posición aumenta la fuerza de la nuca cuando se quiere mirar hacia delante, y aumenta el peso a realizar sobre los muslos y las piernas. Las piernas se colocan de manera vertical o por debajo del asiento y requieren menos espacio delante. El respaldo generalmente se usa poco. (Zapata, 2014, p. 11)*

Sedente media: es la que el niño adopta cuando el objeto de atención está en la horizontal su línea de visión, el cuerpo teóricamente se encuentra en un ángulo recto, por lo que el centro de gravedad se halla sobre las tuberosidades isquiáticas (Quintana et al., 2004, p. 32).



**Ilustración 2-2:** Posturas sedentes: posterior, anterior y media

Fuente: Zapata, 2014.

**2.4.2. Problemas en la sedestación de niños con parálisis cerebral**

<p>Escurrecimiento de la silla de ruedas</p> 	<p>Empuje extensor</p> 
<p>Irse de lado</p> 	<p>Mal control cefálico</p> 
<p>Golpes con la silla</p> 	<p>Mala posición de los codos</p> 
<p>Posición incorrecta de brazos</p> 	<p>Movimientos descontrolados de miembros inferiores</p> 

**Ilustración 3-2:** Problemas en la sedestación

Fuente: Pomares, 2020.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## 2.5. Concepto sobre silla de ruedas

Es una silla adaptada que mínimo lleva tres ruedas lo normal es que disponga de 4 ruedas, además de ser una ayuda técnica. Están dirigidas para personas con problemas de locomoción, enfermedad física (paraplejía, tetraplejía, etc.), debido a una lesión o tengan problemas psicológicos que les permitan movilizarse y desplazarse (Aguilar, 2020, p. 28).

Hay variedad de tipos de sillas que están conformadas por distintos elementos, pero hay características importantes que no deben faltar además de sus suplementos de estas mismas (Aguilar, 2020, p. 28).

<i>Elementos de Silla de Rueda</i>
<b>Primordiales</b>
tipo respaldar / asientos
Ruedas
Armazón o esqueleto
<b>Secundarios</b>
Freno
Apoya brazos
Reposapiés
Apoya piernas
Reposacabezas
Agarrador de las caderas
Barra antivuelco
<b>Suplementos</b>
Correa soporte
Saco

**Ilustración 4-2:** Elementos de silla de rueda

Fuente: Aguilar, 2020.

### 2.5.1. Clasificación de las sillas de ruedas

Encontramos tres grupos de sillas en función a su diseño, locomoción y peso.



**Ilustración 5-2:** Clasificación de las sillas de ruedas

Fuente: Barbero y Ortega, 2015.



**Tabla 1-2:** Tipos de sillas de ruedas

<b>Por su diseño</b>	<p>Armazón fijo</p> 	<p>Su diseño es básico pudiendo ser utilizadas de manera temporal o permanente según los requerimientos del usuario.</p>
	<p>Armazón plegable</p> 	<p>La característica principal es el chasis tipo tijera lo que permite llevarla a diversos lugares de forma práctica.</p>
<b>Por su locomoción</b>	<p>Manuales</p> 	<p>Pueden ser autopropulsada o empujada por otra persona, la mayoría consta de reposabrazos, reposapiés, asiento y respaldo adaptable.</p>
	<p>Eléctricas</p> 	<p>Poseen un motor eléctrico que se abastece de baterías y estas pueden variar según su diseño, pero en su mayoría son recargables</p>
	<p>Híbridas</p>	<p>Disponen un motor incorporado en las ruedas motrices que ayuda al paciente a auto propulsarse con menos esfuerzo</p>

		
<b>Por su peso</b>	Ultraligeras	Fabricadas de carbono, titanio o polímeros de alto rendimiento
		
	Ligeras	Su peso se reduce drásticamente con la utilización de aluminio a la vez que aumenta su costo
		
	Pesadas	Fabricadas en acero ASTM A-36, tiene acabados en cromo o pintura con tratamiento electrostático

Fuente: Barbero y Ortega, 2015.

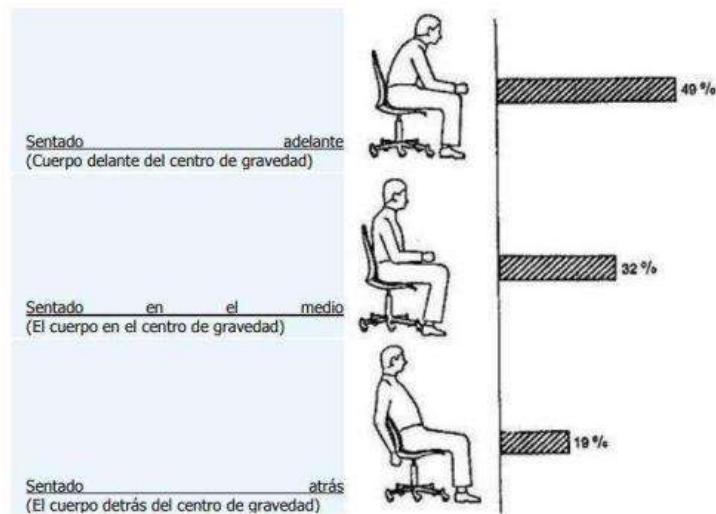
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 2.5.2. Consideraciones biomecánicas de la silla de ruedas

El objetivo fundamental de una silla de ruedas es que debe ser práctico y utilitario, cómoda y de amplia movilidad. Por lo que la silla a diseñarse debe ser ergonómica y en consecuencia se evita mayor desgaste físico.

Para el óptimo rendimiento eficiente de la silla bípoda se considera el peso y la resistencia del material, a usarse en cada una de las partes de la estructura de la silla. No obstante, la postura y

el asiento son factores importantes que se derivan de él, distanciamiento de ejes referente a la rueda (Aguilar, 2020, p. 37).



**Ilustración 6-2:** Recargo en la columna según la postura

Fuente: Tambaco, 2017.

### 2.5.3. Silla de ruedas bipedestadora

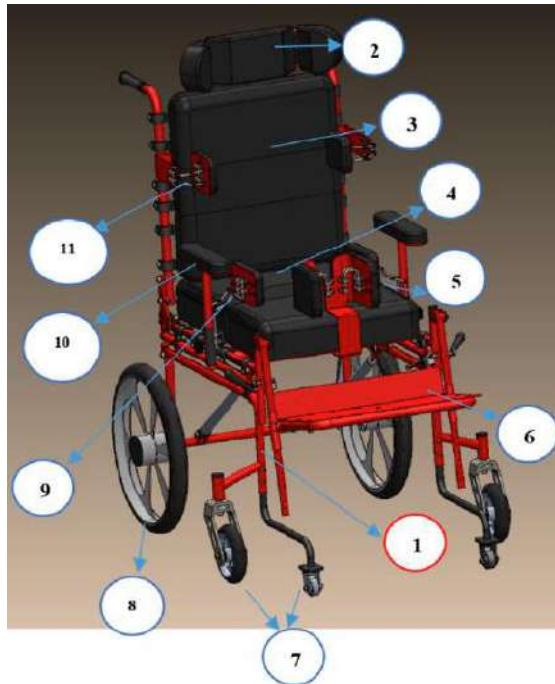
Este es un tipo de silla en la que el paciente puede sentarse. La bipedestación hace referencia a la posición erguida del cuerpo y en nuestro caso viene con correa, respaldo, reposapiés y reposabrazos que permiten una mejor postura erguida (Barbero y Ortega, 2015: p.12).



**Ilustración 7-2:** Silla de ruedas bipedestadora

Fuente: Barbero y Ortega, 2015.

### 2.5.3.1 Componentes de una silla de ruedas bipedestadora



**Ilustración 8-2:** Componentes de la silla postural-bipedestadora

Fuente: Rosero, 2021.

Los elementos que componen la silla de ruedas postural bipedestadora diseñada por Rosero Henry (2021, p. 77) son los siguientes:

- 1.- Chasis
- 2.- Reposacabezas
- 3.- Espaldar
- 4.- Asiento
- 5.- Abductor
- 6.- Apoya pies
- 7.- Ruedas delanteras
- 8.- Ruedas traseras
- 9.- Apoyos de cadera
- 10.- Reposabrazos
- 11.- Apoyos laterales





Adicional a estos elementos presenta un sistema antivuelco el mismo que reduce la posibilidad de caída o vuelco, ya que tienen un efecto de frenado en el suelo.

### 2.5.3.2. *Beneficios de la silla de ruedas bipedestadora*

Los beneficios de usar este tipo de silla son:

- Mejora la respiración: Cuando una persona se pone de pie, la columna vertebral está recta, la presión sobre el sistema respiratorio se reduce y el oxígeno y la circulación sanguínea son mejores. La función respiratoria suele mejorar y la respiración se vuelve menos agotadora.
- Activar la presión sanguínea: Permite la circulación de la sangre a los miembros inferiores de modo que ayuda en el tratamiento y la prevención en formación de escaras.
- Mejorar el tránsito intestinal: Al estar en posición erguida el intestino facilita la función de digestión por lo que el tránsito intestinal es más eficiente.
- Mejora la función de la vejiga: Minimiza la producción de infecciones dado el mejoramiento del drenaje de la orina, impidiendo cálculos renales y de vejiga.
- Mejora la densidad ósea: El estar de pie puede considerarse como actividad física y permite readecuar la postura, ya que el tronco queda extendido y se retrasa la aparición de deformidades óseas.
- Reduce las contracturas musculares: Como parte del cambio de posición los músculos se mueven y aunque el paciente pudiere presentar un cuadro total o parcial de invalidez los ejercicios en las piernas son indispensables.
- Reduce el apareamiento de las úlceras por presión y osteoporosis.
- Independencia: Este tipo de sillas son de ayuda para los pacientes al realizar movimientos que antes no eran posible, no lograrán la independencia total, pero si es una gran ayuda para estas personas (Barbero y Ortega, 2015: p.18).

## 2.6. Tipos de bipedestadores

Bipedestadores en prono	
Bipedestadores en supino	
Bipedestadores en vertical	
Bipedestadores móviles	

**Ilustración 9-2:** Tipos de bipedestadores

Fuente: Vargas, 2016.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## 2.7. Sistemas de verticalización para la bipedestación

Los hay de diferentes tipos: mecánicos, relativamente en desuso y hoy en día, eléctricos.

La mayoría de los planos de inclinación tienen pistones de gas o actuadores lineales. Los actuadores lineales se usan más comúnmente, pero con pistones de gas también se pueden encontrar planos inclinados.

Los actuadores lineales eléctricos transfieren el movimiento lineal a circular. Deben colocarse de manera que la camilla pueda elevarse para obtener la inclinación deseada con una inclinación máxima de 0° a 90°. Además, son elementos que se pueden encontrar con pequeñas velocidades por lo que son ideales para este tipo de productos ya que se deben conseguir movimientos suaves, progresivos y, sobre todo, seguros (Espín, 2018, p. 21).

Existen tres grandes grupos:

- Sillas con propulsión y verticalización manuales asistida.
- Sillas de ruedas con propulsión manual y verticalización eléctrica
- Sillas eléctricas con verticalización eléctrica.

## 2.8. Silla bipedestadora con sistema de elevación hidráulica

Posee un conjunto hidráulico compuesto por una bomba manual y un actuador de impacto simple. Su funcionamiento es similar al de un gato hidráulico. El mismo principio de Pascal de trabajar a través de una palanca de empuje que aplica presión al sistema transmite la fuerza a través del fluido. Levante la estructura en todas las direcciones a través de la pared del sistema de control del cilindro impulsor (Barbero y Ortega, 2015: p.19).

### 2.8.1. Partes de la silla bipedestadora con sistema de elevación hidráulica

- Cilindro actuador compacto para funciones específicas de carga.
- Estructura de la silla bipedestadora.
- Varilla extraíble de impulsión para la bomba hidráulica.
- Bomba manual compacta y ligera y depósito de aceite.
- Mangueras hidráulicas que transmiten el aceite mineral.

### 2.8.2. Características del sistema hidráulico

Consta de un actuador hidráulico autónomo fiable. La bomba, el cilindro y la válvula están conectados entre sí. Viene con una válvula de seguridad integrada en el tanque de presión y una válvula de control de flujo para garantizar un descenso suave (Barbero y Ortega, 2015: p.22).

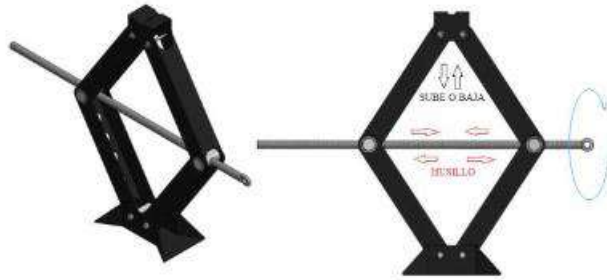


**Ilustración 10-2:** Componentes y funcionamiento del sistema hidráulico

Fuente: Barbero y Ortega, 2015.

## 2.9. Silla bipedestadora con sistema de elevación mecánica

De acuerdo con Barbero y Ortega (2015, p. 23) el sistema utiliza un tornillo sin fin y un perfil articulado que permite el ascenso y el descenso mediante la rotación del tornillo, el cual consta de un sistema de bipedestación el cual es accionado por un actuador mecánico, con una capacidad de carga de 100 kg, siendo accionado con una manivela unida a un volante.



**Ilustración 11-2:** Características del sistema mecánico

Fuente: Barbero y Ortega, 2015.

### 2.9.1. *Característica ergonómica*

El sistema al igual que el hidráulico exige de una considerable fuerza muscular de otra persona.

### 2.9.2. *Ventajas*

Espacio reducido para su funcionamiento.

Proceso de fabricación sencillo y económico.

Sistema silencioso.

### 2.9.3. *Desventajas*

Debe basarse en una excelente lubricación para evitar el desgaste del sistema debido a la fricción.

El sistema se ensucia fácilmente.

## 2.10. **Silla bipedestadora con sistema de elevación eléctrico**

Es un sistema efectivo que requiere de una fuente auxiliar de energía eléctrica (batería) recargable, un actuador eléctrico y un pulsador que al ser accionado induce la corriente para que el motor de peso reducido accione el émbolo elevando así la silla bipedestadora (Barbero y Ortega 2015, p. 27).



**Ilustración 12-2:** Actuador lineal con motor eléctrico

Fuente: Barbero y Ortega, 2015.

### 2.10.1. *Ventajas*

Larga vida y funcionamiento eficiente por lo que requieren muy poco mantenimiento.

Ocupa un espacio mucho más reducido.

La capacidad de carga del sistema se adapta a cualquier peso.



### **2.10.2. Desventajas**

Algunas piezas se estropean y, si no se les da el mantenimiento adecuado, tienden a desgastarse, lo que genera costes adicionales para el usuario.

### **2.11. Ayudas técnicas**

Las ayudas técnicas o dispositivos de asistencia son productos, herramientas, equipos o sistemas utilizados por una persona con discapacidad que están especialmente fabricados o disponibles en el mercado para prevenir, compensar, reducir o neutralizar una carencia, deficiencia o discapacidad (García, 2008, p. 3).

Es importante aclarar que el término de Ayudas Técnicas no engloba las modificaciones realizadas a los espacios y habitación donde se desenvuelven las personas con alguna discapacidad, y mediante las cuales se eliminan las barreras para la realización de actividades de tipo cotidiano, puesto que para este tipo de adaptaciones se usa comúnmente el término medios técnicos (Laloma, 2005, p. 34).

El uso de ayudas técnicas adecuadas permite que una persona con movilidad reducida o una persona mayor aumenten su capacidad para realizar las tareas cotidianas. Son por tanto objetos muy diferentes que aumentan el nivel de independencia y autonomía personal del usuario con discapacidad en su entorno (García, 2008, p. 3).

Cabe señalar que no solo aquellas personas con algún tipo de discapacidad utilizan ayudas técnicas. En ocasiones personas que desean mejorar su nivel de autonomía social, como por ejemplo personas de la tercera edad, o personas que las necesiten como complemento para mitigar los efectos de una lesión temporal (Laloma, 2005, p. 37).

#### **2.11.1. Confiabilidad y validez de las ayudas técnicas especiales**

Empleando las palabras de Gudiño (2016, p. 34) la silla de ruedas bipedestadora debe considerarse una ayuda técnica especial, puesto que ayuda a los niños con parálisis cerebral a mantener una postura anatómica correcta en la posición sentada que mantienen, ayudaría a los niños en sus actividades académicas, dentro y fuera del salón de clases. Como ajuste técnico para prevenir, controlar, mantener y evitar las deformaciones anatómicas que produce la parálisis cerebral en el niño ya que mantiene al individuo en posturas correctas extiende y relaja las extremidades inferiores. La ayuda es mejor brindarla si se trata a una edad temprana, por esta razón la ayuda debe brindarse en el momento en que al niño se le diagnostica parálisis cerebral.

Para elaborar la silla de ruedas bipedestadora se debe partir de una valoración de los niños de la institución que requieran una ayuda técnica, se empieza a elaborar la silla y una vez elaborada la silla, se observa en las condiciones anatómicas en que se encuentra el niño al momento de empezar a utilizar la silla y se le realiza una valoración bajo observación paulatinamente, observando el mejoramiento la postura, si hay puntos de presión que puedan causar laceraciones en la piel, si el

niño está bien sujetado y estable en la silla, si necesita de ayudas extras o apoyos extras como correas, cojines o demás que den confort y comodidad al niño.

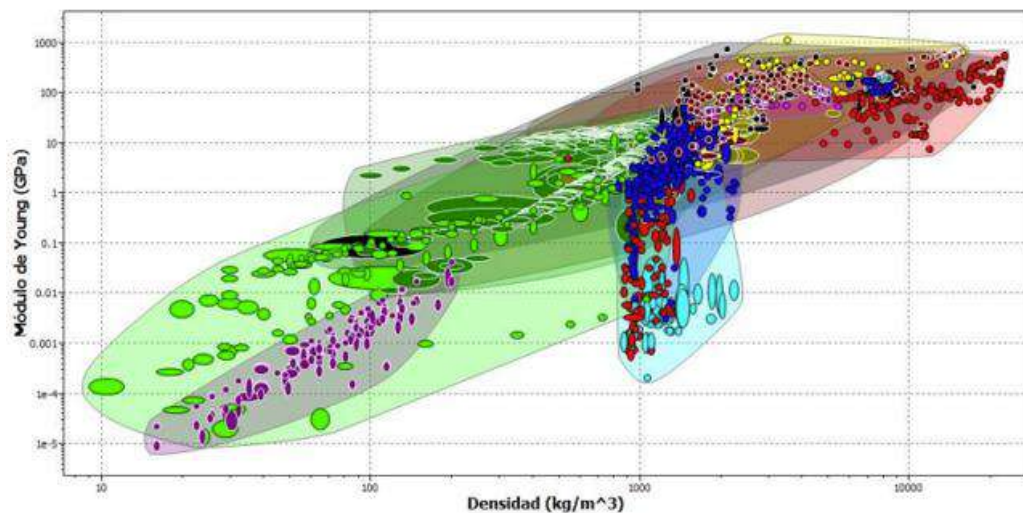
## 2.12. Materiales utilizados en equipos de rehabilitación

La rehabilitación física ha sido un elemento influyente en la medicina clásica a lo largo de la historia. Dependiendo del tipo de rehabilitación que se desee brindar, se utilizan una variedad de materiales, desde polímeros y fibras hasta materiales estructurales específicos como el acero y el aluminio (Villacrés et al., 2022, p. 20).

Riba (2008, pp. 11-15) menciona que, a la hora de seleccionar los elementos, se presentan y describen detalladamente los materiales más utilizados en la construcción de este tipo de mecanismos. Estos materiales generalmente se seleccionan empíricamente, es decir, en función de la experiencia previa en la construcción, los factores económicos y la disponibilidad del mercado.

### 2.12.1. Método Ashby

Ashby propuso la formalización de los elementos en un método más deliberado, basado en la deducción y al mismo tiempo científico, por lo que la selección de elementos consiste en conocimiento empírico y deductivo, resultando funcional para el proyecto.



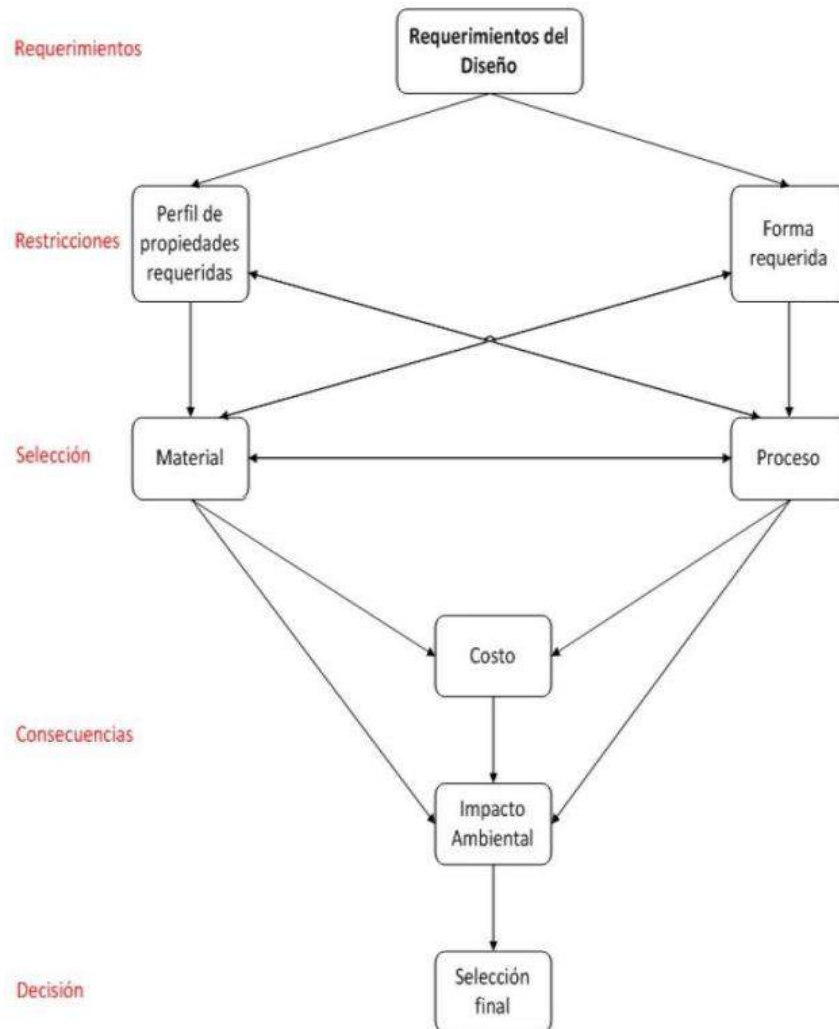
**Ilustración 13-2:** Representación de las familias de todos los materiales

Fuente: Machin, 2019.

Según Shackelford (2005, p. 719) el uso de los mapas de Ashby para la selección de los materiales sigue una filosofía de diseño de cuatro pasos:

- Crear una especificación de material que refleje los requisitos de diseño.
- Eliminar los materiales que no satisfacen las especificaciones.
- Ordenar los materiales candidatos por su capacidad para resolver los objetivos del diseño (usando parámetros apropiados).
- Buscar información adicional para los candidatos prometedores.

El diseño empieza por la necesidad del mercado. La necesidad es analizada y se expresa como conjunto de requerimientos de diseño. La selección de los materiales y los procesos evolucionan en paralelo. La selección del material no puede ser separada del proceso y de su forma (Ashby et al., 2007, p. 34).



**Ilustración 14-2:** Interacción entre los requerimientos del diseño, el material, forma y los procesos

Fuente: Machin, 2019.

### 2.13. Procesos de manufactura

El término proceso tiene varias definiciones y conceptos dependiendo del campo de estudio. Con relación a un proceso industrial, nos referimos a un evento que ocurre siempre que los elementos básicos materia, energía e información están presentes y cambian, y que su relación en el grueso de materia y energía da como resultado un producto específico, no un servicio (Eraso, 2008, p. 9).

		1ª categoría	2ª categoría	Proceso
		<b>P R O C E S O S</b>  <b>D E</b>  <b>M A N U F A C T U R A</b>	CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	MAQUINADO
TALADRADO				
FRESADO				
CEPILLADO				
ASERRADO				
MANDRINADO				
BROCHADO				
[DE ENGRANAJES]				
[ESCOPLEADO]				
CONFORMACIÓN FORZADA	CONFORMACIÓN PLÁSTICA MECÁNICA		ENBUTIDO PROF	
			LAMINADO	
			FORJADO	
			EXTRUSIÓN	
			TREFILADO	
			PULVIMETALURGIA	
COMPLEMENTARIOS	MATERIALES SINTÉTICOS	ALEAC. ESPECIALES		
		FUNDICIÓN		
		SOLDADURA		
COMPLEMENTARIOS	DUREZA	EXTRUSIÓN		
		SOPLADO		
		TRATAMIENTOS TÉRMICOS		
COMPLEMENTARIOS	ACABADOS	SUPERFICIES		
		ENSAMBLES		
		ARMADOS		

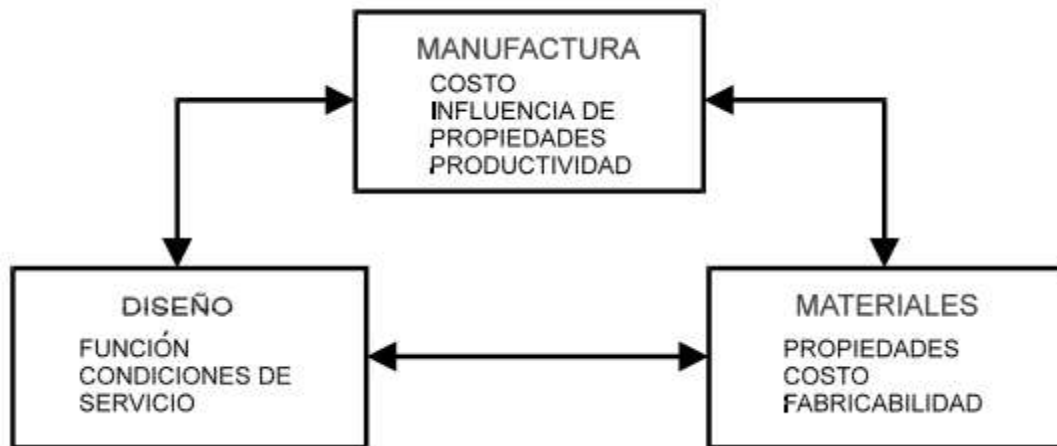
**Ilustración 15-2:** Clasificación de los procesos de manufactura

Fuente: Eraso, 2008.

### 2.13.1. Relación entre proceso, material y diseño

El proceso de diseño, la producción y los materiales que se utilizarán están claramente interrelacionados, pero también intrínsecamente entrelazados. Esto se debe a que el diseñador debe cumplir una serie de requisitos, entre los que se encuentran la funcionalidad, la resistencia y el bajo peso, teniendo también en cuenta que el artículo debe adquirirse al precio más económico posible. También debe ser producido en las cantidades, con el nivel de precisión y con la calidad que exige el producto.

Cualquier modificación del material o del diseño requiere una nueva investigación sobre las técnicas de producción más eficaces. La mayoría de las piezas fabricadas se pueden producir utilizando una variedad de técnicas, pero siempre se elige la que mejor se ajusta a los requisitos de precisión dimensional, propiedades físicas, capacidad de producción y productividad al menor costo posible.



**Ilustración 16-2:** Relación entre la manufactura, el diseño y los materiales

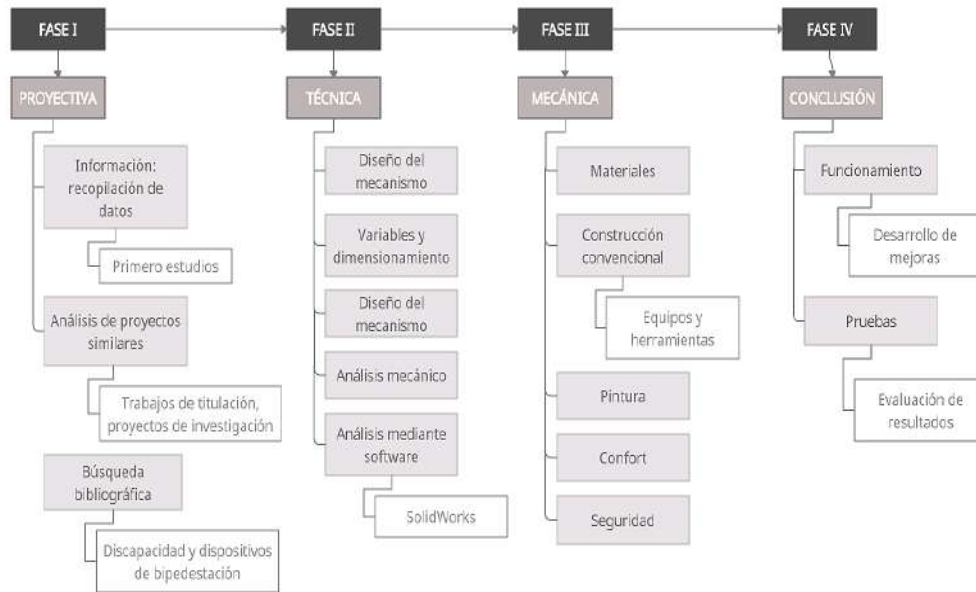
Fuente: Eraso, 2008.

#### **2.14. Innovación en sistemas tecnológicos para sillas de ruedas**

Como expresa Zepeda et al. (2013, p.19), en los últimos años, la tecnología ha avanzado en muchas áreas como, por ejemplo, en ingeniería automotriz, aeronáutica, mecánica, entre otras, para cumplir requisitos que antes no eran posibles. Las sillas de ruedas son la espera de la innovación tecnológica, debido a las diferentes necesidades que siempre han tenido las personas con discapacidad, dado que las discapacidades que sufren estas personas no crean las mismas necesidades en todos los casos, las sillas de ruedas son personalizables como sea posible. De esta manera, los ingenieros y diseñadores han analizado las diversas discapacidades que están disponibles para pacientes y diseñar a partir de ahí una silla de ruedas que satisfaga sus necesidades. Generalmente hay dos áreas donde la tecnología e innovación de las sillas de ruedas ha progresado: en las capacidades que tiene la silla de ruedas en términos de movimiento y a través de la interacción: ser humano-interfaz de máquina.

#### **2.15. Flujograma de construcción de una silla de ruedas bipedestadora**

Para que los resultados del diseño de la bipedestación sean exitosos, deben corresponder completamente a los objetivos establecidos para los cuales se creó el método basado en 4 fases.



**Ilustración 17-2:** Proceso para la construcción de una silla de bipedestación

**Fuente:** Espinoza y Vele, 2021.

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo describe el proceso físico y funcional de la manufactura del prototipo desarrollado por diseño asistido por computadora (CAD). Se proporciona un desglose de todos los materiales, equipos, accesorios y herramientas utilizados en cada módulo del proceso de fabricación, esto también involucra los resultados y análisis ofrecidos en el trabajo titulado: “DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS POSTURALBIPEDESTADORA CON SISTEMA DE REHABILITACIÓN MUSCULAR (PANTORRILLA) PARA NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL”. Los procedimientos de fabricación, ensamblaje y ajuste para cada sección del prototipo se describen en sus respectivas secciones y brindan una descripción general detallada de la fabricación.

#### 3.1. Definición de ingeniería concurrente

La ingeniería concurrente es una estrategia operativa que se persigue en el momento del proceso de diseño del producto, identificando las necesidades del mercado que se deben cumplir, los requisitos de calidad y costos que se deben lograr, los procesos de fabricación, la distribución y el sistema de servicios requerido para asegurar los clientes. Es una investigación completa y simultánea para lograr la satisfacción durante todo el ciclo de vida del producto (Castro y Ruíz, 1999, pp. 27-28).

##### 3.1.1. Desde el punto de vista del producto

Considera los requerimientos de las diferentes etapas del ciclo de vida del prototipo a manufacturar y ofrecer al usuario los costos o recursos relacionados.

##### 3.1.2. Desde el punto de vista de los recursos humanos y las metodologías

Profesionales que actúan de forma colectiva en tareas de asesoramiento y toma de decisiones (con presencia de las voces significativas) o individualmente en tareas de dirección y gestión (gestor de proyecto) trabajan juntos independientemente de que pertenezcan a la empresa o estén fuera de ella (otras empresas, universidades o centros tecnológicos).

##### 3.1.3. Desde el punto de vista de los recursos materiales

Hay una base de datos e información cada vez mayor, hay nuevas herramientas basadas en tecnologías de la información y la comunicación (modelos 3D, modelos y herramientas de lectura, prototipos rápidos y herramientas, comunicación interna, Internet).

#### 3.2. Definición del producto

El producto debe cumplir con los estándares especificados por Rosero (2021), siendo el principal objetivo lograr la postura bípeda y contar con un sistema de rehabilitación muscular, el documento es la guía con la cual se trabaja en este rediseño.

Rosero (2021) en el diseño de la silla de ruedas, se fundamenta en 5 fases:

- Selección de medidas antropométricas

- Selección del material
- Selección de perfiles
- Diseño de los elementos de la silla de ruedas postural-bipedestadora
- Diseño del sistema de rehabilitación

### 3.2.1. *Voz del usuario*

Rosero (2021) se enfocó en satisfacer parámetros dados por los usuarios para el diseño de la silla de ruedas para niños con PC.

- *Demanda básica*

Económica

Segura

Fácil manejo

Fácil mantenimiento

- *Demanda de diseño*

Liviana

Resistente

Estable

Ajustable

Fácil movilidad

### 3.2.2. *Voz del ingeniero*

A pesar de la cadencia de una matriz QFD en el trabajo de titulación de Rosero (2021), este se enfoca en satisfacer ciertos parámetros para el diseño de la silla de ruedas para niños con PCI, considerando opiniones de especialistas y tomando medidas referentes a niños con PCI y niños sin PCI.

El diseño de Rosero (2021) cumple con los siguientes requisitos:

- La silla de ruedas postural-bipedestadora es adaptable a las medidas de cada niño, dentro del rango de diseño.
- La silla debe garantizar una correcta sedestación.
- Se debe garantizar una correcta bipedestación.
- La silla de ruedas postural bipedestadora debe adoptar la posición de camilla.

Llevando estos parámetros a una voz del ingeniero, podemos tener los siguientes:

- *Ergonomía:* Brindar confort y seguridad al usuario.
- *Material:* Cumplir con calidad y economía.
- *Tiempo de uso:* Modo de uso por el que se determina el producto.
- *Mecanismos:* Un conjunto de sistemas que permiten la movilidad del usuario.
- *Actuadores:* Un mecanismo que facilita la locomoción bípeda.



- *Manufactura:* El proceso de producción y construcción del proyecto.
- *Resistencia:* Soporte de retracción como impacto o suelo.
- *Estructura:* Soporta netamente la carga directa que recibe la silla.

Para dimensionar la silla de ruedas se basó en medidas antropométricas cuyos valores fueron tomadas de tablas a niños con PC de diferentes edades, así como también de niños con PC de tesis y artículos.

**Tabla 1-3:** Medidas antropométricas de niños con PC

N o.	Usuario	Sexo	Edad	Peso (kg)	MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS (cm)							
					HS	HA	HFP	LN-FP	AB	AC	DB	DA
1	A.A.O..	Femenino	3	11	47	27	18	20	20	18	19	15
2	A.C.P.T.	Femenino	5	14	55	38	24	29	26	24	20	17
3	M.P.L.	Masculino	7	15	55	30	23	24	22	23	23	17
4	D.J.R.C.	Masculino	8	14	56	33	24	26	24	22	23	18
5	C.R.P.	Femenino	9	13	64	41	28	32	22	21	28	22
6	D.J.P.V.	Masculino	10	20	63	43	31	33	31	25	35	24
7	C.L.P.T.	Masculino	11	25	70	45	31	45	34	35	30	36
8	J.J.B.Q.	Masculino	13	17	57	39	30	32	30	26	24	27

Fuente: Rosero, 2021.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 2-3:** Medidas antropométricos de niños entre 5 a 10 años

No.	Usuario	Edad	Peso (kg)	MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS (cm)						
				HS	HA	HFP	LN-FP	AB	AC	PC
1	Femenino	5	18.4	57.6	34.9	26.3	27.9	25.8	21.5	49.9
2	Masculino	5	19.5	58.6	35.9	26.6	27.6	27.7	22.9	50.5
3	Femenino	6	20.9	60.9	38.3	28.9	30.9	26.3	21.4	50.3
4	Masculino	6	23.2	62	38.9	29.6	30.5	27.1	22.7	50.8
5	Femenino	7	22.4	63.8	40.7	30.8	32.9	29.3	22.5	51.3
6	Masculino	7	22.4	63.6	40	30.8	30.9	29	23.4	51.5
7	Femenino	8	24.4	65.9	41.9	32.6	34.6	30.2	23.9	51.7
8	Masculino	8	25.5	66.8	42	33.2	34.7	30.5	23.7	52.1
9	Femenino	9	27.2	66.6	42	33.6	37.4	30.8	25	52.3
10	Masculino	9	26.4	67.2	42.4	34.1	35.4	30.8	25.1	51.8
11	Femenino	10	33.2	70.3	45.2	35.5	40.2	32.8	27.4	51.7

12	Masculino	10	30.8	69.4	44.5	35.5	38.7	31.4	25.5	50.9
----	-----------	----	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Rosero, 2021.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

La tabla 3-3 refleja medidas de niños sin PC entre 5 a 10 años, con la finalidad de obtener un promedio en las medidas antropométricas para el diseño de la silla de ruedas.

**Tabla 3-3:** Medidas antropométricas para diseño de la silla de ruedas

Medida antropométrica	Mínimo (cm)	Máximo (cm)
Altura (talla) sentado erguido HS	17	25,1
Altura acromial del hombro sentado HA	27	45
Altura de la fosa poplítea (sentado) HFP	18	36
Largo de nalga a fosa poplítea LNFP	15+5	40+5
Ancho biacromial de los hombros AB	20	35
Ancho de caderas (sentado) AC	18	36,5
Distancia brazo DB	19	35
Distancia antebrazo DAB	15	36

Fuente: Rosero, 2021.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.3. Estudio de alternativas

Rosero (2021), anteriormente realizó el estudio de las alternativas para el diseño de una silla de ruedas postural bipedestadora y a su vez el sistema de rehabilitación física para miembros inferiores (pantorrilla). Este estudio de alternativas se realiza con la finalidad de obtener criterios y parámetros que sirven para realizar el diseño, utilizando la metodología QFD (Quality Function Deployment), para ello se recoge la voz del cliente y del ingeniero para cumplir con los objetivos planteados para la silla postural bipedestadora, tomando en cuenta las demandas y expectativas existentes en el mercado.

### 3.4. Validación y rediseño

Los aspectos fundamentales dentro de la validación y un rediseño de cualquier proyecto están basados en la funcionalidad, ergonomía, costo de producción y el mejoramiento de las características para alcanzar y satisfacer las necesidades del usuario o el servicio que se está brindando.

El proyecto “DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS POSTURALBIPEDESTADORA CON SISTEMA DE REHABILITACIÓN MUSCULAR (PANTORRILLA) PARA NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL”, de Rosero (2021) presenta algunas condiciones puntuales, las cuales nos permiten realizar el mejoramiento dentro del proceso de diseño, costo y funcionalidad para lo cual se detallará los aspectos importantes, con la finalidad de garantizar un producto con las

mejores condiciones, para luego crear el prototipo operativo que se pueda desempeñar a la medida de las necesidades planteadas.

#### **Aspectos para el rediseño:**

- Aumentar del límite de edades
- Aumentar la carga máxima que pueda soportar la silla
- Mejorar los factores de seguridad de las partes estructurales de la silla
- Mejorar las secciones transversales
- Selección de los nuevos materiales
- Análisis cinemático
- Análisis del mecanismo de operación
- Verificación de dimensiones de la silla
- Análisis de costos

Con referencia en el trabajo de titulación de Rosero (2021), se analizará cada uno de los aspectos señalados, para resaltar la importancia del rediseño y el mejoramiento del mismo.

#### **Aumentar el límite de edades**

“Se consideraron medidas máximas y mínimas tomadas a 8 niños con PCI de diferentes edades en un rango de 3-12 años, medidas tomadas de tablas antropométricas infantiles, así como también medidas realizadas a niños con PCI tomadas de una tesis y de un artículo” (Rosero, 2021, p. 28). Se hace referencia en la conclusión de la tesis previa para verificar que la edad máxima de operación de la silla es de 12 años.

Tomando como punto de partida que las sillas de ruedas generalmente están diseñadas para personas adultas con un mínimo de edad de 15 años, se hace necesario que las sillas de ruedas infantiles se las diseñe con un rango más amplio de edades. Se propone que el rango de edades sea de 3 hasta 17 años, teniendo en cuenta para el rediseño el poder regular y ajustar las partes móviles de la silla.

Con esto garantizamos que la silla tenga mayor tiempo de uso para el usuario, con la opción que se va ajustando a la necesidad del tamaño.

#### **Aumentar la carga máxima que soporte la silla**

Para poder entender por qué se busca aumentar la carga máxima de la silla, revisemos lo que Rosero propuso:

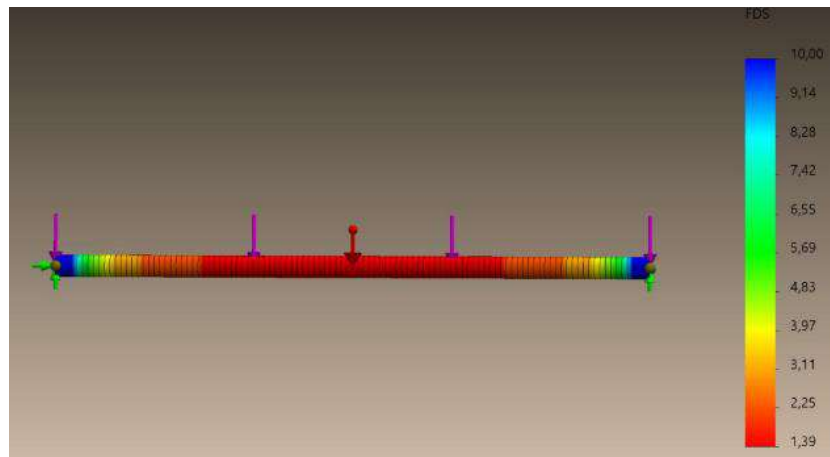
*En base a una investigación previa acerca de las características de una persona con parálisis cerebral, así como la importancia y correcta sedestación, bipedestación y movimiento de piernas, se logró diseñar una silla de ruedas postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla) para niños con parálisis cerebral con un peso máximo de 50 kg. (Rosero, 2021, p. 123)*

Básicamente el aumentar la edad para el uso de la silla conlleva aumentar el peso que va a soportar. En el estudio previo realizado, todo el análisis estructural se lo realiza con una carga

máxima de 50 Kg. Para estos equipos médicos se necesita tener un amplio factor de seguridad y que soporte cargas estáticas y dinámicas. Por lo tanto, se debe analizar el factor carga con la condición de que resista esfuerzos no pronosticados como, sobre peso, caídas, etc.

### **Mejorar los factores de seguridad de las partes estructurales de la silla**

Dentro de las simulaciones estáticas para encontrar el factor de seguridad de las partes estructurales de la silla en el trabajo de titulación previo, se visualiza que está por debajo del factor de seguridad promedio, la cuál es de 1,5-2 para este tipo de elementos.



**Ilustración 1-3:** Simulación estática (Factor de seguridad), barra de soporte

**Fuente:** Rosero, 2021.

La mayoría de las simulaciones estáticas dentro de la estructura de la silla obtiene valores bajos. Los factores de seguridad bajos no son habituales para este tipo de aplicaciones ya que no se puede garantizar una vida útil larga.

### ***Mejor las secciones transversales***

En cada elemento se debe realizar un estudio puntual para verificar sus dimensiones y funcionalidad, con esto se garantiza que el equipo funcione correctamente y soporte las cargas para las que fue diseñado.

Teniendo como preámbulo ese análisis, se hace el cálculo del tipo de perfil con sus secciones transversales adecuadas para el mismo.

### ***Selección de los nuevos materiales***

Teniendo la selección de sección transversal podemos ir a los catálogos dentro del mercado nacional y verificar con las condiciones mecánicas tanto de límites elásticos, resistencia mecánica y módulos de elasticidad.

### ***Análisis cinemático***

Dentro del estudio del trabajo de Rosero (2021), no se encontró un análisis cinemático del funcionamiento de la silla bipedestadora, lo cual es una gran desventaja para el estudio ya que se necesita validar todos los mecanismos para el correcto funcionamiento. Para el análisis

cinemático se necesita tener los parámetros geométricos, el tipo de materiales, tipo de actuador y las delimitaciones del nuevo diseño de la silla. Con estos datos podemos iniciar un análisis de velocidades y momentos vectoriales para los desplazamientos anteriormente expuestos.

### ***Análisis del mecanismo de operación***

De igual manera no existe evidencia dentro del trabajo de titulación previo sobre los mecanismos de funcionamiento ni una evolución o simulación del mismo. Por lo tanto, se hace necesario tener esta información ya que la silla bipedestadora tendrá varias posiciones, con diferentes grados de libertad en las cuales en paciente podrá realizar de mejor forma la rehabilitación adecuada.

Un estudio adecuado de los mecanismos de funcionamiento se lo realiza en el programa MSC ADAM'S el cual nos ayuda con los vectores de posición y velocidades máximas, esto garantiza la operabilidad de silla. Además, se analizará con estos datos la selección del actuador a utilizar para el desempeño de la silla.

### ***Verificación de medidas de la silla***

*Como se mencionó anteriormente las medidas y peso en un niño con discapacidad tienden a variar bruscamente debido a su condición, es por ello por lo que para este diseño se analizaron las medidas máximas y mínimas que servirán para el dimensionamiento de las partes de la silla de ruedas postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla), sin embargo, se enfocó el análisis en las medidas tomadas. (Rosero, 2021, p. 31)*

Con esta información de las medidas tomadas por Rosero en la recolección de datos de las medidas para el diseño de la silla, servirá como punto de partida para la investigación con sillas que ya se encuentran en el mercado y verificar medidas generales para la aplicación que se va a dar a la misma. El objetivo es dar la mejor opción para un rediseño óptimo y cumpla las necesidades expuestas.

### ***Análisis de costos***

El análisis de costos es un punto fundamental para la construcción de la silla bipedestadora. Como punto importante dentro del proyecto se prioriza los gastos de construcción teniendo como referencia los costos de materiales y costos totales calculados por Rosero (2021).

Con estos datos, se analiza los gastos más importantes dentro del proyecto para llevarlo a la construcción del nuevo prototipo con un rediseño óptimo. Se trata de mantener el mismo presupuesto o menor a este, con la finalidad de que sea más rentable la creación de este tipo de sillas bipedestadora.

### ***Metodología de rediseño***

Al analizar un marco de método, es deseable comprender todos los detalles de las especificaciones del mecanismo correcto, tomando como partida el trabajo de titulación de Rosero (2021), y para llegar a un modelo funcional y óptimo para la construcción del mismo y cumpla todas las necesidades. La propuesta metodológica que se presenta a continuación pretende generar un

marco que pueden usar los estudios previos para un desarrollo del prototipo de rediseño y mejoramiento del prototipo, alineados con los objetivos estratégicos de aumentar la eficiencia del mismo.

***Factibilidad constructiva***

El proceso de diseño mecánico es la unidad básica que materializa un producto específico, cabe mencionar que las personas responsables de su producción tienen el deber de revisar los cálculos realizados, verifique la facilidad de implementación y verifique que el producto final ensamblado cumpla con el propósito previsto.

**3.5. Análisis de las especificaciones para el sistema de bipedestación**


Para el sistema de bipedestación se realiza este análisis con la finalidad de contar con todos los requerimientos y especificaciones para que el sistema cumpla su función a cabalidad, mejorando el mecanismo propuesto en el estudio previo.

*3.5.1.1. Tipología de varios fabricantes*

Las tablas 4-3, 5-3 y 6-3, muestran la descripción técnica y características de sillas de ruedas de diferentes fabricantes, información que se utilizará para un posterior análisis de comparación y validación en el sistema de bipedestación con el diseño de silla de ruedas bipedestadora de Rosero (2021).

**Tabla 4-3:** Tipología sillas de ruedas Mobilitec

Tipología 1: LS - LIFESTAND	
	<p><b>Descripción técnica:</b> Silla de ruedas manual con verticalización a través de un sistema de palancas. Estructura rígida en aluminio y acero. Ideal para usuarios que no pueden ponerse de pie por sí mismos.</p> <p><b>Características:</b> Estructura rígida en aluminio y acero. Profundidad del asiento ajustable. Respaldo reclinable, plegable para mayor portabilidad y ajustable en altura. Eje trasero ajustable. Soportes para rodillas seguros y plegables. Reposabrazos robustos y plegables que ofrecen estabilidad y facilidad en las transferencias.</p>
Tipología 2: LSR - LIFESTAND	

	<p><b>Descripción técnica:</b> Silla de ruedas manual con sistema de verticalización eléctrico. Combinando diseño con una funcionalidad perfecta, LSR es una silla que permite la autopropulsión, pero también la verticalización y la relajación.</p> <p><b>Características:</b> Estructura rígida en aluminio y acero. Asiento ajustable en profundidad. Respaldo reclinable, plegable para portabilidad y ajustable en altura. Reposapiés regulables en altura. Ruedas traseras de extracción rápida. Dos baterías de 2AH.</p>
---	---

Fuente: MOBILITEC, 2017.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.


**Tabla 5-3:** Tipología sillas de ruedas Action Vertic

<p>Tipología 3: Invacare Action Vertic</p> 	<p><b>Descripción técnica:</b> La silla Invacare Action Vertic es una silla de propulsión manual con verticalización del asiento eléctrica. Esta silla le permite disfrutar de los muchos beneficios de estar de pie completamente erguido: independencia, salud, estimulación física, socialización.</p> <p><b>Características:</b> El movimiento de verticalización de la silla Invacare Action Vertic ha sido estudiado detenidamente: las dos rotaciones (a nivel de las rodillas y de la pelvis) y la traslación a nivel de las piernas respetan perfectamente el movimiento natural del cuerpo. En posición sentada, el asiento y el respaldo ajustables en tensión garantizan el correcto posicionamiento del usuario quien está perfectamente sujetado a lo largo de la fase de verticalización gracias a los soportes de rodillas y a los cinturones abdominales y pectorales.</p>
---	---

Fuente: INVACARE, 2020.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 6-3:** Tipología sillas de ruedas Tecnum

<p>Tipología 4: Aulki A 80 - TMB1002</p> 	<p><b>Descripción técnica:</b> Silla de bipedestación electrónica en acero inoxidable, capacidad de elevación sin límite de peso, ocupa muy poco espacio. Baterías de gel sin mantenimiento. Velocidad de 6 km/hora.</p> <p><b>Características:</b> Programable en todas sus funciones.</p>
<p>Tipología 5: Easy Standy - TMB1001</p>	

	<p><b>Descripción técnica:</b> Silla que utiliza para su verticalización un actuador lineal eléctrico con mando electrónico. Para personas de un peso de hasta 100 Kg.</p> <p><b>Características:</b> Su chasis es de acero cromado, está provisto de cinturón pectoral y rodillera. Tapizado ignífugo en tejido lavable. Apoyabrazos elevables con posibilidad de reglaje en 3 diferentes alturas. Ruedas neumáticas. Centralita electrónica acoplada al apoya brazo con pulsador para la subida y la bajada, indicador visual de reserva de batería. Alimentación: 24 V. Dos baterías sin mantenimiento. Cargador de batería incluido.</p>
---	--

Fuente: TECNUM, 2017.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.5.2. *Voz del usuario para el sistema de bipedestación*

Se establecen las siguientes necesidades del cliente:

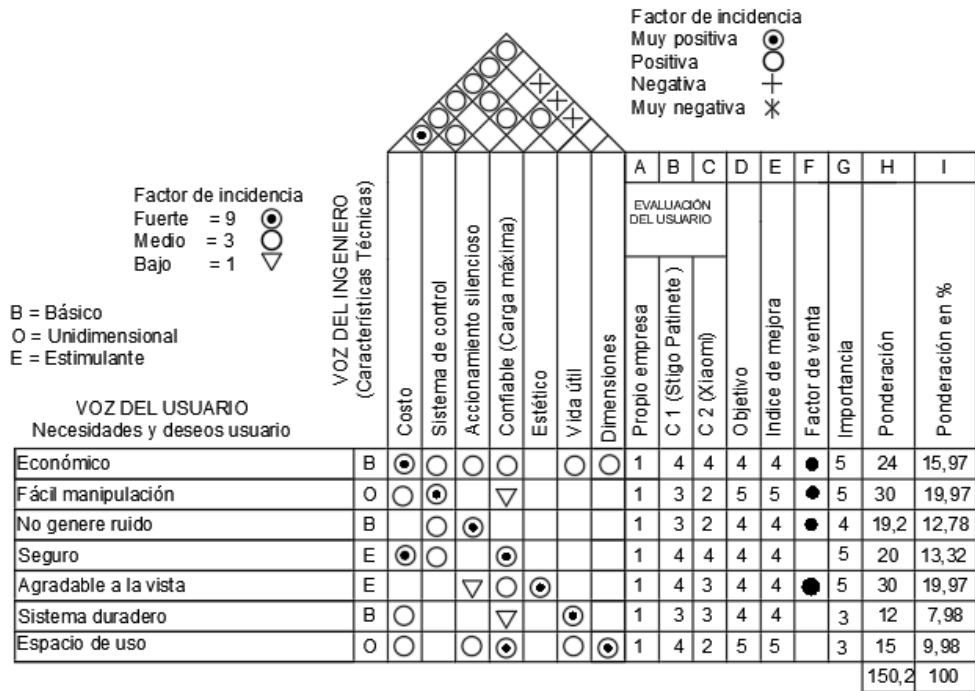
- Económico
- Fácil manipulación
- Sistema que no genere ruido
- Seguro
- Agradable a la vista
- Sistema duradero
- Sistema que ocupe poco espacio

### 3.5.3. *Voz del ingeniero para el sistema de bipedestación*

Convierte la voz del usuario a requerimientos técnicos, entre ellos tenemos:

- Costos
- Sistema de control
- Funcionamiento silencioso
- Confiable
- Dimensiones
- Estético
- Vida útil
- Dimensiones





Propia empresa	1	1	1	1	1	1	1
Competencia 1	5	3	4	4	4	4	2
Competencia 2	4	3	4	5	4	5	3
Incidencia	567	459,6	319,8	519	270	225	267
Incidencia %	22,08	17,9	12,46	20,21	10,51	8,76	10,06
	Económico (\$ 100)	Pulsadores	Silencioso	Estable (80 Kg)	Estético	Menor mantenimiento	Mínimo espacio posible

Factor de ventas  
 Fuerte = 1,5 ●  
 Posible = 1,2 ●  
 Ninguno = 1

**Ilustración 2-3:** Desarrollo de la matriz QFD para el sistema de bipedestación

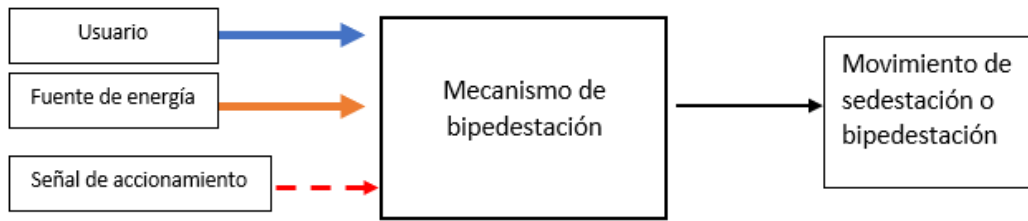
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Conclusiones obtenidas de la matriz QFD

Es importante conocer lo que nos indica la matriz QFD, en este caso los requerimientos técnicos más importantes para el rediseño del mecanismo de bipedestación y se mencionan a continuación:

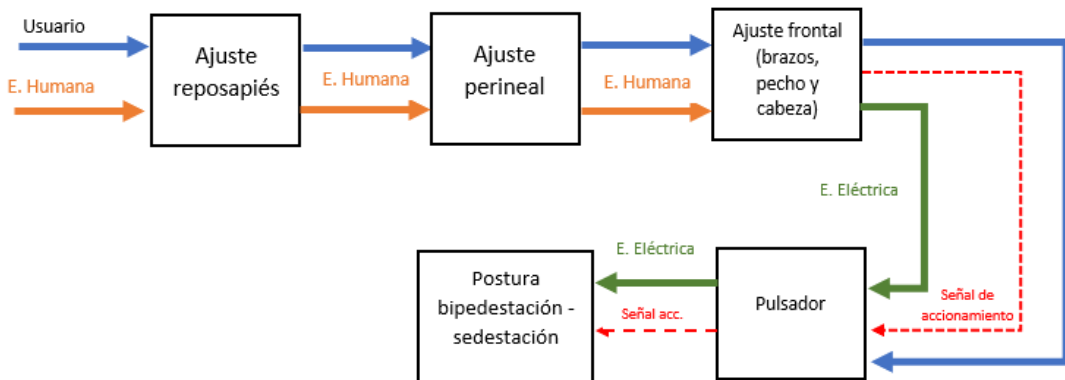
- Costo
- Funcionamiento silencioso
- **Sistema de control**
- **Confiability**

### 3.5.4. Análisis funcional para el mecanismo de bipedestación



**Ilustración 3-3:** Función primaria del mecanismo de bipedestación

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 4-3:** Diagrama de las funciones secundarias del mecanismo de bipedestación

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.5.5. Alternativas de solución

Sistema de bipedestación	Alternativa 1	Sistema mecánico	Ventajas	Fabricación sencilla Sistema silencioso Disponibilidad
			Desventajas	Lubricación constante Ensucia con facilidad Aumenta peso total Poco práctico al accionar
	Alternativa 2	Sistema hidráulico	Ventajas	Movimiento uniforme Transmisión de fuerza
			Desventajas	Mantenimiento costoso Elementos caros Sistema de control
	Alternativa 3	Sistema eléctrico	Ventajas	Larga vida Espacio reducido Velocidad de transición Accionamiento
			Desventajas	Disponibilidad

**Ilustración 5-3:** Alternativas de solución para el sistema de bipedestación

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.5.5.1. Evaluación de soluciones

Ya definidas las alternativas de solución, se realiza la respectiva evaluación mediante las tablas de ponderaciones para cada solución y tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Estabilidad
- Accionamiento mediante pulsador
- **Accionamiento silencioso**
- **Costo**

**Tabla 7-3:** Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Estabilidad	Costo	Accionamiento	A. silencioso	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Estabilidad</b>	1	1	1	1	4	0,4
<b>Costo</b>	0	1	0	0,5	1,5	0,15
<b>Accionamiento</b>	0	1	1	1	3	0,3
<b>Silencioso</b>	0	0,5	0	1	1,5	0,15
Total					10	1,000

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Alternativa 1: Mecánico

Alternativa 2: Hidráulico

Alternativa 3: Eléctrico

**Tabla 8-3:** Evaluación del peso específico del criterio "costo"

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Alternativa 1</b>	1	1	1	3	0,5
<b>Alternativa 2</b>	0	1	1	2	0,333
<b>Alternativa 3</b>	0	0	1	1	0,167
			$\Sigma$	6	1

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Alternativa 3: Eléctrico

Alternativa 2: Hidráulico

Alternativa 1: Mecánico

**Tabla 9-3:** Evaluación del peso específico del criterio "estabilidad"

Estabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		0	2	0,333
Alternativa 3	1	1		3	0,5
			$\Sigma$	6	1

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Alternativa 3: Eléctrico

Alternativa 2: Hidráulico

Alternativa 1: Mecánico

**Tabla 10-3:** Evaluación del peso específico del criterio "accionamiento"

Accionamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		0	2	0,333
Alternativa 3	1	1		3	0,5
			$\Sigma$	6	1

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Alternativa 3: Eléctrico

Alternativa 2: Hidráulico

Alternativa 1: Mecánico

**Tabla 11-3:** Evaluación del peso específico del criterio "accionamiento silencioso"

Accionamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		0	2	0,333
Alternativa 3	1	1		3	0,5
			$\Sigma$	6	1

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 12-3:** Resultados de análisis de las alternativas

Criterio	Confiabilidad	Sistema de control	Funcio. silencioso	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Alternat . 1	0,0668	0,0501	0,0250	0,075	0,2169	3
Alternat . 2	0,1332	0,0999	0,0499	0,0499	0,3329	2
Alternat . 3	0,2	0,15	0,075	0,0250	0,45	1

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Mediante los resultados de las ponderaciones para las alternativas, podemos observar en la tabla 12-3 que la alternativa 3 es la solución óptima para el mecanismo de bipedestación.



**Ilustración 6-3:** Actuador eléctrico para bipedestación

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.6. Valoración de factibilidad constructiva

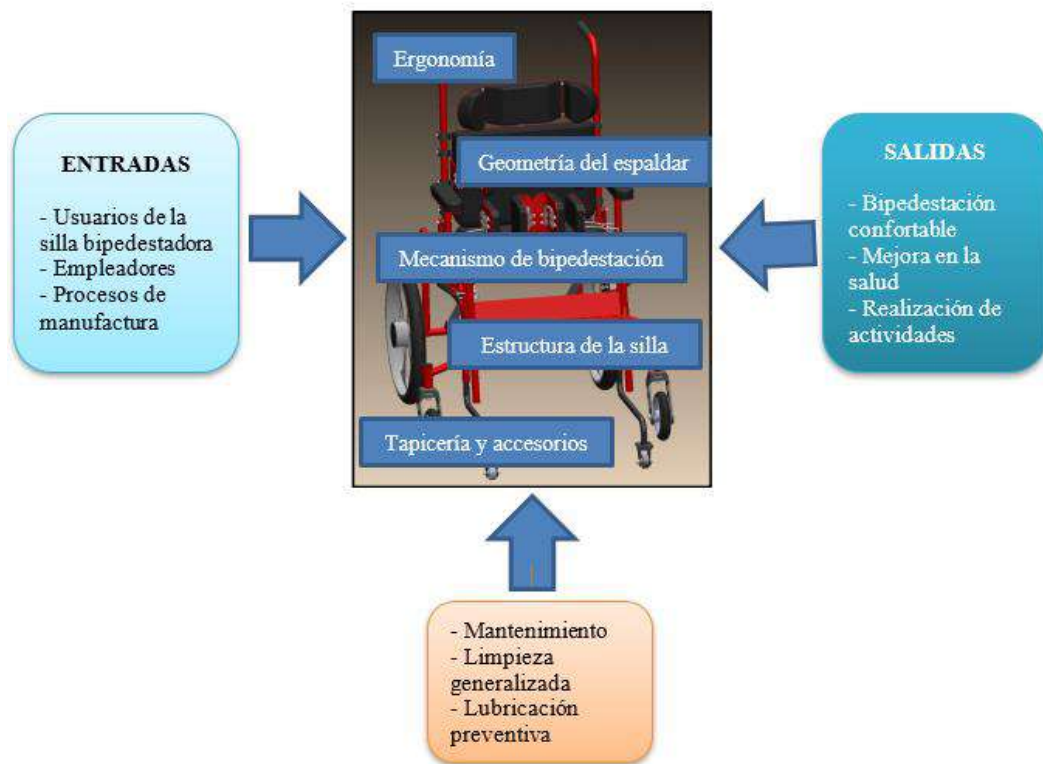
Teniendo en cuenta que el proceso de diseño es necesario para la realización de un determinado producto es importante asegurar que sea simple y garantizar que el prototipo, cuando está ensamblado, cumple con el propósito para el cual fue diseñado (Villacrés et al., 2022, p. 31). Por lo tanto, es necesario justificar parámetros suficientes, por ejemplo: selección de materiales y diseño estructural.

#### 3.6.1. Descripción generalizada de la silla de ruedas

La necesidad de rehabilitar a las personas con discapacidad y hacer que vuelvan a la vida normal ha llevado al desarrollo de tecnologías que mejoran la independencia de los usuarios, como las sillas de ruedas de bipedestación con sistemas que les permiten permanecer independientes en movimiento.

El método de análisis de los componentes que componen la silla de ruedas con sistema de bipedestación forma parte de la descripción general que se muestra en la figura 7-3, el mismo que muestra los requisitos (entradas) y los productos (salidas), este análisis general también tiene en cuenta las salidas no deseadas. en sistemas dinámicos y los requisitos específicos necesarios para su funcionamiento.

El sistema es una colección de diferentes materiales, incluidos acero y polímeros, que se unen para crear una interfaz adecuada entre la silla de ruedas y el usuario; mientras que cada elemento armoniza con su entorno de una manera que requiere mantenimiento y soporte espacial.



**Ilustración 7-3:** Descripción generalizada del sistema

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Dentro del estudio de validación del diseño propuesto por Rosero (2021) se tomó en cuenta los resultados en el diseño evaluado de la silla de ruedas, debe contar con capacidad de bipedestación a fin de obtener un producto esperado. Éste adicionalmente incluyó: (1) la capacidad de cambiar medidas de acuerdo con la altura y la forma del usuario, (2) un diseño que le permite cambiar la inclinación de la espalda, (3) sistema de frenos en dos ruedas, (4) sistema eléctrico para extender el asiento de la posición sentada a la posición de pie y viceversa, (5) el sistema de ajuste de piernas, pies y cintura.

### ***3.6.2. Selección del material***

La selección correcta de los materiales es considerada como un proceso importante en el diseño del proyecto, que es necesario para una aplicación específica, es uno de los pasos en los que se basa el diseñador. La secuencia de operaciones antes de una elección incluye:

- Necesidad
- Diseño conceptual
- Diseño de formulación
- Diseño en detalle
- Manufactura y montaje

Es importante mencionar que, para utilizar un método de selección de materiales existente, el diseñador o ingeniero de materiales debe comenzar desde la etapa de concepto, donde se determina una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales a utilizar. El tipo y valor del esfuerzo realizado y la geometría, entre otras variables a considerar, limitarán el tipo de material elegido.

La estructura del prototipo de silla de ruedas para bipedestación es la parte más importante, ya que soporta el peso del usuario y varias fuerzas externas. Por tanto, el diseño mecánico debe tener en cuenta la resistencia del material necesaria para soportar las cargas generadas.

En la ilustración 8-3 se puede observar un cuadro comparativo de composición química, propiedades físicas, propiedades mecánicas y costos estimado, de los principales materiales metálicos y polímeros con la finalidad de tener una visión generalizada para la selección del material.

	Materiales metálicos			Materiales basados en polímeros	
	Acero	Aluminio	Latón	Termo-plástico	Elastómero
	C45E	AlMg0,7Si T6	CuZn30 R480	PE-HD	NR

Composición química	Unidades					
Aluminio	%	-	Resto	≤0,02	-	-
Carbono	C %	0,42+0,50	-	-	-	-
Cobre	Cu %	-	≤0,10	Resto	-	-
Hierro	Fe %	Resto	≤0,35	-	-	-
Magnesio	Mg %	-	0,45+0,90	-	-	-
Silicio	Si %	-	0,20+0,60	-	-	-
Cinc	Zn %	-	≤0,10	29,0+31,0	-	-
Propiedades físicas	Unidades					
Densidad	Mg/m <sup>3</sup>	7,85	2,70	8,53	0,94+0,96	0,93
Coefficiente dilatación	μm/m·K	12,0	23,5	19,9	200	216
Calor específico	J/kg·K	440	898	375	2100+2700	2500
Conductividad térmica	W/m·K	50	201	120	0,38+0,51	0,165
Resistividad eléctrica	Ω·m	150·10 <sup>-9</sup>	33,2·10 <sup>-9</sup>	62·10 <sup>-9</sup>	>10 <sup>15</sup>	10 <sup>13</sup> +10 <sup>15</sup>
Propiedades mecánicas	Unidades					
Resistencia tracción	MPa	≥620/560	≥245	≥480	18+35	20+28
Límite elástico	MPa	≥340/275	≥170	≥430	-	-
Alargamiento rotura	%	≥14/16	≥10	≥2	100+1000	300+900
Módulo de elasticidad	GPa	210	69,5	110	0,7+1,4	0,001+0,010
Dureza	HB	207	75	150	40+65 <sup>(1)</sup>	30+95 <sup>(2)</sup>
Propiedad. tecnológicas	Unidades					
Coste	€/kg	0,87	4,20	3,80	1,15	1,60
Temperatura de fusión	°C	1520	615+655	915+955	160+200	-
Temp. máxima de uso	°C	450	100+150	300	70+80	70+90

<sup>(1)</sup> Dureza a la bola (MPa)

<sup>(2)</sup> Dureza IRHD (≈ Shore A)

### Ilustración 8-3: Cuadro comparativo de materiales de las principales familias

Fuente: Riba, 2008.

Ecuador dispone de fábricas dedicadas a la manufactura de sillas de ruedas, de la misma manera dispone de almacenes de comercialización de sillas de ruedas importadas, dando como principales alternativas de material como: acero inoxidable, acero pesado, acero ligero, aluminio, fibra de vidrio, tomando en cuenta estos elementos, se realiza un cuadro comparativo de materiales, en la cual se identificara la mejor alternativa del material a seleccionar, el cual debe cumplir con las especificaciones obtenidas previamente en el trabajo de titulación realizado por Rosero (2021).



**Tabla 13-3:** Cuadro comparativo de propiedades de alternativas de material para manufactura

	<b>ALEACIONES DE ACERO</b>	<b>ALEACIONES DE ALUMINIO</b>	<b>ACERO INOXIDABLE</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	7.8 – 8.03	2.7	8.0
Conductividad Térmica (W/mK)	50	201	
Resistencia a Tracción (MPa)	≥620/560	≥245	1500 - 1700
Módulo de Rigidez (GPa)	80.8	26.8	74.1
Módulo de Elasticidad (GPa)	206.8	71.7	189.6
Dureza (HB)	207	75	175 - 205
Costo (\$) c/kg	1.73	2.46	10.48 – 15.63

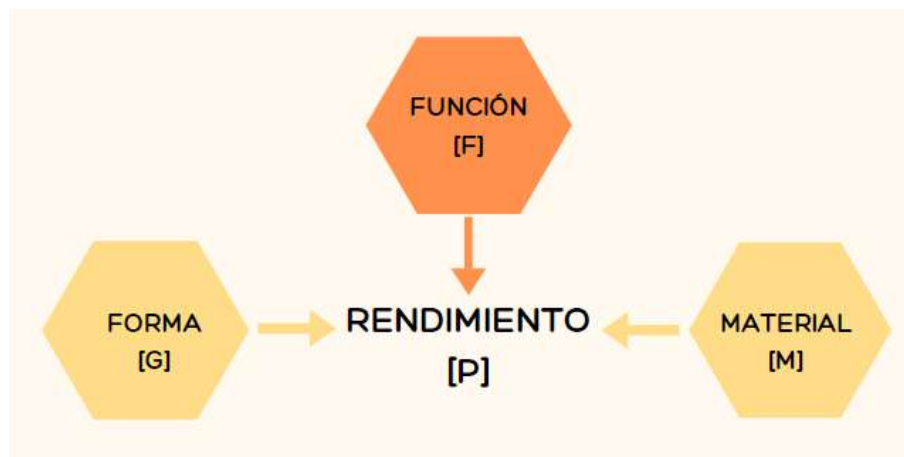
Fuente: García, 2018.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.6.3. Metodología de selección de materiales Ashby

El proceso de selección de materiales juega un papel fundamental en la ingeniería. Esto se debe principalmente a la gran variedad de materiales de ingeniería que existen en la actualidad.

Este método utiliza un índice de desempeño, que es parte de una función objetiva que generalmente maximiza o minimiza los atributos del material y optimiza el proceso de diseño principalmente en función de la selección de los mejores materiales para las aplicaciones establecidas.



**Ilustración 9-3:** Metodología Ashby para optimizar la fase de diseño

Fuente: López y Torres, 2002.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

De acuerdo con esta metodología, existe un parámetro de rendimiento P que permite optimizar el proceso de diseño para un componente en particular. Este parámetro o indicador de rendimiento depende de la forma del componente, la función y las tensiones físicas a las que está sujeto, así

como del material del componente. Esta función de rendimiento se expresa por la siguiente ecuación:

$$P(\text{rendimiento}) = f\{[F], [G], [M]\} \quad \text{Ec. 1}$$

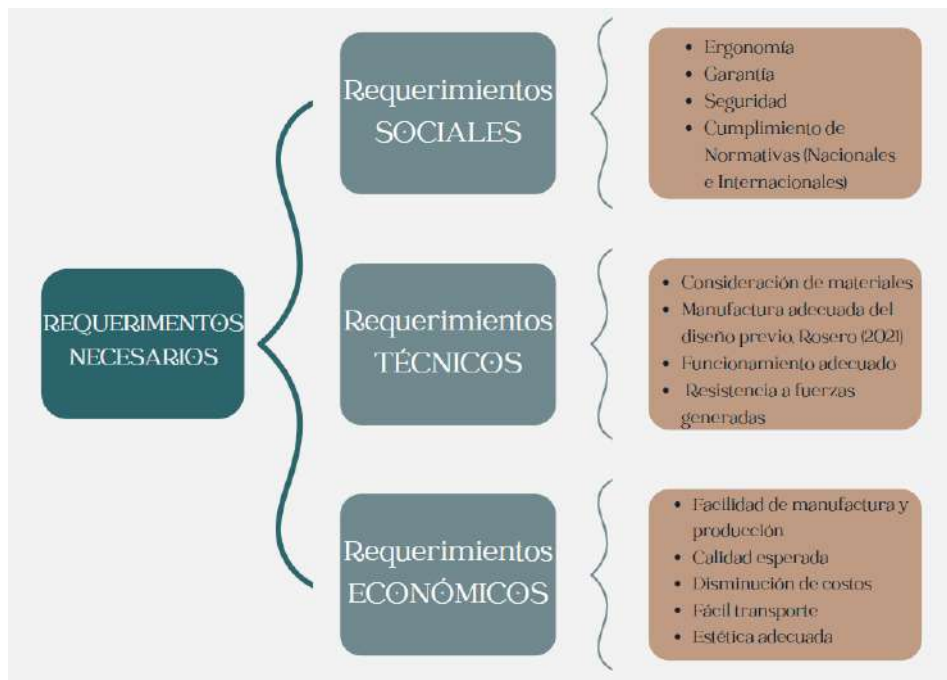
La metodología de Ashby tiene como objetivo optimizar el factor de rendimiento durante el proceso de diseño para la selección del material más adecuado y dentro de las limitaciones impuestas por la función del componente y su configuración geométrica. Para mejorar el índice de rendimiento, es deseable minimizar la expresión del índice de material, manteniendo constantes las otras proporciones.

Los parámetros considerados en la función P se determinan o clasifican en tres pasos como se muestra a continuación:

a) *Requerimientos necesarios*

Esta sección cubre los requisitos para que una silla de ruedas de bipedestación cumpla con su propósito previsto, por lo que se analizan tres aspectos.

- i) Requerimientos sociales: donde el dispositivo debe cumplir con la normativa aplicable y así garantizar la mínima seguridad del producto.
- ii) Requerimientos técnicos: se consideran todos los aspectos relacionados con las propiedades mecánicas del material.
- iii) Requerimientos económicos: se debe lograr un equilibrio entre costo y calidad, ya que, si el precio del producto es alto por su calidad o estética, ocasionará problemas en el futuro.



**Ilustración 10-3:** Requerimientos necesarios para la manufactura

**Fuente:** Herrera, 2021.

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

b) *Análisis de condiciones de funcionamiento*

Para obtener los valores que describen las condiciones de funcionamiento de la silla de ruedas postural-bipedestadora, se tiene en cuenta los datos presentados en el estudio previo realizado por Rosero (2021), en el cual se indica que de todas las tablas mencionadas en el proyecto técnico (ver tabla 2-3) se seleccionó el peso mayor que deberá soportar la silla de ruedas postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla) a manufacturar, el cual es de 42 kg, sin embargo, se consideró una holgura de 8 kg para garantizar aún más la seguridad al usuario, obteniendo así un peso máximo de 50 kg.

**Tabla 14-3:** Medidas máximas de peso

	<b>Máximo [kg]</b>
<b>Tabla 1-3</b> <i>Medidas antropométricas con parálisis cerebral</i>	25
<b>Tabla 2-3</b> <i>Medidas antropométricas de niños de 5 a 10 años</i>	33.2
<b>Tabla 11-3</b> <i>Medidas antropométricas de niños de 1 a 13 años</i>	42
<b>Tabla 12-3</b> <i>Medidas antropométricas de niños de 2 a 14 años</i>	26
<b>Tabla 13-3</b> <i>Comparación de medidas antropométricas de niños de 5 a 12 años</i>	41
<b>Selección</b>	42 + 8

Fuente: Rosero, 2021.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

i) *Análisis en posición de sedestación*

Para el análisis de esta posición se ha considerado la **carga máxima de la persona** de 50 kg, tomando en consideración el porcentaje de peso corporal, se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 15-3:** Pesos relativos de las partes del cuerpo

<b>MIEMBRO DEL CUERPO</b>	<b>PESO APROXIMADO</b>
Tronco	43 %
Muslo	12 %
Cabeza	7 %

Pierna	5 %
Brazo	3 %
Antebrazo	2 %
Pie	2 %
Mano	1 %

Fuente: Rosero, 2021.

Elaborado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Debido a la condición de los niños con PCI en esta posición el mayor peso recaerá sobre la estructura del asiento, por lo cual se considera que la carga máxima que soportará la estructura en la posición de sedestación siendo: 7% cabeza + 43% tronco + 24% muslos + 6% brazos + 4% antebrazos + 2% manos dando como resultado 86% de la carga máxima de la persona, obteniendo así una carga de 43 kg.

La carga obtenida se divide para dos, debido a que esta se distribuye en los dos perfiles horizontales, obteniendo así, una **Carga media total** =43 kg/2=21,5 kg. El peso máximo que soportará la estructura del asiento se presenta a continuación:

$$W_a = m * g$$

$$W_a = (21.5 [kg]) * \left(9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right)$$

$$W_a = 210.915 [N]$$

Sin embargo, al mantenerse el paciente en esta posición, el reposapiés soportará una carga del 10 % piernas + 4% pies dando un total de 14% de carga máxima de la persona, así obteniendo una carga de 7 kg, el máximo peso que soportará el reposapiés será:

$$W_{RP} = m * g$$

$$W_{RP} = (7 [kg]) * \left(9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right)$$

$$W_{RP} = 68.67 [N]$$

Tomando en cuenta los pesos máximos evaluados, en la tabla 15-3, se presentan los requisitos básicos para el diseño básico de una silla postural bipedestadora, estos factores se considerarán importantes a la hora de elegir el material adecuado según el método Ashby.

**Tabla 16-3:** Requerimientos de diseño para la selección del material

<b>Función</b>	Soporte adecuado de la carga generada
<b>Objetivo</b>	Maximizar la resistencia Minimizar el peso
<b>Restricciones</b>	Soporte de cargas sin generar fallas Dimensiones establecidas en el diseño
<b>Variables libres</b>	Área de sección transversal

Fuente: Ashby, 1999.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.6.4. Software CES EduPack

El software CES EduPack 2019 se utilizará como una herramienta adicional para la selección de materiales. El objetivo principal es crear una lista de materiales seleccionables teniendo en cuenta los parámetros anteriores, como: mínima resistencia requerida, optimización del peso y aspectos económicos. El proceso se describe en detalle a continuación.

#### a) Parámetros establecidos en los ejes coordenados

Primero, considere un grupo de diferentes materiales en el nivel 3, que contiene todos los elementos disponibles en la biblioteca de software, correspondientes a 4026 elementos. El gráfico se realiza observando la densidad de los elementos a lo largo del eje "X" y la tensión de tracción permitida a lo largo del eje "Y".

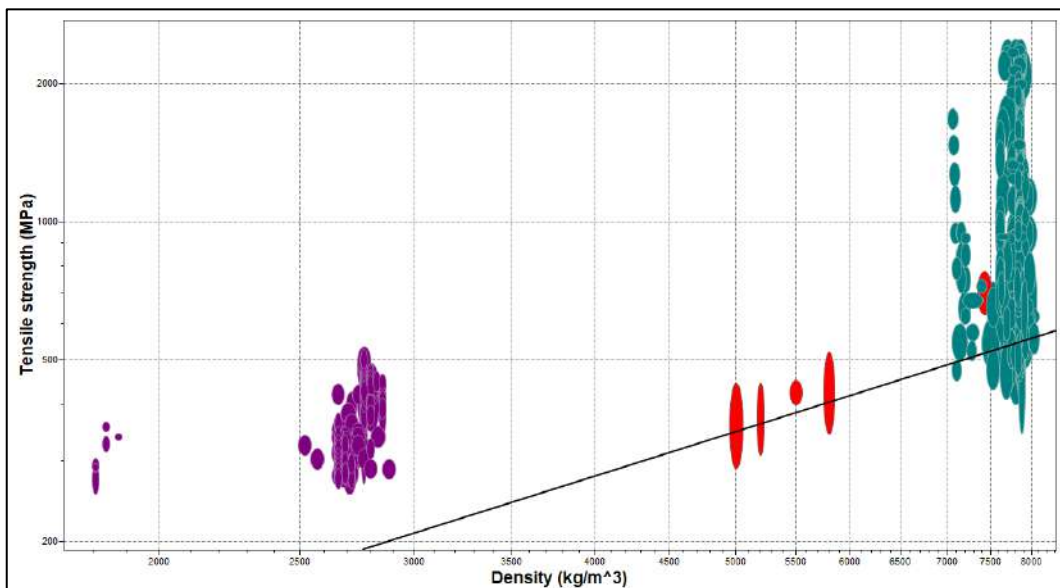
#### b) Límites de variables en el gráfico

Se limitan las propiedades de materiales que reducen el número de materiales adicionales y los adaptan a los requisitos del proyecto. Esto se basa en una tensión de tracción mínima de 200 MPa, el precio máximo de compra del material sea igual o menor a \$3/kg y se trazó una línea de índice del material ( $\sigma/\rho$ ) reducir la masa. De acuerdo con el método de Ashby.

#### c) Familias de materiales seleccionables

Teniendo en consideración los grupos de materiales recomendados en el diagrama de Ashby, se construye la familia de materiales considerados gráficamente para su selección. Por lo tanto, la tabla de materiales seleccionables muestra solo materiales metálicos, cerámicos y compuestos.

#### d) Gráfica de materiales seleccionables



**Ilustración 11-3:** Gráfica de materiales seleccionables (esfuerzo vs densidad)

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

A partir de la figura resultante, de muestra un grupo de materiales seleccionables. Entre ellos destacan las aleaciones de magnesio, aleaciones de aluminio, aleaciones de zinc y aceros varios. Por ello, a la hora de seleccionar los materiales se tienen en cuenta otros factores fundamentales como la disponibilidad en el mercado y las recomendaciones de la normativa vigente.

### **3.6.5. Normativas nacionales referentes al material de sillas de ruedas**

Las normas técnicas ecuatorianas (NTC) relacionadas con los materiales de las sillas de ruedas son:

**NTE INEN 163:2008** - *Sillas de ruedas - Requisitos y métodos de ensayo.*

Esta norma establece los requisitos y los métodos de ensayo para las sillas de ruedas, incluidos los requisitos para los materiales utilizados en su construcción. La norma define los requisitos para los materiales, como las propiedades físicas y mecánicas, la resistencia al desgaste, la estabilidad dimensional y la resistencia a la corrosión.

**NTE INEN 1298:2012** - *Dispositivos médicos - Parte 1: Requisitos generales para la seguridad, eficacia y desempeño.*

Esta norma establece los requisitos generales para la seguridad, eficacia y desempeño de los dispositivos médicos, incluidas las sillas de ruedas. La norma define los requisitos para la selección y uso de materiales, que deben cumplir con los requisitos de seguridad y eficacia establecidos en la norma.

Es importante seguir estas normas técnicas ecuatorianas y cualquier otra normativa y regulación aplicable para garantizar que los materiales utilizados en la construcción de las sillas de ruedas sean seguros, eficaces y duraderos. Los fabricantes y proveedores de sillas de ruedas pueden proporcionar información más detallada sobre estas normas y cómo se aplican a sus productos específicos.

### **3.6.6. Valoración del rediseño mecánico**

Los elementos claves para el rediseño de la silla bipedestadora son los siguientes:

#### **3.6.6.1. Carga máxima**

Tomando como punto de partida los datos de los diferentes trabajos realizados referente al tema y analizando los pesos en el país tanto de niños entre las edades de 3 hasta 15 años se encontró:

**Tabla 17-3:** Pesos de niños entre 3 a 15 años en el país

<b>EDAD</b>	<b>NIÑOS</b>		<b>NIÑAS</b>	
	Peso (kg)	Talla (cm)	Peso (kg)	Talla (cm)
<b>3 años</b>	14,3	96,1	13,9	97,6

<b>4 años</b>	16,3	106,2	16,1	102,7
<b>5 años</b>	20,1	110	18,2	109,4
<b>6 años</b>	21	111,5	19	110
<b>7 años</b>	23	117	22	115,5
<b>8 años</b>	25,5	122	24	121
<b>9 años</b>	28	127,5	27	126
<b>10 años</b>	32	132	31	132
<b>11 años</b>	35	137	35	139
<b>12 años</b>	39	142,5	40	145
<b>13 años</b>	43	148	44	149
<b>14 años</b>	48	154	47	151,5
<b>15 años</b>	53	160	49	152,5

Fuente: Velasco, 1999.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

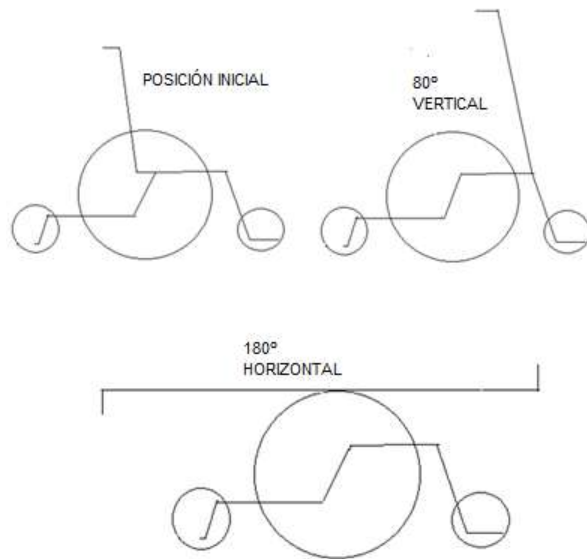
Se observa que el peso máximo de niños es de 53 Kg y de niñas 49 Kg con lo cual se va a trabajar con el máximo en niños. Todo esto multiplicado por un factor de riesgo cuyo rango es de: 1,5 – 2.

$$W_p = 53 * 1,5 = 79,5 \approx 80 \text{ Kg}$$

La carga máxima que va a soportar la silla será de 80 Kg para todo el estudio estático, con esto garantizaremos que resista a cargas inesperadas y esfuerzos no esperados dentro de la operatividad.

### 3.6.6.2. Rango de movimientos y desplazamientos

El movimiento inicial de la silla se basará con los ángulos y medidas generales de una silla convencional, luego para pasar de una posición vertical llegando a un ángulo máximo de 80° con la opción de permanecer en cualquier ángulo intermedio menor a este. Luego se tendrá la opción de posicionarse de manera horizontal en 180° con relación a la referencia con el suelo. Los desplazamientos angulares de cada posición de la silla le darán el dinamismo para ser una silla multifuncional y ayudar en mejor forma al paciente en las diferentes rutinas diarias.



**Ilustración 12-3:** Rango de movimientos y desplazamientos de la silla de ruedas

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.7. Prediseño de los elementos mecánicos de la estructura

Para el estudio de los elementos mecánicos de la silla bipedestadora se analizará un prototipo de la estructura previo al diseño final.

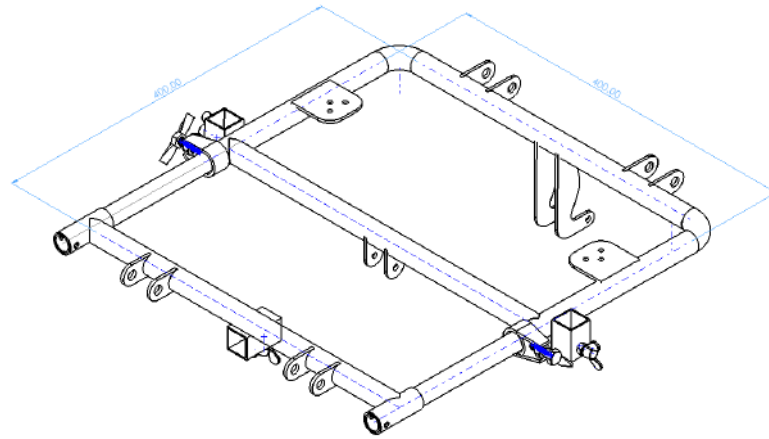


**Ilustración 13-3:** Estructura del nuevo modelo de silla bipedestadora

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

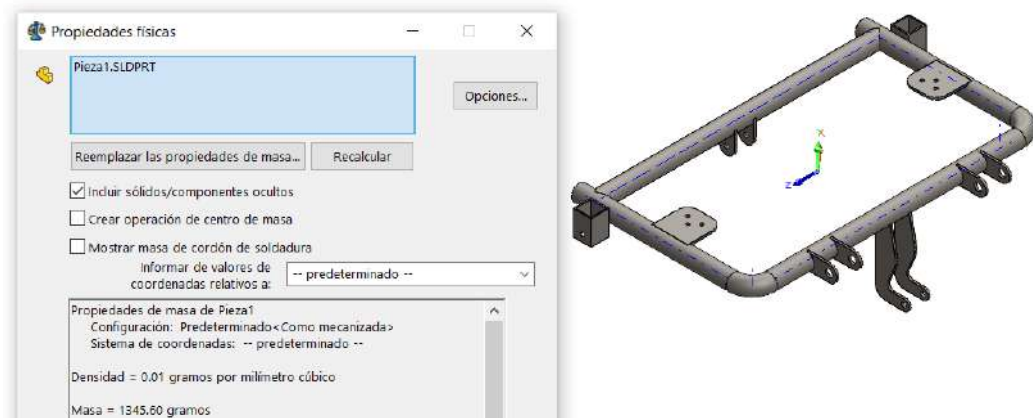


### 3.7.1. Prediseño de la estructura del asiento



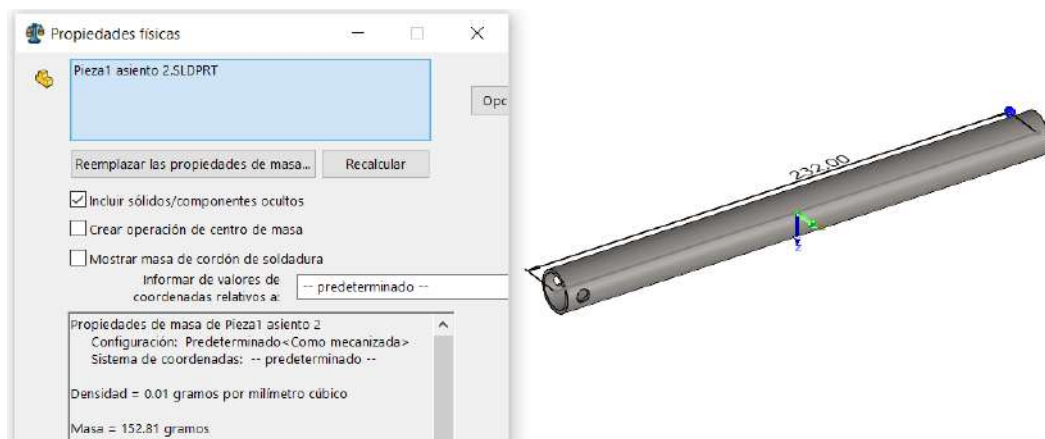
**Ilustración 14-3:** Estructura del asiento

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



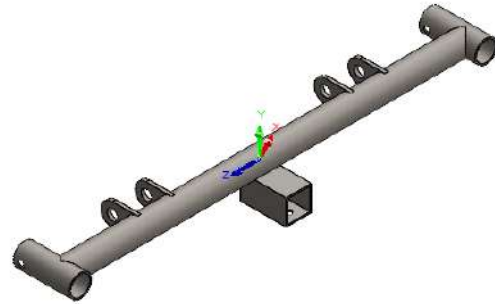
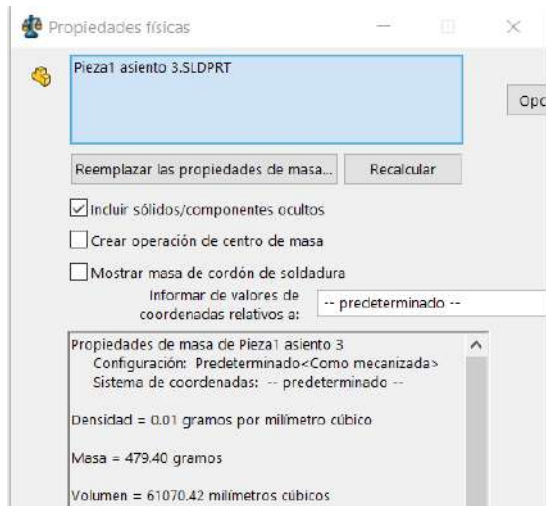
**Ilustración 15-3:** Peso de la estructura del asiento parte 1

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



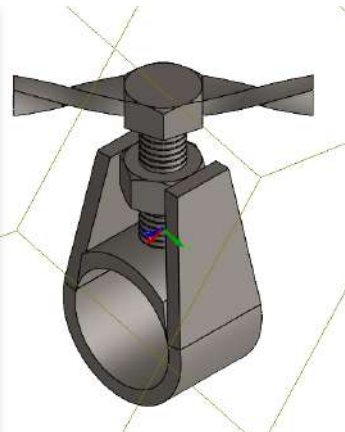
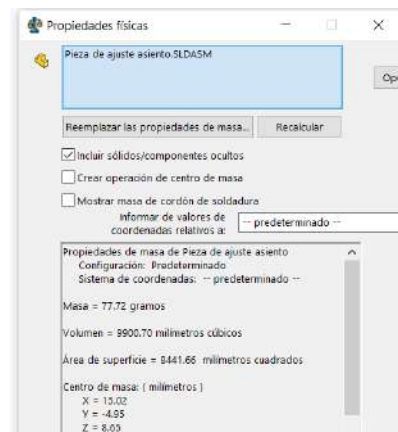
**Ilustración 16-3:** Peso de la estructura del asiento parte 2

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 17-3:** Peso de la estructura del asiento parte 3

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 18-3:** Pieza de ajuste para el asiento

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Carga viva: 80 kg**

**Carga muerta: 1,35 kg**

**Longitud del perfil: 243 mm**

Determinamos las características de las secciones, es decir si el perfil circular es de sección compacta (Ecuación 1-3), no compacta (Ecuación 2-3) o esbelta (Ecuación 3-3), según se establece en la Especificación ANSI/AISC 360-10 Tabla B 4.1b, correspondiente a perfiles tubulares:

$$\lambda = \frac{D}{t} \quad \text{(Ecuación 1-3)}$$

$$\lambda_p = 0,07 \frac{E}{F_y} \quad \text{(Ecuación 2-3)}$$

$$\lambda_r = 0,31 \frac{E}{F_y} \quad \text{(Ecuación 3-3)}$$

Donde:

$\lambda$ : Razón ancho espesor

$\lambda_p$ : Límite superior para sección compacta

$\lambda_r$ : Límite superior para sección no compacta

Calculando se tiene:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{D}{t} & \lambda_p &= 0,07 \frac{E}{F_y} & \lambda_r &= 0,31 \frac{E}{F_y} \\ \lambda &= \frac{22,22 \text{ [mm]}}{1,5 \text{ [mm]}} & \lambda_p &= 0,07 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}} & \lambda_r &= 0,31 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}} \\ \lambda &= 14,81 & \lambda_p &= 56 & \lambda_r &= 248 \end{aligned}$$

Se cumple que  $\lambda < \lambda_p$ , por lo que se tiene una sección compacta, por lo que se trabaja con la sección F8 de la Especificación ANSI/AISC 360-10, para comprobar que el perfil horizontal soporte las cargas requeridas sin deformarse o sufrir fallos.

Calcularemos la relación demanda/capacidad, cuya condición de seguridad según el método LRF establece que:  $M_u \leq \phi_b M_n$ .

Para poder aplicar la sección F8, se debe cumplir que:

$$\lambda \leq 0,45 \frac{E}{F_y} \quad \text{(Ecuación 4-3)}$$

$$\begin{aligned} \lambda &\leq 0,45 \frac{E}{F_y} \\ 14,81 &\leq 0,45 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}} \\ 14,81 &\leq 360 \end{aligned}$$

Se cumple la condición, se procede al cálculo del factor de carga uniforme usando las combinaciones de carga y viene dado por:

$$w_{u1} = 1,4 D \quad \text{(Ecuación 5-3)}$$

$$w_{u2} = 1,2 D + 1,6 L \quad \text{(Ecuación 6-3)}$$

Donde:

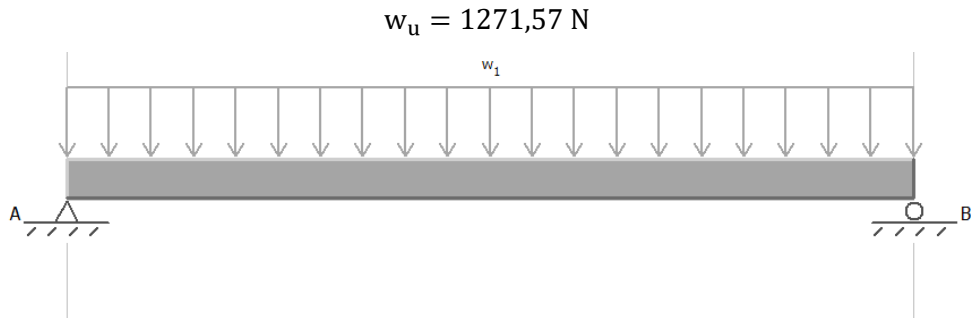
D: Carga muerta

L: Carga viva

Siendo la combinación  $w_{u2}$  la que predomina, por lo tanto:

$$w_u = 1,2 (1,35 \text{ kg}) + 1,6(80 \text{ kg})$$

$$w_u = 129,62 \text{ kg}$$



**Ilustración 19-3:** Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Ahora debemos obtener el valor del momento de flexión uniforme que lo podemos calcular mediante la siguiente ecuación, dada las características de la viga y la carga:

$$M = \frac{qL^2}{8} \quad \text{(Ecuación 7-3)}$$

Donde:

M: Momento (N mm)

q: Carga Distribuida

L: Longitud: 450 mm

Por lo que:

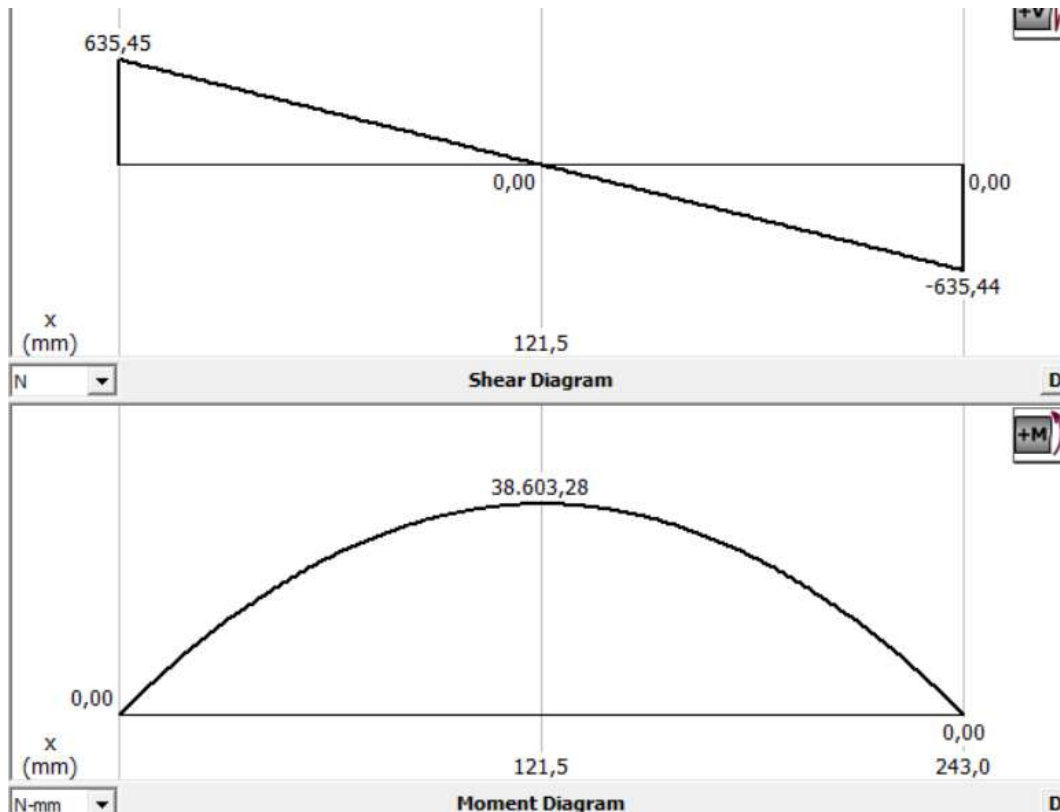
$$P_u = \frac{1271,57}{243} \left( \frac{N}{mm} \right) = 5,23 \frac{N}{mm}$$

$$M_u = \frac{5,23 (243)^2}{8}$$

Por lo que el momento demanda es:

$$M_u = 38603,28 \text{ N mm}$$

Y con la ayuda del software MDSolids corroboramos este valor:



**Ilustración 20-3:** Diagrama de cortante y momento flector en la viga del asiento

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

La ecuación F8-1 de la especificación AISC 360-10 establece que la flexión nominal ( $M_n$ ) viene dado por:

$$M_n = F_y Z_x \quad \text{(Ecuación 8-3)}$$

Donde:

$F_y$ : Resistencia mínima de fluencia

$Z_x$ : Módulo de sección plástico en torno al eje x

Se debe calcular el valor del módulo de sección plástico alrededor del eje x:

$$Z_x = \frac{d^3}{6} - \frac{d_1^3}{6} \quad \text{(Ecuación 9-3)}$$

Donde:

d: Diámetro exterior

$d_1$ : Diámetro interior

$$Z_x = \frac{(22,22)^3}{6} - \frac{19,22^3}{6}$$

$$Z_x = 645,10 \text{ mm}^3$$

La resistencia de diseño a flexión ( $\phi_b M_n$ ) viene dado por la siguiente ecuación:

$$\phi_b M_n = \phi_b F_y Z_x \quad \text{(Ecuación 10-3)}$$

Y el factor de resistencia a la tensión  $\phi_b$  para el método LRFD es:

$$\phi_b = 0,9$$

Y la ecuación del momento de flexión uniforme  $M_u$  es:

$$\phi_b M_n = M_u \quad \text{(Ecuación 11-3)}$$

Igualemos la Ecuación 10-3 y la Ecuación 11-3, tenemos:

$$M_u = \phi_b F_y Z_x \quad \text{(Ecuación 12-3)}$$

Cálculo de la resistencia de diseño nominal:

$$M_n = 250 \frac{N}{\text{mm}^2} (645,10 \text{ mm}^3)$$

$$M_n = 161275 \text{ N mm momento nominal}$$

Resistencia de diseño en flexión:

$$\phi_b M_n = 0,9 (161275 \text{ N mm}) \text{ capacidad}$$

$$\phi_b M_n = 145147,5 \text{ N mm}$$

$$M_u \leq \phi_b M_n$$

$$30603,28 \text{ N mm} \leq 145147,5 \text{ N mm}$$

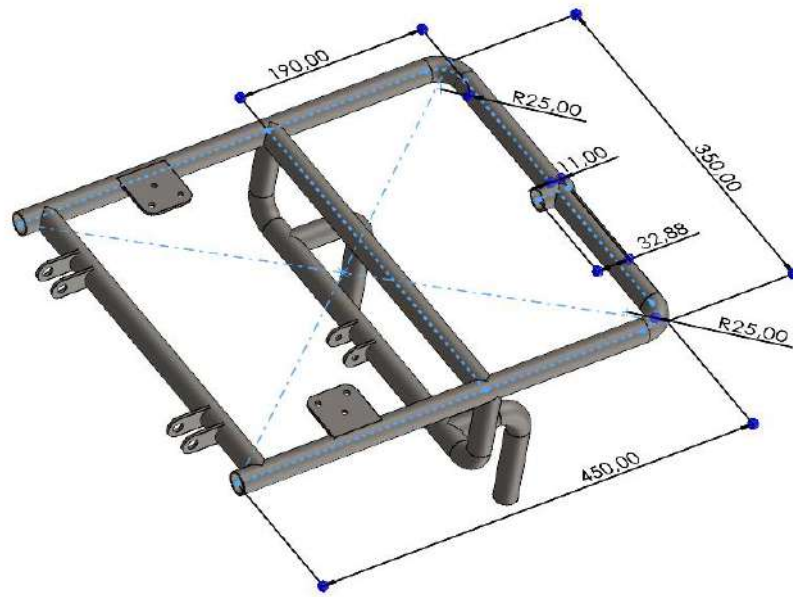
Según el método LRFD, se cumple con un diseño apropiado, dado que la resistencia de diseño en flexión es mayor que el momento de flexión uniforme, se concluye que el tubo circular con dimensiones de diámetro exterior 22,22 mm y espesor 1,5 mm es adecuado y soporta la carga máxima requerida.

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
1/2	12.70	0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74

**Ilustración 21-3:** Selección del perfil para el espaldar

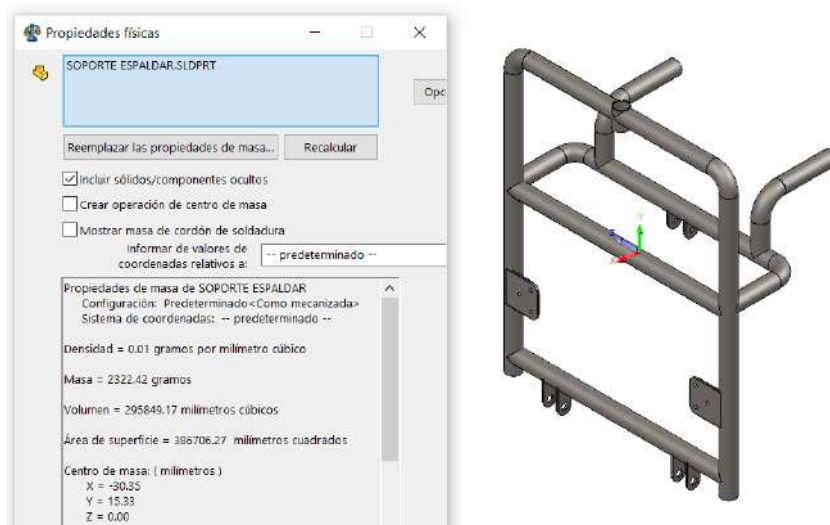
Fuente: DIPAC, 2022

### 3.7.2. Prediseño de la estructura del espaldar



**Ilustración 22-3:** Espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 23-3:** Peso de la estructura del espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Para el espaldar se tiene 2 perfiles en posición vertical lo cuales deberán soportar el mayor peso en la posición de sedestación al realizar una inclinación. La carga máxima que soportará será de 49,6 kg por cuestiones de seguridad y la carga muerta está dada por el peso del reposacabezas y el espaldar.

**Carga viva: 49,6 kg**

**Carga muerta: 3,04 kg**

**Longitud del perfil: 450 mm**

Se procede a determinar las características de la sección, es decir si el perfil circular es de sección compacta, no compacta o esbelta, según se establece en la Especificación ANSI/AISC 360-10 Tabla B 4.1b, correspondiente a perfiles tubulares circulares.

$$\lambda = \frac{D}{t} \qquad \lambda_p = 0,07 \frac{E}{F_y} \qquad \lambda_r = 0,31 \frac{E}{F_y}$$

$$\lambda = \frac{22,22 \text{ [mm]}}{1,5 \text{ [mm]}} \qquad \lambda_p = 0,07 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}} \qquad \lambda_r = 0,31 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}}$$

$$\lambda = 14,81 \qquad \lambda_p = 56 \qquad \lambda_r = 248$$

Se cumple que  $\lambda < \lambda_p$ , por lo que se tiene una sección compacta, por lo que se trabaja con la sección F8 de la Especificación ANSI/AISC 360-10, para comprobar que el perfil horizontal soporte las cargas requeridas sin deformarse o sufrir fallos.

Calcularemos la relación demanda/capacidad, cuya condición de seguridad según el método LRF establece que:  $M_u \leq \phi_b M_n$ .

Para poder aplicar la sección F8 debemos cumplir con la siguiente ecuación:

$$\lambda \leq 0,45 \frac{E}{F_y}$$

$$14,81 \leq 0,45 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}}$$

$$14,81 \leq 360$$

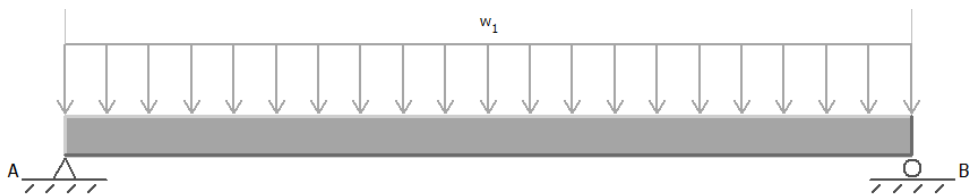
Se cumple la condición, se procede al cálculo del factor de carga:

$$w_u = 1,2D + 1,6L$$

$$w_u = 1,2(3,04 \text{ kg}) + 1,6(49,6 \text{ kg})$$

$$w_u = 83 \text{ kg}$$

$$w_u = 813,4 \text{ N}$$



**Ilustración 24-3:** Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

$$M_u = \frac{P_u L^2}{8}$$

Dónde:

M = Momento (N mm)

$P_u$  = Carga Distribuida

L = Longitud: 450 mm

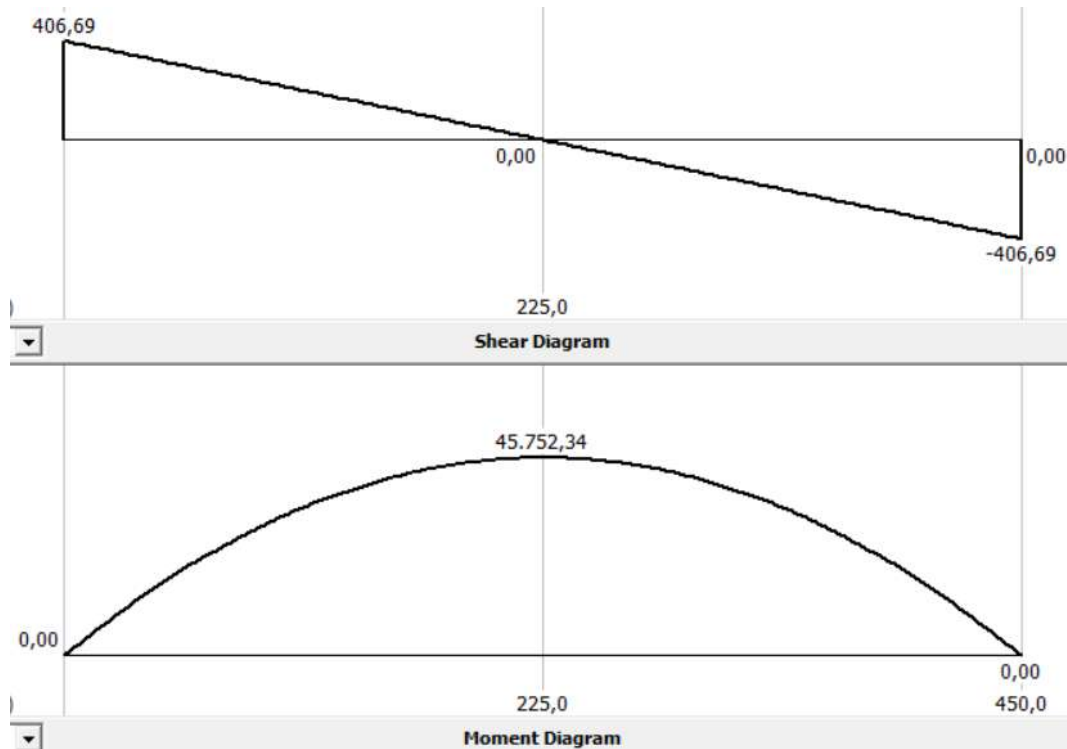


Por lo que:

$$P_u = \frac{813,4}{450} (N/mm) = 1,8075 N/mm$$

$$M_u = \frac{1,8075 (450)^2}{8}$$

$$M_u = 45752,34 N mm$$



**Ilustración 25-3:** Diagrama de cortante y momento flector de la viga del espaldar

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Calculamos la resistencia a flexión nominal, pero debemos conocer el valor del módulo de sección plástico alrededor del eje x, el valor de resistencia a la tensión es  $\phi_b = 0.9$

$$Z_x = \frac{d^3}{6} - \frac{d_1^3}{6}$$

$$Z_x = \frac{(22,22)^3}{6} - \frac{19,22^3}{6}$$

$$Z_x = 645,10 \text{ mm}^3$$

Cálculo de la resistencia de diseño nominal:

$$M_n = F_y Z_x$$

$$M_n = 250 \frac{N}{\text{mm}^2} (645,10 \text{ mm}^3)$$

$$M_n = 161275 N mm$$

Resistencia de diseño en flexión:

$$\phi_b M_n = 0,9 (161275 N mm)$$

$$\phi_b M_n = 145147,5 \text{ N mm}$$

$$M_u \leq \phi_b M_n$$

$$45752,34 \leq 145147,5 \text{ N mm}$$

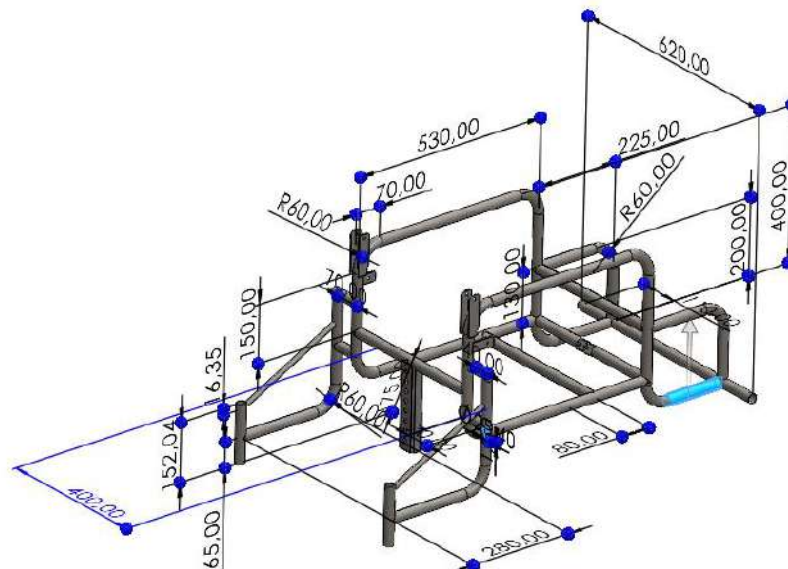
Según el método LRFD, se cumple con un diseño apropiado, dado que la resistencia de diseño en flexión es mayor que el momento de flexión uniforme, se concluye que el tubo circular con dimensiones de diámetro exterior 22,22 mm y espesor 1,5 mm es adecuado y soporta la carga máxima requerida.

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
Pulg	mm	e	P	A	I	W	i
		mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
1/2	12.70	0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74

**Ilustración 26-3:** Selección del perfil para el espaldar

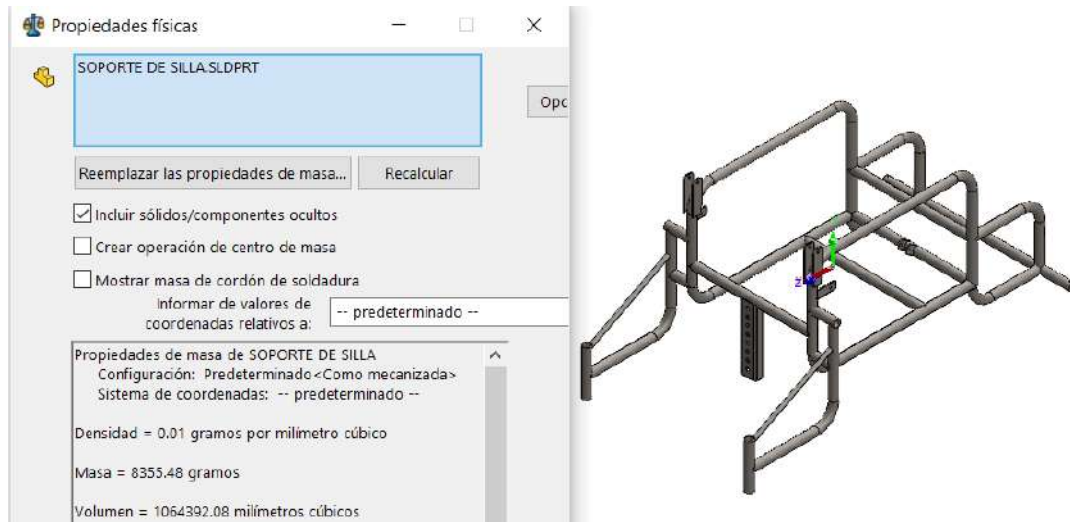
Fuente: DIPAC, 2022

### 3.7.3. Prediseño del bastidor



**Ilustración 27-3:** Diagrama del bastidor

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 28-3:** Peso del bastidor

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.7.3.1. Vigas del bastidor

**Carga viva: 80 kg**

**Carga muerta: 8,36 kg**

**Longitud del perfil: 530 mm**

Se procede a determinar las características de la sección, según se establece en la Especificación ANSI/AISC 360-10 Tabla B 4.1b, correspondiente a perfiles tubulares circulares.

$$\lambda = \frac{D}{t} \qquad \lambda_p = 0,07 \frac{E}{F_y} \qquad \lambda_r = 0,31 \frac{E}{F_y}$$

$$\lambda = \frac{25,40 \text{ [mm]}}{1,5 \text{ [mm]}} \qquad \lambda_p = 0,07 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}} \qquad \lambda_r = 0,31 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}}$$

$$\lambda = 16,93 \qquad \lambda_p = 56 \qquad \lambda_r = 248$$

Se cumple que  $\lambda < \lambda_p$ , por lo que se tiene una sección compacta, por lo que se trabaja con la sección F8 de la Especificación ANSI/AISC 360-10, para comprobar que el perfil horizontal soporte las cargas requeridas sin deformarse o sufrir fallos.

Calcularemos la relación demanda/capacidad, cuya condición de seguridad según el método LRF establece que:  $\mathbf{M_u} \leq \phi_b \mathbf{M_n}$ .

Para poder aplicar la sección F8 debemos cumplir con la siguiente ecuación:

$$\lambda \leq 0,45 \frac{E}{F_y}$$

$$16,93 \leq 0,45 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}}$$

$$16,93 \leq 360$$

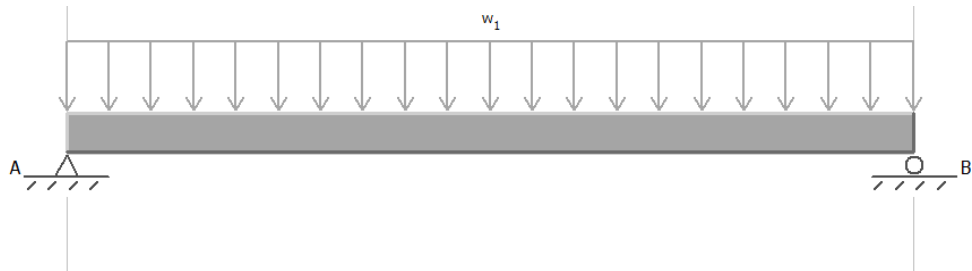
Se cumple la condición, se procede al cálculo del factor de carga:

$$w_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$w_u = 1,2(8,36 \text{ kg}) + 1,6(80 \text{ kg})$$

$$w_u = 138,032 \text{ kg}$$

$$w_u = 1354,1 \text{ N}$$



**Ilustración 29-3:** Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

$$M = \frac{qL^2}{8}$$

Dónde:

M: Momento (N mm)

q: Carga Distribuida

L: Longitud: 530 mm

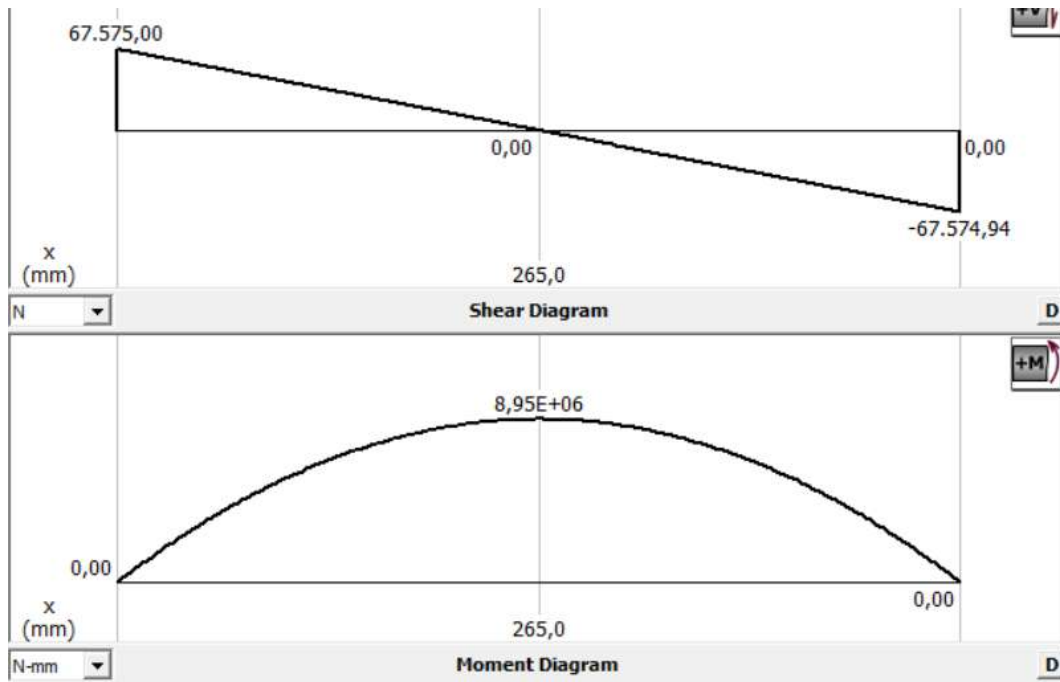
$$P_u = \frac{1354,1}{530} \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right) = 2,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$M_u = \frac{2,55 (530)^2}{8}$$

Por lo que el momento demanda es:

$$M_u = 89536,87 \text{ N mm}$$

Y con la ayuda del software MDSolids corroboramos este valor:



**Ilustración 30-3:** Diagrama de momentos aplicado a las vigas del espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Calculamos la resistencia a flexión nominal, pero debemos conocer el valor del módulo de sección plástico alrededor del eje x.

$$Z_x = \frac{d^3}{6} - \frac{d_1^3}{6}$$

$$Z_x = \frac{25,40^3}{6} - \frac{22,4^3}{6}$$

$$Z_x = 857,94 \text{ mm}^3$$

Cálculo de la resistencia de diseño nominal:

$$M_n = F_y Z_x$$

$$M_n = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (857,94 \text{ mm}^3)$$

$$M_n = 214485 \text{ N mm}$$

Resistencia de diseño en flexión:

El valor de la resistencia a la tensión es  $\phi_b = 0,9$

$$\phi_b M_n = 0,9 (214485 \text{ N mm})$$

$$\phi_b M_n = 145147,5 \text{ N mm}$$

$$M_u \leq \phi_b M_n$$

$$89536,87 \leq 193036,5 \text{ N mm}$$

Según el método LRFD, se cumple con un diseño apropiado, dado que la resistencia de diseño en flexión es mayor que el momento de flexión uniforme, se concluye que el tubo circular con

dimensiones de diámetro exterior 25,4 mm y espesor 1,5 mm es adecuado y soporta la carga máxima requerida.

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
1/2	12.70	0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85

**Ilustración 31-3:** Selección del perfil estructural

Fuente: DIPAC, 2022.

### 3.7.3.2. Columnas del bastidor

Como ya se ha calculado el perfil utilizado para las vigas del bastidor, se decide usar el mismo perfil inicialmente para el cálculo de los perfiles para las columnas del bastidor y se tiene como datos:

**Carga viva: 80 kg**

**Carga muerta: 8,36 kg**

**Longitud del perfil: 400 mm**

Debemos conocer las características de la sección y así determinar si es esbelto (Ecuación 13-3) o no esbelto (Ecuación 14-3):

$$\lambda > \lambda_r \quad \text{(Ecuación 13-3)}$$

$$\lambda < \lambda_r \quad \text{(Ecuación 14-3)}$$

**Dónde:**

$\lambda$ : Razón ancho espesor

$\lambda_r$ : Límite superior para sección de no esbeltos

Para perfiles tubulares circulares dado en la especificación ANSI/AISC 360-10 en la Tabla B 4.1a se tiene que:

$$\lambda_r = 0,11 \frac{E}{F_y} \quad \text{(Ecuación 15-3)}$$

$$\lambda = \frac{D}{t}$$

$$\lambda = \frac{25,40}{1,5}$$

$$\lambda = 16,93$$

$$\lambda_r = 0,11 \frac{E}{F_y}$$

$$\lambda_r = 0,11 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}}$$

$$\lambda_r = 88$$

$\lambda < \lambda_r$  Sección no esbelta

Hacemos uso de la sección E3 de la Especificación ANSI/AISC 360-10, se calcula la relación demanda/capacidad, cuya condición de seguridad según el método LRFD establece que:

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

La resistencia de compresión nominal  $P_n$  viene dada por la siguiente fórmula:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad \text{(Ecuación 16-3)}$$

Dónde:

$F_{cr}$ : Esfuerzo de pandeo por fluencia

$A_g$ : Área bruta de la sección transversal

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

(Ecuación 17-3)

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$$

El valor de  $F_{cr}$  se calcula mediante:

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) F_y \quad \text{(Ecuación 18-3)}$$

Pero si:

$$\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

(Ecuación 19-3)

$$\frac{F_y}{F_e} > 2,25$$

El valor de  $F_{cr}$  se calcula mediante:

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad \text{(Ecuación 20-3)}$$

Cálculo de la relación de esbeltez

Relación de esbeltez:  $\frac{KL}{r}$

Dónde:

K: Factor de longitud efectiva

L: Longitud de la columna

R: Radio de giro de la sección transversal

La forma de pandeo se indica en línea de puntos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valores teóricos de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados de proyecto para condiciones reales	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Condiciones de vínculo						
	<ul style="list-style-type: none"> <li> Rotación y Traslación impedida</li> <li> Rotación libre y Traslación impedida</li> <li> Rotación impedida y Traslación libre</li> <li> Rotación libre y Traslación libre</li> </ul>					

**Ilustración 32-3:** Factor k de longitud efectiva

Fuente: Beer et al., 2010.

El valor del radio de giro se lo obtiene de catálogo con un valor de 0,85 cm, equivalente a 8,5 mm.

Relación de esbeltez:

$$\frac{0,65(400 \text{ mm})}{8,5 \text{ mm}} = 30,59$$

Se realiza el cálculo de  $F_{cr}$ :

$$30,59 \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$30,59 \leq 133,22$$

Como  $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  se cumple, debemos calcular el valor del esfuerzo de pandeo elástico:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$



$$F_e = \frac{\pi^2(200000)}{(30,59)^2}$$

$$F_e = 2109,46 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{250}{2109,46}}) 250$$

$$F_{cr} = 237,9 \text{ MPa}$$

Se realiza el cálculo de la resistencia de diseño, según el método de diseño en base a factores de carga y resistencia:

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g$$

El factor de resistencia a la compresión para el método LRFD es:

$$\phi_c = 0,9$$

Y el área de la sección transversal obtenida del catálogo es de 1,13 cm<sup>2</sup> o 113 mm<sup>2</sup>.

$$\phi_c P_n = 0,9(237,9 \frac{N}{mm^2})(113 \text{ mm}^2)$$

$$\phi_c P_n = 24194,43 \text{ N}$$

$$P_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$P_u = 1,2(8,36) + 1,6 (80) \text{ kg}$$

$$P_u = 138,032 \text{ kg}$$

$$P_u = 1354,1 \text{ N}$$

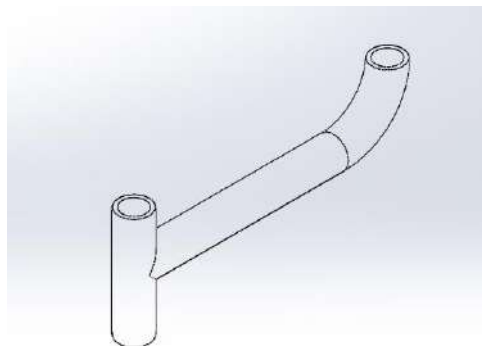
$$P_u \leq \phi_c P_n$$

$$1354,1 \text{ N} \leq 25248,042 \text{ N}$$

Dado que la resistencia de diseño en compresión es mayor que la resistencia axial en compresión se concluye que el tubo circular de diámetro exterior 25,40 mm y espesor 1,5 mm es adecuado.

#### 3.7.4. *Prediseño de apoyo de ruedas*

En este caso el peso requerido es la carga máxima que va a aguantar la viga y de la misma forma se trabaja con cargas distribuidas.



**Ilustración 33-3:** Estructura del apoyo de ruedas

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Carga viva: 80 kg**

**Carga muerta: 8,36 kg**

**Longitud del perfil: 280 mm**

Se procede a determinar las características de la sección, según se establece en la Especificación ANSI/AISC 360-16 Tabla B 4.1b, correspondiente a perfiles tubulares circulares.

$$\lambda = \frac{D}{t} \qquad \lambda_p = 0,07 \frac{E}{F_y} \qquad \lambda_r = 0,31 \frac{E}{F_y}$$
$$\lambda = \frac{25,40 \text{ [mm]}}{1,5 \text{ [mm]}} \qquad \lambda_p = 0,07 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}} \qquad \lambda_r = 0,31 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}}$$
$$\lambda = 16,93 \qquad \lambda_p = 56 \qquad \lambda_r = 248$$

Se cumple que  $\lambda < \lambda_p$ , por lo que se tiene una sección compacta, por lo que se trabaja con la sección F8 de la Especificación ANSI/AISC 360-10, para comprobar que el perfil horizontal soporte las cargas requeridas sin deformarse o sufrir fallos.

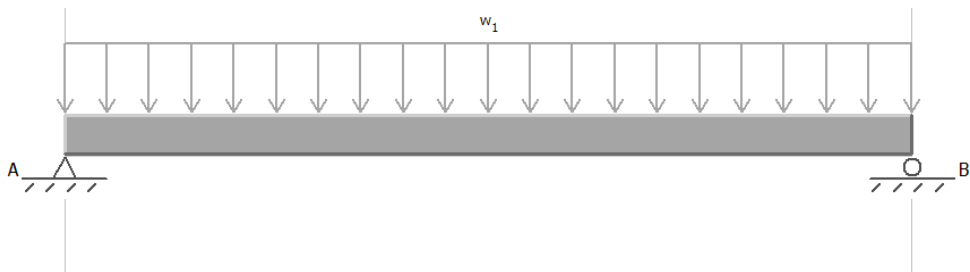
Calcularemos la relación demanda/capacidad, cuya condición de seguridad según el método LRF establece que:  $M_u \leq \phi_b M_n$ .

Para poder aplicar la sección F8 debemos cumplir con la siguiente ecuación:

$$\lambda \leq 0,45 \frac{E}{F_y}$$
$$16,93 \leq 0,45 \frac{200000 \text{ [MPa]}}{250 \text{ [MPa]}}$$
$$16,93 \leq 360$$

Se cumple la condición, se procede al cálculo del factor de carga:

$$w_u = 1,2D + 1,6L$$
$$w_u = 1,2(8,36 \text{ kg}) + 1,6(80 \text{ kg})$$
$$w_u = 138,032 \text{ kg}$$
$$w_u = 1354,1 \text{ N}$$



**Ilustración 34-3:** Diagrama de cuerpo libre para las vigas del espaldar

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

$$M = \frac{qL^2}{2}$$

Dónde:

M: Momento (N mm)

q: Carga Distribuida

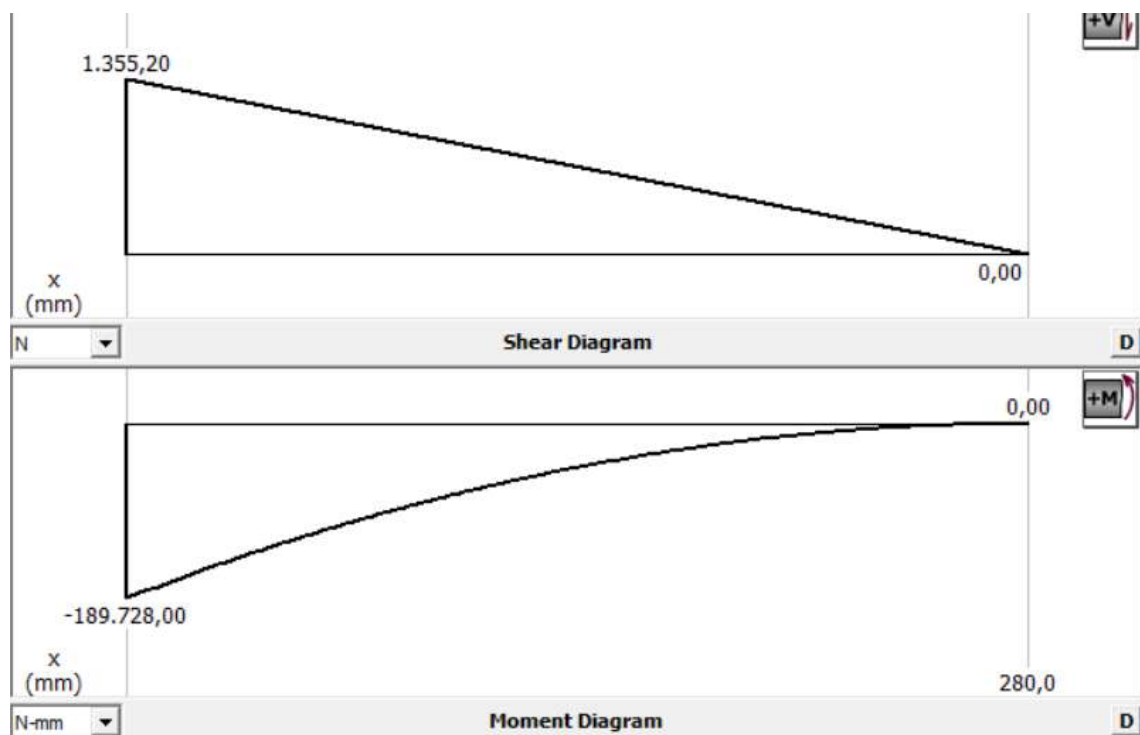
L: Longitud: 530 mm

$$P_u = \frac{1354,1}{280} \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right) = 4,84 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$
$$M_u = \frac{4,84 (280)^2}{2}$$

Por lo que el momento demanda es:

$$M_u = 189728 \text{ N mm}$$

Y con la ayuda del software MDSolids corroboramos este valor:



**Ilustración 35-3:** Diagrama de cortante y momento flector aplicado al apoyo de las ruedas

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Calculamos la resistencia a flexión nominal, pero debemos conocer el valor del módulo de sección plástico alrededor del eje x, el valor de resistencia a la tensión es  $\phi_b = 0,9$

$$Z_x = \frac{d^3}{6} - \frac{d_1^3}{6}$$
$$Z_x = \frac{25,40^3}{6} - \frac{22,4^3}{6}$$
$$Z_x = 857,94 \text{ mm}^3$$

Cálculo de la resistencia de diseño nominal:

$$M_n = F_y Z_x$$

$$M_n = 250 \frac{N}{mm^2} (857,94 mm^3)$$

$$M_n = 214485 N mm$$

Resistencia de diseño en flexión:

$$\phi_b M_n = 0,9 (214485 N mm)$$

$$\phi_b M_n = 145147,5 N mm$$

$$M_u \leq \phi_b M_n$$

$$189728 \leq 193036,5 N mm$$

Según el método LRFD, se cumple con un diseño apropiado, dado que la resistencia de diseño en flexión es mayor que el momento de flexión uniforme, se concluye que el tubo circular con dimensiones de diámetro exterior 25,4 mm y espesor 1,5 mm es adecuado y soporta la carga máxima requerida.

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
1/2	12.70	0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85

**Ilustración 36-3:** Selección del perfil estructural

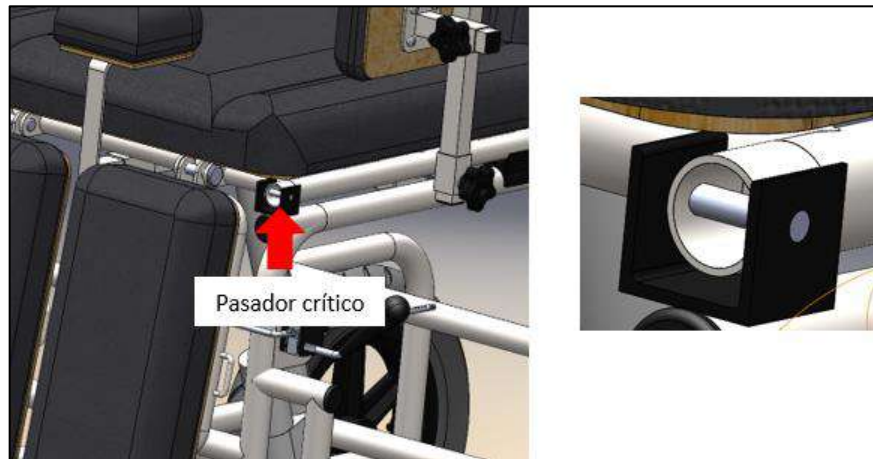
Fuente: DIPAC, 2022.

### 3.8. Diseño de pasadores

Se selecciona el pasador que soportará la mayor carga, es decir el elemento crítico para su diseño el cual se indica en la Ilustración 37-3, debido a que en esta posición de bipedestación todo el peso recae sobre estos pasadores, se ha considerado un factor de seguridad de 4.

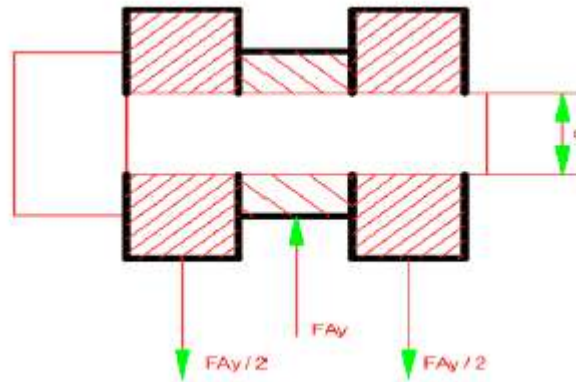
Se considera el esfuerzo cortante permisible y un factor de seguridad, mediante la siguiente relación:

$$\tau_y = \frac{\tau_{\text{permissible}}}{FS}$$



**Ilustración 37-3:** Pasador crítico

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 38-3:** Diagrama de cuerpo libre para el pasador

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

$$\tau_y = \frac{0,5(250) \text{ MPa}}{4}$$

$$\tau_y = 31,25 \text{ MPa}$$

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

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

$$d^2 = \frac{F}{\frac{\pi}{4} (\tau_y)}$$

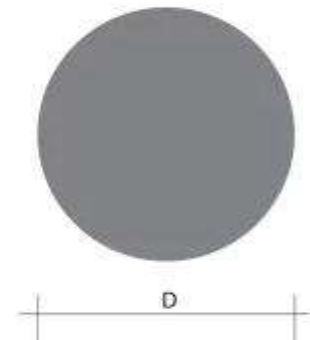
$$d^2 = \frac{375 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} (20,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})}$$

$$d = 3,9 \text{ mm}$$

Por lo que el diámetro mínimo que debe tener el pasador es de 3,9 mm.

Como por catálogo no se obtiene el valor de 3,9 mm se toma el valor más cercano el cuál es de 5,5 mm.

Denominación	Diámetro		Peso		Área
	D	kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>	
VRL 5,5	5.5	0.34	2.04	0.43	
VRL 8	8.0	0.50	2.96	0.63	
VRL 10	10.0	0.62	3.70	0.79	
VRL 12	12.0	0.89	5.33	1.13	
VRL 15	15.0	1.39	8.32	1.77	
VRL 18	18.0	2.00	11.98	2.55	
VRL 22	22.0	2.98	17.90	3.80	
VRL 24,5	24.0	3.70	22.20	4.71	



**Ilustración 39-3:** Selección del pasador

Fuente: DIPAC, 2022.

Otra opción para ser más cercano al diámetro nominal es, tornearse un eje hasta el diámetro requerido manteniendo una tolerancia aceptable.

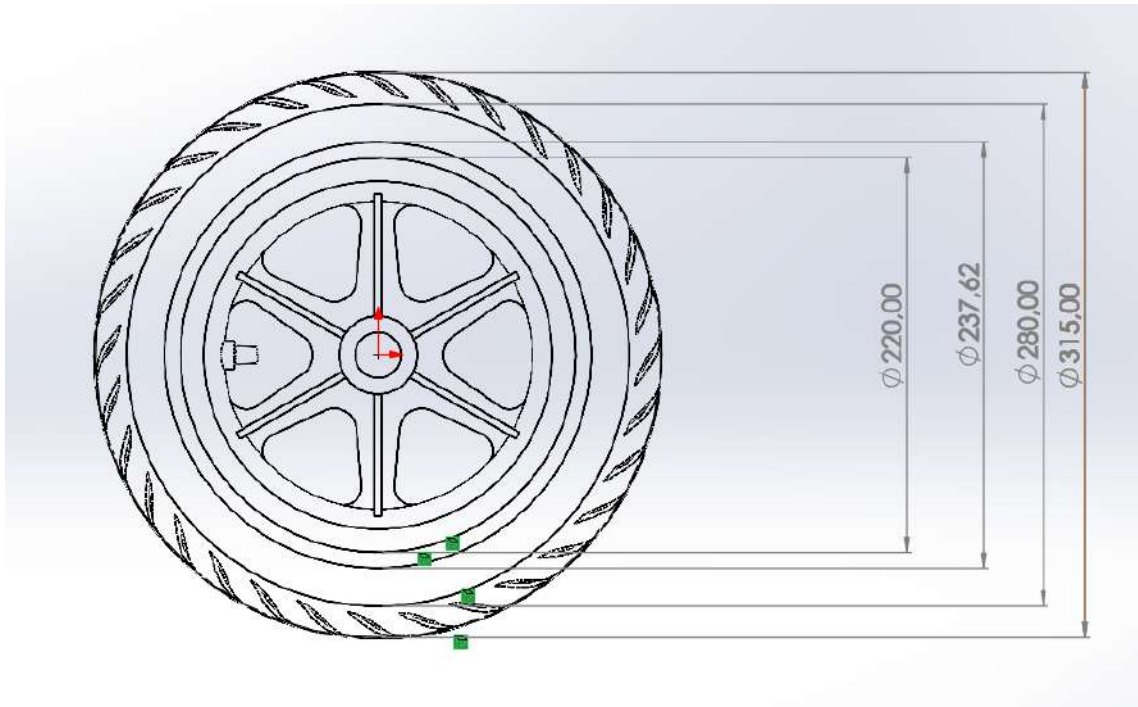
### 3.9. Selección de elementos estandarizados

#### 3.9.1. Selección de ruedas

Para la selección de las ruedas se analizó el material, costo y el tamaño para determinar el rin correcto para la silla bipedestadora para niños, lo cual se determinó los siguientes aspectos para la selección:

- El rin puede de ser de polímero, aluminio o aleaciones de acero.
- El eje de la rueda debe estar asegurado a una manzana para mayor eficiencia de la silla.
- El tamaño no debe ser mayor al centro de gravedad de la silla.
- La rueda puede ser neumática de caucho sólido.
- Rueda va a ser un apoyo cuando la silla se coloque en forma horizontal por lo tanto el punto de apoyo debe ser amplio.
- Debe tener un sistema de frenos para asegurar la silla en solo puesto (ruedas delanteras).

Para ello se ha seleccionado una rueda de diámetro exterior aproximado de 315 mm, que se encuentre dentro de la categoría 4 y 5 respecto a la carga máxima a soportar.

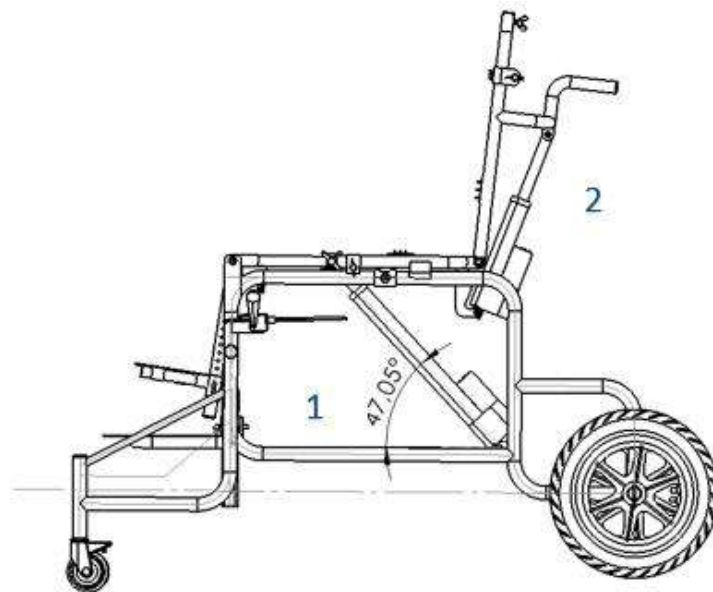


**Ilustración 40-3:** Medidas referenciales de la rueda

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.9.2. Selección de los actuadores

El dimensionamiento de un actuador lineal es el proceso de seleccionar un actuador con las características adecuadas para cumplir con los requisitos de fuerza, velocidad, precisión y vida útil necesarios para una aplicación específica. Algunos factores para considerar al dimensionar un actuador lineal incluyen la carga máxima que se espera que soporte, la velocidad deseada, el recorrido requerido, la precisión requerida y las condiciones ambientales.

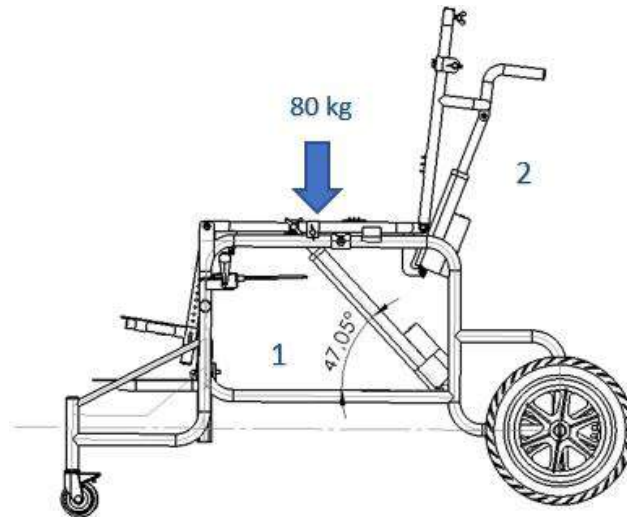


**Ilustración 41-3:** Actuadores en la silla bipedestadora rediseñada

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.9.2.1. Actuador lineal 1 (asiento-bastidor)

Para el cálculo de fuerza se partirá de la posición inicial con el ángulo inicial para cada uno de los movimientos de la silla bipedestadora. La carga máxima a soportar será de 80 Kg y se analizará para determinar los parámetros del actuador.



**Ilustración 42-3:** Cargas en el actuador lineal 1

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Porcentaje de peso total

El porcentaje de peso corporal total se refiere al porcentaje de peso total del cuerpo que representa cada tipo de tejido. El peso corporal total se divide en varios tipos de tejido, como músculo, hueso, grasa y agua. El porcentaje de cada tipo de tejido varía de persona a persona y puede cambiar con el tiempo.

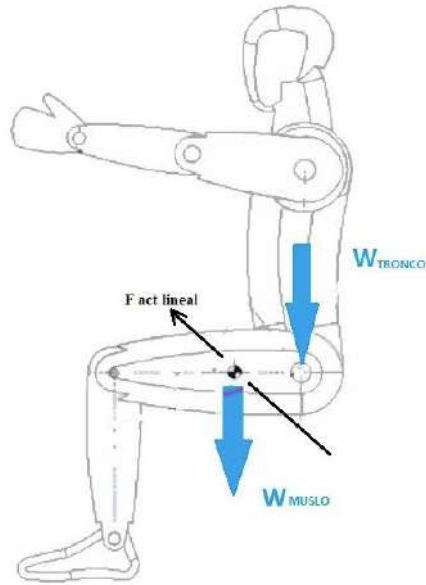
PARTE DEL CUERPO	Según FISCHER	Según BERNSHTEIN		Datos redondeados %
		hombre	mujer	
Cabeza	0,0706	0,0672	0,0812	7
Tronco	0,4270	0,4630	0,4390	43
Muslo	0,1158	0,1221	0,1289	12
Pierna	0,0527	0,0465	0,0438	5
Pie	0,0179	0,0146	0,0120	2
Brazo	0,0336	0,0265	0,0260	3
Antebrazo	0,0228	0,0182	0,0182	2
Mano	0,0084	0,0070	0,0055	1
Todo el cuerpo	1,0000	1,0000	1,0000	100

**Ilustración 43-3:** Porcentaje de peso según el segmento corporal

Fuente: Piland y Adams, 2009.

Teniendo el peso total se puede realizar la distribución del peso según el porcentaje en la posición inicial para los 80 kg con ángulo de inclinación de 47,05° del actuador.





**Ilustración 44-3:** Diagramas de cargas en sedestación

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 18-3:** Carga total para el actuador lineal 1

Partes del cuerpo	Peso corporal (%)	Peso (kg)	Peso (N)
<b>Cabeza</b>	7	5,6	54,94
<b>Tronco</b>	43	34,4	337,46
<b>Muslos</b>	24	19,2	188,35
<b>Brazos</b>	6	4,8	47,09
<b>Antebrazos</b>	4	3,2	31,39
<b>Manos</b>	2	1,6	15,70
<b>Total</b>	<b>86</b>	<b>68,8</b>	<b>674,93</b>

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Act} * \text{sen } 47,05 - W_T = 0$$

$$F_{Act} = \frac{W_T}{\text{sen } 47,05}$$

$$F_{Act} = \frac{674,93}{\text{sen } 47,05}$$

$$F_{Act} = 922,1 \text{ N}$$

Factor de corrección para actuadores lineales es de 1,25 la cual se multiplica por la fuerza del actuador lineal.

$$F_{Act} = 1,25 (922,1) N$$

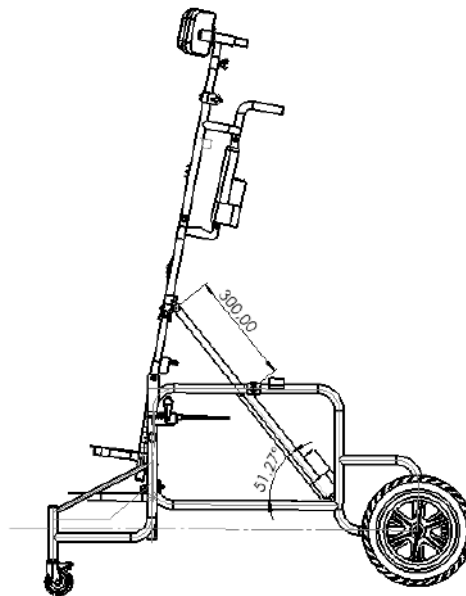
$$F_{Act} = 1152,63 N$$

La fuerza necesaria con la carga máxima establecida en la posición inicial es de 1152,63 N generalmente en el mercado se encontrarán solo valores comerciales.

Para este caso el actuador elegido es de 1500 N o 337,21 lbf debido a la disponibilidad y costo en el mercado nacional.

### **Longitud de la carrera en posición extendida**

La longitud de carrera que se requiere hasta la posición de bipedestación se indica en la siguiente gráfica:



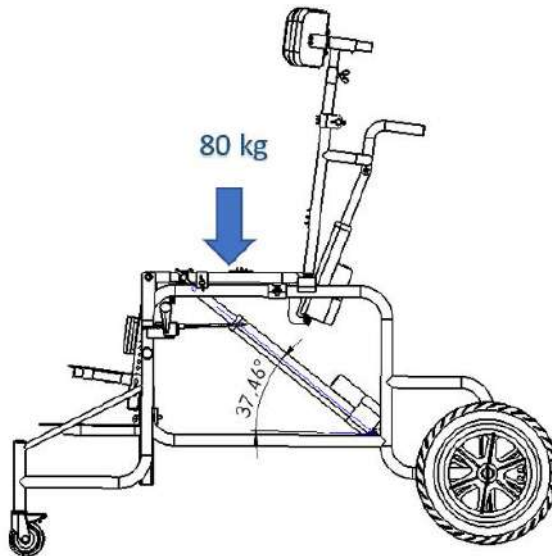
**Ilustración 45-3:** Longitud de carrera para el actuador lineal 1

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Por lo tanto, la longitud máxima de carrera requerida para los parámetros establecidos es de 300 mm.

#### *3.9.2.2. Actuador lineal 1 en posición mínima de recorrido*

Con una carga máxima a soportar de 80 kg se analizará la fuerza requerida por el actuador para realizar el movimiento de bipedestación y verificar que el actuador cumpla con la fuerza necesaria para realizar dicho movimiento, tanto al regular el asiento a posición mínima como en su máxima longitud.



**Ilustración 46-3:** Cargas en el actuador lineal 1, en longitud mínima

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Tomando como peso total el indicado en la Tabla 19-3, se procede a calcular el valor de la fuerza requerida en el actuador 1 para la nueva posición.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Act} * \text{sen } 37,46 - W_T = 0$$

$$F_{Act} = \frac{W_T}{\text{sen } 37,46}$$

$$F_{Act} = \frac{674,93}{\text{sen } 37,46}$$

$$F_{Act} = \mathbf{1109,7 \text{ N}}$$

Factor de corrección para actuadores lineales es de 1,25 la cual se multiplica por la fuerza del actuador lineal.

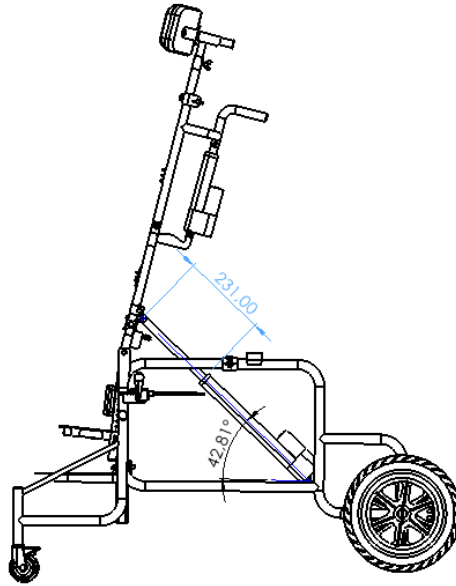
$$F_{Act} = 1,25 (1109,7) \text{ N}$$

$$F_{Act} = \mathbf{1387,13 \text{ N}}$$

La fuerza necesaria con la carga máxima establecida en la posición mínima producto de regular el asiento es de 1387,13 N.

#### **Longitud de la carrera del actuador lineal 1 en posición mínima**

La longitud de carrera que se requiere hasta la posición de bipedestación se indica en la siguiente gráfica:



**Ilustración 47-3:** Longitud de carrera para posición mínima

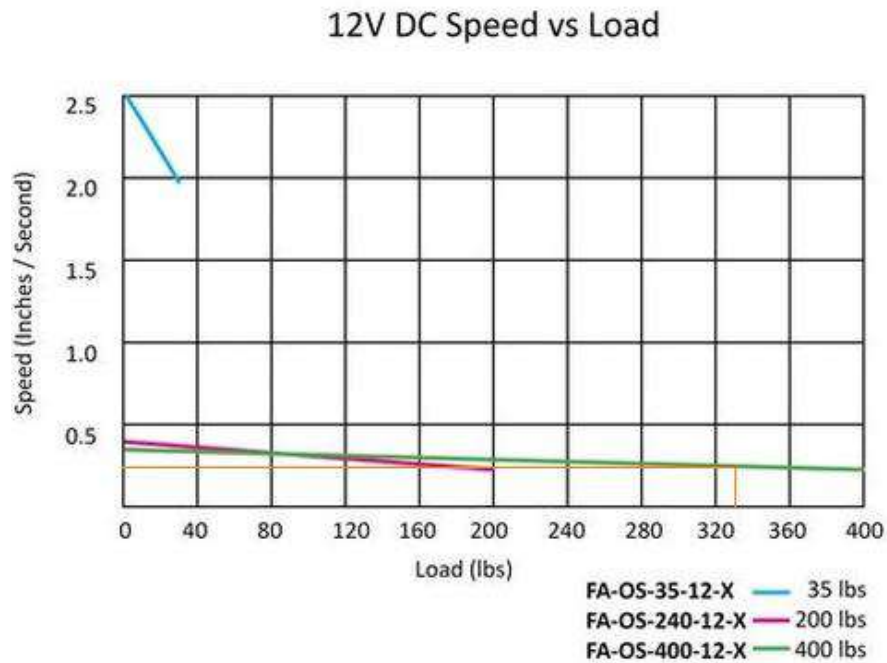
**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Por lo tanto, la longitud máxima de carrera requerida para la nueva posición es de 231 mm.

En la posición extendida del asiento la fuerza del actuador resulta menor y un recorrido de 300 mm, pero al momento de regular el asiento hasta su posición mínima, la fuerza requerida para realizar el movimiento resulta mayor y su recorrido es menor, tomando en cuenta estos aspectos el actuador seleccionado debido a la disponibilidad en el mercado y costo del mismo, será de 1500 N o 337,21 lbf., con carrera de 300 mm.

### **Velocidad**

La velocidad real a la que se moverá su actuador se verá afectada por el tamaño de la carga que se está moviendo. Generalmente, en los actuadores lineales electrónicos, los actuadores con fuerzas más altas se mueven más lentamente que los actuadores con fuerzas más bajas.



**Ilustración 48-3:** Diagrama de velocidad vs carga para el actuador lineal 1

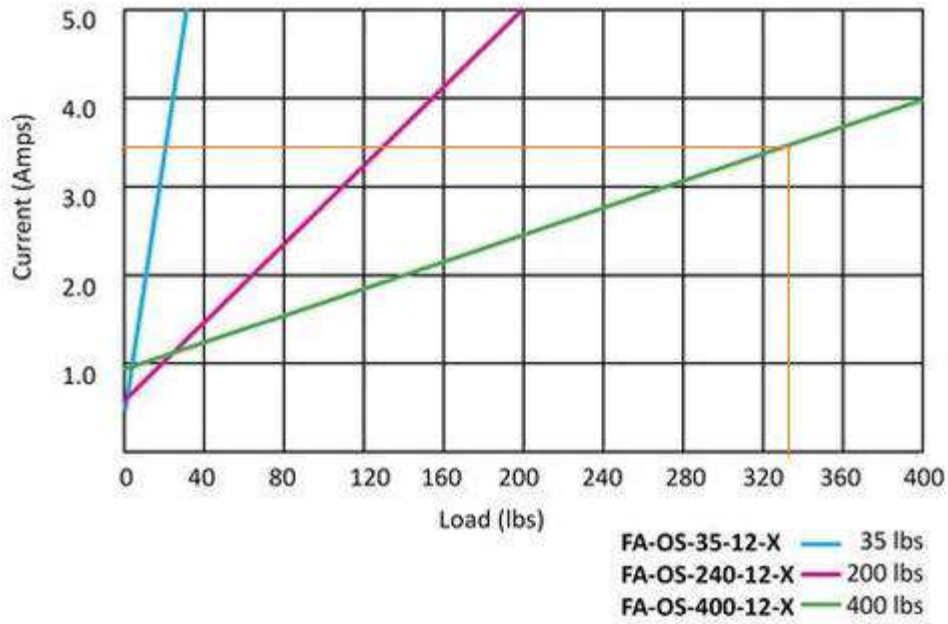
Fuente: Firgelli, 2022.

La velocidad de recorrido para actuadores lineales de 12 V está en el rango de **0,25 – 0,4 (in/s)**.

### Requerimientos de energía

Hay dos aspectos de los requisitos de energía para cualquier actuador lineal electrónico, entrada de voltaje y consumo máximo de corriente. El voltaje de entrada o voltaje nominal es el voltaje para el que está diseñado el actuador y debe ser el voltaje máximo suministrado al actuador. El voltaje de entrada puede ser AC o DC y normalmente son valores estándar, como 12V DC o 120V AC. El consumo máximo de corriente es la cantidad máxima de corriente que el actuador extraerá de forma segura y a diferencia del voltaje, el consumo de corriente real de su actuador debería ser inferior a este valor. El consumo de corriente real de su actuador dependerá de la cantidad de carga que se le aplique; cuanto mayor sea la carga, mayor será el consumo de corriente (Firgelli, 2022).

### 12V DC Current vs Load



**Ilustración 49-3:** Diagrama de corriente vs carga para el actuador lineal 1

Fuente: Firgelli, 2022.

El rango de corriente para actuadores lineales de 12 V es de 3 - 4 (A).

### Selección de catálogo

ECO-WORTHY LINEAR ACTUATOR

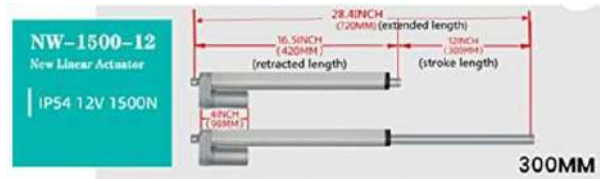
**Parameters**

Applicable scenarios change accordingly By Models

Actuation Force	20N (4.5lbs)	1000N (225lbs)	1500N (330lbs)	1000N (225lbs)
Input Voltage	DC 12V	DC 12V	DC 12V	DC 12V
Speed(No Load)	0.6in / sec (15mm / sec)	0.55in / sec (14mm / sec)	0.39in / sec (10mm / sec)	0.55in / sec (14mm / sec)
Protectional Class	IP54	IP54	IP54	IP54
Limit Switches	Not adjustable	Not adjustable	Not adjustable	Not adjustable
Warranty	Standard 1 year	Standard 1 year	Standard 1 year	Standard 1 year
Recommend For	DIY Toys	Windows	Chicken Coop Door /TV Sofa	RV Bed

**Ilustración 50-3:** Parámetros del actuador lineal 1

Fuente: Firgelli, 2022.



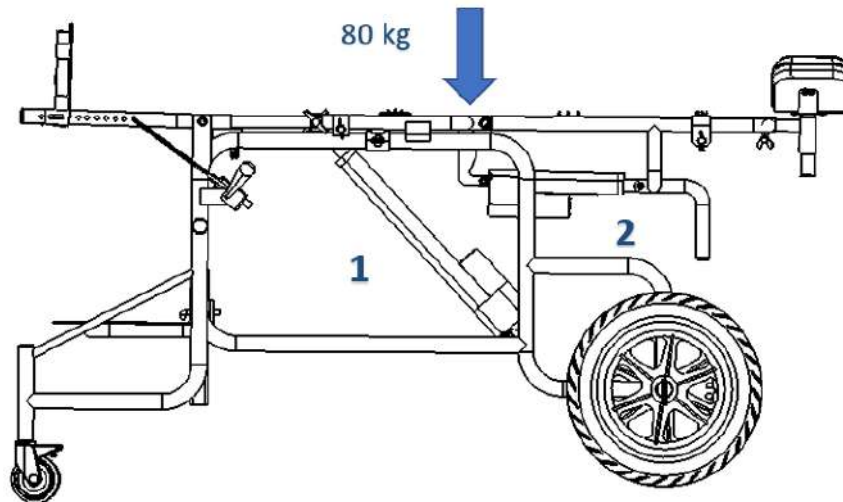
RATED LOADS (LBS) / N	STROKE LENGTH (MM)	TYPE	VOLT	RETRACTED LENGTH (MM)	EXTENDED LENGTH (MM)
330 lbs (1500N)	50	NW-1500-12	12V	155	205
	100	NW-1500-12	12V	205	305
	150	NW-1500-12	12V	260	410
	200	NW-1500-12	12V	320	520
	250	NW-1500-12	12V	370	620
	300	NW-1500-12	12V	420	720
	350	NW-1500-12	12V	470	820
	400	NW-1500-12	12V	550	950
	450	NW-1500-12	12V	600	1050

**Ilustración 51-3:** Actuador lineal eléctrico 12VDC, 300mm y 1500N

Fuente: Firgelli, 2022.

### 3.9.2.3. Actuador lineal 2 (espalda)

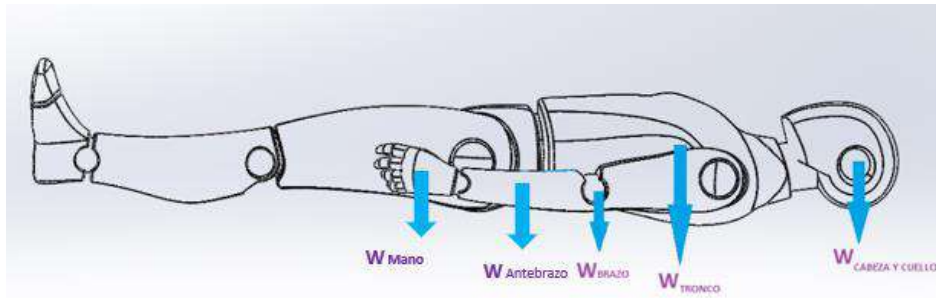
Para el cálculo del actuador lineal electromecánico se lo analiza desde la posición inicial como se indica en la ilustración donde la carga máxima se distribuye según el porcentaje de peso corporal con ángulo inicial de 0° para lo cual se analizará hasta la posición donde el espaldar estará vertical.



**Ilustración 52-3:** Cargas en el actuador lineal 2

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

En posición horizontal se analizará solo la parte donde el actuador lineal trabaja, específicamente en el espaldar de la silla bipedestadora y las cargas que ejerce el cuerpo en esa zona.



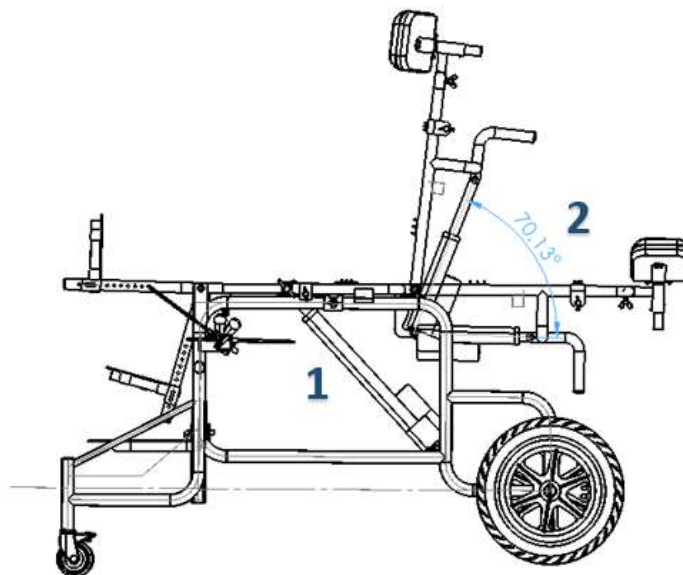
**Ilustración 53-3:** Diagramas de cargas en posición camilla

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 19-3:** Carga total para el actuador lineal 2

Parte del cuerpo	Peso corporal (%)	Peso (kg)	Peso (N)
<b>Cabeza</b>	7	5,6	54,94
<b>Tronco</b>	43	34,4	337,46
<b>Brazo</b>	6	4,8	47,1
<b>Antebrazo</b>	4	3,2	31,4
<b>Mano</b>	2	1,6	15,7
<b>Peso total</b>	<b>62</b>	<b>49,6</b>	<b>486,6</b>

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 54-3:** Posición del actuador lineal 2

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Act} \text{sen } 70,13 - W_T = 0$$



$$F_{Act} = \frac{W_T}{\text{sen } 70,13}$$

$$F_{Act} = \frac{486,6}{\text{sen } 70,13}$$

$$F_{Act} = 517,37 \text{ N}$$

El factor de corrección para actuadores lineales cuando el actuador está en perpendicular con la fuerza es de dos a tres, la cual se multiplica por la fuerza del actuador lineal.

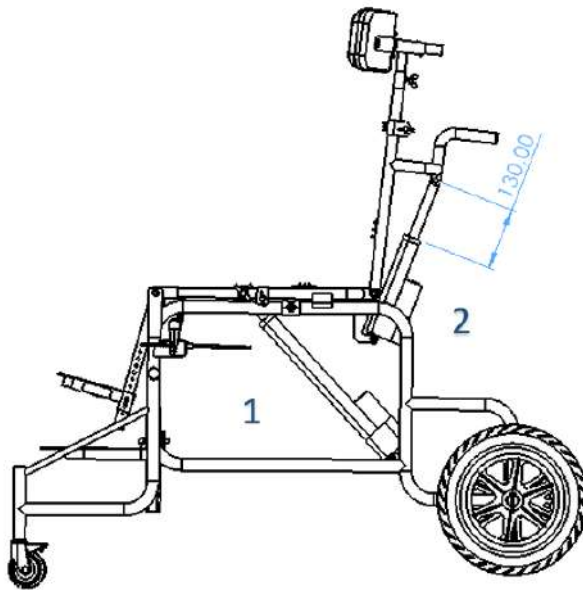
$$F_{Act} = 2,5 * 517,37 \text{ N}$$

$$F_{Act} = 1293,43 \text{ N}$$

La fuerza necesaria con la carga máxima establecida en la posición inicial es de 1293,43 N, generalmente en el mercado se encontrarán las fuerzas comerciales, para este caso es de 1500 N o equivalente a 337,21 lbf.

### Desplazamiento de la carrera

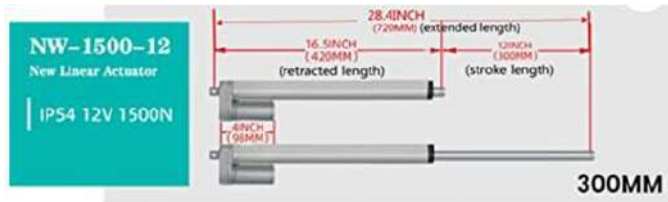
Para el desplazamiento de la carrera se analiza desde la posición inicial de la silla hasta la posición horizontal o de camilla.



**Ilustración 55-3:** Longitud de carrera para el actuador lineal 2

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Por lo tanto, la longitud de carrera es de 130 mm, pero la longitud comercial es de 200 mm, como la fuerza es la misma del actuador anterior se selecciona el actuador con las siguientes características:



RATED LOADS (LBS) N	STROKE LENGTH (MM)	TYPE	VOLT	RETRACTED LENGTH (MM)	EXTENDED LENGTH (MM)
330 lbs (1500N)	50	NW-1500-12	12V	155	205
	100	NW-1500-12	12V	205	305
	150	NW-1500-12	12V	260	410
	200	NW-1500-12	12V	320	520
	250	NW-1500-12	12V	370	620
	300	NW-1500-12	12V	420	720
	350	NW-1500-12	12V	470	820
	400	NW-1500-12	12V	550	950
	450	NW-1500-12	12V	600	1050

**Ilustración 56-3:** Actuador lineal eléctrico de 12 VDC, 200 mm y 1500 N

Fuente: Firgelli, 2022.



**Ilustración 57-3:** Silla de ruedas postural bipedestadora rediseñada

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 58-3:** Silla rediseñada en posición de bipedestación

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

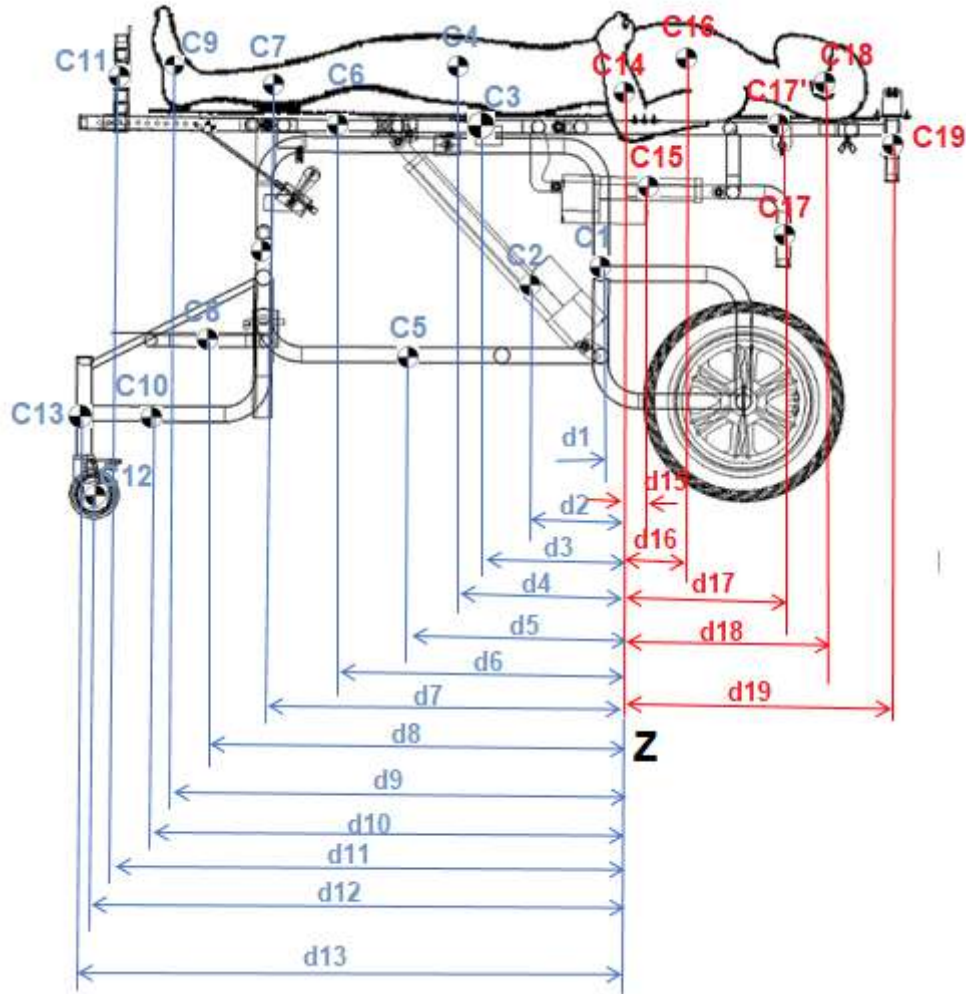


**Ilustración 59-3:** Silla de ruedas rediseñada en posición camilla

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.10. Análisis de estabilidad

Para el control de estabilidad o vuelco inminente se realiza un análisis en el punto Z del prediseño, que será el punto de rotación por la distribución del peso y funcionalidad del prototipo, se analiza cada elemento con su respectivo centro de gravedad y lo relacionamos proporcionalmente con el peso opuesto generado por el cuerpo humano en una ecuación de sumatoria de momento como se indica a continuación.



**Ilustración 60-3:** Análisis de estabilidad

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Análisis de estabilidad en el punto Z:

$$\sum M_z = 0$$

$$C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot d_2 + C_3 \cdot d_3 + C_4 \cdot d_4 + C_5 \cdot d_5 + C_6 \cdot d_6 + C_7 \cdot d_7 + C_8 \cdot d_8 + C_9 \cdot d_9 + C_{10} \cdot d_{10}$$

$$+ C_{11} \cdot d_{11} + C_{12} \cdot d_{12} + C_{13} \cdot d_{13}$$

$$= (C_{14} \cdot d_{14} + C_{15} \cdot d_{15} + C_{16} \cdot d_{16} + C_{17} \cdot d_{17} + C_{18} \cdot d_{18} + C_{19} \cdot d_{19}) \cdot R$$

$$R = \frac{C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot d_2 + C_3 \cdot d_3 + C_4 \cdot d_4 + C_5 \cdot d_5 + C_6 \cdot d_6 + C_7 \cdot d_7 + C_8 \cdot d_8}{(C_{14} \cdot d_{14} + C_{15} \cdot d_{15} + C_{16} \cdot d_{16} + C_{17} \cdot d_{17} + C_{18} \cdot d_{18} + C_{19} \cdot d_{19})} + \frac{C_9 \cdot d_9 + C_{10} \cdot d_{10} + C_{11} \cdot d_{11} + C_{12} \cdot d_{12} + C_{13} \cdot d_{13}}{(C_{14} \cdot d_{14} + C_{15} \cdot d_{15} + C_{16} \cdot d_{16} + C_{17} \cdot d_{17} + C_{18} \cdot d_{18} + C_{19} \cdot d_{19})}$$

Se cumplirá la condición de equilibrio si:

$$R > 1$$

**Tabla 20-3:** Datos de peso de elementos de la silla de ruedas bipedestadora

Centro de masa	Elemento	Peso (Kg)	Distancia (mm)
C1	Tubo bastidor 1 in	0,5	100
C2	Actuador lineal 1	2,0	450
C3	Tubo asiento 7/8 in	0,3	490
C4	Muslos	19,2	515
C5	Tubo bastidor 1 in	0,9	600
C6	Tubo asiento 7/8 in	0,3	630
C7	Pantorrilla	8,0	650
C8	Reposapiés fijo	1,2	710
C9	Pies	3,2	735
C10	Tubo bastidor 1 in	0,4	790
C11	Reposapiés regulable	0,9	860
C12	Ruedas delanteras	0,4	900
C13	Tubo bastidor 1 in	0,3	930
C14	Brazo	4,8	0
C15	Actuador lineal 2	1,8	150
C16	Tronco	34,4	240
C17	Tubo espaldar 7/8 in	0,3	390
C18	Cabeza y cuello	5,6	480
C19	Tubo espaldar 7/8 in	0,3	630

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

$$R = \frac{21847 \text{ kg. mm}}{11520 \text{ kg. mm}}$$

Calculando R tenemos:

$$R = 1,896$$

Esto indica que todo el momento generado en la parte izquierda del punto Z es mayor al momento derecho permitiendo la estabilidad del prototipo en cualquier momento de su funcionamiento.

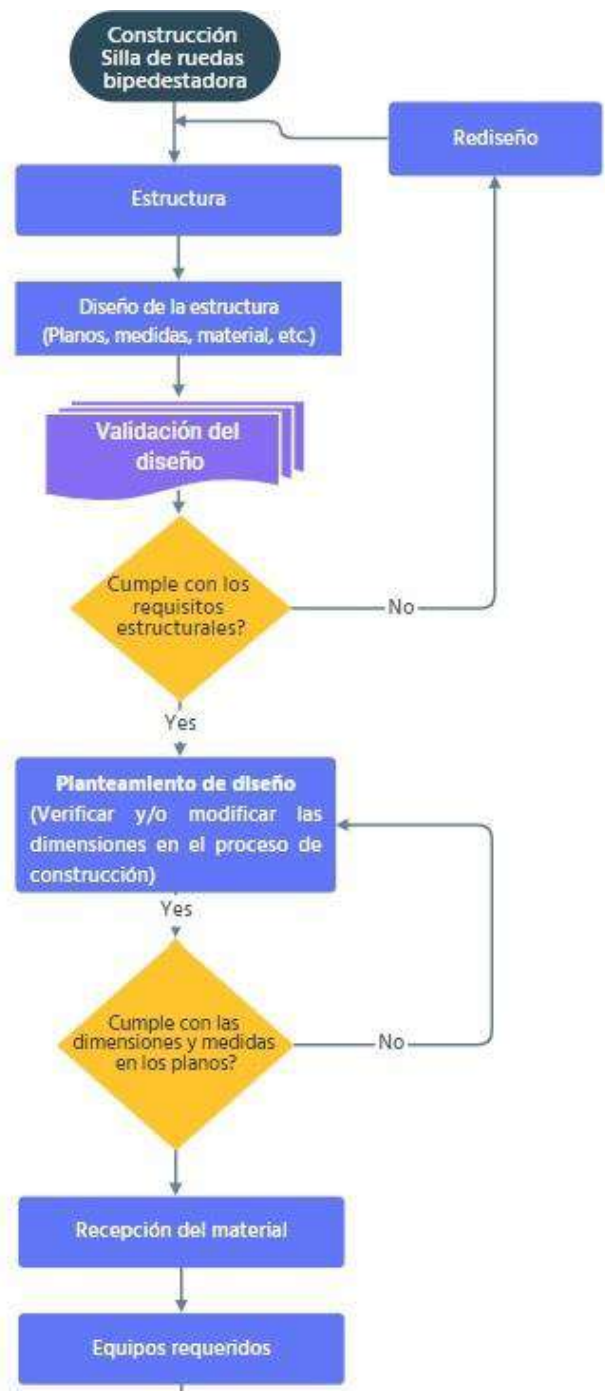
### **3.11. Construcción de la silla de ruedas bipedestadora y sistema de rehabilitación**

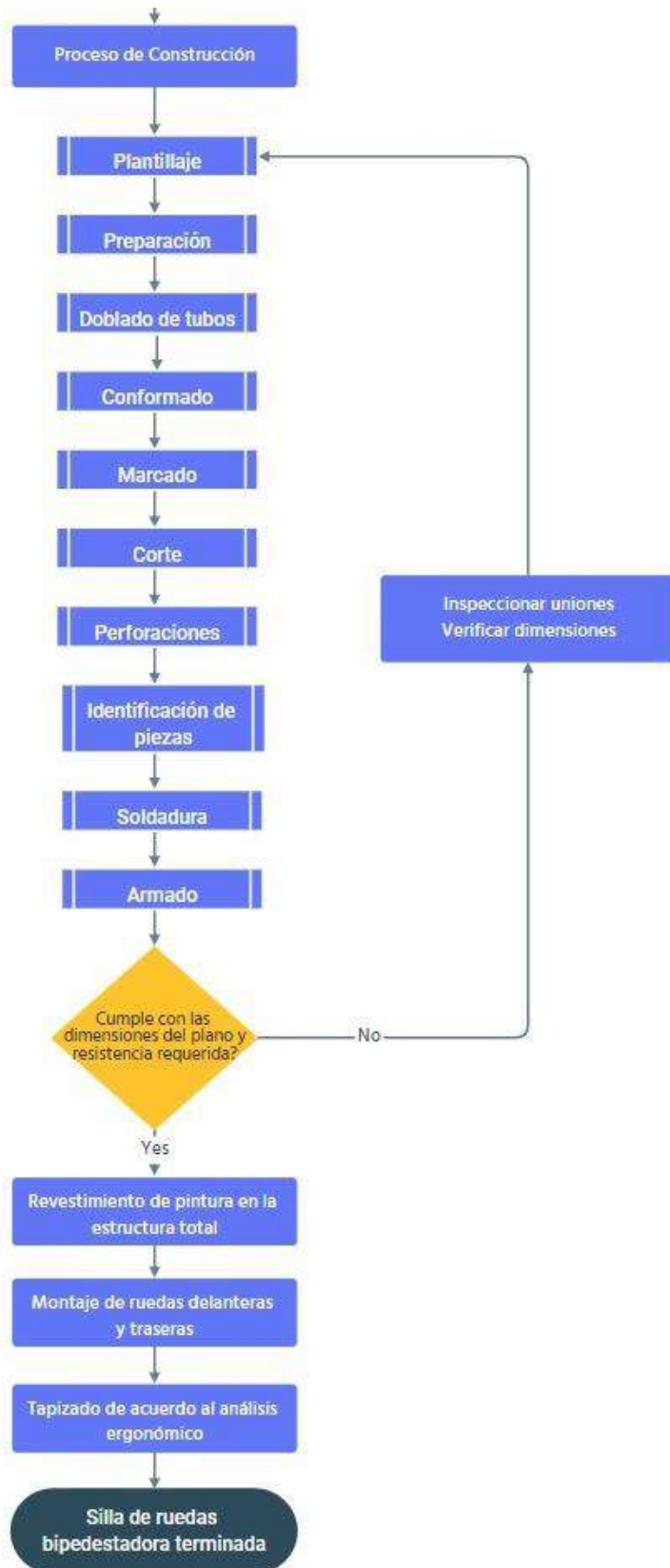
El proceso de construcción de la silla de ruedas bipedestadora para niños con parálisis cerebral infantil, se realiza en el taller ADICOM, ubicado en la ciudad de Riobamba, para ello en primer lugar se elaboran planos de acuerdo con las condiciones, solicitudes requeridas previamente para el correcto ensamblaje entre cada parte, los planos que contienen las especificaciones dimensionales, de tolerancia y de acabado superficial están disponibles en el Anexo.

Considerando los requisitos y especificaciones del diseño de producción final de la silla de ruedas bipedestadora, la selección de materiales para la fabricación es un punto importante de discusión y análisis; porque debe ser lo más ligero y duradero posible debido al uso del paciente y los requisitos de transporte.

Los diseños previos y láminas de detalle se realizan en SOLIDWORKS, especificando todos los parámetros de diseño necesarios, tales como: dimensiones, acabados superficiales, tolerancias, etc.

#### ***3.11.1. Proceso de construcción de la silla de ruedas***





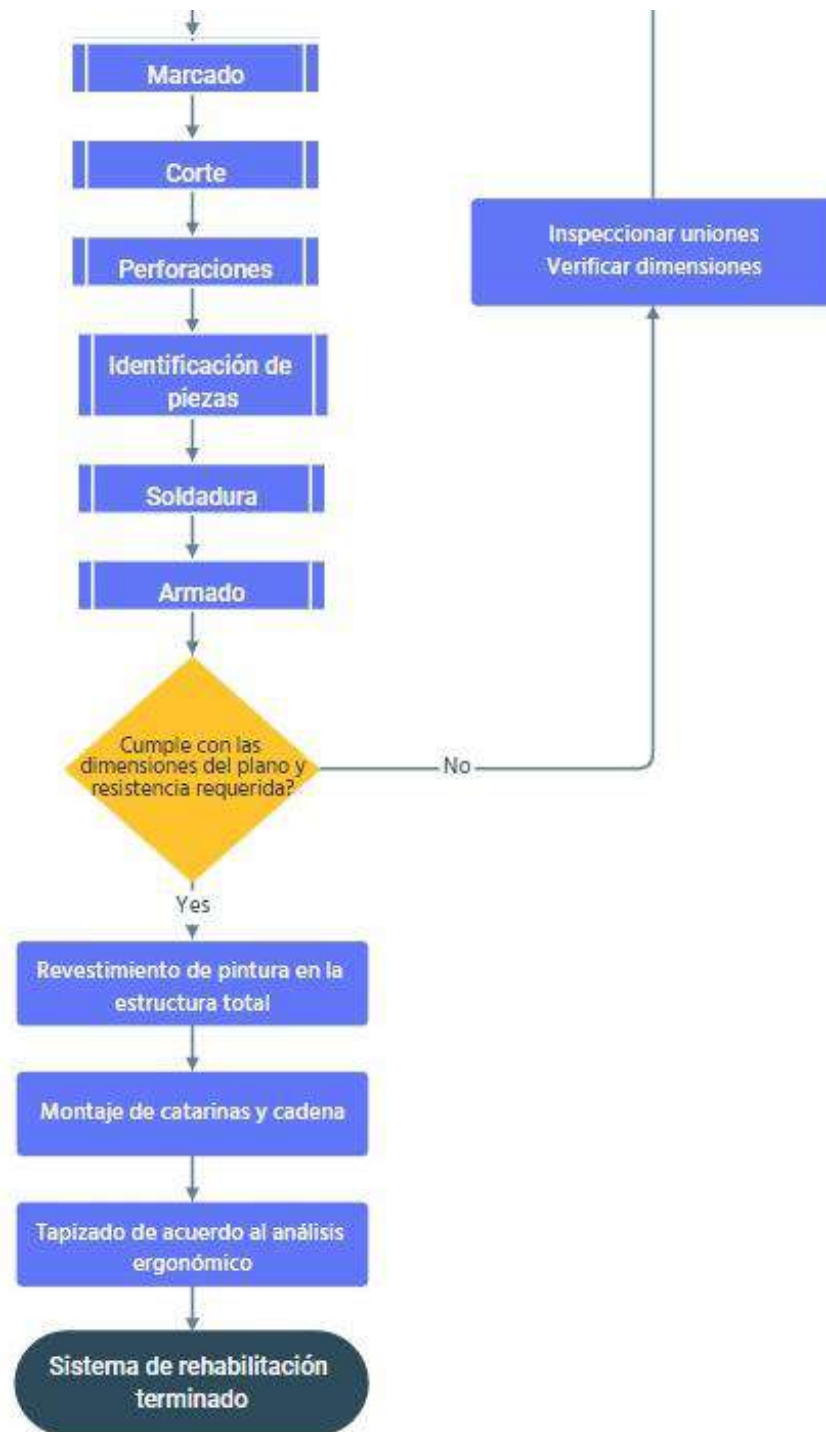
**Ilustración 61-3:** Flujo de construcción de la silla de ruedas.

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



### 3.11.2. Proceso de construcción del sistema de rehabilitación





**Ilustración 62-3:** Flujograma de construcción del sistema de rehabilitación

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.12. Sistema eléctrico y electrónico

#### 3.12.1. Ubicación y sujeción de batería

La batería seleccionada fue de 12 voltios a 7 amperios, la misma que abastece de energía a los dos actuadores que cuenta el sistema.

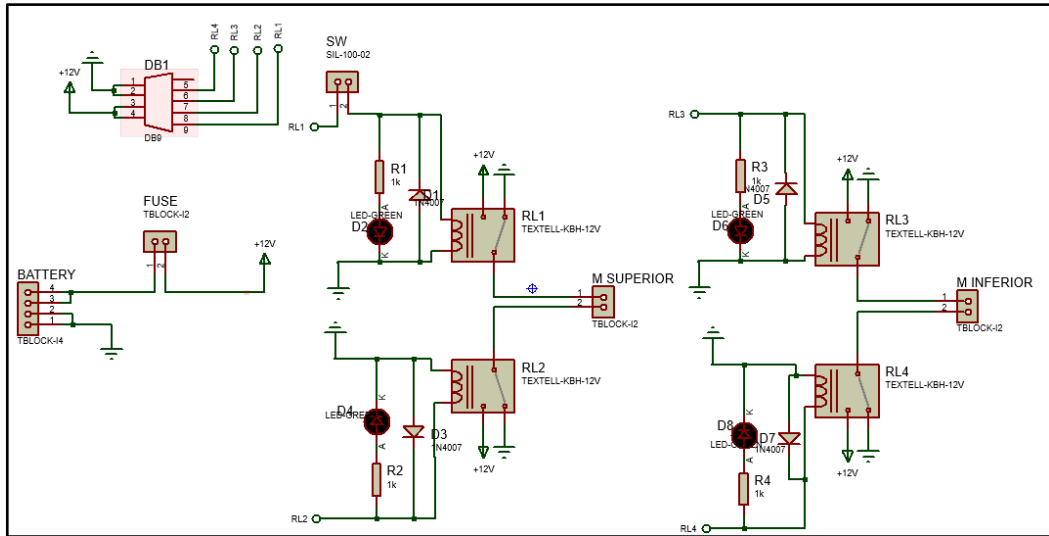
#### 3.12.2. Fabricación de PCB

La placa PCB (Printed Circuit Board) se ha diseñado en el software Proteus 8, esto permite una impresión más precisa de las conexiones a cada elemento electrónico. El ensamble de placa electrónica PCB tendrá un tiempo estimado de fabricación de 1 hora y en la siguiente tabla se muestra el conjunto de procedimientos para la preparación y montaje de la PCB.

**Tabla 21-3:** Descripción de la placa PCB

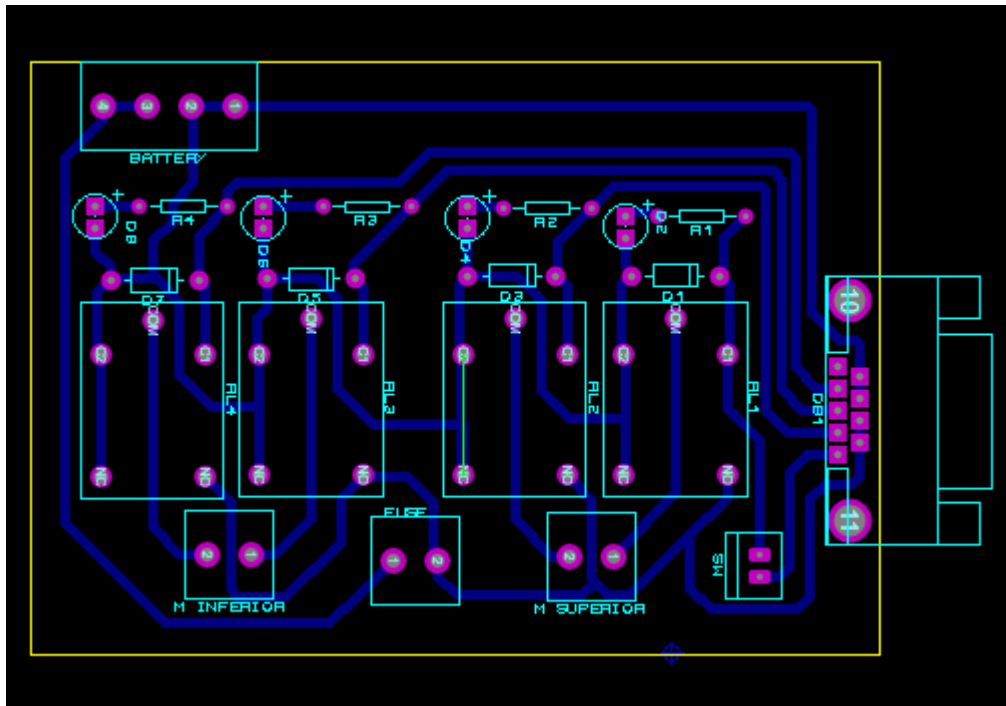
Paso	Proceso	Herramientas	Maquinaria	Tiempo (min)
1	Limpieza de placa PCB	<ul style="list-style-type: none"><li>Lija</li></ul>		10
2	Impresión del diseño en placa PCB	<ul style="list-style-type: none"><li>Papel especial</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Impresora</li><li>Sistema de transferencia de calor</li></ul>	5
3	Quemado del diseño en placa PCB	<ul style="list-style-type: none"><li>Cloruro férrico</li></ul>		15
4	Inspección			3
5	Perforación de cada agujero relacionado a la ubicación para los elementos electrónicos		<ul style="list-style-type: none"><li>Taladro de mano</li></ul>	13
6	Inspección y limpieza de rebabas	<ul style="list-style-type: none"><li>Lija</li><li>Cepillo</li></ul>		3
7	Ubicación de cada elemento electrónico	<ul style="list-style-type: none"><li>Pinzas</li></ul>		10
8	Soldadura de los elementos electrónicos a la placa PCB	<ul style="list-style-type: none"><li>Estaño</li><li>Pasta para soldar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Cautín</li></ul>	20
9	Inspección y limpieza de soldaduras	<ul style="list-style-type: none"><li>Cepillo</li><li>Alcohol</li></ul>		3
Tiempo en horas (ensamble)				82

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 63-3:** Diagrama del circuito PCB

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 64-3:** Diagrama de conexiones de la placa PCB

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 22-3:** Componentes integrados a la PCB

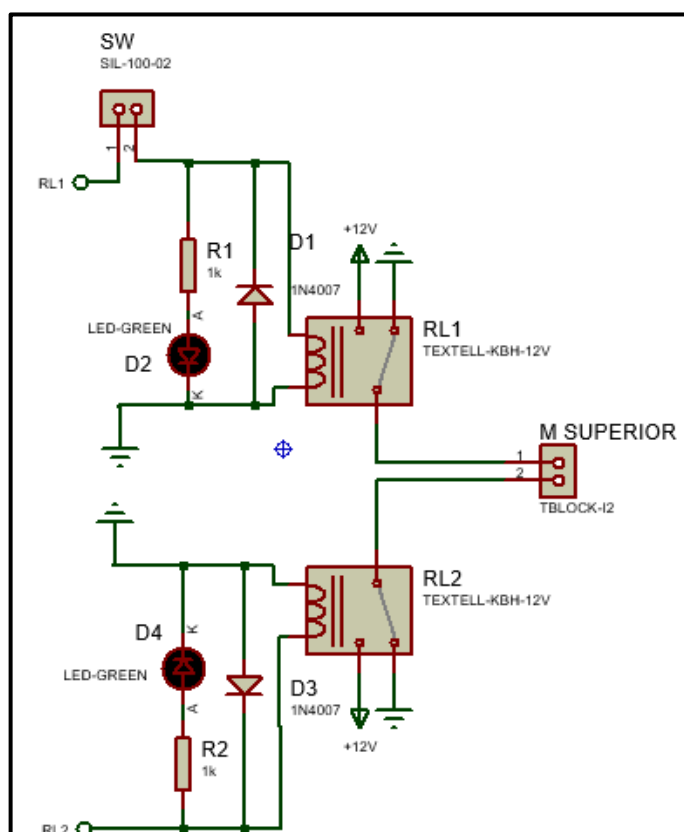
Elementos	Cantidad
Pulsadores TBLOCK-12	2
Sensor fin de carrera	1
Relés	4

Resistencia de 1000 ohm	4
Diodo rectificador 1N4007	2
Fusible	1
LEDS	4
Conector DB9	1
Borneras	5

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.12.3. Circuito de funcionamiento para el actuador del asiento - bastidor

El circuito de control del actuador es responsable de configurar la base del relé para recibir señales del sensor final de carrera y conectarla alternativamente para que se eleve o se contraiga en respuesta al comando del botón.

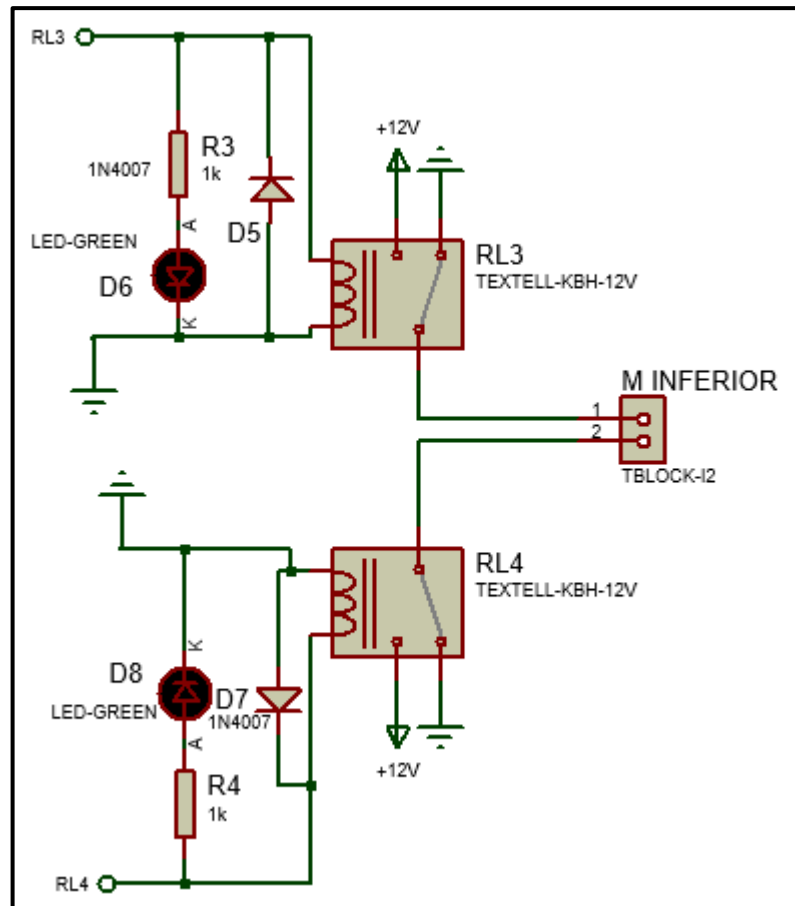


**Ilustración 65-3:** Diagrama de control para el actuador del asiento - bastidor

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.12.4. Circuito de funcionamiento para el actuador del espaldar

El circuito de control del actuador estará a cargo de una configuración basada en relés para que se eleve o se contraiga en respuesta al comando del botón.



**Ilustración 66-3:** Diagrama de control para el actuador del espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.13. Costos

Se realiza el análisis de costos con la finalidad de determinar la inversión del proyecto, para lo cual se divide en costos directos en indirectos, tanto para la construcción de la silla de ruedas postural-bipedestadora como así también para el sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla), detallados a continuación:

#### 3.12.1 Costos directos

Son todos los valores requeridos para la elaboración del proyecto, estos costos son de materiales, equipos y herramientas, mano de obra y costos de transporte.

## Materiales

**Tabla 23-3:** Costo de materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
1	Tubo redondo negro (D 7/8 in x 1.5 mm)	m	2	8,90	17,8
2	Tubo redondo negro (D 1 in x 1.5 mm)	m	2	9,5	19
3	Tubo rectangular negro (30 x 70 x 1.5 mm)	m	1	20,40	20,40
4	Tubo redondo negro (D 3/4 in x 1.5 mm)	m	2	7,05	7,05
5	Tubo cuadrado negro (40 x 1.5 mm)	m	1	18,10	18,10
6	Varilla redonda lisa D 5.5	m	1	1,50	1,50
7	Tubo redondo negro (D 2 in x 1.5 mm)	m	1	18,35	18,35
8	Platina (12 x 3 mm)	m	1	2,36	2,36
9	Platina (19 x 3 mm)	m	2	3,56	7,12
10	Perno de fijación con mariposa plástica	u	8	5	40
11	Perno M3x8 mm DIN 934-6.6	u	6	0,10	0,60
12	Perno M4x10 mm DIN 934-6.6	u	5	0,15	0,75
13	Perno M4x35 mm DIN 934-6.6	u	8	0,15	1,20
14	Perno M4x30 mm DIN 934-6.6	u	8	0,15	1,20
15	Perno M4x65 mm DIN 934-6.6	u	2	0,20	0,40
16	Perno M6x35 mm DIN 934-6.6	u	8	0,30	2,40
17	Perno M6x40 mm DIN 934-6.6	u	4	0,35	1,40
18	Perno M6x50 mm DIN 934-6.6	u	4	0,40	1,60
19	Perno M6x20 mm DIN 934-6.6	u	8	0,25	2,00
20	Perno M8x20 mm DIN 934-6.6	u	4	0,30	1,20
21	Tornillo de ajuste de perilla de mano M4x35 mm DIN 514	u	4	1,25	5,00

22	Tornillo de ajuste de perilla de mano M10x10 mm DIN 514	u	6	1,15	6,90
23	Actuador eléctrico 12 VDC, 1500 N, 200 mm	u	1	71,43	80,53
24	Actuador eléctrico 12 VDC, 1500 N, 300 mm	u	1	80,36	89,46
25	Ruedas neumáticas reforzada de 32 cm	u	2	8	16
26	Ruedas industriales con seguro	u	2	3,5	7
27	Arnés	u	1	60	60
28	Pintura	gal	1/4	30	30
29	Rodamiento 7204 BEP	u	4	2,88	11,52
30	Tapizado	u	17	8	136
31	Batería 12 v	u	1	35	35
				<b>Total</b>	<b>641,84</b>

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Mano de obra

Se calculó acorde a un tiempo estimado de construcción total de 5 días para los dos sistemas, considerando que trabajarán un técnico de taller y un ayudante.

**Tabla 24-3:** Costos de mano de obra

Ítem	Descripción	Cantidad	Horas-hombre	Costo x Hora (USD)	Subtotal (USD)
1	Técnico de taller	1	56	7,80	436
2	Ayudante	1	56	2,5	140
3	Eléctrico/Electrónico	1	24	7	168
				<b>Total</b>	<b>744</b>

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Equipos y herramientas

**Tabla 25-3:** Costos de equipos y herramientas

Ítem	Descripción	Horas - equipo	Costo x Hora (USD)	Subtotal (USD)
1	Soldadora de arco	10	5	50
2	Taladro de banco	3	3	9



3	Talado de mano	2	1,5	3
4	Dobladora de tubos manual	4	1,75	7
5	Pulidora	1	1,20	1,20
6	Amoladora	1	1,20	1,20
7	Esmeril	1	1,5	1,5
8	Compresor	5	1,5	7,5
9	Flexómetro	1	0,8	0,8
10	Herramientas menores			30
			<b>Total</b>	<b>111,20</b>

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Transporte

Incluye los gastos por transporte en la compra de material y accesorios, como también el transporte de la silla postural-bipedestadora y el sistema de rehabilitación hacia el lugar de pruebas y posteriormente a su destinatario final.

**Tabla 26-3:** Costo de transporte

Descripción	Subtotal (USD)
Transporte	100
<b>Total</b>	<b>100</b>

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.12.2. Costos indirectos

**Tabla 27-3:** Costos indirectos

Descripción	Costo x hora (USD)	Subtotal (USD)
Imprevistos	0	0
Gastos de Ingeniería	0	0
Utilidad	0	0
Otros	0	0
Total, costos indirectos	0	0

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 3.12.3. Costo total

**Tabla 28-3:** Costo total

<b>Descripción</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Costos directos	1596,9
Costos indirectos	0
<b>Costo total</b>	<b>1596,9</b>

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Validación en el software ANSYS 2023 R1

##### 4.1.1. Estructura del prototipo

###### 4.1.1.1. Preproceso

###### Geometría

La estructura de la silla bipedestadora se divide en tres partes principales y cada uno está sometida a la carga aplicadas por el actuador lineal en sus diferentes puntos de aplicaciones. Teniendo estas consideraciones para el análisis de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad para estas cargas específicas.



**Ilustración 1-4:** Geometría exportada a Ansys

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

###### Materiales

Los materiales que conforma la estructura de la silla bipedestadora tiene las siguientes propiedades mecánicas la cual es aplicada a cada una de las partes

**Tabla 1-4:** Propiedades del acero A 36

Material	Acero estructural	
Densidad	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Young	200000	MPa
Poisson	0,3	

<b>Resistencia a la tracción</b>	250	MPa
<b>Resistencia a compresión</b>	250	MPa
<b>Resistencia a ultima tracción</b>	460	MPa

Fuente: Budynas y Keith, 2011.

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 2-4:** Propiedades del acero inoxidable 304

Material	Acero estructural	
<b>Densidad</b>	7860	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Módulo de Young</b>	193000	MPa
<b>Poisson</b>	0,3	
<b>Resistencia a la tracción</b>	276	MPa
<b>Resistencia a compresión</b>	276	MPa
<b>Resistencia a ultima tracción</b>	568	MPa

Fuente: Budynas y Keith, 2011.

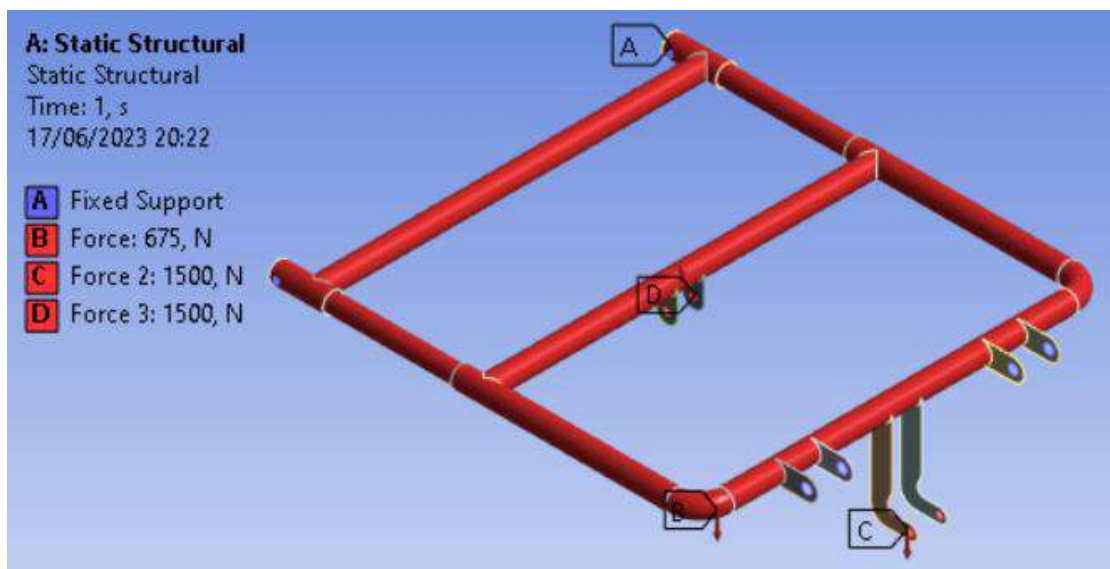
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

#### 4.1.2. Simulación de la estructura del asiento

##### 4.1.2.1. Preproceso

##### Fuerzas

La fuerza aplicada corresponde a la descomposición de la fuerza generada por los actuadores y la carga máxima de diseño. La fuerza de la carga máxima en el asiento es de 674,9 N.



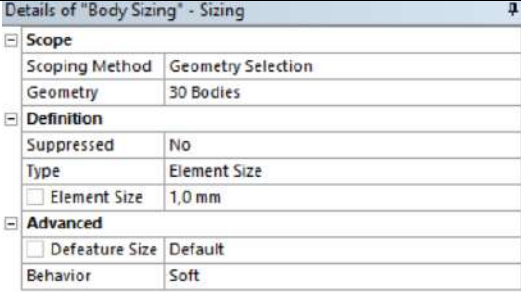
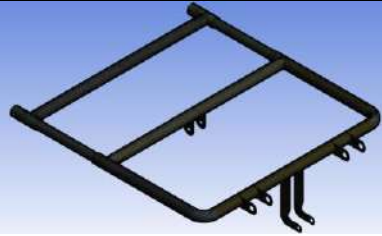
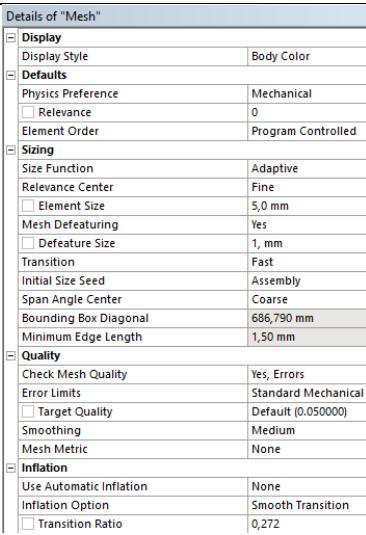
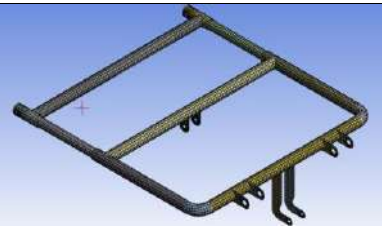
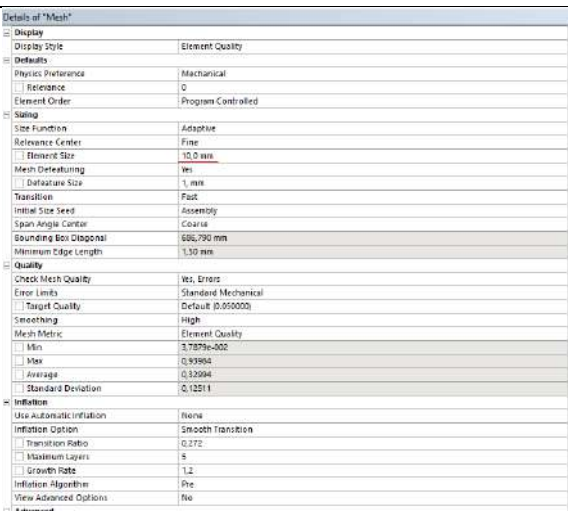
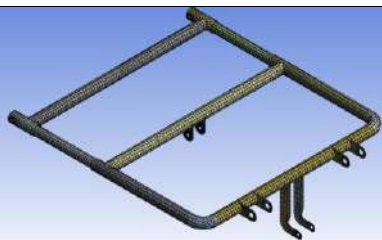
**Ilustración 2-4:** Fuerza aplicada al asiento en Ansys

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

4.1.2.2. Proceso

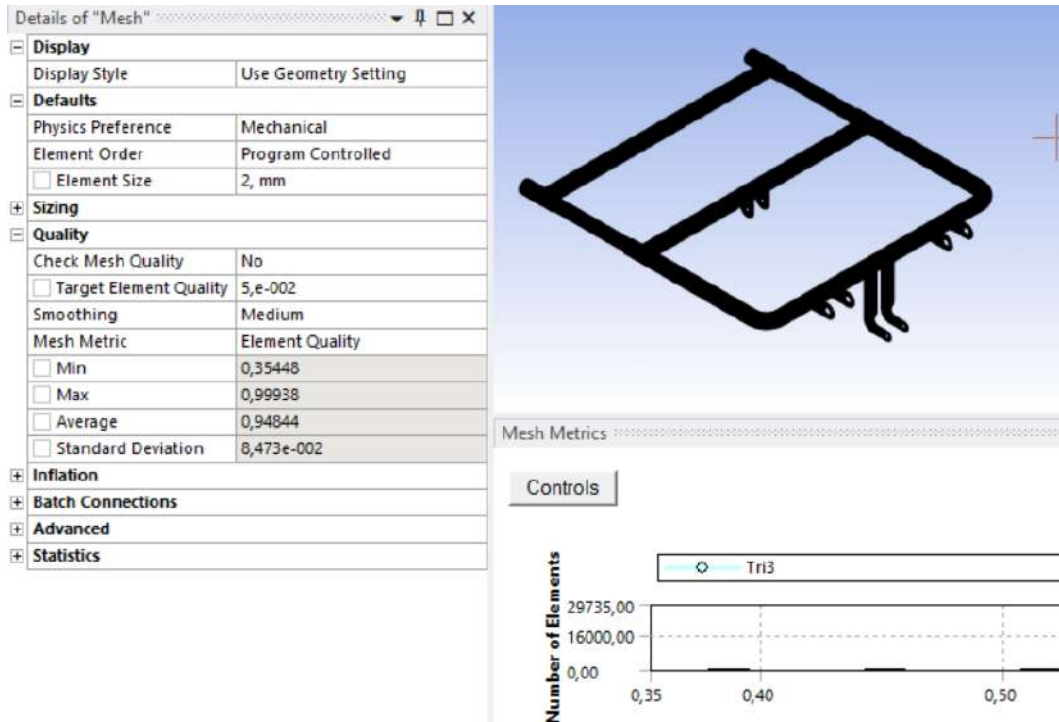
**Mallado**

**Tabla 3-4:** Tipos de mallados para la estructura del asiento

Calidad	Mallado	
1mm		
5mm		
10mm		

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## Calidad de malla



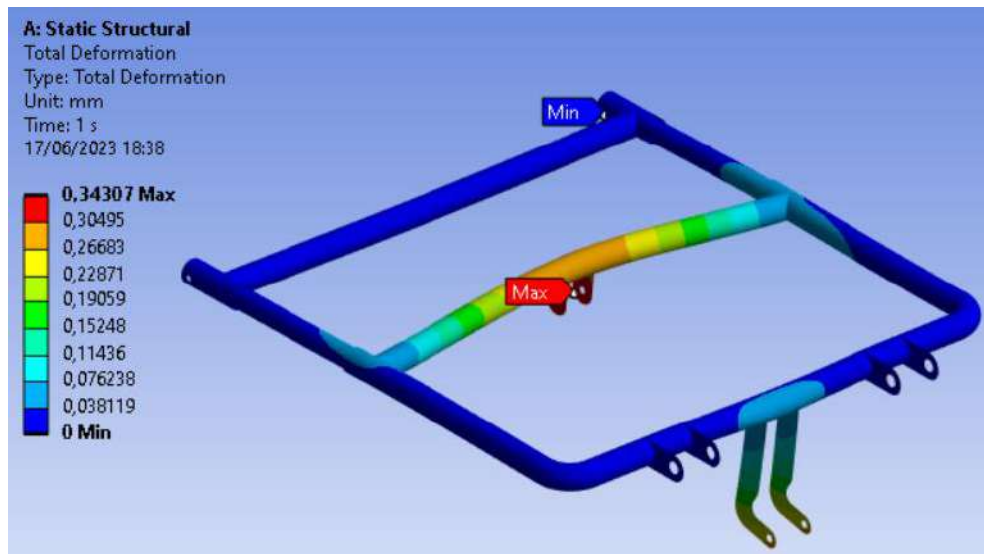
**Ilustración 3-4:** Calidad óptima de mallado para estructura del asiento

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 4.1.2.3. Postproceso

## Desplazamiento

Un desplazamiento máximo de 0,34 mm en el punto donde la fuerza máxima está siendo aplicada como estado crítico de la simulación estática.

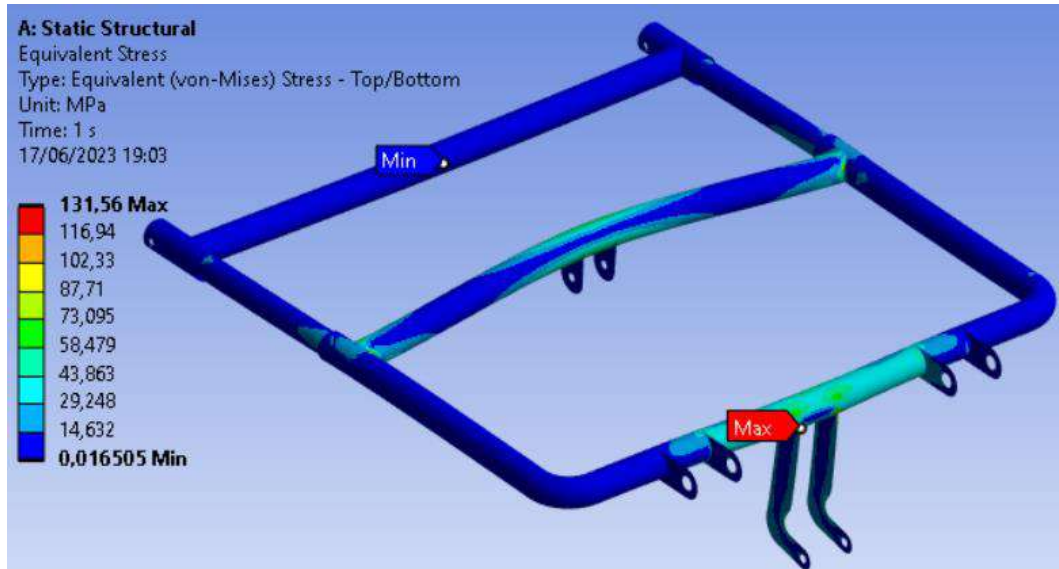


**Ilustración 4-4:** Análisis de las deformaciones resultantes en el asiento en Ansys

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## Esfuerzo

Para los resultados de esfuerzos en la estructura de la silla se observa que el máximo esfuerzo tiene un valor de 131,56 MPa, pero el área de este esfuerzo es demasiado pequeña en comparación con las demás áreas donde se producen esfuerzos.

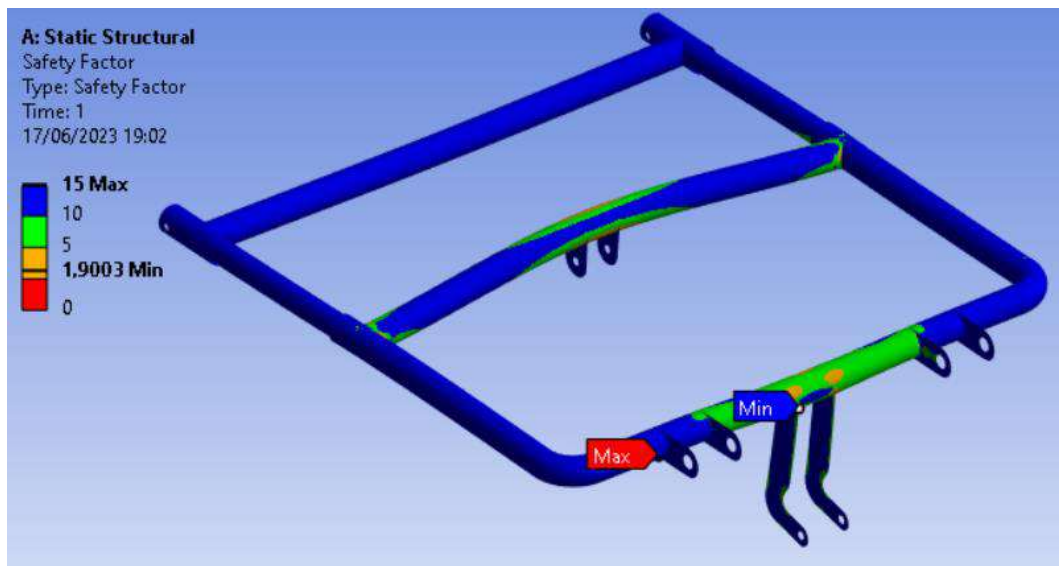


**Ilustración 4-5:** Esfuerzos resultantes en la estructura del asiento en Ansys

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## Factor de seguridad

Para el último análisis de la estructura de la silla se analizará el factor de seguridad en los puntos de interés. En este caso el factor de seguridad en zona crítica es de 1,9 y el máximo valor es de 15 lo cual nos da la seguridad de necesaria para las fuerzas expuestas dentro del análisis.



**Ilustración 6-4:** Factor de seguridad resultante en la estructura del asiento

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

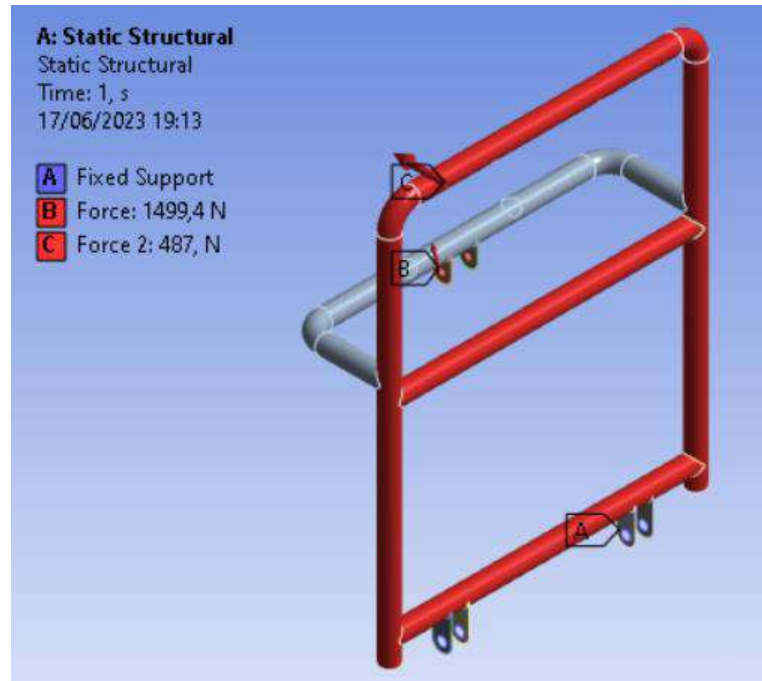
### 4.1.3. Simulación estructura espaldar

#### 4.1.3.1. Preproceso

##### Calidad de malla

##### Fuerzas

Se aplica las cargas establecidas en el análisis del prototipo.



**Ilustración 7-4:** Condiciones en el espaldar para simulación en Ansys

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

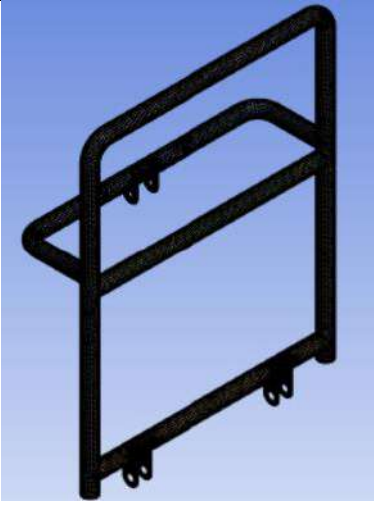

#### 4.1.3.2. Proceso

##### Mallado

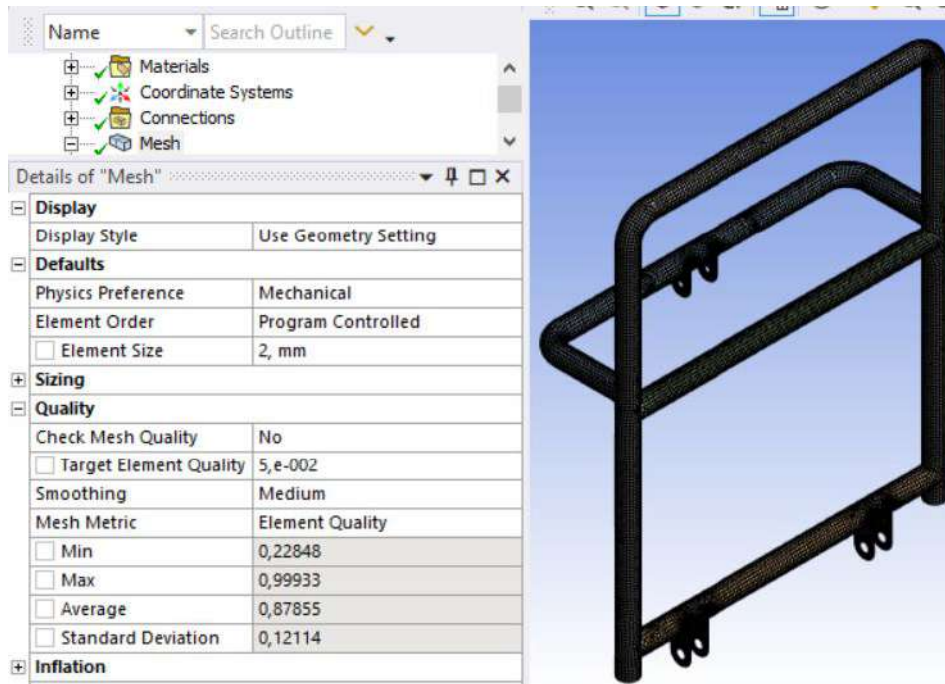
**Tabla 4-4:** Tipos de mallado para la estructura del espaldar

Calidad	Mallado																																		
1 mm	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">[-] Display</td> </tr> <tr> <td>Display Style</td> <td>Body Color</td> </tr> <tr> <td colspan="2">[-] Defaults</td> </tr> <tr> <td>Physics Preference</td> <td>Mechanical</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Relevance</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Element Order</td> <td>Program Controlled</td> </tr> <tr> <td colspan="2">[-] Sizing</td> </tr> <tr> <td>Size Function</td> <td>Adaptive</td> </tr> <tr> <td>Relevance Center</td> <td>Coarse</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <td><input checked="" type="checkbox"/> Element Size</td> <td>1,0 mm</td> </tr> <tr> <td>Mesh Defeaturing</td> <td>Yes</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Defeature Size</td> <td>Default</td> </tr> <tr> <td>Transition</td> <td>Fast</td> </tr> <tr> <td>Initial Size Seed</td> <td>Assembly</td> </tr> <tr> <td>Span Angle Center</td> <td>Coarse</td> </tr> <tr> <td>Roundoff Box Diagonal</td> <td>685,20 mm</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="flex: 1; text-align: center;"> </div> </div>	Details of "Mesh"		[-] Display		Display Style	Body Color	[-] Defaults		Physics Preference	Mechanical	<input type="checkbox"/> Relevance	0	Element Order	Program Controlled	[-] Sizing		Size Function	Adaptive	Relevance Center	Coarse	<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	1,0 mm	Mesh Defeaturing	Yes	<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default	Transition	Fast	Initial Size Seed	Assembly	Span Angle Center	Coarse	Roundoff Box Diagonal	685,20 mm
Details of "Mesh"																																			
[-] Display																																			
Display Style	Body Color																																		
[-] Defaults																																			
Physics Preference	Mechanical																																		
<input type="checkbox"/> Relevance	0																																		
Element Order	Program Controlled																																		
[-] Sizing																																			
Size Function	Adaptive																																		
Relevance Center	Coarse																																		
<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	1,0 mm																																		
Mesh Defeaturing	Yes																																		
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default																																		
Transition	Fast																																		
Initial Size Seed	Assembly																																		
Span Angle Center	Coarse																																		
Roundoff Box Diagonal	685,20 mm																																		



5mm	<p>Details of "Mesh"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>[-] Display             <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Display Style</td> <td>Body Color</td> </tr> </table> </li> <li>[-] Defaults             <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Physics Preference</td> <td>Mechanical</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Relevance</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Element Order</td> <td>Program Controlled</td> </tr> </table> </li> <li>[-] Sizing             <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Size Function</td> <td>Adaptive</td> </tr> <tr> <td>Relevance Center</td> <td>Coarse</td> </tr> <tr style="background-color: #e0f0ff;"> <td><input checked="" type="checkbox"/> Element Size</td> <td>5,0 mm</td> </tr> <tr> <td>Mesh Defeaturing</td> <td>Yes</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Defeature Size</td> <td>Default</td> </tr> <tr> <td>Transition</td> <td>Fast</td> </tr> <tr> <td>Initial Size Seed</td> <td>Assembly</td> </tr> <tr> <td>Span Angle Center</td> <td>Coarse</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <td>Bounding Box Diagonal</td> <td>685,20 mm</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <td>Minimum Edge Length</td> <td>0,38750 mm</td> </tr> </table> </li> <li>[+] Quality</li> <li>[+] Inflation</li> <li>[+] Advanced</li> </ul>	Display Style	Body Color	Physics Preference	Mechanical	<input type="checkbox"/> Relevance	0	Element Order	Program Controlled	Size Function	Adaptive	Relevance Center	Coarse	<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	5,0 mm	Mesh Defeaturing	Yes	<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default	Transition	Fast	Initial Size Seed	Assembly	Span Angle Center	Coarse	Bounding Box Diagonal	685,20 mm	Minimum Edge Length	0,38750 mm	
Display Style	Body Color																													
Physics Preference	Mechanical																													
<input type="checkbox"/> Relevance	0																													
Element Order	Program Controlled																													
Size Function	Adaptive																													
Relevance Center	Coarse																													
<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	5,0 mm																													
Mesh Defeaturing	Yes																													
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default																													
Transition	Fast																													
Initial Size Seed	Assembly																													
Span Angle Center	Coarse																													
Bounding Box Diagonal	685,20 mm																													
Minimum Edge Length	0,38750 mm																													
10mm	<p>Details of "Mesh"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>[-] Display             <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Display Style</td> <td>Body Color</td> </tr> </table> </li> <li>[-] Defaults             <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Physics Preference</td> <td>Mechanical</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Relevance</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Element Order</td> <td>Program Controlled</td> </tr> </table> </li> <li>[-] Sizing             <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Size Function</td> <td>Adaptive</td> </tr> <tr> <td>Relevance Center</td> <td>Coarse</td> </tr> <tr style="background-color: #e0f0ff;"> <td><input type="checkbox"/> Element Size</td> <td>10,0 mm</td> </tr> <tr> <td>Mesh Defeaturing</td> <td>Yes</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Defeature Size</td> <td>Default</td> </tr> <tr> <td>Transition</td> <td>Fast</td> </tr> <tr> <td>Initial Size Seed</td> <td>Assembly</td> </tr> <tr> <td>Span Angle Center</td> <td>Coarse</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <td>Bounding Box Diagonal</td> <td>685,20 mm</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <td>Minimum Edge Length</td> <td>0,38750 mm</td> </tr> </table> </li> <li>[+] Quality</li> <li>[+] Inflation</li> <li>[+] Advanced</li> </ul>	Display Style	Body Color	Physics Preference	Mechanical	<input type="checkbox"/> Relevance	0	Element Order	Program Controlled	Size Function	Adaptive	Relevance Center	Coarse	<input type="checkbox"/> Element Size	10,0 mm	Mesh Defeaturing	Yes	<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default	Transition	Fast	Initial Size Seed	Assembly	Span Angle Center	Coarse	Bounding Box Diagonal	685,20 mm	Minimum Edge Length	0,38750 mm	
Display Style	Body Color																													
Physics Preference	Mechanical																													
<input type="checkbox"/> Relevance	0																													
Element Order	Program Controlled																													
Size Function	Adaptive																													
Relevance Center	Coarse																													
<input type="checkbox"/> Element Size	10,0 mm																													
Mesh Defeaturing	Yes																													
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default																													
Transition	Fast																													
Initial Size Seed	Assembly																													
Span Angle Center	Coarse																													
Bounding Box Diagonal	685,20 mm																													
Minimum Edge Length	0,38750 mm																													

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



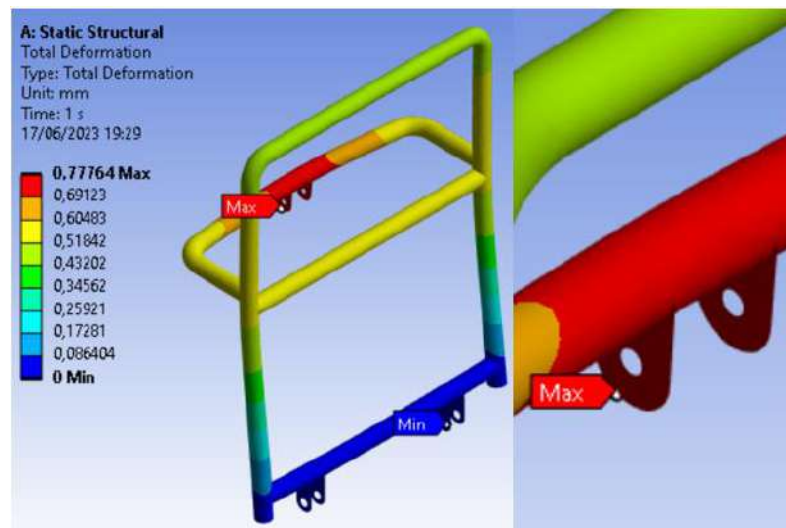
**Ilustración 8-4:** Calidad de malla óptima para la estructura del espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

#### 4.1.3.3. Postproceso

#### Desplazamiento

Para el estado de deformaciones de la parte de la estructura del espaldar se analizó tomando en cuenta la fuerza y el ángulo de aplicación promedio en la posición vertical, con estas consideraciones se obtuvo los siguientes resultados.

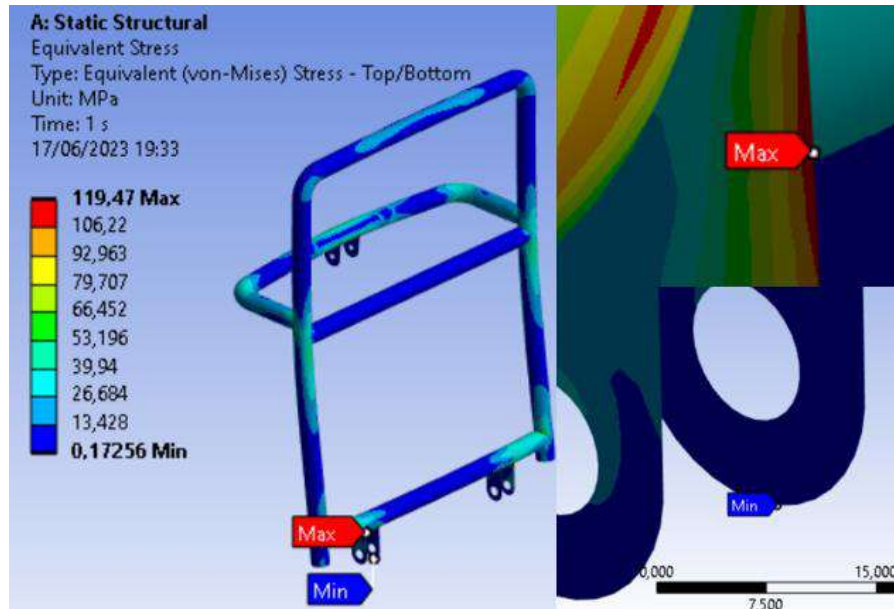


**Ilustración 9-4:** Deformaciones resultantes en la estructura del espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## Esfuerzo

De la misma forma los esfuerzos producidos por la fuerza máxima en las orejas de anclaje del actuador son bajos, como observación el esfuerzo máximo se observa en áreas demasiado pequeñas, en los puntos de unión de las piezas con un valor de 119,47 MPa, lo cual no afecta el estudio estático.

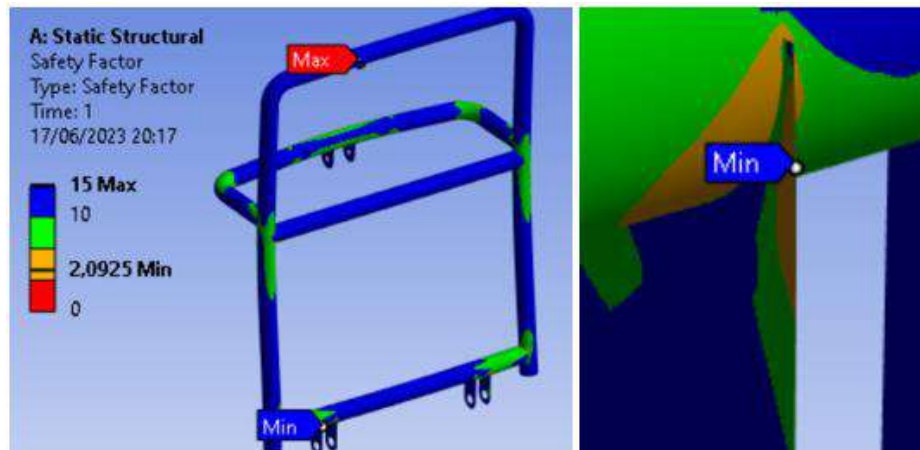


**Ilustración 10-4:** Esfuerzos resultantes en la estructura del espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## Factor de seguridad

Como se logra apreciar el factor de seguridad mínimo es de 2,09 y resulta en las orejas de acople entre asiento bastidor.



**Ilustración 11-4:** Factor de seguridad en el espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

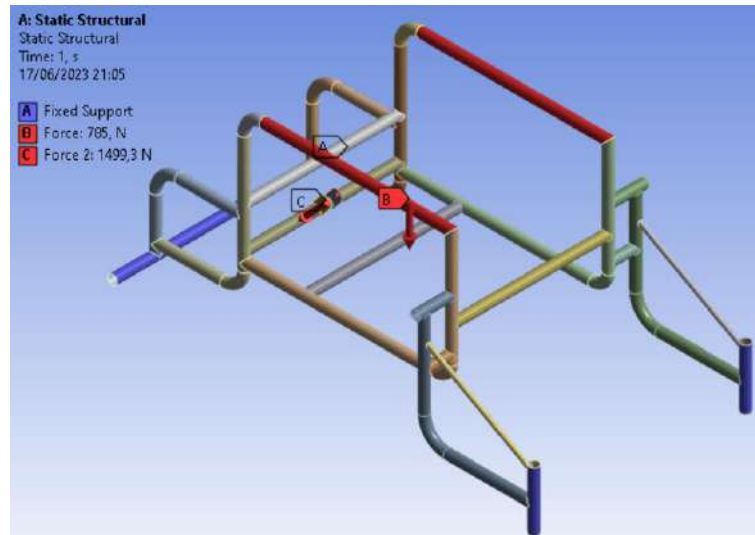
#### 4.1.4. Simulación de estructura del bastidor

##### 4.1.4.1. Preproceso

##### Calidad de malla

##### Fuerzas

Se aplica las cargas establecidas en el análisis del prototipo.



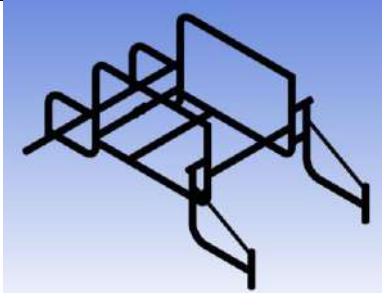
**Ilustración 12-4:** Análisis de condiciones para el bastidor

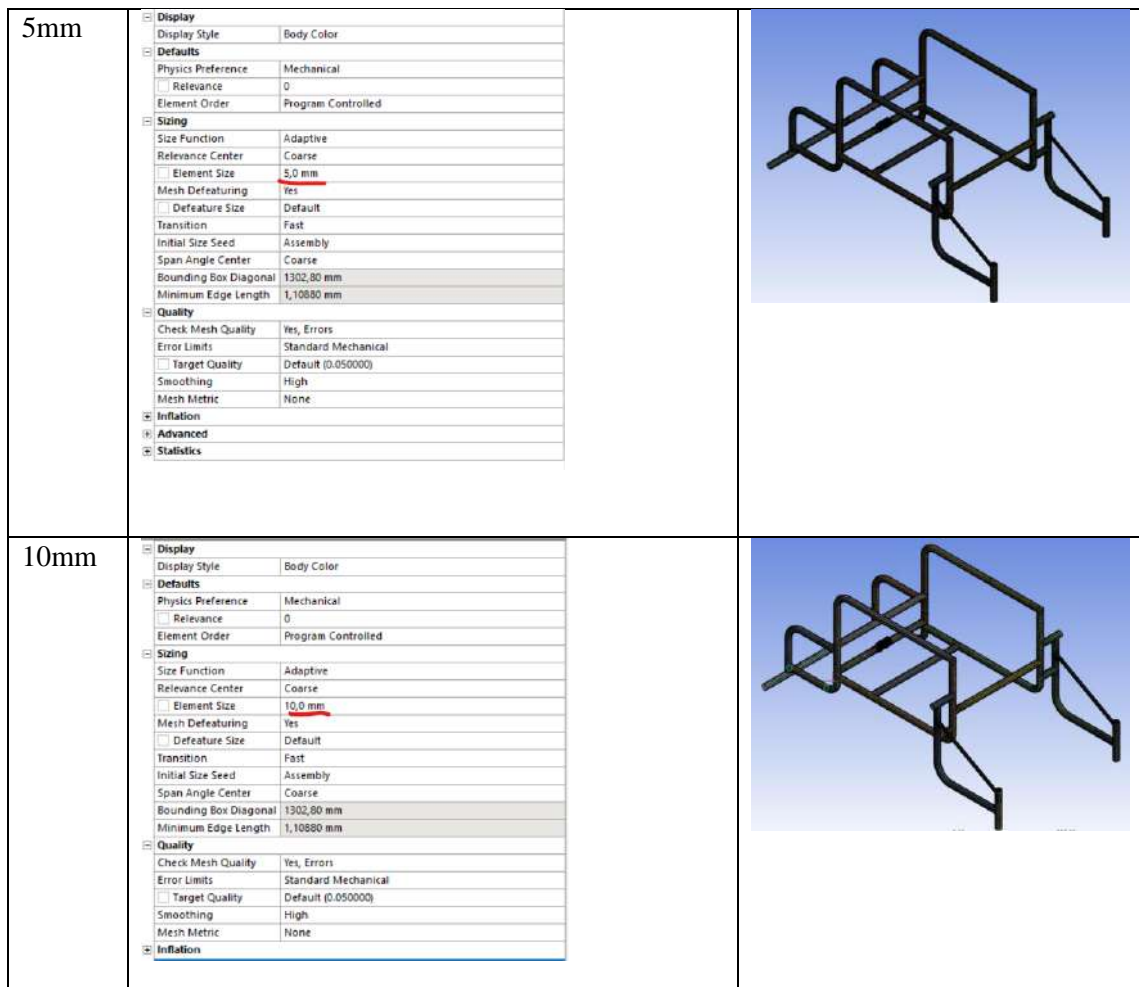
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

##### 4.1.4.2. Proceso

##### Mallado

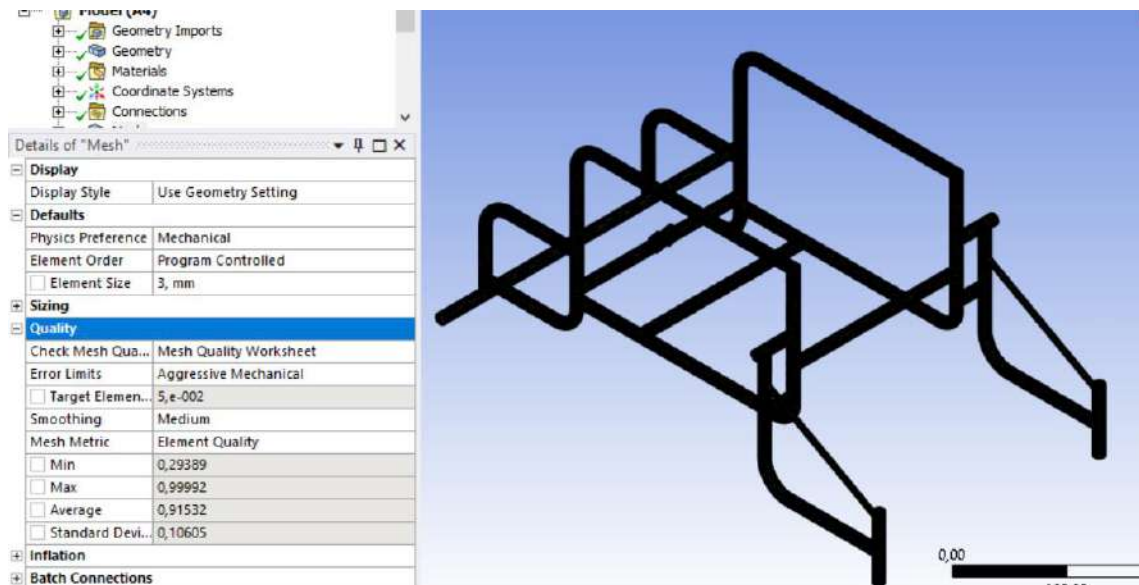
**Tabla 5-4:** Tipos de mallado para la estructura del bastidor

Calidad	Mallado
1mm	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p>Details of "Mesh"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>[-] Display           <ul style="list-style-type: none"> <li>Display Style: Body Color</li> </ul> </li> <li>[-] Defaults           <ul style="list-style-type: none"> <li>Physics Preference: Mechanical</li> <li>Relevance: <input type="checkbox"/> 0</li> <li>Element Order: Program Controlled</li> </ul> </li> <li>[-] Sizing           <ul style="list-style-type: none"> <li>Size Function: Adaptive</li> <li>Relevance Center: Coarse</li> <li><b>Element Size: 1,0 mm</b></li> <li>Mesh Defeatureing: Yes               <ul style="list-style-type: none"> <li>Defeature Size: Default</li> </ul> </li> <li>Transition: Fast</li> <li>Initial Size Seed: Assembly</li> <li>Span Angle Center: Coarse</li> <li>Bounding Box Diagonal: 1302,80 mm</li> <li>Minimum Edge Length: 1,10880 mm</li> </ul> </li> <li>[+] Quality</li> <li>[+] Inflation</li> <li>[+] Advanced</li> </ul> </div> <div style="flex: 1; text-align: center;">  </div> </div>



Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Calidad de malla



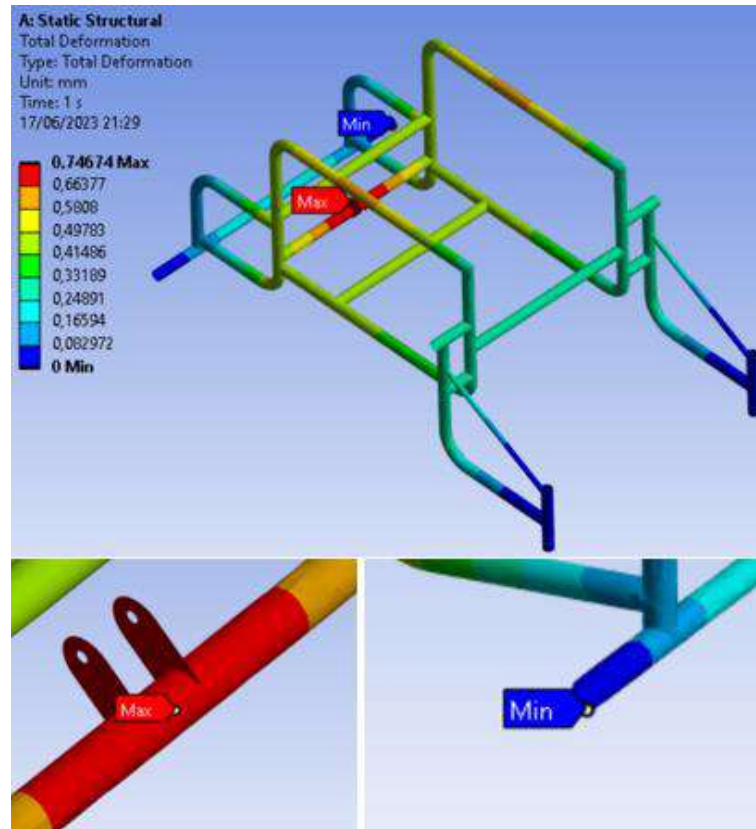
**Ilustración 13-4:** Calidad de malla óptima para el bastidor

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

#### 4.1.4.3. Postproceso

### Desplazamiento

Para la estructura de soporte inferior se aplica de la misma forma la fuerza promedio de carga máxima aplicada en ese punto, pero con el ángulo de dirección del actuador dado como dato anteriormente y se puede observar que la deformación máxima que sufre la estructura se encuentra localizada en el punto crítico con un valor de 0,74 mm de deformación total.

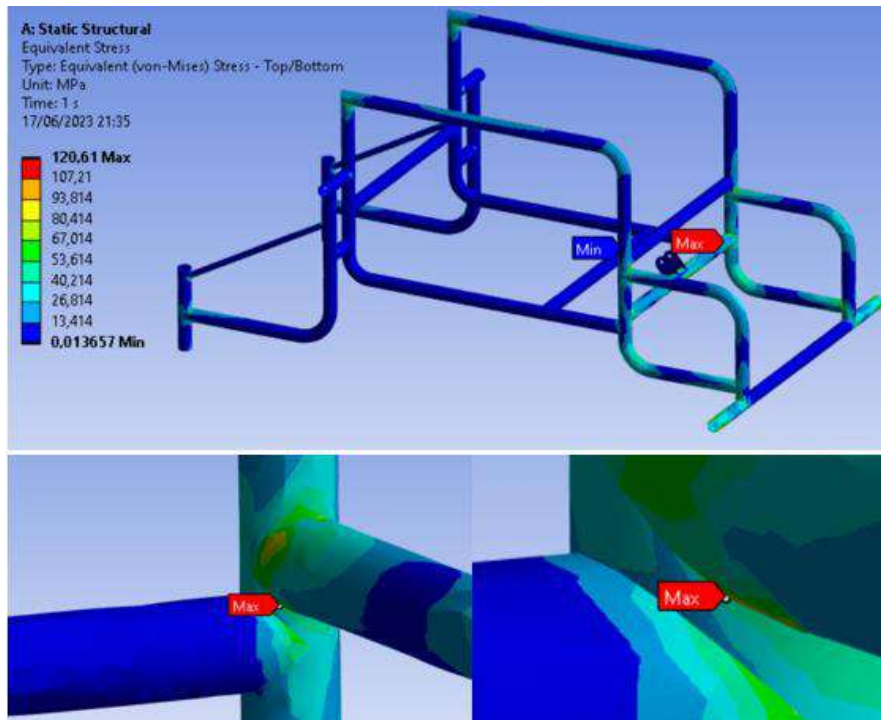


**Ilustración 14-4:** Desplazamientos resultantes en el bastidor

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Esfuerzo

Se observa que en el punto crítico de análisis el esfuerzo máximo es de 120,61 MPa localizado en el tubo base que sirve de soporte para el actuador, el cual es un esfuerzo controlado en la conformación y estabilidad de la estructura.

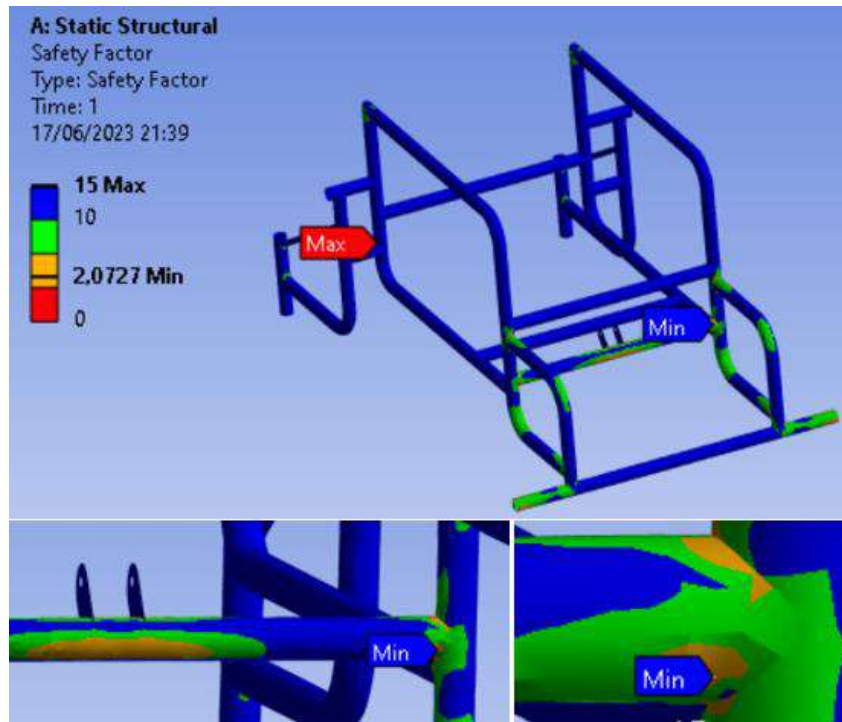


**Ilustración 15-4:** Esfuerzos resultantes de Ansys del bastidor

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Factor de seguridad

Para esta estructura el valor mínimo del factor de seguridad es de 1,72 en áreas muy pequeñas dentro de la estructura esto se da en las partes de unión, pero es demasiada pequeña que no afecta el análisis estructural. Por otro lado, en el punto crítico de aplicación de fuerzas el factor de seguridad es de 2,55 lo cual es un valor razonable dentro de los límites de diseño.

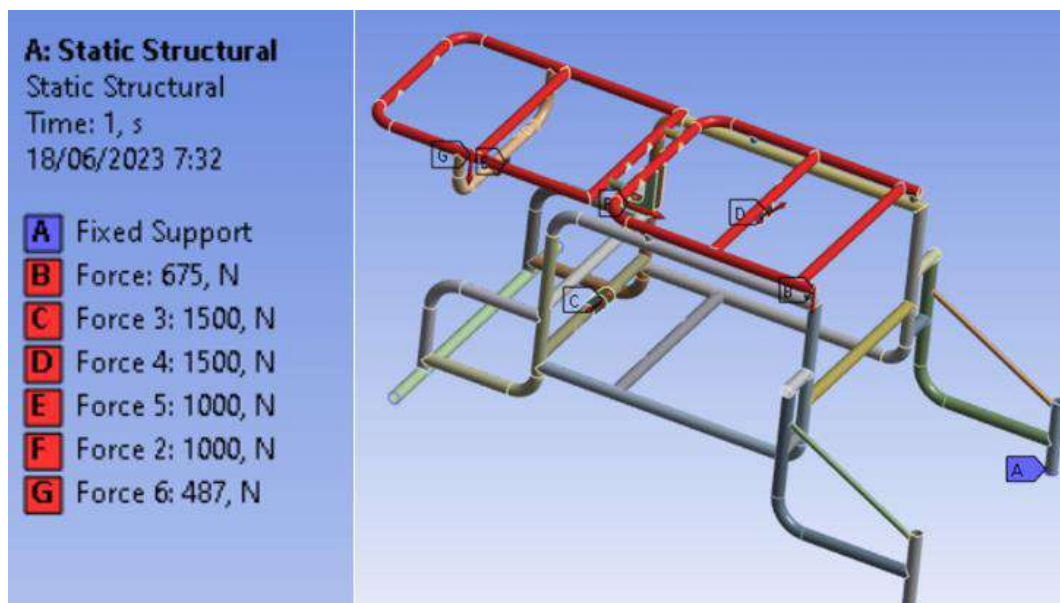


**Ilustración 16-4:** Factor de seguridad en el bastidor

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

#### 4.1.5. Factor de seguridad global de la estructura

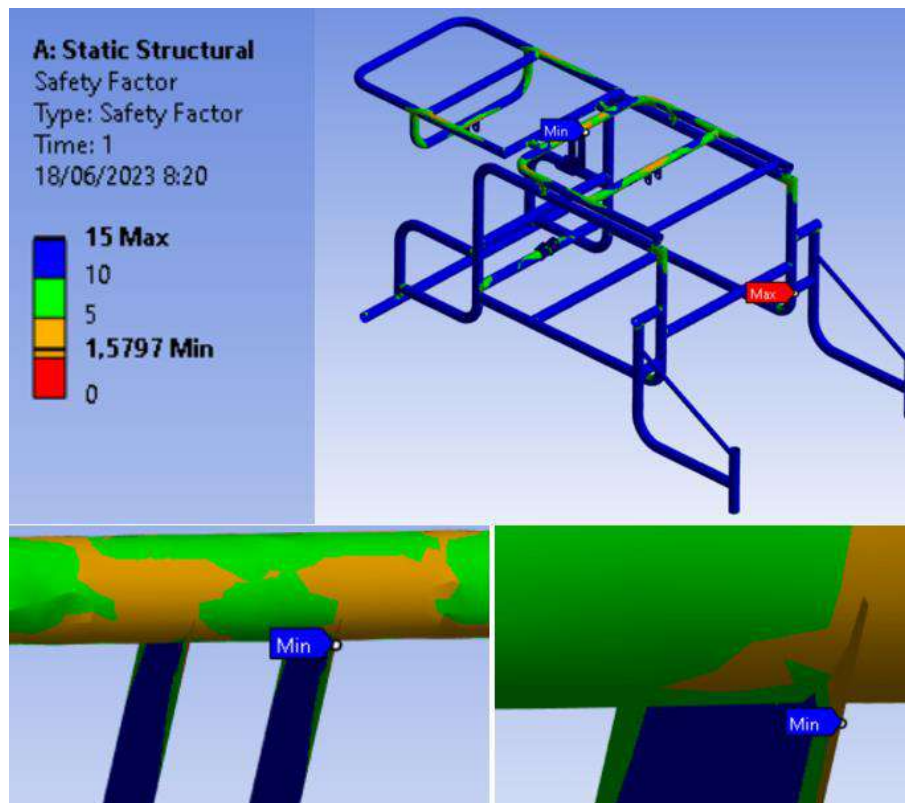
##### Fuerzas



**Ilustración 17-4:** Análisis de condiciones para el bastidor

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.





**Ilustración 18-4:** Factor de seguridad global de la estructura

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

## 4.2. Validación en software MSC ADAMS

### 4.2.1. Estructura



**Ilustración 19-4:** Silla bipedestadora de análisis en ADAMS

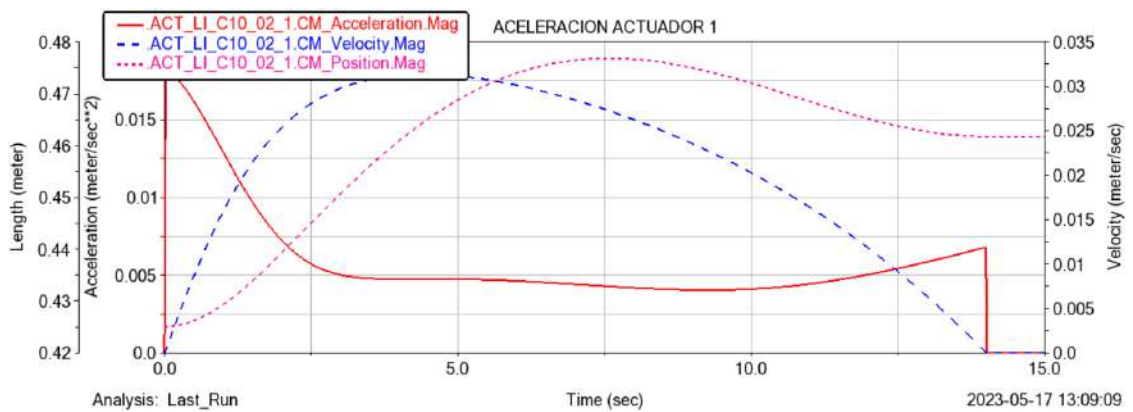
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

#### 4.2.2. Comportamiento del actuador ubicado en el espaldar



**Ilustración 20-4:** Análisis de la posición camilla en Adams

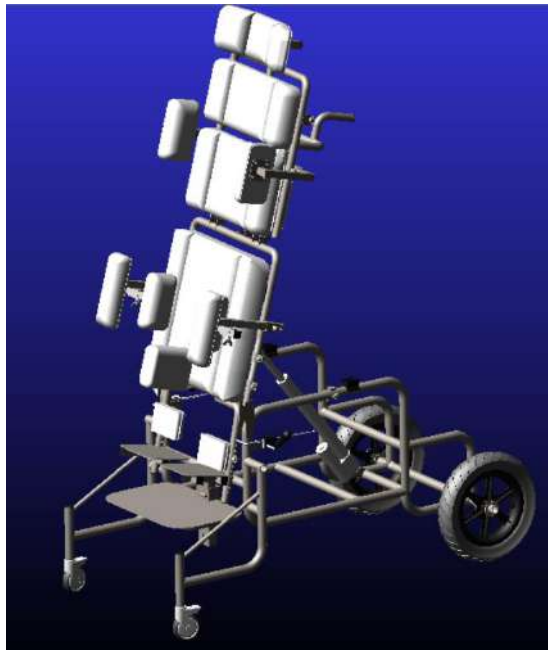
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 21-4:** Gráfica de posición, velocidad y aceleración del actuador lineal del espaldar

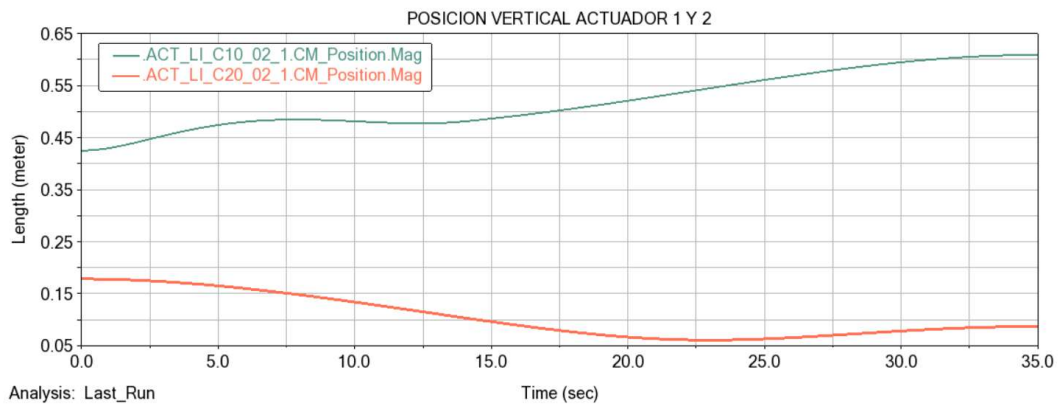
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 4.2.3. Comportamiento de los actuadores en bipedestación



**Ilustración 22-4:** Análisis de bipedestación en Adams

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



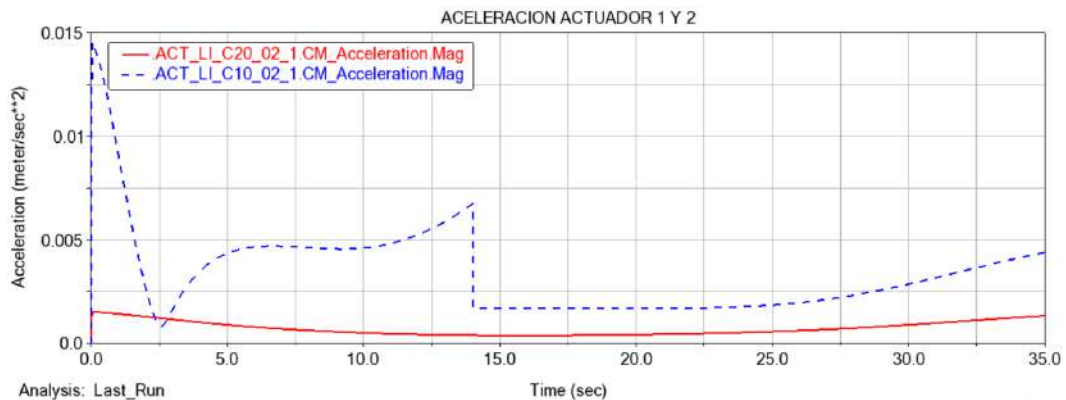
**Ilustración 23-4:** Gráfica de posición de los actuadores en bipedestación

**Realizado por:** Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 24-4:** Gráfica de velocidad de los actuadores en bipedestación

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 25-4:** Gráfica de aceleración de los actuadores en bipedestación

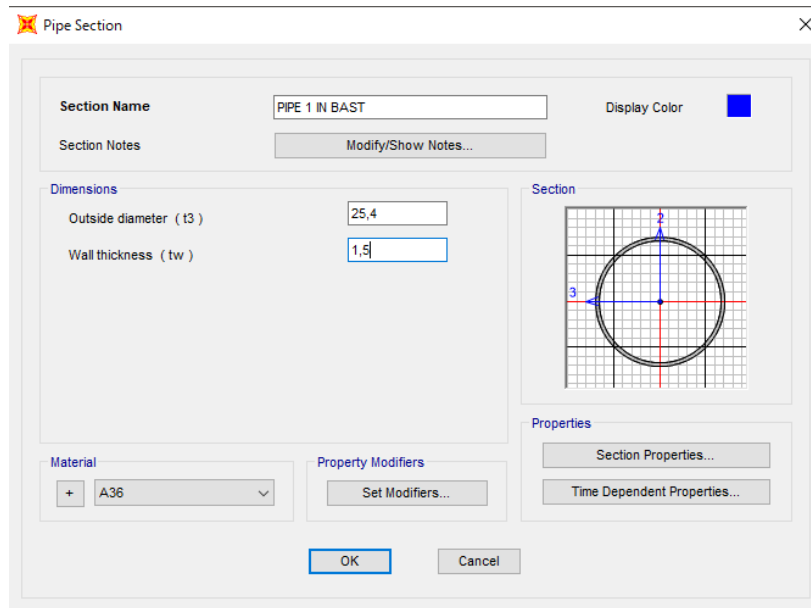
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 4.3. Validación en software SAP 2000

Se realiza el análisis en el estado más crítico, siendo este la posición de camilla, ya que es donde más esfuerzo se genera por soportar un porcentaje elevado en la distribución del cuerpo del paciente.

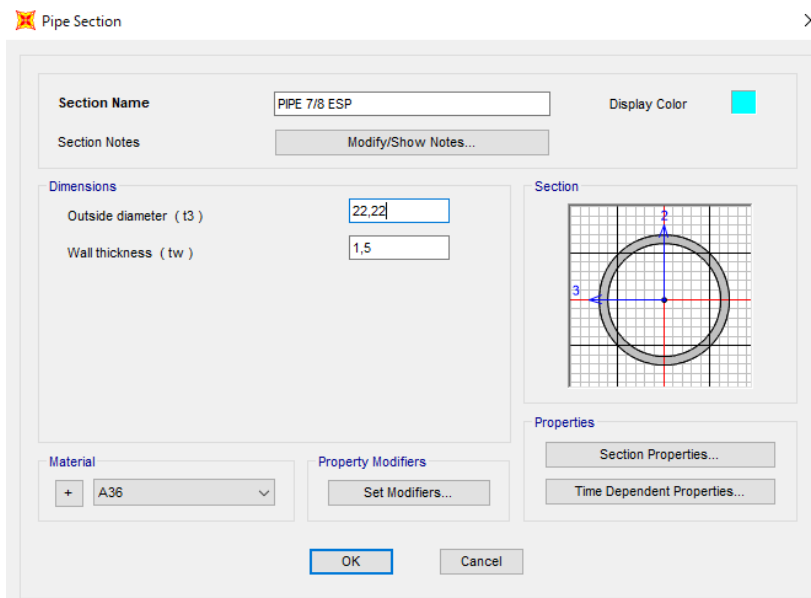
#### 4.3.1. Aplicación de secciones

Según el diseño mecánico se seleccionó el tubo circular de 1 pulgada (25,4 mm) para el bastidor y 7/8 de pulgada (22,22 mm) para asiento espaldar y reposapiés, teniendo un espesor de 1,5 mm y el material a definir. Se ingresa las dimensiones en la ventana *Section properties* de la interfaz de SAP 2000.



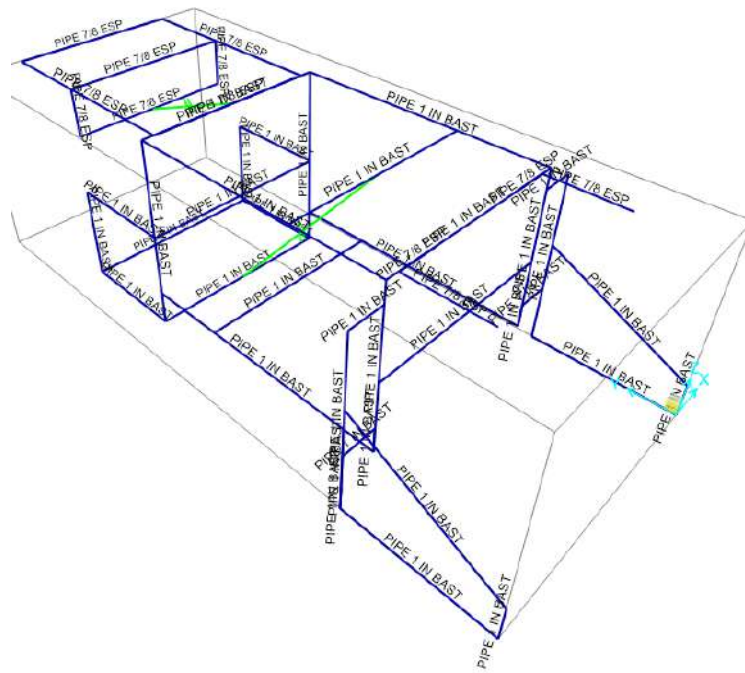
**Ilustración 26-4:** Propiedades de la tubería de 1 in

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 27-4:** Propiedades de la tubería de 7/8 in

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

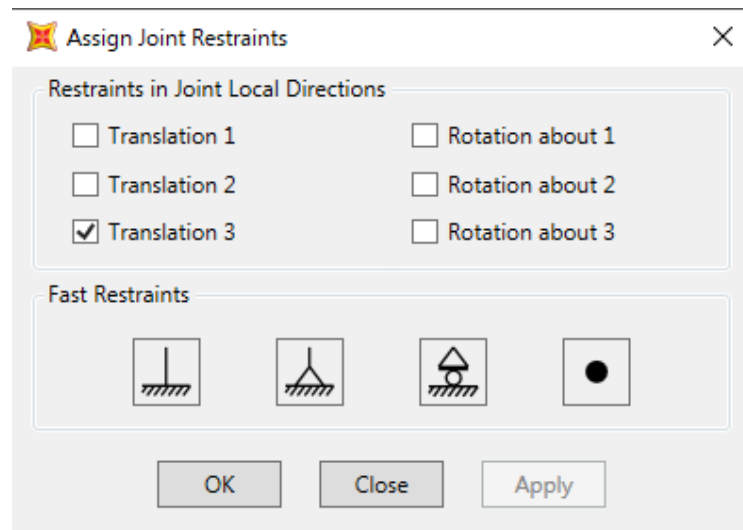


**Ilustración 28-4:** Perfil de tubería aplicado

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

#### 4.3.2. Restricciones

Las restricciones nos permiten simular el comportamiento real del mecanismo. Al estar apoyado sobre un conjunto de ruedas, la manera correcta es considerar la estructura como una viga simplemente apoyada siguiendo las características mostradas:



**Ilustración 29-4:** Restricción SAP 2000

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Al estar soportada en la parte delantera como trasera por ruedas, se restringe únicamente el desplazamiento en el eje gravitacional debido a la presencia de las ruedas, pero se deja en libertad la traslación 1, 2 y la rotación 1, 2 y 3.

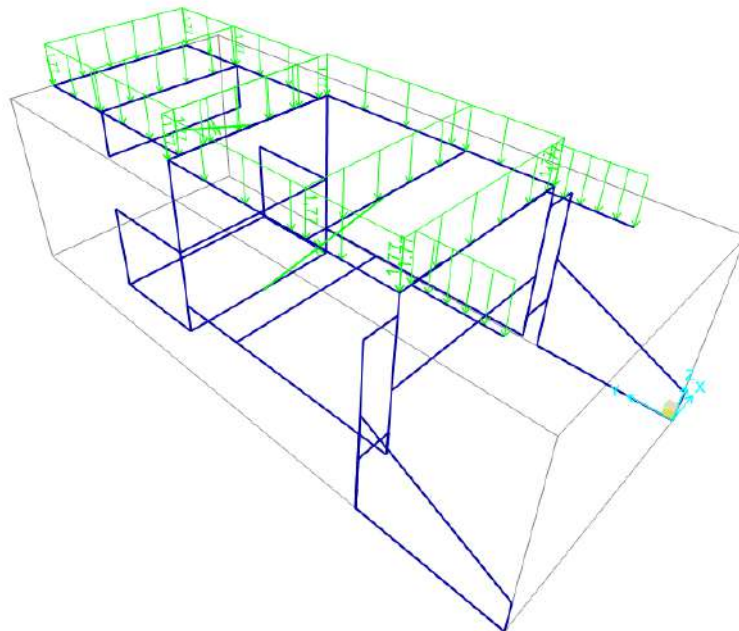
#### 4.3.3. Definición de cargas

Para el prediseño de los elementos estructurales aplicamos la norma AISC 360-10 y tomando en cuenta las cargas vivas y muertas, siendo la carga muerta es el peso propio de la estructura, mientras la carga viva es la carga máxima.

##### 4.3.3.1. Carga muerta

La carga muerta resulta del peso propio de la estructura de la silla y sus componentes adicionales, como tapizados, apoyos laterales, reposabrazos, entre otros. Por lo que resulta un total de 1,77 kg/cm.

Definida la carga muerta, ingresamos como carga distribuida:



**Ilustración 30-4:** Carga muerta aplicada a la estructura

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

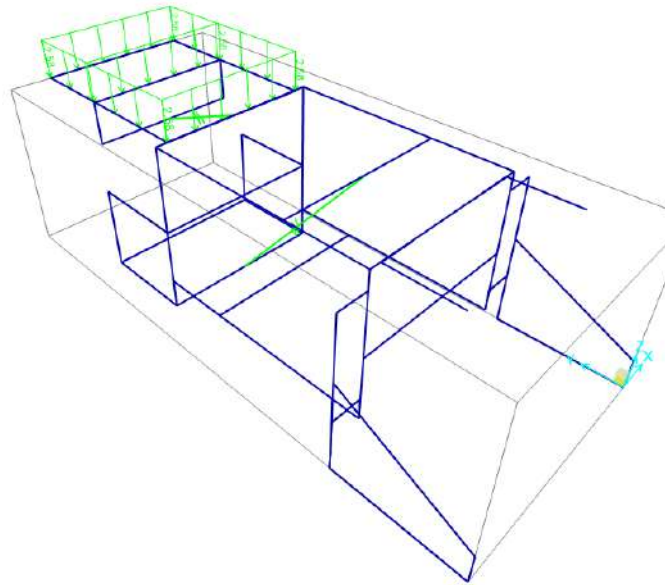
##### 4.3.3.2. Carga viva

Se realiza la determinación de la carga viva, teniendo en cuenta el peso máximo de la silla de ruedas postural bipedestadora, como se muestra en la Ilustración 43-3, se debe realizar la carga viva por secciones.

##### **Espaldar**

De acuerdo al peso corporal por secciones, para la carga máxima en el espaldar el valor es de 49,6 kg, este valor dividido para la longitud total del perfil respecto a esta sección nos da como resultado una carga viva en el espaldar de 2,58 kg/cm.

Definida la carga viva, ingresamos como carga distribuida en los perfiles del espaldar



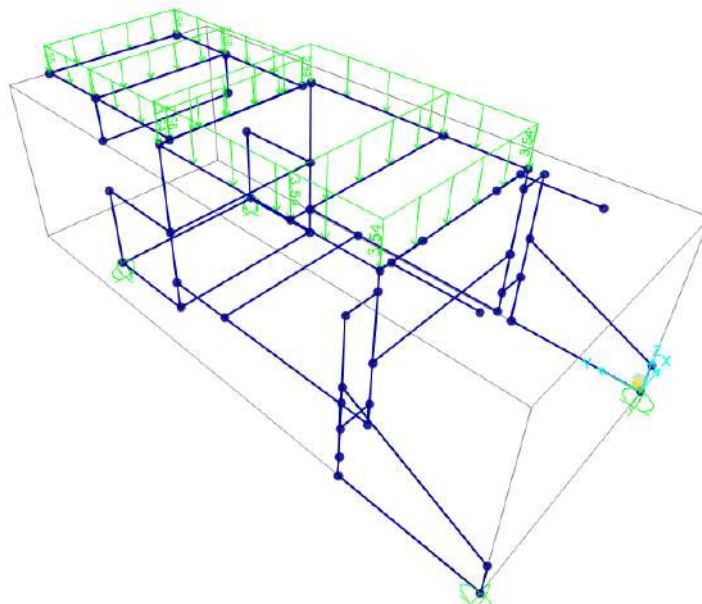
**Ilustración 31-4:** Carga viva aplicada al espaldar

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Asiento

El peso corporal resultante para la sección del asiento es de 68,8 kg, para poder calcular el valor de la carga distribuida en esta sección a aplicar dividimos el valor de la carga máxima para la longitud total de perfilería, lo cual no da el valor de 3,54 kg/cm.

Definida la carga viva, ingresamos como carga distribuida en los perfiles del asiento



**Ilustración 32-4:** Carga viva aplicada al asiento

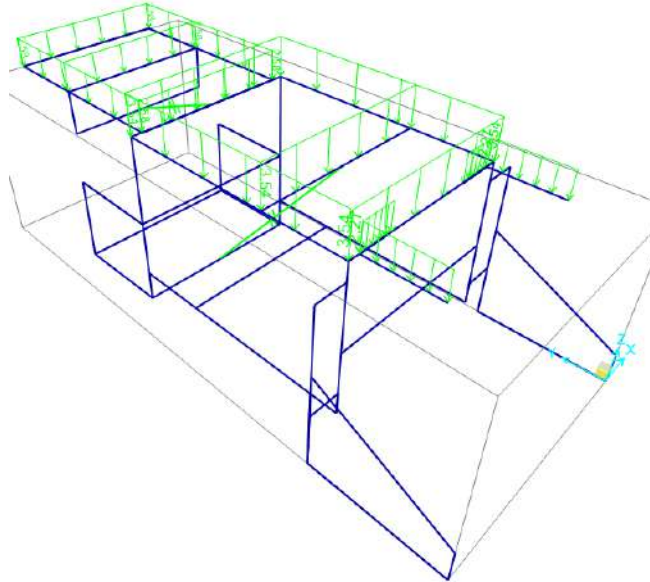
Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



## Reposapiés

La carga máxima a soportar será de 5,68 kg, dividiendo la longitud total de la perfilera en donde se distribuye esta carga obtenemos la carga viva para esta sección la cual es de 2,27 kg/cm.

Definida la carga viva, ingresamos como carga distribuida en los perfiles del reposapiés.



**Ilustración 33-4:** Carga viva aplicada al reposapiés

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### 4.3.4. Definir combinaciones de carga

Según la NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción), se presenta la siguiente tabla de combinaciones de carga para el estado de límite de resistencia.

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2

1.2 D + 1.6 L + 0.5 max[L<sub>r</sub> ; S ; R]

Combinación 3\*

1.2 D + 1.6 max[L<sub>r</sub> ; S ; R] + max[L ; 0.5W]

Combinación 4\*

1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L<sub>r</sub> ; S ; R]

Combinación 5\*

1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

Combinación 6

0.9 D + 1.0 W

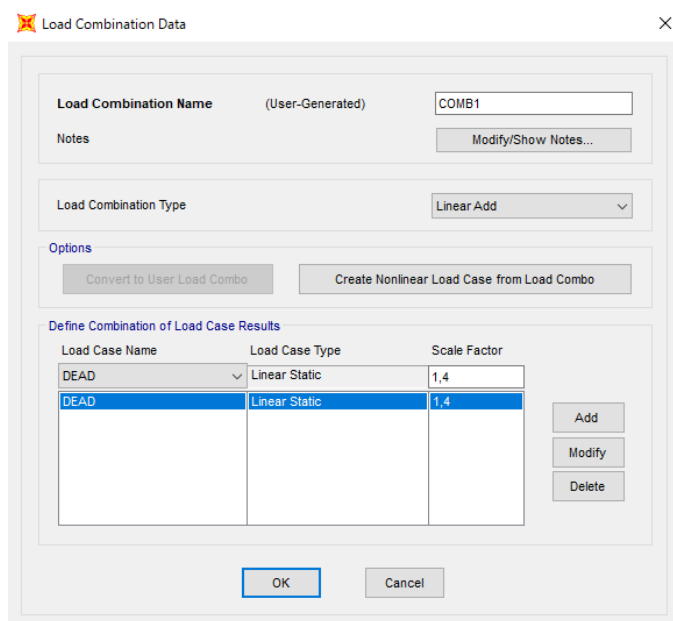
Combinación 7

0.9 D + 1.0 E

**Ilustración 34-4:** Combinaciones de carga para el estado de límite de resistencia

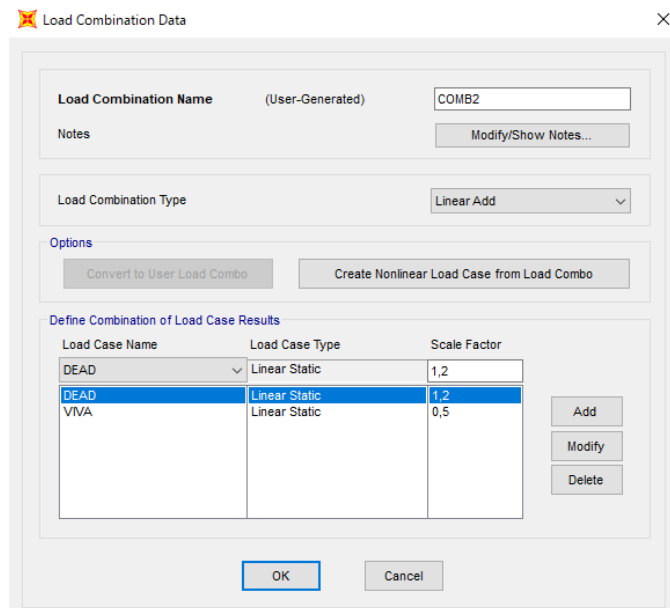
Fuente: (NEC, 2014).

Al tratarse de una estructura móvil se realiza el análisis con la combinación uno y dos de la NEC, se ingresa las combinaciones en el interfaz *Load Combination Data* en SAP 2000



**Ilustración 35-4:** Combinación 1 según la NEC

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

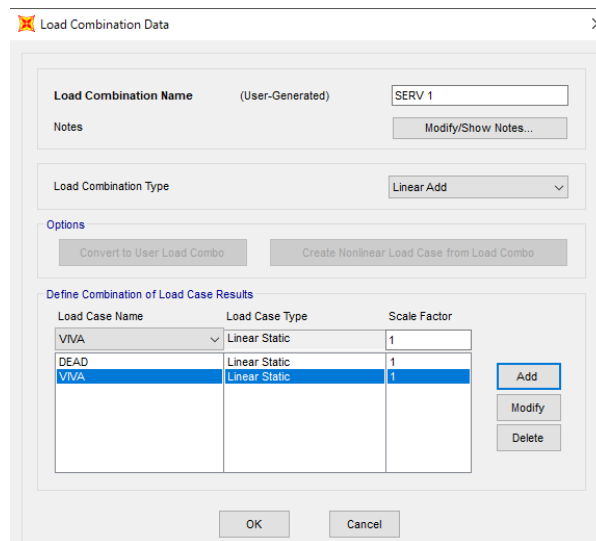


**Ilustración 36-4:** Combinación 2 según la NEC

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

### Combinación de servicio

$$SERV1 = d + 1$$

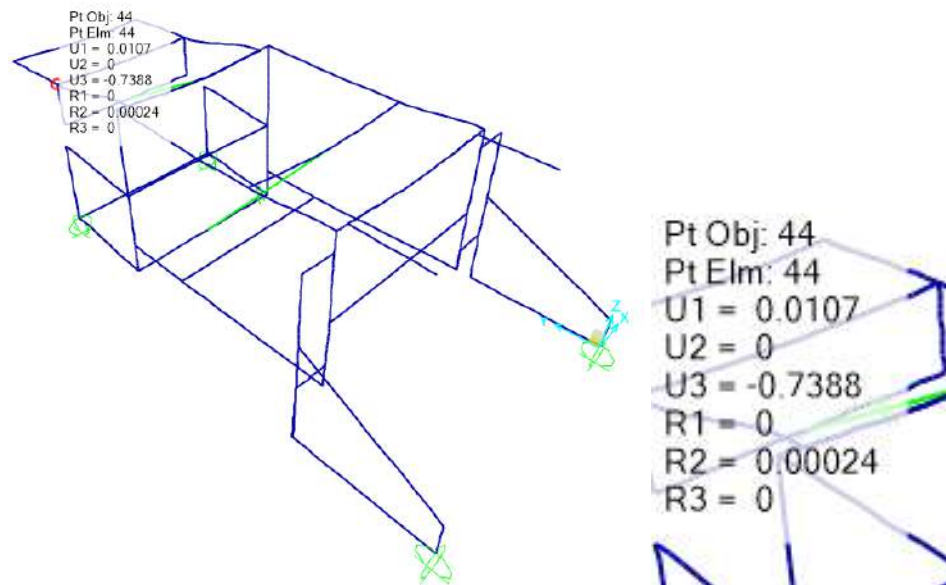


**Ilustración 37-4:** Combinación de servicio

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

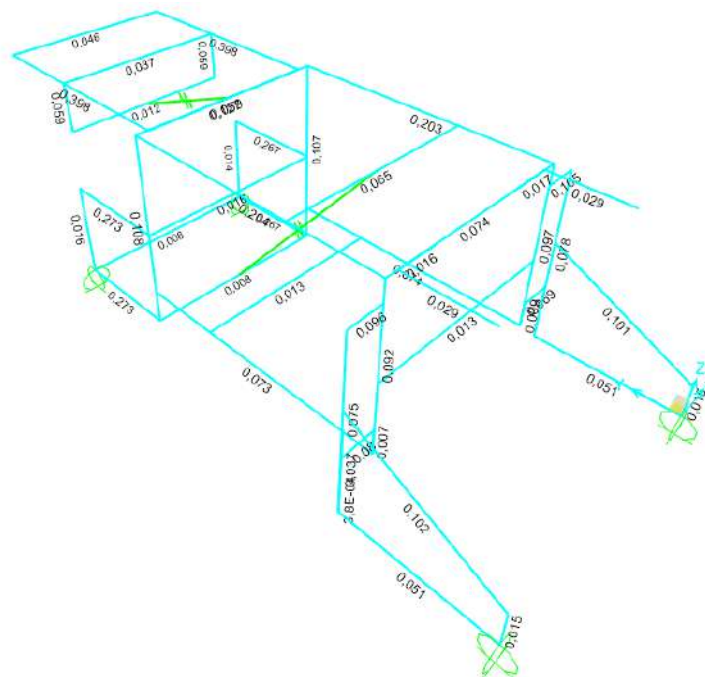
### 4.3.5. Resultados

Con la estructura, condiciones de frontera y cargas definidas, se procede a correr el análisis y se obtienen los resultados de deformaciones, haciendo énfasis en el perfil donde mayor esfuerzo presenta tomando en cuenta la norma AISC 360-10 (American Institute of Steel Construction). En este caso la deformación máxima en la zona crítica es de 0.7388 mm. Lo cual indica que la deformación es menor a 1 mm, y se mantiene dentro de los límites permisibles en el diseño.



**Ilustración 38-4:** Deformación obtenida en SAP 2000

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.



**Ilustración 39-4:** Análisis del diseño estructural

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

#### 4.3.5.1. Análisis por resistencia

Para realizar el análisis por resistencia se debe obtener la demanda y capacidad del diseño estructural, en este caso en particular la combinación dos de la NEC es la que mayor esfuerzo presenta.

(Combo COMB2)	phi*Mn
Mu33	Capacity
419697,588	1054982,093
	1054982,093

**Ilustración 40-4:** Resultados demanda y capacidad SAP 2000

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

DEMANDA – CAPACIDAD

$$\frac{D}{C} = \frac{419697,588 \text{ Kgf. cm}}{1054982,093 \text{ Kgf. cm}} = 0,3978$$

*D/C < 1 Por resistencia si cumple*

#### 4.4. Parámetros de diseño de una silla postural-bipedestadora

En la producción de sillas de ruedas para bipedestación, se tomaron en cuenta muchos factores, tales como: aspectos mecánicos, médicos, ergonómicos, antropométricos y otros. Esta es una forma de traducir los objetivos del proyecto en un elemento funcional de forma precisa, permitiendo no sólo explicar en este capítulo los resultados obtenidos en este capítulo, sino también establecer estadísticas generales y calidad de diseño y datos de usuario. Además, obtendrá resultados valiosos para futuras investigaciones o mejoras en el diseño. Es posible comprobar si el método creado es compatible con el tipo de medidas en base a los capítulos anteriores, así como trabajos similares. Esto significa que el objetivo del estudio era facilitar al usuario la realización de la postura bípeda, pero era necesario verificar las condiciones ergonómicas mediante la recopilación de datos experimentales sobre la actividad.

#### 4.5. Aplicación de encuestas

Los cuestionarios están dirigidos a dos perspectivas, la del usuario y la del diseñador. Esto permite mantener el control de calidad mencionado en el punto anterior, mientras el diseñador considera la funcionalidad representada en la documentación que hace que los resultados sean concisos y relevantes para el producto final, lo que se traduce en mejoras en el diseño. Esta es una forma para que los diseñadores conozcan la satisfacción del cliente cuando ven los resultados obtenidos durante la construcción.

#### 4.6. Protocolo de pruebas

**Verificación de la estructura:** Inspeccionar visualmente la silla de ruedas para detectar posibles daños o desgaste. Comprobar que todos los componentes están firmes y bien ensamblados.

**Verificación del sistema de elevación:** Comprobar que el sistema de elevación funciona correctamente y es capaz de elevar al usuario a la posición de pie sin problemas. Realizar varias pruebas de elevación para comprobar que el sistema funciona de manera segura y estable.

**Evaluación del asiento y respaldo:** Comprobar que el asiento y el respaldo son cómodos y proporcionan un buen apoyo al usuario. Ajustar el ángulo y la altura del asiento y respaldo para obtener una posición de pie cómoda y segura.

**Evaluación de los soportes para piernas:** Comprobar que los soportes para piernas se ajustan de manera adecuada a la longitud de las piernas del usuario y que tienen correas de seguridad que aseguran las piernas del usuario de manera segura mientras está de pie.

**Evaluación de las ruedas:** Comprobar que las ruedas están en buenas condiciones y tienen frenos que permiten fijar la silla en su lugar mientras el usuario está de pie.

**Evaluación de las correas de seguridad:** Comprobar que las correas de seguridad sujetan al usuario de manera segura mientras está de pie.

**Evaluación de las manijas de empuje:** Comprobar que las manijas de empuje están en buenas condiciones y son ajustables en altura para permitir que los cuidadores o asistentes empujen la silla de manera segura.

**Evaluación de la estabilidad:** Comprobar la estabilidad de la silla mientras el usuario está de pie. Realizar algunas pruebas de equilibrio y movimiento para comprobar que la silla es estable y segura mientras está en la posición de pie.

Es importante recordar que este es solo un ejemplo de protocolo de pruebas y que cada fabricante puede tener su propio protocolo y procedimientos específicos.

**Medición y ajuste:** Medir al usuario para asegurarse de que la silla de ruedas bipedestadora se ajusta correctamente. Ajustar la altura del asiento y los reposapiés para la postura del usuario en posición sentada. También ajustar la altura y ángulo del respaldo y los soportes de brazos según sea necesario.

**Estabilidad:** Comprobar la estabilidad de la silla de ruedas bipedestadora en posición vertical. Asegurarse de que no haya movimientos o vibraciones excesivos y de que los frenos sean efectivos para mantener la silla en su lugar.

**Transición:** Pruebe la transición del usuario de la posición sentada a la posición de pie en la silla de ruedas bipedestadora. Asegurarse de que el usuario pueda hacerlo con seguridad y comodidad y que la silla se mantenga estable.

**Comodidad:** Evaluar la comodidad del usuario en la posición de pie en la silla de ruedas bipedestadora. Comprobar que los soportes de piernas y rodillas sean cómodos y estables y que el usuario pueda mantener una postura erguida y equilibrada sin dolor.

**Control:** Evaluar la capacidad del usuario para controlar la silla de ruedas bipedestadora en la posición de pie. Comprobar que el usuario pueda mover la silla y girar en ambas direcciones sin problemas y que se sienta seguro y estable.

**Durabilidad:** Comprobar la durabilidad de la silla de ruedas bipedestadora a través de pruebas de uso repetido en diferentes terrenos y superficies. Asegurarse de que la silla se mantenga en buenas condiciones después de un uso regular y que no se deteriore fácilmente.

**Seguridad:** Asegurarse de que la silla de ruedas bipedestadora cumpla con las normas de seguridad y salud aplicables, incluidas las normas ISO y FDA, según corresponda.

**Entrenamiento:** Proporcionar al usuario y al cuidador un entrenamiento detallado sobre cómo utilizar y mantener la silla de ruedas bipedestadora de manera segura y efectiva, así como sobre cómo realizar cualquier ajuste o reparación necesarios.

Para garantizar el correcto funcionamiento de una silla de ruedas bipedestadora, se deben revisar los siguientes aspectos:

1. Asegúrate de que la silla de ruedas esté en buen estado general, sin signos de daño o desgaste excesivo.
2. Verifica que todas las piezas estén bien ajustadas y fijas, incluyendo los reposapiés, los reposabrazos y el respaldo.
3. Comprueba el sistema de frenado para asegurarte de que funciona correctamente.
4. Asegúrate de que las ruedas estén infladas adecuadamente y que no tengan signos de desgaste o daño.
5. Verifica que el sistema de elevación funcione correctamente y que pueda ajustarse a la altura adecuada para el usuario.
6. Verifica que el sistema de sujeción sea adecuado para el usuario y esté en buen estado.
7. Comprueba el sistema de control para asegurarte de que los botones y los interruptores funcionen correctamente.
8. Verifica que la silla de ruedas pueda plegarse y transportarse fácilmente.
9. Asegúrate de que se haya realizado un mantenimiento regular, como el ajuste de los frenos y la lubricación de las piezas móviles.
10. Verifica que se hayan seguido las instrucciones del fabricante para el uso adecuado y seguro de la silla de ruedas.

Es importante recordar que, aunque la revisión regular de la silla de ruedas es importante, también se debe prestar atención a cualquier problema o preocupación que tenga el usuario, y buscar ayuda de un profesional si es necesario.

#### **4.7. Guía para la correcta manipulación de la silla de ruedas postural-bipedestadora**

1. Previo al posicionamiento del paciente, asegurar que los actuadores estén funcionando correctamente, con pruebas de vacío.
2. Si todo está funcionando de manera correcta y efectiva, proceder a colocar al paciente de forma adecuada en la silla de ruedas bipedestadora.

3. Ajuste la silla de ruedas bipedestadora a la altura adecuada para el usuario.
4. Colocar los accesorios necesarios para lograr un correcto ajuste de la silla bipedestadora al usuario.
5. Asegúrese de que los reposapiés estén a la altura adecuada y que el asiento esté ajustado en consecuencia.
6. Asegúrese de que los frenos estén activados y que la silla de ruedas bipedestadora esté en una superficie plana y segura antes de intentar la transición a la posición de pie.
7. Ajuste los soportes de piernas y rodillas para que sean cómodos y estables en la posición de pie.
8. Asegúrese de que el usuario pueda mantener una postura erguida y equilibrada sin dolor.
9. Asegúrese de que el usuario tenga un agarre firme en las manijas de empuje antes de intentar la transición a la posición de pie.
10. Incline lentamente la silla de ruedas bipedestadora hacia arriba y hacia adelante para que el usuario pueda cambiar a la posición de pie.
11. Asegúrese de que la silla de ruedas bipedestadora se mantenga estable y que el usuario se sienta cómodo y seguro en la posición de pie.
12. Si es necesario, ajuste la altura y el ángulo del soporte de espalda para mayor comodidad y estabilidad del usuario.
13. Cuando el usuario esté listo para volver a la posición sentada, incline lentamente la silla de ruedas bipedestadora hacia atrás y hacia abajo.
14. Asegúrese de que el usuario tenga un agarre firme en las manijas de empuje y que la silla de ruedas bipedestadora se mantenga estable durante la transición.
15. Una vez que el usuario esté en la posición sentada, ajuste la silla de ruedas bipedestadora según sea necesario para mayor comodidad y seguridad.
16. Asegúrese de que la silla de ruedas bipedestadora se mantenga en buen estado y realice cualquier mantenimiento o reparación necesarios según las instrucciones del fabricante.

Recuerde siempre seguir las pautas de seguridad del fabricante y obtener capacitación y asesoramiento de un profesional de la salud antes de utilizar la silla de ruedas bipedestadora.

#### **4.8. Pasos para la correcta utilización de la silla de ruedas postural – bipedestadora**

1. Asegurar de que la silla de ruedas bipedestadora esté completamente cargada antes de su uso.
2. Colocar la silla de ruedas bipedestadora en una superficie plana y firme antes de usarla.
3. Asegurar de que los cinturones de seguridad y cualquier otro sistema de retención estén en su lugar y asegurados antes de usar la silla de ruedas bipedestadora.
4. Verificar que los frenos estén completamente desbloqueados antes de intentar mover la silla de ruedas bipedestadora.



5. Para subir a la silla de ruedas bipedestadora, situar los pies en los reposapiés y colocar las manos en los apoyabrazos. Usar los controles para elevar la silla de ruedas a una posición vertical.
6. Ajustar el asiento y el respaldo a una posición cómoda y segura, y asegurar de que los reposapiés y los apoyabrazos estén en su lugar antes de continuar.
7. Usar los controles para mover la silla de ruedas bipedestadora hacia adelante o hacia atrás según sea necesario.
8. Para descender de la silla de ruedas bipedestadora, bajar la silla de ruedas a su posición sentada y usar los reposapiés para bajar los pies al suelo.
9. Una vez que se haya terminado de usar la silla de ruedas bipedestadora, asegurarse de que los cinturones de seguridad y los sistemas de retención estén en su lugar antes de apagar la silla de ruedas.
10. Cargar la silla de ruedas bipedestadora eléctrica según las instrucciones del fabricante para garantizar su durabilidad y longevidad.

#### **4.9. Normativas para uso y pruebas de silla de ruedas bipedestadoras**

##### **4.9.1. Las normas ISO relevantes para las sillas de ruedas bipedestadoras**

**ISO 7176-8:2008** - *Sillas de ruedas - Parte 8: Requisitos y pruebas para sillas de ruedas bipedestadoras manuales y eléctricas.*

Esta norma establece los requisitos y las pruebas para las sillas de ruedas bipedestadoras manuales y eléctricas, incluidos los requisitos para el diseño, la construcción, la seguridad, la resistencia y la durabilidad.

**ISO 10542-1:2012** - *Sistemas de sujeción para sillas de ruedas - Parte 1: Requisitos y métodos de prueba para sistemas de sujeción a la silla de ruedas utilizados para el transporte de usuarios de sillas de ruedas en vehículos.*

Esta norma establece los requisitos y los métodos de prueba para los sistemas de sujeción a la silla de ruedas utilizados para el transporte de usuarios de sillas de ruedas en vehículos, incluidos los requisitos para la seguridad y la estabilidad.

**ISO 14971:2019** - *Dispositivos médicos - Aplicación de gestión de riesgos a dispositivos médicos.*

Esta norma establece los requisitos para la gestión de riesgos de los dispositivos médicos, incluidas las sillas de ruedas bipedestadoras, para garantizar su seguridad y eficacia durante todo su ciclo de vida.

Es importante seguir estas normas ISO y cualquier otra normativa y regulación aplicable para garantizar que las sillas de ruedas bipedestadoras sean seguras, eficaces y duraderas. Los fabricantes y los proveedores de sillas de ruedas bipedestadoras pueden proporcionar información más detallada sobre estas normas y cómo se aplican a sus productos específicos

#### 4.9.2. Normativa FDA

La FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos) regula los dispositivos médicos, incluyendo las sillas de ruedas bipedestadoras, para garantizar su seguridad y eficacia. A continuación, se describen algunas de las normas y regulaciones de la FDA que se aplican a las sillas de ruedas bipedestadoras:

*Requisitos de registro y notificación:* los fabricantes de sillas de ruedas bipedestadoras deben registrarse en la FDA y notificar a la FDA antes de comercializar sus productos en los Estados Unidos.

*Clasificación de dispositivos:* las sillas de ruedas bipedestadoras se consideran dispositivos médicos de clase II según la clasificación de la FDA. Esto significa que están sujetas a requisitos de etiquetado, registro y notificación, así como a requisitos de pruebas de seguridad y eficacia antes de la comercialización.

*Buenas prácticas de fabricación (BPM's):* los fabricantes de sillas de ruedas bipedestadoras deben cumplir con las Buenas Prácticas de Fabricación de la FDA, que establecen estándares para la calidad, la seguridad y la eficacia de los dispositivos médicos.



*Etiquetado:* las sillas de ruedas bipedestadoras deben cumplir con los requisitos de etiquetado de la FDA, que incluyen información sobre la identidad del fabricante, la fecha de fabricación, los riesgos asociados con el uso del dispositivo y las instrucciones de uso.

*Informes de eventos adversos:* los fabricantes de sillas de ruedas bipedestadoras deben informar a la FDA sobre cualquier evento adverso o efecto secundario relacionado con el uso de sus productos.

Es importante que los fabricantes y los usuarios de sillas de ruedas bipedestadoras cumplan con las normas y regulaciones de la FDA para garantizar la seguridad y la eficacia de estos dispositivos médicos. La FDA proporciona orientación adicional y recursos para fabricantes y usuarios de sillas de ruedas bipedestadoras en su sitio web.

#### 4.10. Ficha de pruebas

**Tabla 5-4:** Tabla de encuesta previa para usuarios de sillas de ruedas

	<p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>CARRERA: MECÁNICA</b></p>	
<b>Información sobre el usuario de silla de ruedas</b>		
Nombre: _____ Fecha de nacimiento: _____		

Edad: \_\_\_\_\_ Hombre  Mujer

Teléfono: \_\_\_\_\_ Dirección: \_\_\_\_\_

**Estudio Físico**

Diagnóstico:

Parálisis cerebral  Lesión cerebral  Poliomiélitis

Distrofia muscular  Espina bífida  Lesión en la médula espinal

Accidente cerebrovascular  Desconocido  Otro  \_\_\_\_\_

¿Es posible que la afección empeore? Sí  No

---

**Problemas físicos**

Salud delicada  Tono muscular  Luxación de cadera

Amputación de miembro inferior  Espasmos o movimientos no controlados

Fatiga  Problemas para comer, beber y tragar  Describe: \_\_\_\_\_

Dolor  Describe la ubicación: \_\_\_\_\_

Problemas de vejiga  Problemas de intestino

Si el usuario de sillas de ruedas tiene problemas de vejiga o intestino, ¿estos están controlados? Sí  No

---

**Estilo de vida y entorno**

Describir dónde el usuario usa la silla de ruedas: \_\_\_\_\_

Tiempo de uso de la silla de ruedas por día: Menos de 1h  1 a 3h  3-5h

5 a 8h  más de 8h

Distancia de recorrido por día: Menos de 1Km  1 a 5Km  más de 5Km

Cuando no se usa la silla de ruedas en el día, ¿dónde se sienta o recuesta el usuario y como lo realiza (postura y superficie)?

\_\_\_\_\_

Transferencia: Asistida  Independiente  De pie

No de pie  Por levantamiento  Otro

Tipo de retrete (al momento de ir al baño): Letrina  Inodoro  Adaptado

Uso de pañal

¿El usuario de la silla de ruedas toma con frecuencia el transporte público o privado?

Sí  No

Si la respuesta anterior es afirmativa, que tipo de transporte utiliza:

Auto <input type="checkbox"/>	Taxi <input type="checkbox"/>	Bus <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>
-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

**Tabla 6-4:** Ficha de pruebas para usuarios de silla de rueda

NOMBRE Y APELLIDOS:			
FECHA DE NACIMIENTO:		EDAD:	
Nivel de discapacidad intelectual	Nivel de dependencia		Porcentaje de discapacidad
<input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo <input type="checkbox"/> Profundo	<input type="checkbox"/> Grado I <input type="checkbox"/> Grado II <input type="checkbox"/> Grado III		
Nivel de función motora gruesa (GMFCS)	Nivel de habilidad manual (MACS)	Nivel de comunicación funcional (CFCS)	Nivel de habilidad para comer y beber (EDACS)
<input type="checkbox"/> Nivel I <input type="checkbox"/> Nivel II <input type="checkbox"/> Nivel III <input type="checkbox"/> Nivel IV <input type="checkbox"/> Nivel V	<input type="checkbox"/> Nivel I <input type="checkbox"/> Nivel II <input type="checkbox"/> Nivel III <input type="checkbox"/> Nivel IV <input type="checkbox"/> Nivel V	<input type="checkbox"/> Nivel I <input type="checkbox"/> Nivel II <input type="checkbox"/> Nivel III <input type="checkbox"/> Nivel IV <input type="checkbox"/> Nivel V	<input type="checkbox"/> Nivel I <input type="checkbox"/> Nivel II <input type="checkbox"/> Nivel III <input type="checkbox"/> Nivel IV <input type="checkbox"/> Nivel V
OTRAS DISCAPACIDADES			
<input type="checkbox"/> Epilepsia	<input type="checkbox"/> Dolor	<input type="checkbox"/> Fatiga	
<input type="checkbox"/> Problemas de conducta	<input type="checkbox"/> Discapacidad auditiva	<input type="checkbox"/> Discapacidad visual	

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

FACTORES INFLUYENTES EN LA BIPEDESTACIÓN					
	1	2	3	4	5
Ponerle la camisa					
Ponerle los pantalones					
Facilidad para sentarlo en la silla de ruedas					
Facilidad para recostarlo					
Facilidad para alimentarlo					
Facilidad para bañarlo					

Facilidad para asearle la boca					
Facilidad para colocar los zapatos					
Mejor descanso del usuario					
Facilidad para introducirlo o sacarlo de un carro					
<b>FACTORES INFLUYENTES EN LA REHABILITACIÓN</b>					
	1	2	3	4	5
Relaja la musculatura					
Mejora de la movilidad articular					
Contracción y relajación					
Evitar la pérdida de fuerza					
Mejora la flexibilidad					
Mejora la estabilidad					
Controla el deterioro físico					
Mejora del estado de salud en general					

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

- 1: Nada
- 2: Poco
- 3: Regular
- 4: Bueno
- 5: Excelente

**Tabla 7-4:** Interpretación de GMFCS, MACS, CFCS y EDACS

	<b>NIVEL I</b>	<b>NIVEL II</b>	<b>NIVEL III</b>	<b>NIVEL IV</b>	<b>NIVEL V</b>
<b>GMFCS</b>	Camina sin restricciones	Camina con limitaciones	Camina utilizando un dispositivo manual auxiliar	Auto movilidad limitada, es posible que utilice movilidad motorizada	Transportado con silla de ruedas
<b>MACS</b>	Manipula objetos fácil y exitosamente	Manipula la mayoría de los objetos, sin embargo, posee alguna reducción en la calidad y/o en la velocidad del logro	Manipula objetos con dificultad; pero necesita ayuda para preparar y/o modificar algunas actividades	Manipula una limitada selección de objetos, estos son fácilmente manipulables en situaciones adaptadas	No manipula objetos, además, tiene habilidad severamente limitada en la ejecución de acciones sencillas
<b>CFCS</b>	Emisor muy eficaz y receptor muy eficaz, interlocutores	Emisor y/o receptor eficaz, pero con ritmo más lento con	Emisor Eficaz y Receptor Eficaz con los interlocutores conocidos	Emisor y/o Receptor Inconstante con los	Emisor y Receptor Raramente Eficaz aun con

	conocidos y desconocidos	interlocutores conocidos y/o desconocidos		interlocutores conocidos	interlocutores conocidos
<b>EDACS</b>	Come y bebe con seguridad y eficiencia	Come y bebe con seguridad, pero con algunas limitaciones en la eficiencia	Come y bebe con ciertas limitaciones en la seguridad; puede tener algunas limitaciones en la eficiencia	Come y bebe con limitaciones significativas de seguridad	Es incapaz de comer y beber con seguridad la alimentación por sonda puede ser considerada para proporcionar la nutrición

Realizado por: Castillo, B. & Nacimba, O. 2022.

Se realizaron pruebas en la ciudad de Riobamba, en un paciente infantil, que presenta parálisis cerebral, se evidenció el correcto funcionamiento de la silla bipedestadora, logrando así su principal objetivo, realizar la bipedestación de manera automatizada, sin embargo se pudo evidenciar varios parámetros, que implica la realización de una mejora en el diseño de la silla postural bipedestadora, esto se debe al amplio estudio de los niños con parálisis cerebral, con la adecuada explicación del padre del paciente, se determinó que cada niño tiene un caso especial, y una sola silla de ruedas bipedestadora no cumpliría con los requisitos necesarios para definir como silla de ruedas postural para niños con PCI, así que se recomienda restringir el campo de pruebas, y además este trabajo sea un preámbulo para la continuación del estudio y diseño de una silla de ruedas que cumpla con la mayoría de requisitos que los niños con PCI necesitarían para que esta cumpla con su objetivo.

## CONCLUSIONES

Se ha implementado con éxito un sistema postural-bipedestación, que permite trasladar a una persona de una posición sentada a una posición de pie, lo que permite un movimiento seguro. La posición del usuario se puede cambiar de manera segura, manteniendo la ergonomía adecuada, lo que garantiza la estabilidad y la comodidad del usuario.

En el mercado se encuentran disponibles diversas modificaciones tecnológicas especiales para niños con parálisis cerebral, las cuales son costosas y no están al alcance de los padres y/o familiares, lo que hace que la implementación de la silla de ruedas postural bipedestadora, sea atractiva de manera económica a comparación de las sillas bipedestadoras importadas.

Mediante las pruebas realizadas, se denota que la silla bipedestadora construida cumple con sus funciones para la cual fue diseñada, sin embargo, siendo el PCI un tema muy complejo y extenso, a diferencia de las sillas en el mercado, este prototipo cubre de manera significativa las características necesarias para los niños con parálisis cerebral.

Los materiales elegidos para la construcción del prototipo permiten una fácil replicación porque son económicamente viables, ofrecen beneficios favorables y no requieren procedimientos de fabricación complejos. El prototipo simplifica el desmontaje de los componentes individuales para el mantenimiento o para realizar las actualizaciones necesarias.

Este prototipo puede ser un diseño potencial para un sistema de soporte terapéutico y de movilidad debido a su adaptabilidad en los ajustes, sistema de control práctico y tamaño. Sin embargo, es importante realizar las mejoras necesarias para poder seguir probando con pacientes más pequeños y los que presentan patologías más delicadas.

El factor de seguridad global resultante del análisis por elementos finitos da un valor 1,6 lo que indica que se encuentra dentro de los límites del diseño.

El peso total de la estructura de la silla postural-bipedestadora es de 15 kg aproximadamente, y está diseñada para soportar usuarios con un peso de hasta 80 kg.

Mediante las pruebas en vacío se constató que la silla bipedestadora cambia de bipedestación a posición camilla en 25 segundos.

Al realizar pruebas con un paciente de 6 años de edad, el tiempo que se toma en pasar de la posición camilla a sedestación es de 15 segundos y el tiempo que toma pasar de la posición sedestación a bipedestación es de 30 segundos, debido a que en la posición de bipedestación debemos tener en cuenta la posición del paciente al momento de manipular el sistema de control.



## **RECOMENDACIONES**

Es importante tener en cuenta que los ajustes del arnés torácico como pélvico, solo deben realizarse en el respaldo de la silla, que es la parte móvil. Esto se debe a que cuando se activa el mecanismo de bipedestación, el respaldo dirige el movimiento mientras la estructura permanece inmóvil. Si se realiza ajustes en la estructura que permanece fija, el funcionamiento del mecanismo aumenta el riesgo de lesiones físicas, como retorceduras, el riesgo de asfixia e incluso estrangulamiento.

En vista de lo mencionado anteriormente, es importante la presencia de tutores y otros apoyos al realizarse pruebas en pacientes, esto es en beneficio del terapeuta supervisor, pues debe tener un buen manejo de la silla, estar listo para responder a cualquier evento imprevisto y vigilar el comportamiento del paciente.

Debe haber espacio para adaptar extras como mesas para comer o hacer actividades, ya que es más cómodo para los niños realizar las tareas diarias en la silla ya que estarán sujetos a ella por seguridad.

Este proyecto también puede ser usado en jóvenes y/o adultos con problemas en el sistema locomotor que presentan trastornos de corta o larga duración, como fracturas, distensiones a enfermedades crónicas que causan limitaciones de las capacidades funcionales e incapacidades permanentes como: esclerosis lateral amiotrófica, distrofia muscular, miastenia grave, atrofia muscular espinal.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR POMALIMA, Alex.** Diseño de una silla de ruedas bípeda para personas con discapacidad motriz de las extremidades inferiores [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Tecnológica del Perú, Lima-Perú. 2020. pp. 27-38. [Consulta: 2022-11-09]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3606>
- ARGÜELLES PÓO, Pilar.** *Parálisis cerebral infantil* [en línea]. Barcelona-España: Asociación Española de Pediatría, 2008. [Consulta: 20 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.aeped.es/protocolos/>
- ARMIJOS COMINA, Johanna Cristina, & CRIOLLO SIMBAÑA, Tania Alexandra.** Diseño y construcción de una silla de bipedestación eléctrica para personas cuadripléjicas activada por voz, de bajo costo [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, Quito-Ecuador. 2018. pp. 1-110. [Consulta: 2022-02-11]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14728>
- ASHBY, Michael; et al.** *Materials engineering, science, processing and design*. Oxford - Inglaterra: Elsevier, 2007, pp. 14 - 46.
- AYALA ROJAS, Luis Eduardo.** Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 1-103. [Consulta: 2022-11-11]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/14692>
- BARBERO PALACIOS, Jhonny Israel, & ORTEGA BUSTAMANTE, Luis Alexis.** Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con capacidad de carga de 100 kg [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador. 2015. pp. 1-30. [Consulta: 2022-11-08]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11394>
- BUDYNAS, Richard; & KEITH NISBETT, J.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Edición 9*. D.F-México: McGraw-Hill Companies, 2011. ISBN 978-607-15-0771-6, p. 1007.
- CAÑAS DELGADO, José.** *Ergonomía en los sistemas de trabajo*. Granada - España: Blanca Impresores S.L, 2011. ISBN 978-84-695-1427-6. pp. 10-156.
- CASTRO OSPINA, Diego Fernando, & RUÍZ CASANOVA, Byron Emilio.** Ingeniería concurrente, una estrategia de operaciones orientada al mejoramiento continuo en el diseño de productos [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali-Colombia. 1999. pp. 27-28. [Consulta: 2022-11-07]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6816/T04802.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**DIPAC.** *Catálogos de productos de acero* [blog]. Ecuador: 15 julio, 2022. [Consulta: 15 noviembre 2022]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>

**FIRGELLI.** *¿Cómo dimensionar un actuador lineal?* [blog]. Estados Unidos: 10 agosto, 2012. [Consulta: 15 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.firgelliauto.com/>

**ENIREB-GARCÍA, María.; & PATIÑO-ZAMBRANO, Viviana.** “Parálisis cerebral infantil: estimulación temprana del lenguaje método de Bobath”. *Dominio de las Ciencias* [en línea], 2017, (Ecuador) 3(4), pp. 627-706. [Consulta: 15 febrero 2022]. ISSN: 2477-8818. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325522>

**ERASO GUERRERO, Omar.** *Procesos de manufactura* [en línea]. Bogotá-Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2008. [Consulta: 14 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uvm.edu.ve/handle/123456789/339>

**ESPÍN GUERRERO, Víctor Rodrigo.** Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y la incidencia en su eficiencia energética [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. 2018. p. 18. [Consulta: 2023-01-04]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27368>

**ESPINOZA DIAZ, Cristóbal; et al.** “Prevalencia, factores de riesgo y características clínicas de la parálisis cerebral infantil”. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica* [en línea], 2019, (Ecuador) 38(6), p. 1. [Consulta: 05 enero 2023]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0001-8608-8338>

**ESPINOZA PESÁNTEZ, Alberto Sebastián, & VELE SIGCHA, Christian Patricio.** Diseño y construcción de un dispositivo de bipedestación para personas con discapacidad motriz [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca–Ecuador. 2021. p. 27. [Consulta: 2023-01-17]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21323>

**FIRGELLI.** *¿Cómo dimensionar un actuador lineal?* [blog]. Estados Unidos: 10 agosto, 2012. [Consulta: 15 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.firgelliauto.com/>

**GARCÍA GALET, Andrés.** Determinación de propiedades mecánicas de materiales comerciales. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Sevilla. Sevilla – España. 2018. pp. 3-68.

**GARCÍA POUSADA, Thais.** *Las ayudas técnicas. Esas grandes desconocidas* [en línea]. Pontevedra-España: ASEM Galicia. 2008. Disponible en: <http://www.asemgalicia.com/wp-content/uploads/Las-ayudas-tecnicas-Esas-grandes-desconocidas.pdf>

**GÓMEZ LÓPEZ, Simón; et al.** “Parálisis cerebral infantil”. Archivos venezolanos de puericultura y pediatría [en línea], 2013, (Ecuador) 76(1), pp. 30-31. [Consulta: 19 octubre 2022]. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/avpp/v76n1/art08.pdf>

**GONZÁLES RAMÍREZ, A; et al.** “Valoración de los sistemas de control postural en ancianos con caídas de repetición”. Revista Española de Geriatría y Gerontología [en línea], 2008, (España) 43(2), pp. 71-75. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0211139X08711582?via%3Dihub>

**GUDIÑO CHINCHIN, Erick Fabricio.** Silla postural de inserción para mejorar la calidad de vida en niños con parálisis cerebral infantil [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador. 2016. p. 34. [Consulta: 2023-01-07]. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/17100>

**HERRERA CAICEDO, Mario Andres.** Diseño y simulación de una silla de ruedas bipedestadora para personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejia o con problemas de movilidad de uso en interiores [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 1-116. [Consulta: 2022-11-07]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15141>

**INVACARE.** *Action Vertic* [blog]. España: 2 diciembre, 2020. [Consulta: 1 enero 2023]. Disponible en: <https://www.invacare.es/es/sillas-de-ruedas-manuales/sillas-de-ruedas-semi-activas/invacare-action-vertic>

**JARA DELGADO, Katherine Miluzca.** Bipedestación prolongada e insuficiencia venosa de miembros inferiores en técnicos de farmacia de boticas Mifarma [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Católica de Santa María, Arequipa-Perú. 2019. pp.10-119. [Consulta: 19 octubre 2022]. Disponible en: <https://1library.co/document/zpn2v4ry-bipedestacion-prolongada-insuficiencia-miembros-inferiores-tecnicos-farmacia-arequipa.html>

**LALOMA, Miguel.** *Ayudas técnicas y discapacidad.* Madrid-España: Gráficas Alvani, 2005. ISBN 8460952037, pp. 34-37.

**LILJEDAHL, Gunnar.** Ayuda a personas con discapacidad para levantarse. (2002). Suecia, Patente n° WO 00/54722. pp. 1-10.

**LÓPEZ BELTRÁN, Royman J.; & TORRES, Jaime.** “Metodología mixta de selección de materiales aplicada en la escogencia del material para un dedo de pinza de sujeción de un manipulador industrial”. Red de Revistas Científicas de América Latina pediatría [en línea], 2002, (Colombia) 12(1), p. 36. [Consulta: 20 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85201204>

**MACHIN POSADA, Víctor Orlando.** Introducción del método de selección de materiales de Michael Ashby en el currículo del Ingeniero Mecánico [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara-Cuba. 2019. pp. 8-9.

[Consulta: 2023-02-04]. Disponible en: <https://docplayer.es/207415433-Titulo-introduccion-del-metodo-de-seleccion-de-materiales-de-michael-ashby-en-el-curriculo-del-ingeniero-mecanico.html>

**MOBILITEC.** *Sillas manuales verticales* [blog]. España: 14 septiembre, 2017. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.loja.mobilitec.pt/movilidad-silla-de-ruedas-manuales-221-silla-manuales-verticales>

**MURIEL VEGA, Antonia.** “Déficits cognitivos y abordajes terapéuticos en parálisis cerebral infantil”. *Acción Psicológica* [en línea], 2014, (España) 11(, p. 107. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN: 1578-908X. Disponible en: [https://scielo.isciii.es/pdf/acp/v11n1/10\\_original10.pdf](https://scielo.isciii.es/pdf/acp/v11n1/10_original10.pdf)

**NEC -SE-CG.** *Norma ecuatoriana de la construcción. Cargas no sísmicas.*

**PAZ PÁEZ, Claudia; et al.** *Orientaciones pedagógicas para la atención y la promoción de la inclusión de niñas y niños menores de seis años con parálisis cerebral.* Bogotá-Colombia: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2010. ISBN 978-958-623-108-4, pp.10-26.

**PILAND, Cynthia, & ADAMS, Katheryn.** "Pocket Resource for Nutrition Assessment". *American Dietetic Association* [en línea], 2009, (United State of America) 7, pp. 125-145. [Consulta: 25 noviembre 2022]. Disponible en: <https://dpg-storage.s3.amazonaws.com/dhcc/resources/PocketResources/PRNA%202009.pdf>

**POMARES, Gloria.** *¿Cómo mejorar la sedestación en parálisis cerebral?* [blog]. España: 1 septiembre, 2020. [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <https://gloriapomares.com/sedestacion-en-paralisis-cerebral-problemas-y-soluciones/>

**QUINTANA APARICIO, E; et al.** “Relación entre la postura sedente y el mobiliario utilizado por una población escolar”. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología* [en línea], 2004, (España) 7(1), p. 32. [Consulta: 25 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-fisioterapia-kinesiologia-176-articulo-relacion-entre-postura-sedente-el-13063601#:~:text=Las%20diferencias%20en%20la%20postura,mobiliario%20dentro%20de%20la%20clase.>

**RIBA ROMEVA, Carles.** *Selección de materiales en el diseño de máquinas.* Catalunya - España: Edicions UPC, 2008. ISBN 9788483017388, pp. 1-280.

**ROSERO CÓRDOVA, Henry Gabriel.** *Diseño de una silla de ruedas postural bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla) para niños con parálisis cerebral* [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 2-125. [Consulta: 2022-11-07]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/15574>

**SAAVEDRA, Ronald; et al.** “Diseño de un equipo de bipedestación”. Ingeniería UC [en línea], 2013, (Venezuela) 20, pp. 25-33. [Consulta: 31 octubre 2022]. ISSN: 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732640004>

**SHACKELFORD, J. F.** *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Sexta edición. Madrid - España: PEARSON EDUCACIÓN, 2005. ISBN 978-84-205-4451-9, p. 719.

**TAMBACO SUAREZ, Oscar Gabriel.** Silla de ruedas mecatrónica bipedestadora para personas parapléjicas [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. 2017. pp. 1-26. [Consulta: 2022-09-01]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7205/1/04%20MEC%20171%20TRABAJO%20DE%20GRADO%201.pdf>

**TECNUM.** *Elevadores tipo ascensor* [blog]. España: 1 septiembre, 2017. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: <http://www.tecnum.net/bipedestacion.htm>

**VARGAS DEL VALEE, María Cristina.** Diseño de un sistema de verticalización para niños de 10 meses a 2 años que sufren de meningocele o mielomeningocele cerebral [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Tecnológico de Costa Rica, Cartago - Costa Rica. 2016. pp. 4-136. [Consulta: 2022-12-07]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6868>

**VILLACRÉS VEGA, Milton Jhoel, & ZAMBRANO ZAMBRANO, Jean Pierre.** Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora destinada a personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejía o con problemas de movilidad de uso en interiores para el grupo de investigación y estudios de bioingeniería de la facultad de mecánica EsPOCH [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 2-31. [Consulta: 2022-11-05]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18369>

**ZAPATA OSORIO, G.T.** *Corrección postural, prevención de la inmovilidad y fomento de la actividad física en personas mayores con demencia*. Madrid-España: IMSERSO, 2014. ISBN 686-14-022-7, pp. 9-11.

**ZEPEDA VILLAR, Braulio; et al.** Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. – México. 2013. pp. 24. [Consulta: 2022-11-05]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/5015/1/Tesis.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A: FICHAS DE INSPECCIÓN

FORMATO DE INSPECCIÓN DE SILLA DE RUEDAS POSTURAL- BIPEDESTADORA					
Nombre del responsable: _____					
Fecha de Inspección: _____					
		<h1>POSICIÓN DE BIPEDESTACIÓN</h1>			
PARTES A REVISAR DEL EQUIPO	SI/NO	CONDICIÓN			OBSERVACIÓN
		Buena	Mala	Reparación	
Deformaciones					
Roturas					
Defecto de funcionamiento					
Estado de la pintura					
Peligro de corrosión					
Funcionamiento de las ruedas					
Ajuste de pernos y tornillos					
Funcionamiento del actuador 1					
Funcionamiento del actuador 2					
Estado y seguridad de las ruedas					
Funcionamiento del reposabrazos					
Funcionamiento del reposacabezas					
Funcionamiento del reposapiés					
Funcionamiento de mecanismos					
Funcionamiento de otras piezas extraíbles					
Estado del cableado eléctrico					
Estado de la caja de control					
Velocidad de los actuadores adecuada					
El movimiento de los actuadores es el adecuado					
El movimiento de los actuadores es brusco					

¿Se ha suministrado todos los componentes?					
¿Dispone del manual de instrucciones?					

**FORMATO DE INSPECCIÓN DE SILLA DE RUEDAS POSTURAL-BIPEDESTADORA**

**Nombre del responsable:** \_\_\_\_\_

**Fecha de Inspección:** \_\_\_\_\_



**POSICIÓN DE CAMILLA**

PARTES A REVISAR DEL EQUIPO	SI/NO	CONDICIÓN			OBSERVACIÓN
		Buena	Mala	Reparación	
Deformaciones					
Roturas					
Defecto de funcionamiento					
Estado de la pintura					
Peligro de corrosión					
Funcionamiento de las ruedas					
Ajuste de pernos y tornillos					
Funcionamiento del actuador 1					
Funcionamiento del actuador 2					
Estado y seguridad de las ruedas					
Funcionamiento del reposabrazos					
Funcionamiento del reposacabezas					
Funcionamiento del reposapiés					
Funcionamiento de mecanismos					
Funcionamiento de otras piezas extraíbles					
Estado del cableado eléctrico					
Estado de la caja de control					
Velocidad de los actuadores adecuada					
El movimiento de los actuadores es el adecuado					
El movimiento de los actuadores es brusco					
¿Dispone del manual de instrucciones?					



**FORMATO DE INSPECCIÓN DE SILLA DE RUEDAS POSTURAL-  
BIPEDESTADORA**

Nombre del responsable: \_\_\_\_\_

Fecha de Inspección: \_\_\_\_\_



# POSICIÓN DE SILLA

PARTES A REVISAR DEL EQUIPO	SI/NO	CONDICIÓN			OBSERVACIÓN
		Buena	Mala	Reparación	
Deformaciones					
Roturas					
Defecto de funcionamiento					
Estado de la pintura					
Peligro de corrosión					
Funcionamiento de las ruedas					
Ajuste de pernos y tornillos					
Funcionamiento del actuador 1					
Funcionamiento del actuador 2					
Estado y seguridad de las ruedas					
Funcionamiento del reposabrazos					
Funcionamiento del reposacabezas					
Funcionamiento del reposapiés					
Funcionamiento de mecanismos					
Funcionamiento de otras piezas extraíbles					
Estado del cableado eléctrico					
Estado de la caja de control					
¿Se ha suministrado todos los componentes?					
¿Dispone del manual de instrucciones?					

<b>FICHA DE RESULTADOS DE LA SILLA POSTURAL - BIPEDESTADORA</b>						
<i>REFERENCIAS</i>						
El asiento es cómodo y adecuado para el usuario	1	2	3	4	5	OBSERVACIONES
El respaldo es cómodo y adecuado para el usuario						
Los reposapiés son cómodos y adecuados para el usuario						
Las ruedas son adecuadas para el usuario y su entorno						
Las ruedas traseras son lo suficientemente dimensionadas para la estabilidad						
Las ruedas delanteras tienen suficiente maniobrabilidad						
Los frenos son fáciles de usar y eficaces para detener la silla de ruedas						
Las manijas de empuje son cómodas para el cuidador						
La silla de ruedas es fácil de plegar y transportar						
La silla de ruedas es lo suficientemente liviana para su uso diario						
El peso es adecuado para el cuidador para transportar						
Los accesorios disponibles para la silla de ruedas son adecuados						
El costo de la silla de ruedas es razonable en comparación con otras opciones de calidad similares						
El sistema de elevación funciona correctamente y es capaz de elevar al usuario a la posición de pie sin problemas						
Los soportes para piernas se ajustan de manera adecuada a las piernas del usuario						
Las correas de seguridad sujetan al usuario de manera segura mientras está de pie						
La estabilidad de la silla es adecuada mientras el usuario está de pie						
<b>COMENTARIOS:</b>						

**ANEXO B: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN**







**ANEXO C: PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SILLA POSTURAL BIPEDESTADORA**





## ANEXO D: SELECCIÓN DE ACTUADORES

### Actuador lineal Eco-Worthy



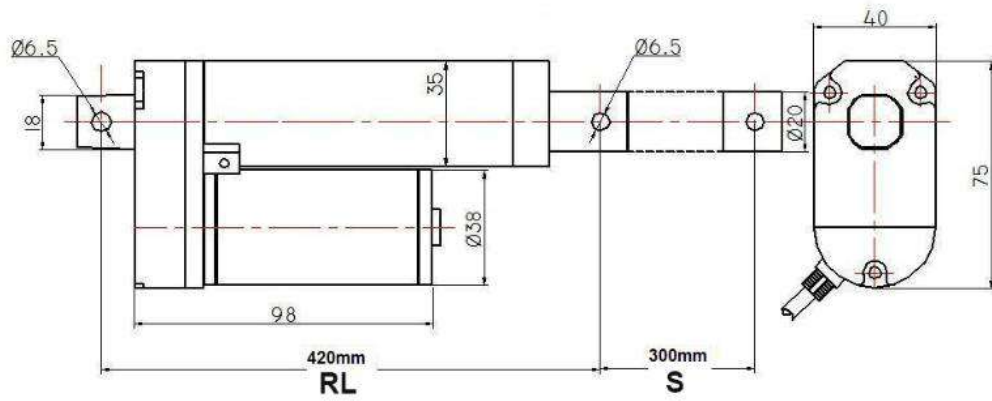
1. Cuenta con una carcasa totalmente metálica y es resistente al agua y está sellada contra el polvo para una mayor durabilidad.
2. El motor de 12 V tiene caja de engranajes y está clasificado para soportar hasta 330 libras. cuando no se mueve.
3. Operación silenciosa, limpia y energéticamente eficiente
4. Posiciona con precisión la carga en ubicaciones variables y repetibles dentro de la carrera completa
5. Garantía: 1 año



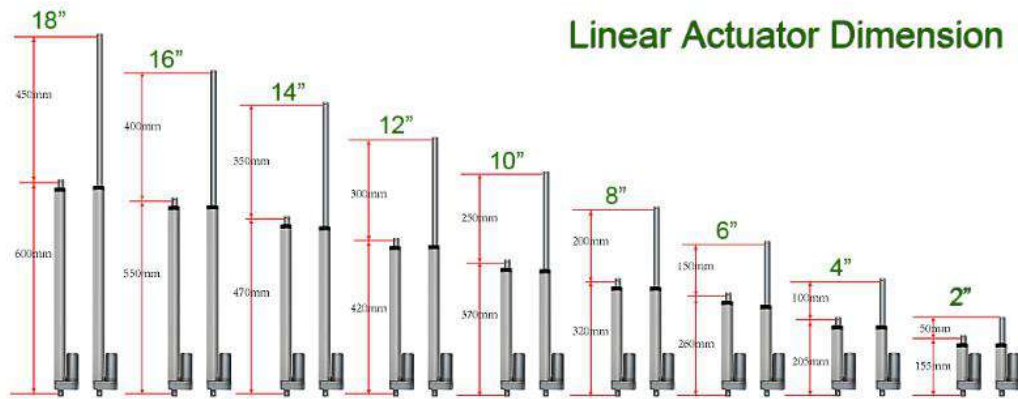
Especificaciones									
Tipo	12V 2 pulgadas	12V 4 pulgadas	12V 6 pulgadas	12V 8 pulgadas	12V 10 pulgadas	12V 12 pulgadas	12V 14 pulgadas	12V 16 pulgadas	12V 18 pulgadas
Longitud de carrera (S)	50MM	100MM	150MM	200MM	250MM	300MM	350MM	400MM	450MM
Voltaje	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12v	12V	12V
Longitud de carrera (pulgadas)	2 pulgadas	4 pulgadas	6 pulgadas	8 pulgadas	10 pulgadas	12 pulgadas	14 pulgadas	16 pulgadas	18 pulgadas
mín. Distancia de instalación (RL)	RL = S +105MM								
Distancia mínima de instalación	6.11 pulgadas	8.08 pulgadas	10.24 pulgadas	12.60 pulgadas	14.57 pulgadas	16.54 pulgadas	18.50 pulgadas	18.51 pulgadas	23.62 pulgadas
Corriente de arranque (sin carga)	0.8A								
Corriente mínima	0.8A								
Corriente máxima	3A								
máx. Carga	Empuje 1500N, Tira 1200N								
Ciclo de trabajo	15% (parada durante 17 minutos después de trabajar continuamente 3 minutos)								
Límite de cambio	Preajuste de fábrica integrado								
temperatura de operacion	-25 °C-65 °C								
Clase de protección	IP54								
Conector Trasero	Sin rotación								
Color	Plata								



Dimensión



Linear Actuator Dimension



## **ANEXO E: MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO**

### **MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO SILLA DE RUEDAS POSTURAL-BIPEDESTADORA**

**LEA ATENTAMENTE EL MANUAL DEL USUARIO ANTES DE UTILIZAR EL PRODUCTO.**



Este manual contiene operaciones, métodos de ensamblaje y soluciones simples de fallas.

Este manual se aplica a nuestro primer modelo de silla de ruedas postural bipedestadora.

Este manual contiene mantenimiento de silla de ruedas y métodos de autocomprobación, colóquelo en el lugar adecuado.

Proporcione este manual como referencia cuando otras personas vayan a usar la silla de ruedas.

Las anotaciones e ilustraciones en este manual pueden ser ligeramente diferentes con las partes reales debido a la mejora de la calidad o al cambio de diseño.

Póngase en contacto con sus diseñadores si hay alguna ambigüedad o consulta.

El uso incorrecto de cualquier producto podría perjudicarse a sí mismo y a otros.

La silla de ruedas postural bipedestadora está diseñada para transportar/trasladar cómodamente a niños con parálisis cerebral, además de realizar una correcta bipedestación. Esta silla de ruedas está diseñada para trasladar a una sola persona.

#### **1. INTRODUCCIÓN**

Una silla de ruedas bipedestadora es un tipo de silla de ruedas que permite a una persona ponerse de pie y caminar mientras está sentada en la silla de ruedas. La silla de ruedas bipedestadora tiene un marco que soporta al usuario mientras se eleva desde una posición sentada a una posición de pie.

La silla de ruedas postural bipedestadora está equipada con una plataforma para los pies y soportes para las rodillas y los muslos para mantener al usuario en una posición de pie estable. También

tienen ruedas grandes para facilitar la movilidad en la posición de pie y un arnés de seguridad para mantener al usuario seguro.

La silla de ruedas postural bipedestadora se utiliza para personas con discapacidades o lesiones en las piernas, ya que les permite ponerse de pie y caminar mientras están sentados en la silla de ruedas. Esto puede mejorar la salud, la independencia y la comodidad de la persona, así como reducir los problemas médicos relacionados con la falta de actividad física.

## **2. INFORMACIÓN**

Esta silla de ruedas bipedestadora está diseñada para ser muy beneficiosa para niños con parálisis cerebral, una afección que afecta el movimiento y la coordinación del cuerpo. A continuación, se mencionan algunas de las razones por las que un niño con parálisis cerebral podría necesitar una silla de ruedas bipedestadora:

*Mejora la postura:* La parálisis cerebral puede afectar la postura de un niño, lo que puede llevar a problemas de salud a largo plazo. Una silla de ruedas bipedestadora permite al niño estar de pie, lo que ayuda a mejorar la alineación de la columna vertebral y la pelvis.

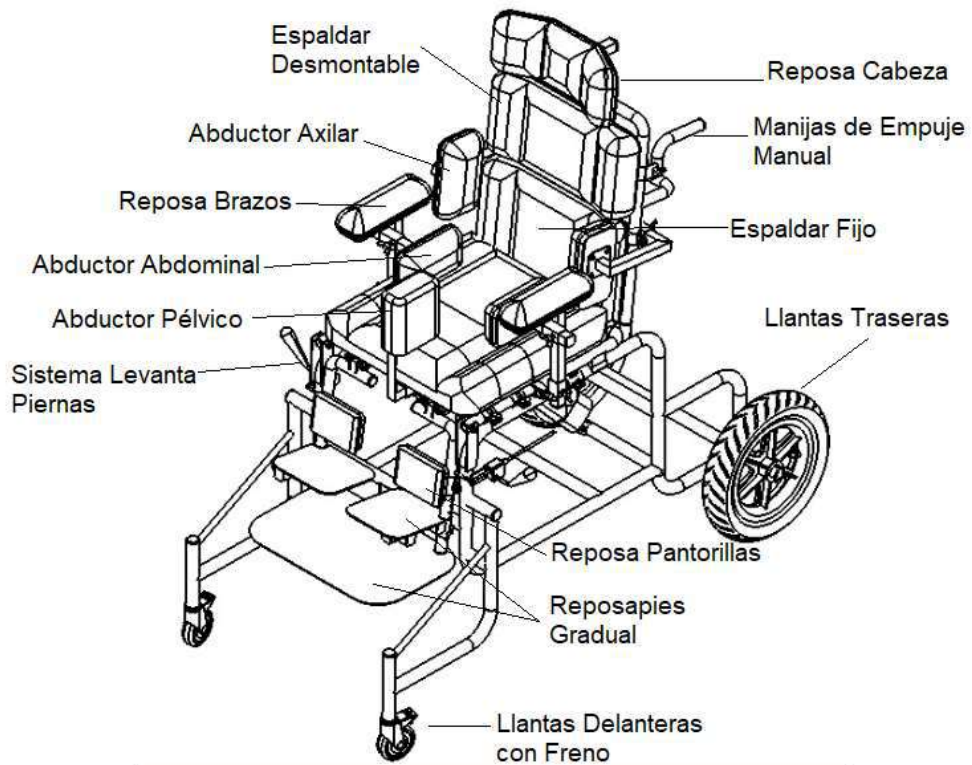
*Desarrollo muscular:* La silla de ruedas bipedestadora puede ayudar a desarrollar los músculos del niño, ya que les permite ejercitar los músculos de las piernas y la pelvis mientras están de pie. Esto puede ayudar a mejorar la fuerza muscular y la coordinación.

*Estimulación sensorial:* Ponerse de pie puede proporcionar una estimulación sensorial adicional para el niño. Esto puede ser especialmente beneficioso para aquellos con problemas de percepción sensorial, ya que puede ayudarles a desarrollar una mayor conciencia corporal.

*Mayor independencia:* La capacidad de estar de pie y moverse de manera independiente puede mejorar la autoestima y la confianza del niño. También puede permitir al niño interactuar con los demás a nivel visual y participar en más actividades.

*Reducción de problemas médicos:* La falta de actividad física puede llevar a problemas médicos, como la formación de coágulos de sangre. Una silla de ruedas bipedestadora puede ayudar a reducir estos problemas al permitir al niño mover sus piernas y mejorar la circulación sanguínea. En resumen, una silla de ruedas bipedestadora puede ser necesaria para niños con parálisis cerebral para mejorar la postura, desarrollar la fuerza muscular y la coordinación, proporcionar estimulación sensorial, mejorar la independencia y reducir los problemas médicos relacionados con la falta de actividad física.

### 3. DATOS GENERALES



### 4. ÁREA DE APLICACIÓN

El diseño modular de la silla de ruedas postural bipeDESTADORA, permiten que tanto la silla de ruedas como sus funciones puedan operarse de manera segura, y sean un aporte necesario para niños que no pueden caminar o con movilidad reducida debido a:

- Parálisis cerebral
- Pérdida de extremidades (amputación)
- Defecto o deformidad en extremidades

- Lesiones articulares
- Apoplejías y lesión cerebral
- Discapacidades neurológicas (esclerosis múltiple, mal de Parkinson, etc.)

### ***Vida útil***

Se estima que el producto tendrá una vida útil de 5 años, siempre y cuando:

- Se utilice de conformidad con el uso indicado y especificado en este documento.
- Se cumplan con los procedimientos de comprobaciones y mantenimiento.

La vida útil del producto podrá ser superior si se utiliza el producto con cuidado y se hace un mantenimiento adecuado. Asimismo, la vida útil puede verse considerablemente reducida debido al uso en condiciones extremas o incorrectas. El hecho de estimar una vida útil determinada para este producto no constituye su garantía.

## **5. RENDIMIENTO DEL PRODUCTO**

Esta silla de ruedas postural bipedestadora funciona de manera manual para el transporte del paciente, sin embargo, para el sistema de bipedestación utiliza una batería la cual impulsa dos actuadores lineales de 200 mm y 300 mm. Los usuarios controlan el recorrido del pistón mediante botones en un controlador.

### ***Estructura principal***

Esta silla de ruedas postural bipedestadora se compone principalmente de dos partes:

- 1) Parte del marco: Marco, rueda, reposapiés, reposabrazos, respaldo, etc.
- 2) Parte eléctrica: Controlador, actuadores y batería.

### ***Rango de aplicación:***

Nuestra silla de ruedas está diseñada para la ayuda en rehabilitación de niños con parálisis cerebral, que oscilan en edades entre 3 a 16 años (peso menos de 80 Kg idealmente) que se usa como silla postural para realizar una bipedestación adecuada.

## **6. INFORMACIÓN ADICIONAL DE SEGURIDAD**

### ***Bolsas o equipajes:***

Nunca lleve bolsas (a menos que sean accesorios aprobados) detrás del asiento ya que esto podría provocar que volcará hacia atrás. Únicamente lleve bolsas pequeñas en su regazo y asegúrese que no le impiden el control de bipedestación de la silla de ruedas.

### ***Asiento, reposabrazos y abductores:***

No transportar ni adjuntar nada en los reposabrazos del asiento. Cualquier cosa unida a los reposabrazos y/o abductores del asiento podría afectar a la estabilidad o interferir en el control de la silla de ruedas postural bipedestadora.

### ***Controlador:***

No mueva el controlador cuando suba o baje de la silla de ruedas al paciente; asegúrese siempre el sistema eléctrico de la silla de ruedas esté desconectado.

### ***Modificaciones:***

Modificaciones no autorizadas pueden provocar lesiones o daños permanentes.

### ***Otros apartados:***

Utilice únicamente productos o accesorios aprobados.

### **ANTES DE UTILIZAR LA SILLA ELÉCTRICA, INSPECCIONE LO SIGUIENTE:**

- Compruebe que no exista fallas o deterioro de las llantas.
- Compruebe todas las conexiones eléctricas.
- Asegúrese de que estén tensas y sin corrosión.
- Compruebe todas las conexiones del mando al panel eléctrico. Asegúrese de que estén bien tensadas.
- Compruebe los frenos. (Para empezar la bipedestación)
- Compruebe la carga de las baterías. (Se recomienda cargarla cuando los actuadores pierdan fuerza).

NOTA: Si encuentra algún problema, póngase en contacto con los diseñadores de esta silla postural bipedestadora.

### ***PRECAUCIONES PARA LOS CUIDADORES:***

- Los médicos o cuidadores deben confirmar que los pies de los usuarios estén en la posición correcta sobre los reposa pies y asegurarse de que la ropa no se adhiera ningún mecanismo móvil
- Los médicos o cuidadores deben empujar la silla de ruedas para avanzar para mantenerse a salvo en pendientes pronunciadas o pendientes largas.

### ***Reparación y reforma***

Si la reparación y la modificación son necesarias comuníquese con sus diseñadores.

No modifique usted mismo, puede producir accidentes o mal funcionamiento de la silla.

### ***Protección del medio ambiente***

Para proteger el medio ambiente, no deseche la batería reemplazada.

Póngase en contacto con sus diseñadores para reemplazar la batería nueva.

Mantenga en un ambiente seco.

No guarde la silla de ruedas en condiciones húmedas, como cerca del baño.

Si la silla de ruedas se mojó bajo la lluvia limpie el agua inmediatamente.

No reemplace piezas o material al azar.

No agregue peso al azar, en caso de que cause un desequilibrio.

En caso de existir un sonido anormal, comuníquese con sus diseñadores de inmediato

### ***Protección contra interferencias electromagnéticas***

La silla de ruedas debe estar lejos de campos electromagnéticos fuertes y equipos eléctricos inductivos grandes, como estaciones de radio, estaciones de TV, estaciones de radio subterráneas, estaciones de radio transmisoras de teléfonos, celulares. Preste atención a eso si hay fuentes de

interferencia electromagnética cerca, tan lejos de esas fuentes para evitar la interferencia electromagnética. La silla de ruedas debe evitar interferencias electromagnéticas.

## **7. BATERÍA Y CARGADOR**

### ***Requisitos del cargador***

El cargador se usa para cargar la batería.

Durante la carga de la silla de ruedas postural bipedestadora, NO LA USE.

Datos técnicos del cargador

Voltaje de entrada: CA 120V  $\pm$  10% Voltaje de salida: 12V / DC Corriente de salida: 7A

### ***Uso del cargador***

Para cargar la batería, conecte el cargador con la fuente de alimentación y el enchufe del controlador. Siga las siguientes instrucciones para completar el proceso de carga

La carga completa necesita de 6 a 10 horas, no sobrecargue más de 24 horas.

Para evitar una corta duración de la batería, cargue la batería al menos una vez al mes cuando no se utilice la silla de ruedas.

Después de terminar de cargar, apague la fuente de alimentación, de lo contrario la batería se descargará lentamente. No cargue más de 24 horas. Sobrecargar es peligroso

### ***Los usuarios deben seguir las siguientes reglas para evitar cargar peligros:***

Utilice un cargador estándar nacional que indique que el voltaje de salida es de 12V / DC 7A.

- Debe estar bien ventilado durante la carga. No exponga la silla de ruedas a la luz solar y al ambiente húmedo.

- El rango de temperatura del entorno de carga es de 10 a 50 °C. Si está fuera del medio ambiente rango de temperatura, la batería no puede funcionar bien y puede dañarla fácilmente.

- Evite que líquidos ingresen al cargador durante la carga. Y no coloque el cargador sobre los artículos inflamables, tales como: combustible, reposapiés o cojín del asiento.

### ***El uso y mantenimiento de la batería***

El funcionamiento incorrecto de reemplazar la batería puede causar peligro de explosión. Solo el mismo tipo de batería o el recomendado es adecuado para el reemplazo. Y asegúrese de que los polos de la batería sean correctos. Puntos clave para prolongar la vida útil de la batería: cárguela con frecuencia para mantener la batería llena. Es mejor cargar completamente la batería si no se usa la silla de ruedas. Si deja de usar durante mucho tiempo, es mejor cargar dos veces por mes.



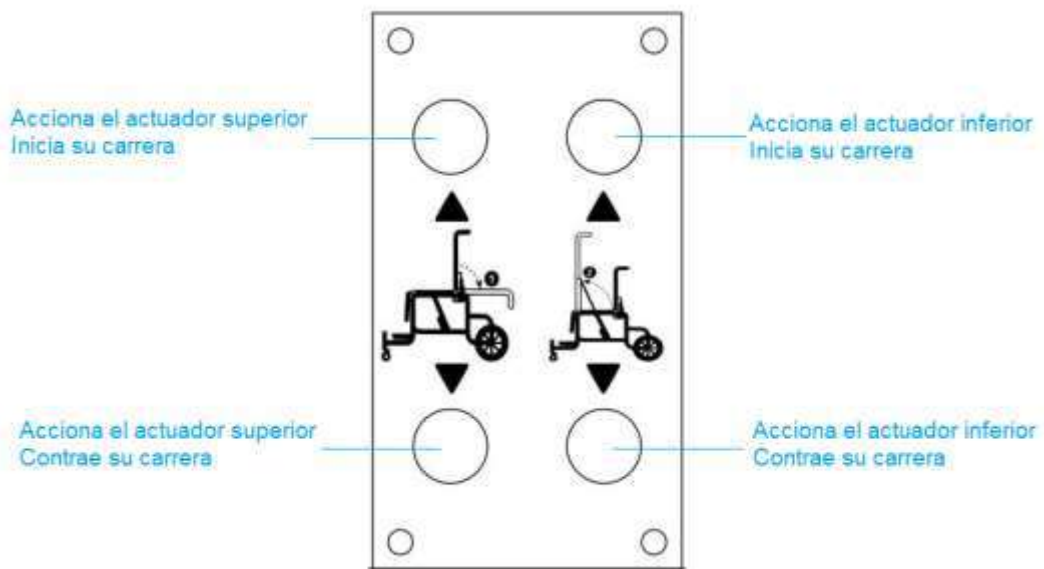
Manténgase alejado de las llamas al cargar la batería.

Las llamas pueden provocar un incendio o una explosión de la batería.

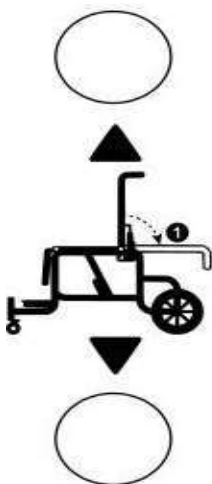
La carga produce hidrógeno, no fume mientras se carga.

No desenchufe la fuente de alimentación cuando la toma de corriente o las manos estén mojadas, ya que podría provocar una descarga eléctrica. En caso de que ocurra un accidente impredecible y lastime al usuario, no lo use ni se sienta en la silla de ruedas eléctrica durante la carga.

### Controlador



El control de los actuadores lineales, serán controlados por pulsadores independientes para cada actuador como se describe a continuación:



La posición 1 mostrada en la figura nos indica el funcionamiento del actuador superior situado en el espaldar de la silla postural bipedestadora, el botón superior corresponde a iniciar el recorrido del actuador, teniendo este un recorrido de 200 milímetros, el botón inferior corresponde a retraer el recorrido del actuador logrando así una posición horizontal en el espaldar.





La posición 2 mostrada en la figura nos indica el funcionamiento del actuador inferior situado bajo el asiento de la silla postural bipedestadora, el botón superior corresponde a iniciar el recorrido del actuador, teniendo este un recorrido de 300 milímetros, logrando así una posición vertical en el espaldar, el botón inferior corresponde a retraer el recorrido del actuador.

## **8. FUNCIONAMIENTO DE LA SILLA POSTURAL BIPEDESTADORA**

Regulación y calibración de la silla previo al uso del paciente

1. Colocar la silla en un lugar plano y/o sin irregularidades
2. Colocar el seguro de freno en las ruedas de la silla
3. Dependiendo la condición física del paciente, estatura y discapacidad, se recomienda regular el espaldar ya que cuenta con dos alturas distintas
4. Dependiendo la condición física del paciente, estatura y discapacidad, se recomienda regular el reposa cabezas ya que cuenta con un ajuste amplio para la comodidad del paciente
5. Dependiendo la condición física del paciente, estatura y discapacidad, se recomienda regular el asiento ya que cuenta con tres posiciones distintas
6. Revisar y ajustar el arnés tanto pectoral como pélvico de acorde a las medidas del paciente, teniendo en cuenta que este brindara la seguridad al paciente al momento de realizar la bipedestación

Una vez realizado los ajustes previos necesarios, de acuerdo con las condiciones médicas del paciente en la silla de ruedas postural bipedestadora, se procede a realizar una prueba en vacío, para verificar el correcto funcionamiento de los actuadores

Regulación y calibración de la silla durante el uso del paciente

1. Colocar la silla en un lugar plano y/o sin irregularidades
2. Colocar el seguro de freno en las ruedas de la silla
3. Revisar que el arnés de seguridad este abierto y sin seguro para no incomodar al paciente
4. Colocar el abductor pélvico en la parte inferior de la silla y ajustar la mariposa de sujeción en la posición adecuada para el paciente
5. Colocar los reposabrazos en la parte lateral derecha e izquierda del asiento y ajustar la mariposa de sujeción en la posición adecuada para el paciente

6. Colocar los abductores torácicos en la parte lateral derecha e izquierda del espaldar y ajustar la mariposa de sujeción en la posición adecuada para el paciente
7. Regular el reposapiés a la altura adecuada de los pies del paciente y colocar el seguro de la misma
8. Colocar los seguros tanto en el arnés pélvico como en el pectoral, para brindar total seguridad al momento de realizar la bipedestación

Compruebe que el soporte anterior de pelvis y el pectoral esté lo suficientemente ajustado para proporcionar un apoyo cómodo. Una forma sencilla de ajustarlo es la de dejar el equivalente a una mano entre el cuerpo del usuario y el soporte anterior de pelvis y/o pecho. Para su seguridad



Es importante tener en cuenta que los ajustes torácicos solo deben realizarse en el respaldo de la silla, que es la parte móvil. Esto se debe a que cuando se activa el mecanismo, el respaldo dirige el movimiento mientras la estructura permanece inmóvil. Si se realizan ajustes en la estructura fija, el funcionamiento del mecanismo aumenta el riesgo de lesiones físicas, como retorcidas, el riesgo de asfixia e incluso estrangulamiento pudiendo provocar la muerte.

## 9. MANTENIMIENTO



Riesgo de electrocución; desconecte las baterías para evitar flujos de corriente no deseados antes de realizar tareas de mantenimiento.

La vida útil de la silla de ruedas eléctrica depende del uso, del almacenamiento, del mantenimiento periódico, de las inspecciones y de la limpieza.

Las baterías no requieren mantenimiento.

### 9.1. *Mantenimiento periódico*

A continuación, se describen las operaciones de mantenimiento para asegurar el buen estado de su silla de ruedas postural bipedestadora:

- Antes de cada utilización
  - Busque daños y/o suciedad aparente en los neumáticos. Límpielos, ya que la suciedad podría dificultar el movimiento de los neumáticos. Cuando un neumático esté dañado, visite un taller autorizado para su reparación.
  - Verifique los frenos, reemplácelos si es necesario.
  - Asegúrese de que todos los tornillos están bien apretados.
  - Compruebe la silla de ruedas postural bipedestadora (limpieza, roturas, desperfectos en su estructura, etc.) y límpiela.

- Encienda los componentes electrónicos tras verificar las conexiones.
- Compruebe el correcto funcionamiento de los actuadores lineales. Si el funcionamiento no fuera correcto, póngase en contacto con sus diseñadores.
- Cada 8 semanas: inspeccione y posiblemente engrase o ajuste
  - Pasadores, bases y ejes de las ruedas
  - Suciedad dentro de la caja de la batería (límpiela cuidadosamente, ya que puede oxidar los enchufes).



Retire los conectores de los polos de las baterías antes de limpiar los polos.

Riesgo de cortocircuitos; asegúrese de no poner objetos capaces de conducir corrientes eléctricas entre los polos de las baterías.

Suciedad u óxido en los polos de las baterías (asegúrese de mantener los polos limpios ya que la suciedad podría dañar las baterías).

- Apriete las partes móviles que puedan retirarse.
  - Estado de los cojines
  - Profundidad de la banda de rodadura de las ruedas
- Cada 6 meses o para cada nuevo usuario
    - Revisión general
    - Integridad mecánica
    - Limpieza y desinfección
    - Función de las ruedas y comprobación de la presión de los neumáticos
    - Que funcione el cargador
    - Compruebe los puntos de engrase siguientes:

Todas las piezas móviles

La reparación y el montaje de los recambios para la silla de ruedas deberán ser efectuados por sus diseñadores.

### **9.2. Almacenamiento**

El almacenamiento de la silla de ruedas postural bipedestadora deben realizarse conforme a las instrucciones siguientes:

- Almacenamiento en un lugar seco (entre +5°C y +45 °C).
- La humedad relativa del aire debe situarse entre 30% y 70%.
- Recubra y embale adecuadamente la silla de ruedas para protegerla del óxido y de cuerpos extraños (agua salada, aire del mar, arena, polvo, etc.).

- Almacene todas las partes desmontadas juntas en el mismo sitio (o identifíquelas si es necesario) para evitar mezclarlas con otros productos al volver a montar la silla (abductores, reposabrazos).
- Deberá almacenar los componentes de forma que no queden presionados (no coloque piezas pesadas sobre la silla, no la encaje entre otros objetos, etc.).
- Sujete la silla de ruedas únicamente por las partes sólidas del armazón.
- Revise los cables internos para detectar aplastamiento y prevenir dobleces.
- Desconecte el enchufe del controlador de actuadores.

Si las baterías no se usan, pueden descargarse completamente. Si ya no utiliza la silla de ruedas postural bipedestadora, se puede dejar conectada al cargador de baterías. El cargador de baterías controla automáticamente la carga. Si desea retirar las baterías y almacenarlas, tenga en cuenta lo siguiente:

- Retire los bornes de los polos de la batería.
- Tape como mínimo el polo positivo con una cubierta.
- Sujete las baterías solo por los dos lados opuestos de la unidad.
- Durante el almacenamiento, asegúrese de que no haya ningún objeto que pueda hacer contacto con los polos (peligro de cortocircuito).
- Almacene las baterías únicamente en un entorno seco y ventilado con una temperatura entre los 0°C y los 40°C. Temperatura de almacenamiento recomendada: 20°C).
- Guarde las baterías en su caja para protegerlas de la humedad o de otras influencias externas.
- Proteja los enchufes y las tomas de las cajas de baterías contra la corrosión.
- No permita que las baterías se descarguen por completo.

Si tiene cualquier duda, diríjase a sus diseñadores que también puede informarle exhaustivamente sobre el almacenamiento y el mantenimiento de las baterías.

### **9.3. Cuidados**

La limpieza de la silla de ruedas se puede realizar con productos de limpieza normales.

#### **9.3.1. Cojines para el asiento, espaldar y reposa cabezas**

Realice la limpieza del cojín del asiento y del respaldo según se indica:

- Limpie los cojines del asiento y el respaldo con un paño humedecido en agua caliente. Tenga cuidado de no emparar el recubrimiento.
- Utilice un detergente comercial suave para retirar la suciedad percudida si existiera.
- Las manchas se pueden eliminar con una esponja o un cepillo suave.
- No emplee líquidos agresivos de limpieza, como disolventes. Tampoco debe usar cepillos duros.
- Nunca realice limpiezas a vapor o a presión.

El uso de agentes limpiadores inadecuados puede causar daños a la ergonomía de la silla de ruedas postural bipedestadora.

### **9.3.2. Piezas de plástico**

Limpie las piezas de plástico de la silla de ruedas eléctrica con limpiadores de plástico comerciales. Utilice solo cepillos o esponjas suaves. Tenga en cuenta la información especial del producto.

Ejemplos de piezas de plástico son la base de la batería, controlador, etc.

### **9.3.3. Recubrimiento**

La alta calidad de los acabados de las superficies garantiza una protección óptima contra la corrosión. Si el revestimiento exterior presenta arañazos u otros daños, pida a un distribuidor especializado que repare la superficie afectada.

Durante la limpieza, utilice solo agua tibia y productos de limpieza normales, cepillos y paños suaves. Asegúrese de que no entre humedad en los componentes (tubos, componentes electrónicos, etc.).

En principio, la estructura se debe frotar con un paño seco. La suciedad rebelde y las zonas empañadas pueden corregirse con un producto comercial adecuado para pulir pintura epoxica.

Se puede evitar la pérdida de brillo si engrasa las piezas de acero ligeramente con vaselina.

### **Sistemas electrónicos**



Compruebe que los enchufes no tengan ni corrosión ni daños antes de cada utilización, ya que se podría ver afectada la eficacia de los componentes electrónicos.

Retire las baterías antes de realizar el mantenimiento, para evitar la conducción involuntaria de corriente.

Limpie la caja de circuitos, batería y controlador con un paño humedecido con unas gotas de limpiador doméstico comercial. No emplee elementos de pulido abrasivos o con bordes afilados, como cepillos o rascadores de metal, ya que se puede arañar la superficie del mando del operador.

### **9.4. Inspección**

En principio recomendamos una inspección anual y, una como mínimo, cuando finaliza el uso. Todas las verificaciones que se indican a continuación deben ser realizadas y documentadas por personal autorizado:

- Compruebe visualmente si las piezas del armazón presentan deformaciones o roturas, o si el funcionamiento es incorrecto. (armazón básico, armazón del asiento, armazón del respaldo, laterales, reposa pies, reposa cabezas, actuadores lineales).
- Verifique visualmente la ausencia de roturas y puntos frágiles en todas las piezas de plástico.
- Verifique la solidez y el desgaste de todos los tornillos.

- Realice una inspección visual de todas las carcasas para detectar daños; además, los tornillos deben estar firmemente sujetos, y los sellos y las juntas no deben presentar daños visibles.
- Verifique visualmente el estado de la pintura (peligro de corrosión).
- Compruebe que los enchufes no tengan ni corrosión ni daños antes de cada utilización, ya que se podría ver afectada la eficacia de los componentes electrónicos.
- Verifique el funcionamiento de los neumáticos (que giren libremente, nivelación de rodadura, juego del eje, neumáticos, perfil, estado de las llantas, presión de aire en caso de neumáticos de aire, ejes flotantes, etc.).
- Verifique la cantidad de grasa en las juntas metálicas de las partes móviles.
- Compruebe el funcionamiento de las otras piezas extraíbles (por ejemplo, arnés de seguridad personal, abductores, respaldo/asiento, etc.).
- Compruebe el cableado (particularmente que no haya: aplastamiento, abrasión, cortes, aislamientos visibles de los conductores internos, hilos metálicos visibles, dobleces, irregularidades, cambios de color de la capa exterior y secciones frágiles).
- Que los cables eléctricos estén fijados con seguridad para evitar roturas, aplastamientos y otras tensiones mecánicas.
- Compruebe el funcionamiento de los elementos de circulación (realizar una bipedestación de prueba y comprobar ruidos, velocidad, movimiento libre, etc.), si es necesario: Mida el rendimiento, primero sin carga y después con la carga nominal, para comprobar el desgaste y la abrasión de los actuadores comparando los valores de la corriente eléctrica con los valores en el momento de la entrega del producto.
- Compruebe los ajustes de los actuadores (inclinación del asiento y el respaldo, columna del elevador).
- Compruebe el estado de las baterías, cubiertas y controlador.
- ¿Se han suministrado todos los componentes? ¿Dispone de manual de instrucciones?

A mayor rendimiento o uso diario, el intervalo de tiempo para la inspección de las piezas de desgaste debe ser de al menos dos cada seis meses.

Las medidas de comprobación las podrá llevar a cabo únicamente personal cualificado con formación acerca de la silla de ruedas al menos, y bajo la supervisión por lo menos de un electricista que conozca los instrumentos y procesos de medida.

La autorización para el uso de la silla de ruedas eléctrica tras un mantenimiento o unas medidas de inspección correctas la podrá conceder únicamente un electricista o sus diseñadores.

Solo deberá confirmarse el plan de mantenimiento una vez se hayan verificado todos los aspectos mencionados anteriormente como mínimo.



