



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN EQUIPO DE BIPEDESTACIÓN
AUTOMATIZADA PARA APOYAR LA FISIOTERAPIA EN PERSONAS
CON DISCAPACIDAD.**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: DANNY STEVEN ORDOÑEZ VILELA
DANIEL ESTEBAN VÁSQUEZ QUITO

TUTOR: ING. JOHN IGNACIO CALLE SIGUENCIA Ph.D

Cuenca – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Danny Steven Ordoñez Vilela con documento de identificación N ° 0706282696 y Daniel Esteban Vásquez Quito con documento de identificación N° 0107061749 ; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 02 de Agosto del 2024.

Atentamente,



Danny Steven Ordoñez Vilela
0706282696



Daniel Esteban Vásquez Quito
0107061749

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Danny Steven Ordoñez Vilela con documento de identificación N ° 0706282696 y Daniel Esteban Vásquez Quito con documento de identificación N° 0107061749, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo Tecnológico: “Desarrollo de un equipo de bipedestación automatizada para apoyar la fisioterapia en personas con discapacidad.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 02 de Agosto del 2024.

Atentamente,

Danny Steven Ordoñez Vilela
0706282696

Daniel Esteban Vásquez Quito
0107061749

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, John Ignacio Calle Sigüencia con documento de identificación N ° 0102118213, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN EQUIPO DE BIPEDESTACIÓN AUTOMATIZADA PARA APOYAR LA FISIOTERAPIA EN PERSONAS CON DISCAPACIDAD., realizado por Danny Steven Ordoñez Vilela con documento de identificación N ° 0706282696 y Daniel Esteban Vásquez Quito con documento de identificación N° 0107061749, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 02 de Agosto del 2024.

Atentamente,

Ing. John Ignacio Calle Sigüencia, PhD
0102118213

Dedicatoria

Steven Ordoñez

Dedico este trabajo a mis compañeros y amigos, quienes con su apoyo, camaradería y momentos compartidos hicieron que este camino fuera más llevadero y enriquecedor. Su compañía en los momentos difíciles y sus palabras de aliento fueron fundamentales para que pudiera llegar hasta aquí.

A mis profesores y mentores, por su guía y por compartir su conocimiento con paciencia y dedicación. Gracias por creer en mi potencial y por impulsarme a seguir adelante, incluso cuando el desafío parecía insuperable.

Daniel Vásquez

Como primera instancia quiero dedicar a Dios por guiarme en el camino correcto y poder seguir a pesar de toda adversidad.

A mi padre y a mis abuelos los cuales me apoyaron en todo momento económicamente e intelectualmente para formarme como profesional.

A todos mis amigos y compañeros por el apoyo y consejo que me han brindado en todo momento.

Agradecimientos

Steven Ordoñez

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi Tutor de tesis, quien ha sido una fuente constante de conocimiento, inspiración y apoyo a lo largo de este proceso. Sus consejos y su dedicación han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y por ello, le estoy profundamente agradecido.

A mis compañeros y amigos, gracias por estar siempre dispuestos a ofrecer su ayuda, por los debates enriquecedores y por los momentos de camaradería que hicieron más ameno este camino. Sin su apoyo y compañía, este logro no habría sido posible.

Daniel Vásquez

Agradezco a Dios por haberme brindado salud y vida para poder realizar este proyecto de titulación. A mis padres, por el apoyo incondicional de superación y motivación a seguir y poder culminar mis estudios, a mis amigos por los momentos que me pudieron brindar en mi formación profesional.

Agradezco con todo mi corazón a la persona que he amado en toda mi vida llamada Janneth Campozano, cuya mujer me lleno de felicidad y apoyo en los momentos de tristeza convirtiéndome en una mejor persona y un gran profesional a pesar de todos los errores que pude cometer, apoyándome en cada situación con su compañía y consejos, gracias a ella me encuentro en este punto de mi vida y le deseo mucha suerte en su vida y en el camino que este tomando en este momento.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XVI
Abstract	XVII
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del problema	3
2.3. Importancia y alcances	3
2.4. Delimitación	4
2.5. Problema General	4
2.6. Problemas Específicos	4
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Marco Teórico	6
4.1. Introducción a la Bipedestación.	6
4.1.1. ¿Qué es la bipedestación?	6
4.1.2. Importancia de la Bipedestación en la Rehabilitación y Fisioterapia.	6
4.2. Tipos de discapacidades acorde al CONADIS.	7
4.2.1. Discapacidad Física.	7
4.2.2. Discapacidad Intelectual.	8

4.2.3.	Discapacidad Psicosocial.	8
4.2.4.	Discapacidad Auditiva.	8
4.2.5.	Discapacidad Visual.	8
4.2.6.	Discapacidad del Lenguaje.	8
4.3.	Beneficios de la Bipedestación en las Personas con Discapacidad.	9
4.4.	Camillas bipedestadoras.	9
4.4.1.	Tipos de camillas bipedestadoras.	10
4.5.	Dispositivos de bipedestación existentes en el mercado.	14
4.6.	Componentes y especificaciones de un dispositivo de bipedestación.	16
4.6.1.	Estructura Base.	16
4.6.2.	Superficie de Apoyo.	16
4.6.3.	Sistema de Elevación.	16
4.6.4.	Sistema de sujeción.	18
4.6.5.	Soportes para Extremidades.	18
4.6.6.	Controles y Monitoreo.	19
4.7.	Actuadores Lineales.	19
4.7.1.	Tipos de Actuadores Lineales.	19
4.8.	Normas de materiales.	21
5.	Marco metodológico	22
5.1.	Levantamiento de la necesidad.	23
5.1.1.	Encuesta para la obtención de datos.	24
5.1.2.	Tabulación de datos de las encuestas.	28
5.2.	Determinar variables de diseño	38
5.2.1.	Medidas Antropométricas	39
5.3.	Diseño de Concepto	40
5.3.1.	Análisis del Mecanismo	40
5.3.2.	Definición de Componentes	42
5.4.	Cálculo y Selección de partes y piezas	43
5.4.1.	Base	43
5.4.2.	Rejilla Sección Espaldar - Fémur	47
5.4.3.	Reposapiés	50
5.4.4.	Sección Fémur	54
5.4.5.	Sección Tibia - Peroné	57
5.4.6.	Espaldar	60

5.4.7. Estructura completa del Equipo de Bipedestación	63
5.5. Diseño a detalle	67
5.5.1. Selección del Actuador lineal	68
5.6. Diseño eléctrico para el sistema de control del equipo.	87
5.6.1. Simulación del circuito eléctrico con ayuda del software FluidSIM. . .	92
5.7. Construcción del equipo de bipedestación.	93
5.7.1. Construcción del sistema mecánico.	94
5.7.2. Construcción y armado del sistema electrónico	96
5.7.3. Análisis de precios unitarios.	98
6. Resultados	108
6.1. Resultados de las simulaciones	108
6.1.1. Resultados de la estructura Base	108
6.1.2. Resultados de la estructura Rejilla Sección Espaldar - Fémur	109
6.1.3. Resultados de la estructura Reposapiés	109
6.1.4. Resultados de la estructura Sección Fémur	110
6.1.5. Resultados de la estructura Sección Tibia y Peroné	111
6.1.6. Resultados de la estructura Espaldar	112
6.1.7. Resultados de la estructura general	113
6.2. Resultados de la construcción del Equipo de Bipedestación Automatizado. .	114
7. Conclusiones	116
8. Recomendaciones	116
Referencias	120
ANEXOS	120
Anexo A. Propiedades mecánicas de los materiales	121
Anexo B. Catalogo de tubería de Acero Inoxidable AISI 304	122
Anexo C. Ficha Técnica Actuador Lineal Eléctrico 12 VDC, Carrera 500mm, Velocidad 5mm/s, Carga 6000N	123
Anexo D. Ficha Técnica Actuador Lineal Eléctrico 24 VDC, Carrera 100 mm, Carga 8000 N	124

Lista de Tablas

1.	Dispositivos de bipedestación existentes en el mercado	15
2.	Propiedades mecánicas de la estructura base.	44
3.	Cargas aplicadas en la Base.	46
4.	Resultados de las cargas aplicadas en la Base.	46
5.	Propiedades mecánicas de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur	48
6.	Cargas aplicadas en la Rejilla Sección Espaldar-Fémur.	49
7.	Resultados de las cargas aplicadas en la Rejilla Sección Espaldar-Fémur. . .	50
8.	Propiedades mecánicas del Reposapiés.	51
9.	Cargas aplicadas en la estructura del Reposapiés.	53
10.	Resultados de las cargas aplicadas en la estructura del Reposapiés.	53
11.	Propiedades mecánicas de la Sección Fémur.	54
12.	Cargas aplicadas en la estructura de la Sección Fémur.	56
13.	Resultados de las cargas aplicadas en la estructura de la Sección Fémur. . . .	56
14.	Propiedades mecánicas de la Sección Tibia - Peroné.	57
15.	Cargas aplicadas en la estructura Sección Tibia - Peroné.	59
16.	Resultados de las cargas aplicadas en la estructura de la Sección Tibia - Peroné.	59
17.	Propiedades mecánicas del Espaldar.	61
18.	Cargas aplicadas en la estructura del Espaldar.	62
19.	Resultados de las cargas aplicadas en la estructura del Espaldar.	63
20.	Propiedades mecánicas del Equipo de Bipedestación.	64
21.	Cargas aplicadas en la estructura del Equipo de Bipedestación.	66
22.	Resultados de las cargas aplicadas en la estructura del Equipo de Bipedestación.	67
23.	Secciones del cuerpo y su porcentaje de masa.	68
24.	Representación del peso estimado de cada sección del cuerpo.	69
25.	Fuerzas y Reacciones en el plano.	70
26.	Características del actuador lineal LA20	87
27.	Análisis de precios unitarios de la estructura “BASE”.	99
28.	Análisis de precios unitarios de la estructura “ESPALDAR”.	100
29.	Análisis de precios unitarios de la estructura “REJILLA SECCIÓN ESPALDAR - FEMUR”	101
30.	Análisis de precios unitarios de la estructura “SECCIÓN FÉMUR”	102
31.	Análisis de precios unitarios de la estructura “SECCIÓN TIBIA Y PERONÉ”. . . .	103
32.	Análisis de precios unitarios de la estructura “REPOSAPIÉS”.	104

33.	Análisis de precios unitarios del “SISTEMA DE ESLABONES”	105
34.	Análisis de precios unitarios de los “ACTUADORES LINEALES”.	106
35.	Análisis de precios unitarios de los “ACCESORIOS”.	107

Lista de Figuras

1.	<i>Total de Personas con discapacidad registradas en el Registro Nacional de Discapacidad.</i>	2
2.	<i>Camilla Bipedestadora marca ALI.</i>	10
3.	<i>Camilla de bipedestación manual marca FLEXOR.</i>	11
4.	<i>Camilla de Bipedestación Tilt Table Eléctrica.</i>	11
5.	<i>Cama articulada con elevación eléctrica CARE TREND.</i>	12
6.	<i>Camilla antimagnética de altura ajustable.</i>	13
7.	<i>Carro camilla de emergencia TurboSquid.</i>	13
8.	<i>Camilla eléctrica de 2 cuerpos, con estructura tipo tijera y accionamiento periférico.</i>	17
9.	<i>Camilla eléctrica Ecopostural.</i>	17
10.	<i>Camilla hidráulica de 3 cuerpos con elevación de módulos por resorte de gas C-407 HI.</i>	18
11.	<i>Actuadores lineales eléctricos NOVOTEC.</i>	20
12.	<i>Actuadores hidráulicos.</i>	20
13.	<i>Actuadores neumáticos.</i>	21
14.	<i>Metodología del Proceso.</i>	23
15.	<i>Resultados de la Pregunta 1.</i>	28
16.	<i>Resultados de la Pregunta 2.</i>	29
17.	<i>Resultados de la Pregunta 3.</i>	30
18.	<i>Resultados de la Pregunta 4.</i>	31
19.	<i>Resultados de la Pregunta 5.</i>	32
20.	<i>Resultados de la Pregunta 6.</i>	33
21.	<i>Resultados de la Pregunta 7.</i>	34
22.	<i>Resultados de la Pregunta 8.</i>	35
23.	<i>Resultados de la Pregunta 9.</i>	36
24.	<i>Resultados de la Pregunta 10.</i>	37
25.	<i>Resultados de la Pregunta 11.</i>	38
26.	<i>Estimación de longitudes de segmentos corporales de una persona de 190 cm.</i>	39
27.	<i>Simulación de la trayectoria del mecanismo en Inventor.</i>	41
28.	<i>Representación de las partes del equipo de bipedestación realizado en Inventor.</i>	42
29.	<i>Representación 3D de la estructura Base.</i>	44
30.	<i>Fuerzas aplicadas en la estructura Base.</i>	45

31.	Representación 3D de la estructura de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur. . .	47
32.	Fuerzas aplicadas en la estructura de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur. . . .	49
33.	Representación 3D de la estructura Reposapiés.	51
34.	Fuerzas aplicadas en la estructura del Reposapiés.	52
35.	Representación 3D de la Sección Fémur.	54
36.	Fuerzas aplicadas en la estructura de la Sección Fémur.	55
37.	Representación 3D de la Sección Tibia - Peroné.	57
38.	Fuerzas aplicadas en la estructura de la Sección Tibia - Peroné.	58
39.	Representación 3D del Espaldar.	60
40.	Fuerzas aplicadas en la estructura del Espaldar.	62
41.	Representación 3D de la estructura completa del Equipo de Bipedestación. .	64
42.	Fuerzas aplicadas en la estructura del Equipo de Bipedestación,	65
43.	Diagrama explicativo de las tensiones presentes en el Equipo de Bipedestación.	66
44.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	69
45.	Representación de las fuerzas actuantes en el Equipo de Bipedestación. . . .	70
46.	Diagrama de Área de Momentos.	71
47.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	72
48.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	73
49.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	74
50.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	77
51.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	78
52.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	79
53.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	80
54.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	81
55.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	82
56.	Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	85
57.	Representacion de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación. .	86
58.	<i>Esquema de lazo abierto.</i>	88
59.	<i>Esquema del circuito eléctrico del equipo diseñado en Autocad Eléctrica. . . .</i>	89
60.	<i>Esquema de alimentación del circuito eléctrico.</i>	90
61.	<i>Esquema del circuito de mando del dispositivo.</i>	91
62.	<i>Esquema de simulación del circuito.</i>	92
63.	<i>Simulación completa del control de mando.</i>	93
64.	<i>Estructura del Reposapiés.</i>	94
65.	<i>Estructura mecánica para las extremidades inferiores.</i>	94

66.	<i>Ensamble completo del sistema mecánico del equipo de bipedestación.</i>	95
67.	<i>Movimientos de flexión de rodillas y Bipedestación.</i>	95
68.	<i>Circuito eléctrico con los componentes electrónicos y actuadores lineales simulado en 3D.</i>	96
69.	<i>Tablero de control del equipo de bipedestación.</i>	97
70.	<i>Mando de control del equipo de bipedestación.</i>	97
71.	Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Base.	108
72.	Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Rejilla Sección Espaldar - Fémur.	109
73.	Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Reposapiés.	110
74.	Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Sección Fémur.	111
75.	Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Sección Tibia y Peroné.	112
76.	Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Espaldar.	113
77.	Simulación general de fuerzas aplicadas en la estructura mecánica.	114
78.	Equipo de Bipedestación Automatizado	115

Resumen

En el presente trabajo de titulación se muestra el diseño y construcción de un equipo de bipedestación automatizado para personas con discapacidad motriz, teniendo como finalidad la obtención de un producto eficiente que se asemeje a los que ya se encuentran en el mercado. Para la obtención del equipo primero se realiza un estudio del arte enfocado en la discapacidad motriz, los dispositivos de bipedestación, las diferentes tecnologías y mecanismos que aplican en dispositivos, analizando las diferentes situaciones médicas que presentan los beneficiarios de este tipo de dispositivos y la consulta de los fisioterapeutas que intervienen en la rehabilitación de personas con discapacidad motriz.

Después de identificar los problemas se procede a realizar el diseño del dispositivo el mismo que debe cumplir con ciertas características técnicas y mecánicas, tiene que ser ergonómico, funcional, automático y de fácil mantenimiento; el diseño de los mecanismos y particulares que conforman el producto se basa en las medidas antropométricas generales y de datos que se indica en la normativa.

Para el diseño, simulación y análisis se utilizan software de ingeniería, como son: Solidworks y Inventor; mismos estudios intervendrán para una selección adecuada sobre el tipo de material y dimensiones.

Se presentan diagramas de procesos de cada subconjunto que conforman al dispositivo, con su respectiva fase de construcción, ensamblaje y circuito de control, basados en procesos de manufactura convencional y cumpliendo las características técnicas y mecánicas que garantizan su utilidad.

Finalmente se presenta un análisis de costos del prototipo para definir su viabilidad económica comparándolo con equipos de importación internacional con similares características.

Palabras clave: Equipo de bipedestación, Discapacidad motriz, Fisioterapeuta, Automatizado.

Abstract

This degree work shows the design and construction of an automated standing equipment for people with motor disabilities, aiming to obtain an effective and efficient product that resembles others that are already on the market. In order to obtain the equipment, first a study of the art focused on disability, standing devices that apply different technologies and mechanisms, analyzing the different medical situations presented by the beneficiaries of this type of devices and the consultation of physiotherapists involved in the rehabilitation of people with motor disabilities is carried out.

After identifying the problems, we proceeded to design the device, which must comply with certain technical and mechanical characteristics, it has to be ergonomic, functional, automatic and easy to maintain; the design of the mechanisms and particulars that make up the product is based on the general anthropometric measurements and data indicated in the regulations.

For the design, simulation and analysis, engineering software is used, such as: Solidworks and Inventor; same studies will intervene for an adequate selection on the type of material and dimensions.

Process diagrams are presented for each subassembly that make up the device, with its respective construction phase, assembly and control circuit, based on conventional manufacturing processes and complying with the technical and mechanical characteristics that guarantee its usefulness.

Finally, a cost analysis of the prototype is presented in order to define its economic viability by comparing it with international imported equipment with similar characteristics.

Keywords: Standing equipment, Motor disability, Physical therapist, Automated.

1. Introducción

En la actualidad, Ecuador posee un gran número de personas con algún tipo de discapacidad, que pueden ser físicas, intelectuales, auditivas, visuales y psicosociales. La discapacidad más prevalente en el país es la discapacidad física, CONADIS (2024), lo que provoca que muchas personas dependan de dispositivos de movilidad. En la provincia de Azuay existen 34 instituciones que brindan asistencia médica y rehabilitación a personas con discapacidades, CONADIS (2014). Este dispositivo está destinado a la Fundación HOPE, una entidad sin fines de lucro en la ciudad de Cuenca, cuyo objetivo es proporcionar atención especializada e integral a personas con múltiples discapacidades..

La rehabilitación para personas discapacitadas que permanecen en una posición sedentaria es crucial, ya que sufren múltiples afecciones debido al tiempo excesivo que permanecen sentadas o acostadas, lo cual les provoca lesiones físicas y enfermedades internas. Por ello, la fundación busca brindar un servicio terapéutico eficaz mediante un dispositivo de bipedestación automatizado. Esta necesidad surge debido a las lesiones que sufre el personal médico al realizar cargas excesivas para asistir en la rehabilitación y transporte de los pacientes.

Para solucionar los inconvenientes antes descritos, se plantea el diseño y construcción de un dispositivo con un mecanismo que permita los accionamientos necesarios para cubrir las necesidades de los pacientes. Para ello, primero se deben analizar las dimensiones antropométricas, los datos generales de los posibles usuarios y las necesidades que debe satisfacer un dispositivo de bipedestación según los criterios de los fisioterapeutas de la fundación.

En el presente documento se explicará el diseño y construcción de un equipo de bipedestación, con la finalidad de facilitar la realización de fisioterapias, mejorar la salud del paciente y evitar la intervención de fuerzas externas por parte del fisioterapeuta. Además, se busca cumplir con las características técnicas y mecánicas establecidas en la normativa, garantizando la ergonomía, estética, funcionalidad y análisis de costos del prototipo para definir su viabilidad económica comparándolo con equipos importados.

2. Problema

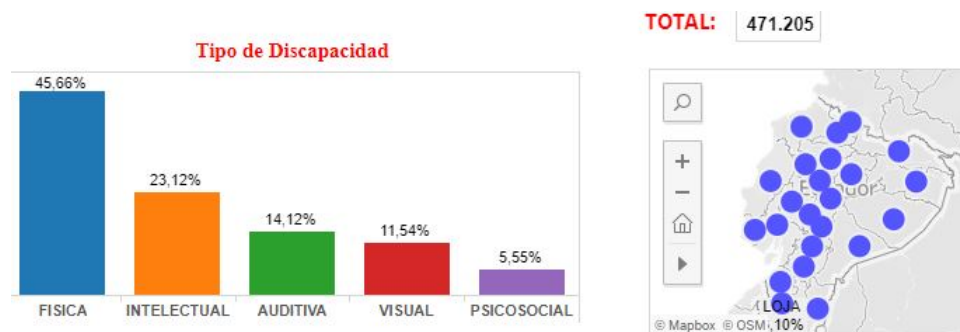
2.1. Antecedentes

En Ecuador, existe un alto porcentaje de personas con discapacidad que necesitan ayuda y dispositivos especializados para su recuperación. En la provincia de Azuay, especialmente en la ciudad de Cuenca, hay una creciente necesidad de servicios de rehabilitación para personas con discapacidades físicas. A pesar de esto, la disponibilidad de equipos avanzados y automatizados para la rehabilitación sigue siendo escasa.

Según el CONADIS (2024), hasta julio del 2024 se registraron en Ecuador 471.205 personas con discapacidad, la institución ha detallado que el tipo de discapacidad con mayor número de personas que la poseen es la discapacidad física con 215.156 personas, equivalente al (45,66%) del total.

Figura 1

Total de Personas con discapacidad registradas en el Registro Nacional de Discapacidad.



Nota: El gráfico representa los datos obtenidos del Registro Nacional de Discapacidades. Tomado de (CONADIS, 2024).

Cuenca, siendo una de las ciudades más importantes de Ecuador, cuenta con varios centros de rehabilitación y fisioterapia. No obstante, la implementación de tecnologías avanzadas para la rehabilitación, como los equipos de bipedestación automatizada, aún es insuficiente.

Por lo tanto, en este proyecto de tesis se propone desarrollar un equipo de bipedestación automatizada que no solo cumpla con los estándares técnicos y médicos, sino que también

sea accesible y adaptable a las necesidades específicas de los pacientes en Cuenca. Al hacerlo, se espera contribuir a la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidad, promoviendo su independencia y facilitando su reintegración en la sociedad.

2.2. Descripción del problema

En la ciudad de Cuenca, existe una notable necesidad de mejorar los servicios de fisioterapia para personas con discapacidad, particularmente en lo que respecta a la bipedestación, la cual es una posición fundamental para muchas actividades cotidianas y terapéuticas, pero para las personas con discapacidades motoras, lograr y mantener esta postura puede ser desafiante.

Actualmente, las opciones de equipos disponibles para la bipedestación en los centros de rehabilitación y hogares son limitadas, costosas o carecen de las características necesarias para una rehabilitación efectiva y segura. La falta de dispositivos accesibles y automatizados para apoyar la bipedestación limita las posibilidades de tratamiento y recuperación de los pacientes, afectando negativamente su calidad de vida y su capacidad para participar en actividades diarias.

Además, los equipos disponibles en el mercado suelen ser importados y no están adaptados a las necesidades específicas de los pacientes, lo que añade una dificultad en términos de ajuste y utilización. Esto se traduce en una menor eficacia de los tratamientos de fisioterapia y un incremento en los costos, tanto para los centros de salud como para las familias de los pacientes.

Por lo tanto, se hace evidente la necesidad de desarrollar un equipo de bipedestación automatizada que sea accesible, adaptable y eficiente para apoyar la fisioterapia en personas con discapacidad en Cuenca. Este equipo debe ser capaz de proporcionar un soporte seguro y controlado, facilitar la transición a la posición de bipedestación y adaptarse a las necesidades específicas de cada paciente, con el objetivo de mejorar los resultados terapéuticos y la calidad de vida de las personas con discapacidades motoras.

2.3. Importancia y alcances

El proyecto es vital para mejorar la calidad de vida de los pacientes y apoyar a los profesionales de la salud. Este equipo facilitará la postura de bipedestación, mejorando las funciones corporales esenciales y reduciendo los costos al ser accesible y adaptable a las necesidades,

lo cual promoverá la independencia y la inclusión social de las personas con discapacidad, representando un avance significativo en la tecnología de rehabilitación.

Este proyecto busca atender una necesidad crítica en la rehabilitación física, estableciendo un precedente para futuras innovaciones en la fisioterapia y mejorando la calidad de vida de las personas con discapacidad en Ecuador.

Por lo tanto, el presente trabajo de titulación propondrá dar solución a esta problemática social; ya que beneficiara a personas con discapacidad motriz y se desarrollara con el apoyo del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.

2.4. Delimitación

El presente proyecto se desarrollará en la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca, en los laboratorios de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, que cuentan con maquinas y herramientas necesarias para la fabricación como: soldadoras, tornos, taladros, herramientas menores, etc. Para el desarrollo del diseño del equipo de bipedestación se cuenta con la colaboración del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana y estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, que cuentan con los conocimientos necesarios para el diseño, construcción e implementación del dispositivo.

2.5. Problema General

- ¿Será posible desarrollar un equipo de bipedestación automatizada para realizar fisioterapia en personas con discapacidad considerando los requerimientos terapéuticos y los procesos de manufactura existentes en la localidad?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá definir las variables requeridas para el diseño del equipo de bipedestación, partiendo de los criterios terapéuticos y de un estudio del estado del arte que permita identificar el mecanismo, la estética y la ergonomía requeridas?
- ¿Será posible diseñar el equipo de bipedestación a través de la incorporación de sensores, actuadores y de un sistema de control que automatice y garantice los movimientos

requeridos, la ergonomía y la estética en el dispositivo, realizando el análisis teórico correspondiente y utilizando software de ingeniería que permita validar virtualmente el proyecto.?

- ¿Será factible construir el equipo de bipedestación utilizando técnicas de manufactura locales y probarlo para establecer su eficiencia frente a los requerimientos establecidos?
- ¿Es posible realizar un análisis de costos del prototipo para definir su viabilidad económica comparándolo con equipos de importación?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Desarrollar un equipo de bipedestación automatizado para realizar fisioterapia en personas con discapacidad considerando los requerimientos terapéuticos y los procesos de manufactura existentes en la localidad.

3.2. Objetivos Específicos

- Definir las variables requeridas para el diseño del equipo de bipedestación, partiendo de los criterios terapéuticos y de un estudio del estado del arte que permita identificar el mecanismo, la estética y la ergonomía requeridas.
- Diseñar el equipo de bipedestación a través de la incorporación de sensores, actuadores y de un sistema de control que automatice y garantice los movimientos requeridos, la ergonomía y la estética en el dispositivo, realizando el análisis teórico correspondiente y utilizando software de ingeniería que permita validar virtualmente el proyecto.
- Construir el equipo de bipedestación utilizando técnicas de manufactura locales y probarlo para establecer su eficiencia frente a los requerimientos establecidos.
- Realizar un análisis de costos del prototipo para definir su viabilidad económica comparándolo con equipos de importación.

4. Marco Teórico

En primer lugar, se dará a conocer los conceptos sobre los procesos de bipedestación que apoyan a la terapia en personas con discapacidad y los beneficios que aportan al mismo. Posteriormente se hará un análisis de los dispositivos que se utilizan para la bipedestación y su existencia en el mercado.

4.1. Introducción a la Bipedestación.

4.1.1. ¿Qué es la bipedestación?

La bipedestación se define como la capacidad de un individuo para mantener una postura erguida sobre sus dos piernas. Esta posición es fundamental en el desarrollo humano y en las actividades diarias, ya que permite la movilidad y la realización de tareas en el entorno (Kreutzfeldt, Jensen, Pedersen, y Kristensen, 2019).

La bipedestación no solo es importante en el desarrollo infantil, sino que también juega un papel crucial en la rehabilitación y fisioterapia, especialmente en pacientes que han sufrido lesiones o discapacidades. La capacidad de bipedestación está asociada con múltiples beneficios fisiológicos, como la mejora de la circulación, el fortalecimiento muscular y la prevención de complicaciones asociadas a la inmovilidad, como úlceras por presión y retracciones musculares (Baker y Gough, 2020).

4.1.2. Importancia de la Bipedestación en la Rehabilitación y Fisioterapia.

En el contexto de la rehabilitación y la fisioterapia, la bipedestación adquiere una importancia especial, ya que puede mejorar significativamente la calidad de vida de individuos con discapacidades motoras.

Uno de los principales beneficios de la bipedestación es la mejora de la circulación sanguínea. Al mantener una posición erguida, se facilita el retorno venoso y se previene la estasis venosa, lo que puede reducir el riesgo de trombosis venosa profunda (Eng y cols., 2001). Además, la bipedestación regular ayuda a mantener la densidad ósea al promover la carga sobre los huesos, lo cual es esencial para prevenir la osteoporosis, especialmente en personas que tienen movilidad reducida (Moseley, 1997).

Mantener una posición de pie requiere la activación y coordinación de varios grupos musculares, lo que puede ayudar a preservar y mejorar la fuerza muscular y la coordinación en personas con discapacidades motoras (Bohannon, 1993). También puede estimular la plasticidad neuronal, promoviendo la recuperación de funciones motoras a través de la repetición y el uso funcional (Harkema, 2001).

Más allá de los beneficios físicos, la bipedestación también puede tener efectos positivos en la salud mental y el bienestar social. La capacidad de estar de pie y moverse de manera más independiente puede mejorar la autoestima y la percepción de autonomía en las personas con discapacidades (Turner-Stokes, 2002).

4.2. Tipos de discapacidades acorde al CONADIS.

La discapacidad es un término amplio que abarca una variedad de condiciones que limitan la capacidad de una persona para realizar ciertas actividades o interactuar con su entorno de manera efectiva. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la discapacidad es “un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive” (OMS, 2020).

El Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) de Ecuador complementa esta perspectiva al definir la discapacidad como “el resultado de la interacción entre las personas con deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones con las demás” (CONADIS, 2016). A continuación, vamos a definir los diferentes tipos de discapacidades según la clasificación del CONADIS:

4.2.1. Discapacidad Física.

Se refiere a la limitación en la movilidad o en el funcionamiento de las extremidades. Esta puede ser causada por condiciones congénitas, accidentes, enfermedades, o trastornos que afecten el sistema neuromuscular o esquelético. Las personas con discapacidad física pueden utilizar sillas de ruedas, prótesis, y otros dispositivos de asistencia para mejorar su movilidad e independencia (CONADIS, 2016).

4.2.2. Discapacidad Intelectual.

Implica limitaciones significativas tanto en el funcionamiento intelectual como en el comportamiento adaptativo, que se manifiestan en habilidades conceptuales, sociales y prácticas. Esta discapacidad puede ser causada por factores genéticos, complicaciones durante el nacimiento, o enfermedades que afecten el desarrollo del cerebro (CONADIS, 2016).

4.2.3. Discapacidad Psicosocial.

Se refiere a trastornos mentales y del comportamiento que limitan la capacidad de una persona para relacionarse con otros y llevar a cabo actividades cotidianas. Entre los trastornos más comunes se encuentran la esquizofrenia, el trastorno bipolar, la depresión severa, y los trastornos de ansiedad (CONADIS, 2016).

4.2.4. Discapacidad Auditiva.

Es la pérdida parcial o total de la capacidad de oír. Esta puede ser causada por factores genéticos, enfermedades, exposiciones prolongadas a ruidos fuertes, o envejecimiento. Las personas con discapacidad auditiva pueden usar audífonos, implantes cocleares, y otros dispositivos para mejorar su audición y comunicación (CONADIS, 2016).

4.2.5. Discapacidad Visual.

Se refiere a la pérdida parcial o total de la visión. Esta puede incluir desde una reducción leve en la capacidad de ver hasta la ceguera total. Las causas pueden ser diversas, incluyendo condiciones congénitas, enfermedades oculares, y lesiones. Las personas con discapacidad visual pueden utilizar bastones, perros guía, y tecnología asistiva para navegar su entorno y realizar tareas diarias (CONADIS, 2016).

4.2.6. Discapacidad del Lenguaje.

Afecta la capacidad de hablar, entender, leer o escribir. Esto puede ser resultado de condiciones neurológicas, daños cerebrales, trastornos del desarrollo, o problemas auditivos que interfieren con el procesamiento del lenguaje. La terapia del habla y el uso de dispositivos de comunicación aumentativa pueden ayudar a mejorar las habilidades de comunicación en estas personas (CONADIS, 2016).

4.3. Beneficios de la Bipedestación en las Personas con Discapacidad.

La bipedestación, o la capacidad de mantenerse de pie, ofrece múltiples beneficios a las personas con discapacidad. Esta postura favorece tanto la salud física como el bienestar emocional y social de los individuos, entre estos beneficios tenemos (Fundación Bobath, 2022):

- Mejora la circulación sanguínea y previene problemas como edemas y trombosis.
- Facilita la función intestinal y el drenaje vesical, previniendo el estreñimiento.
- Fortalece los huesos, disminuyendo el riesgo de osteoporosis y fracturas.
- Reduce la presión en puntos específicos del cuerpo que suelen estar en contacto constante con superficies duras cuando una persona está sentada o acostada, disminuyendo el riesgo de desarrollar úlceras por presión.
- Mejora la percepción sensorial al proporcionar estímulos visuales, auditivos y propioceptivos, lo cual es esencial para la integración de estímulos y la coordinación motriz.
- Permite a las personas con discapacidad interactuar más fácilmente con su entorno y con otras personas, lo cual puede mejorar su autoestima y sensación de independencia.

4.4. Camillas bipedestadoras.

Son dispositivos médicos diseñados para asistir a pacientes en la adopción de una posición vertical o de pie, lo cual es esencial en la rehabilitación de personas con discapacidades neurológicas o lesiones medulares. Estos equipos no solo facilitan la correcta alineación anatómica del tronco y las extremidades inferiores, sino que también aportan numerosos beneficios fisiológicos y psicológicos (Neurotrauma Center & Cuidamed S.A.S., 2023).

Están equipadas con mecanismos que permiten la regulación de altura y la inclinación progresiva del paciente hasta alcanzar la posición vertical, así como lo muestra la Figura 2. Por lo general, cuentan con cinchas de sujeción y sistemas de apoyo para asegurar la estabilidad del usuario durante el proceso de bipedestación. Algunos modelos incluyen motores eléctricos que facilitan el ajuste de la posición y la altura, controlados mediante un mando de mano. La estructura suele ser robusta, fabricada con acero y tapizada con materiales higiénicos como polipiel ignífuga, antibacteriana y antihongos (Roa Health Technology, 2024)

Figura 2

Camilla Bipedestadora marca ALI.



Nota: El gráfico representa una camilla con un sistema de bipedestación eléctrico. Tomado de (PDM Mobility Store, 2024).

Es esencial que el personal de salud reciba capacitación adecuada en el manejo de estas camillas para garantizar la seguridad tanto del paciente como del operador.

4.4.1. Tipos de camillas bipedestadoras.

Existen diferentes tipos de camillas bipedestadoras, cada una con características específicas para adaptarse a las necesidades de los pacientes. Algunas de las más comunes son:

4.4.1.1 Camillas bipedestadoras manuales.

Las camillas bipedestadoras manuales requieren la intervención de un cuidador o terapeuta para ajustar y posicionar al paciente. Son generalmente más asequibles y adecuadas para pacientes que necesitan un nivel de soporte moderado (Bach y Bianchi, 2018). Estas camillas suelen contar con mecanismos de ajuste mecánicos, tales como manivelas o palancas, que permiten el cambio de posición, tal como se observa en la Figura 3.

Figura 3

Camilla de bipedestación manual marca FLEXOR.



Nota: El gráfico representa una camilla de bipedestación manual con un sistema de manivela. Tomado de (Fábrica de Artículos Ortopédicos, 2024).

4.4.1.2 Camillas bipedestadoras eléctricas.

Este tipo de camillas están equipadas con motores que permiten la elevación y el ajuste de la altura con solo presionar un botón, como se muestra en la Figura 4, estas camillas ofrecen una mayor comodidad tanto para el paciente como para el cuidador. Además, su diseño ergonómico contribuye a la prevención de lesiones en los cuidadores, ya que reduce el esfuerzo físico necesario para mover y elevar a los pacientes (Martínez y López, 2021).

Figura 4

Camilla de Bipedestación Tilt Table Eléctrica.



Nota: El gráfico representa una camilla bipedestadora eléctrica de una sección con 1 motor eléctrico. Tomado de (Casa del Kine, 2024).

4.4.1.3 Camillas bipedestadoras articuladas.

Son dispositivos avanzados diseñados para proporcionar una mayor flexibilidad y comodidad a los usuarios. Estas camillas están equipadas con múltiples puntos de articulación, lo que permite ajustar varias partes de la camilla de forma independiente, como se muestra en la Figura 5. Esta característica es especialmente útil en situaciones donde se requiere un posicionamiento específico del paciente para maximizar los beneficios terapéuticos (Fernández y Ruiz, 2023).

Figura 5

Cama articulada con elevación eléctrica CARE TREND.



Nota: El gráfico representa una camilla bipedestadora con elevación y articulación eléctrica. Tomado de (Ortopedia Ortoespaña, 2023).

4.4.1.4 Camillas bipedestadoras con soporte parcial.

Estas camillas están diseñadas con estructuras que proporcionan estabilidad adicional al paciente, evitando caídas y ofreciendo un soporte seguro. Son especialmente útiles en entornos donde los pacientes pueden tener episodios de desorientación o debilidad extrema, también son útiles para personas que pueden soportar algo de peso por sí mismas, pero que aún necesitan apoyo adicional para mantenerse erguidas (Pérez, 2022). Su diseño se centra en la seguridad y la confianza del paciente, como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Camilla antimagnética de altura ajustable.



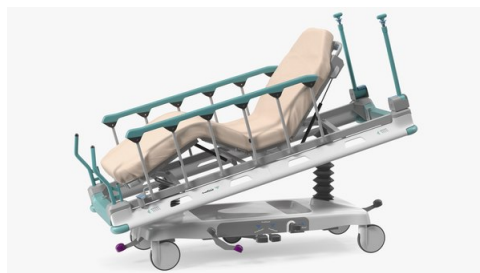
Nota: El gráfico representa una camilla bipedestadora eléctrica con barandas retráctiles. Tomado de (Lemer Pax, 2024).

4.4.1.5 Camillas bipedestadoras robóticas.

También conocidas como camillas bipedestadoras automáticas, incorporan tecnología avanzada que permite una mayor personalización y automatización del proceso de bipedestación. Estos dispositivos son capaces de detectar y responder a los movimientos del paciente, proporcionando un soporte dinámico y adaptativo, un ejemplo claro es como observamos en la Figura 7. Estas son ideales para pacientes con déficits neurológicos o musculoesqueléticos severos que requieren un alto nivel de asistencia (Santos, Silva, y Oliveira, 2021).

Figura 7

Carro camilla de emergencia TurboSquid.







Nota: El gráfico representa una camilla de emergencia bipedestadora robotizada con barandillas y ruedas especiales de seguridad. Tomado de (TurboSquid, 2021).

4.5. Dispositivos de bipedestación existentes en el mercado.

Existen diferentes tipos de dispositivos de bipedestación con distintas aplicaciones que se ajustan acorde a la necesidad del paciente. Estos dispositivos permiten a los usuarios mantenerse en una posición erguida, lo que proporciona numerosos beneficios terapéuticos y de salud. A continuación, en la Tabla 1 se describen algunos de los dispositivos de bipedestación más destacados en el mercado, cada uno con sus características específicas, precio sin contar con el envío y su país de origen.

Tabla 1

Dispositivos de bipedestación existentes en el mercado.

Producto	Imagen	Características	Peso del dispositivo	Límite de peso del usuario	Precio	País de origen
Camilla de bipedestación eléctrica 138 - COIMPORMÉDICA	 (A)	<ul style="list-style-type: none"> Fabricada en tubería acero cold rolled. Tendido fabricado en madera MDF. Accionamiento por medio de control de mando eléctrico. Motor de empuje máx. 6000 N. 4 ruedas de 5" con freno. 	110 kg	200 kg	\$ 1101,63	Colombia
Camilla Eléctrica de 7 Cuerpos CE-0177-ABRPC	 (B)	<ul style="list-style-type: none"> Camilla eléctrica multifuncional para osteopatía de 7 cuerpos. Subida recta sin desplazamiento lateral. Posición trendelenburg. Ruedas escamoteables. Respaldo reclinable en negativo con brazos. Piñe central manual. Equipada con brazos laterales y reposapiés regulables y extraíbles. 1 motor eléctrico. 	120 kg	180 kg	1730 €	España
Cama articulada con elevación eléctrica CARE TREND	 (C)	<ul style="list-style-type: none"> Permite realizar una elevación eléctrica entre 39 y 81cm mediante un doble sistema de bielas, además, Cuenta con un doble motor para su sistema tren y antitrendelenburg. Tiene un mando a distancia con cable para el manejo de todas las funciones de la cama. Cuenta con barandillas cilíndricas. 	100 kg	150 kg	1030 €	España
Camilla de bipedestación eléctrica con cinchas y brazos de apoyo C-690BR	 (D)	<ul style="list-style-type: none"> Respaldo regulable hasta 70° mediante bisagras de cremallera. El amazón articulado regula la inclinación de las superficies de apoyo y un motor eléctrico con elevación vertical ayuda al movimiento de bipedestación. Camilla de 2 cuerpos con brazos regulables, 3 cinchas de sujeción y 4 ruedas con freno aptas para el traslado de personas. Los brazos de apoyo son regulables en altura y longitud. Tapizado de poliétileno ignífugo, antibacteriana, anti-hongos, resistente al agua y a los rayos UV y a la intemperie. Estructura rectangular 50x30mm de acero soldado conformado en frío de entre 2-3mm de espesor y recubierta de pintura epoxi cocida en horno 250° 	115 kg	130Kg	1745 €	España

Nota: En la tabla se detallan algunos ejemplos de dispositivos de bipedestación que existen en el mercado, las imágenes fueron tomadas de: **(A)**(Coimpormédica, 2024), **(B)**(Ortopedia Orto España, 2024), **(C)**(Ortopedia Ortoespaña, 2023), **(D)**(Ortoweb, 2024).

4.6. Componentes y especificaciones de un dispositivo de bipedestación.

Existen diferentes tipos de dispositivos usados para la bipedestación, tales como: manuales, eléctricos, articulados, con soporte parcial y robóticas. Estos dispositivos tienen componentes en común que otorgan importantes funciones, estas van a ser detalladas a continuación:

4.6.1. Estructura Base.

- **Material:** La base de la camilla suele estar fabricada en acero o aluminio, materiales seleccionados por su alta resistencia y durabilidad, que garantizan una larga vida útil del equipo (Saavedra, García, y San Antonio, 2013).
- **Dimensiones:** Las dimensiones de la base varían dependiendo del modelo, pero generalmente están diseñadas para proporcionar una estabilidad óptima durante el uso.
- **Ruedas:** Las camillas están equipadas con ruedas bloqueables que facilitan el transporte y aseguran la estabilidad cuando se encuentra en uso, permitiendo un movimiento seguro y controlado.

4.6.2. Superficie de Apoyo.

- **Material del Acolchado:** La superficie está recubierta con espuma de alta densidad, que ofrece comodidad al usuario, y está cubierta con vinilo o un material similar, fácil de limpiar y mantener, lo que garantiza higiene y durabilidad.
- **Ajustabilidad:** La superficie de la camilla debe ser ajustable en altura para acomodarse a diferentes usuarios y facilitar las transferencias desde y hacia la camilla.

4.6.3. Sistema de Elevación.

Existen diversos sistemas de elevación que permiten ajustar la altura de una estructura específica. Una de sus aplicaciones más frecuentes es en los hospitales, donde es esencial controlar la altura de los pacientes para su beneficio y para facilitar el trabajo del personal de salud encargado de su tratamiento. A continuación, se detallan algunos de estos sistemas:

- **Sistema de elevación tipo tijeras:** Es un componente que está diseñado para proporcionar una elevación suave y controlada. Este sistema utiliza un mecanismo en forma de tijera compuesto por dos conjuntos de brazos cruzados que se expanden y contraen, permitiendo una distribución uniforme del peso y una elevación estable (Universidad Politécnica

Salesiana, 2020). El sistema puede ser operado manualmente mediante una manivela o de forma eléctrica mediante un motor controlado por un panel de control o un mando a distancia, como podemos observar en la Figura 8.

Figura 8

Camilla eléctrica de 2 cuerpos, con estructura tipo tijera y accionamiento periférico.



Nota: El gráfico representa una camilla bipedestadora eléctrica de 2 cuerpos con un sistema de elevación tipo tijera. Tomado de (DH Material Médico, 2024).

- **Sistema de elevación tipo columna:** Es un mecanismo que permite ajustar la altura de la superficie de apoyo de manera eficiente y segura. Este sistema se caracteriza por su diseño vertical, que utiliza un conjunto de columnas para elevar o bajar la camilla, un claro ejemplo lo podemos observar en la Figura 9, este sistema proporciona estabilidad y soporte al paciente durante su uso (Universidad Técnica del Norte, 2020).

Figura 9

Camilla eléctrica Ecopostural.



Nota: El gráfico representa una camilla bipedestadora eléctrica con un sistema de elevación vertical con dos columnas, tres cuerpos y cabezal inclinable. Tomado de (Fisaude, 2024).

- **Sistema de elevación tipo barras en paralelo:** Consiste en dos o más barras que se encuentran dispuestas de manera paralela y que se conectan a un mecanismo de elevación, un ejemplo lo tenemos en la Figura 10. Este diseño permite que el movimiento de elevación sea uniforme, minimizando el riesgo de inclinación o desbalanceo durante el proceso (González, Martínez, y López, 2021).

Figura 10

Camilla hidráulica de 3 cuerpos con elevación de módulos por resorte de gas C-407 HI.



Nota: El gráfico representa una camilla hidráulica de 3 cuerpos con cabezal y reposapiés abatibles y elevación lumbar. Tomado de (Ortoweb, 2024).

4.6.4. Sistema de sujeción.

Para garantizar la seguridad del paciente, las camillas bipedestadoras incluyen cinturones o arneses de sujeción que mantienen al paciente en una posición segura durante el transporte. Estos sistemas deben ser cómodos y ajustables para garantizar la seguridad del paciente (Sánchez, 2020).

4.6.5. Soportes para Extremidades.

- **Reposapiés:** Son ajustables en altura y ángulo, permitiendo un posicionamiento correcto de los pies, lo cual es esencial para una postura adecuada y segura.
- **Apoyabrazos:** Pueden ser fijos o ajustables, proporcionando soporte adicional y estabilidad al usuario. Este componente es particularmente útil para aquellos que necesitan apoyo extra durante la bipedestación.

4.6.6. Controles y Monitoreo.

- **Panel de Control:** En los modelos eléctricos, el panel de control permite ajustar la altura y la inclinación de la camilla con precisión. Esto facilita el posicionamiento adecuado del usuario y mejora la experiencia de uso.
- **Monitores de Seguridad:** Algunos modelos avanzados incluyen monitores que registran datos como el tiempo de uso, la inclinación y otros parámetros importantes, ayudando a los terapeutas a evaluar el progreso del paciente y ajustar los tratamientos según sea necesario (Thompson y Buchner, 2019)

4.7. Actuadores Lineales.

Son dispositivos mecánicos esenciales que convierten la energía en movimiento lineal, desempeñando un papel fundamental en diversas aplicaciones industriales, médicas y domésticas. Su capacidad para generar movimiento en línea recta los diferencia de los actuadores rotativos, que producen movimiento circular. Esta característica los hace indispensables en sistemas que requieren precisión y control en el desplazamiento (Norton, 2019).

4.7.1. Tipos de Actuadores Lineales.

Los actuadores lineales se pueden clasificar principalmente según la fuente de energía que utilizan:

4.7.1.1 Actuadores eléctricos.

Utilizan motores eléctricos para generar movimiento. Son conocidos por su alta precisión y control, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren ajustes finos, como en equipos médicos y sistemas automatizados de producción (Smith, 2020). En la Figura 11 tenemos algunos ejemplos.

Figura 11

Actuadores lineales eléctricos NOVOTEC.



Nota: El gráfico representa los actuadores eléctricos en diferentes diseños y potencias. Tomado de (Novotec Argentina, 2024).

4.7.1.2 Actuadores Hidráulicos.

Estos actuadores emplean fluidos bajo presión para generar movimiento. Son particularmente útiles en aplicaciones que requieren una gran fuerza y potencia, como en maquinaria pesada y equipos de construcción, como se muestra en la Figura 12. Su capacidad para manejar grandes cargas y su robustez los hacen adecuados para entornos exigentes (Brown, 2022).

Figura 12

Actuadores hidráulicos.



Nota: El gráfico representa unos actuadores hidráulicos de efecto simple y de acción doble. Tomado de (Fastpack, 2024).

4.7.1.3 Actuadores Neumáticos.

Utilizan aire comprimido para producir movimiento. Son apreciados por su simplicidad y rapidez en el desplazamiento, aunque su control puede ser menos preciso en comparación con los actuadores eléctricos, algunos ejemplos se muestran en la Figura 13. Los actuadores neumáticos son comunes en sistemas de automatización de procesos donde la velocidad y la flexibilidad son cruciales (Jones, 2021).

Figura 13

Actuadores neumáticos.



Nota: El gráfico representa unos actuadores neumáticos de cilindro estandarizado ISO (GM System, 2024).

4.8. Normas de materiales.

■ ASTM A36

El acero ASTM A36 es uno de los aceros estructurales de carbono más utilizados en la industria de la construcción. Esta norma, establecida por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), especifica los requisitos para este tipo de acero al carbono de grado estructura (Metinvest Holding, 2024).

Las principales propiedades mecánicas del acero ASTM A36 incluyen (Sumiteccr, 2024):

- Límite elástico mínimo: 250 MPa (36 ksi)
- Resistencia a la tracción: 400-550 MPa (58-80 ksi)
- Alargamiento mínimo: 20-23 %
- Módulo de elasticidad: 200 GPa (29000 ksi)

■ **AISI 304**

El acero inoxidable AISI 304 es uno de los aceros inoxidables más utilizados en diversas industrias debido a sus propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. Esta norma, que forma parte de la clasificación de aceros de la American Iron and Steel Institute (AISI), define las especificaciones y características del acero inoxidable austenítico 304.

El AISI 304 presenta una serie de propiedades mecánicas que lo hacen adecuado para diversas aplicaciones. Algunas de estas propiedades incluyen (Cia. General de Aceros S.A., 2022):

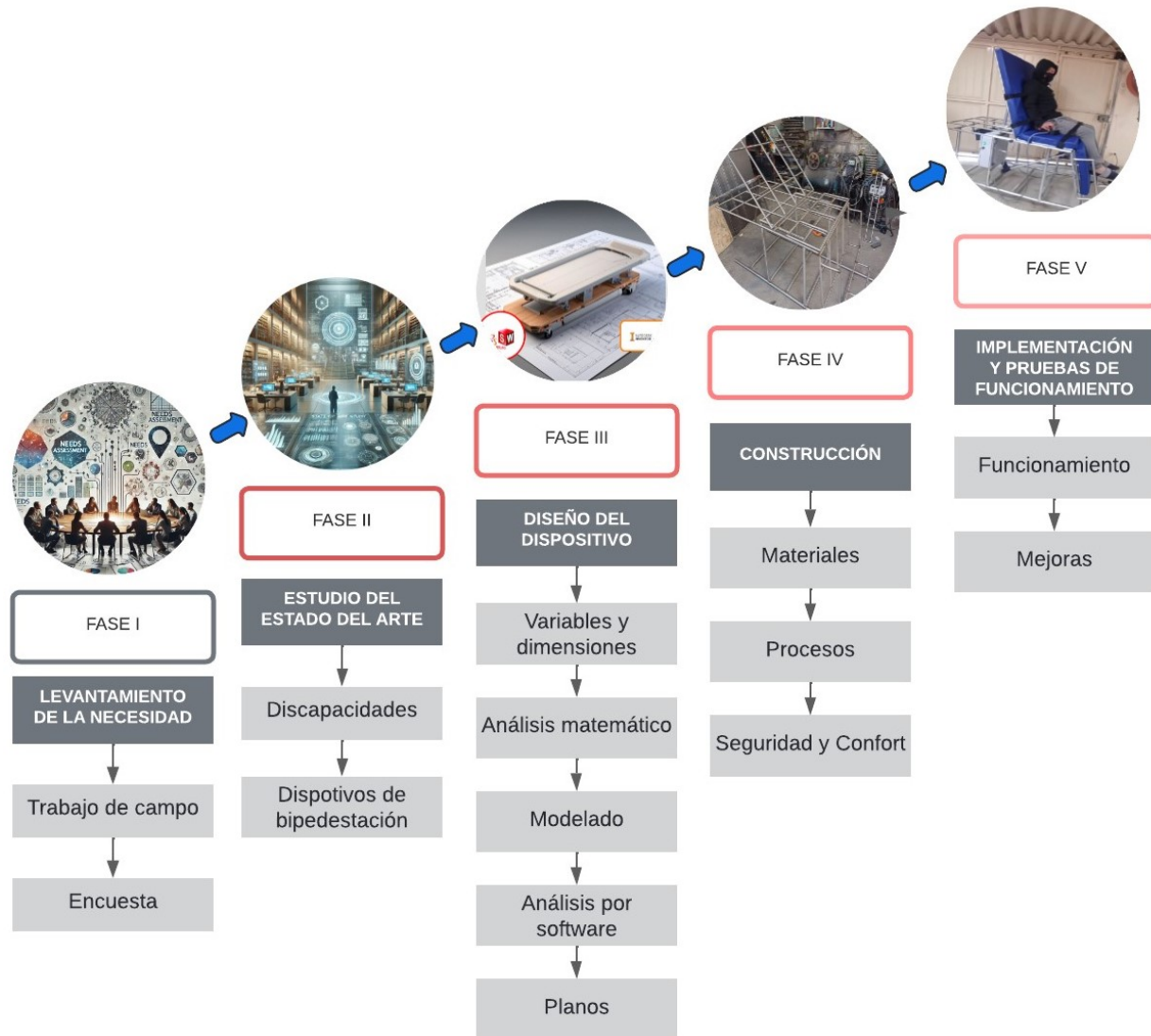
- Densidad: 7.93 g/cm³
- Punto de fusión: 1398-1454 °C
- Módulo de elasticidad: 193 GPa
- Resistencia a la tracción: 520-720 MPa

5. Marco metodológico

En el siguiente apartado se describirá mediante fases cada proceso que interviene en el diseño y construcción del equipo de bipedestación como se observa en la Figura 14. Primero, se determinan las variables que influyen en el diseño. Después, se procede a realizar el diseño de concepto, donde se busca un mecanismo óptimo y se procede a identificar los componentes que forman parte de dicho mecanismo. Finalmente, se realizan los cálculos, simulaciones y selección de elementos para realizar su construcción.

Figura 14

Metodología del Proceso.



Nota: El gráfico representa la Descripción de las fases de la Metodología del Proceso.

5.1. Levantamiento de la necesidad.

Para diseñar y construir el equipo de bipedestación, se llevó a cabo un estudio detallado del entorno en el que se desenvuelven las personas con discapacidad física, así como de los fisioterapeutas y el personal médico que los asiste. Este análisis permitió recopilar información

valiosa sobre los futuros usuarios, con el objetivo de crear un dispositivo que realmente satisfaga sus necesidades.

Existe la necesidad de adquirir equipos de bipedestación a bajo costo, no solo para mejorar la salud y calidad de vida del paciente, también son de mucha utilidad para los fisioterapeutas y el personal de asistencia, ya que les ayudan a no ser tanto esfuerzo físico al momento de realizar las sesiones de terapia al paciente.

5.1.1. Encuesta para la obtención de datos.

Para concretar las necesidades y establecer los objetivos se desarrollo una encuesta dirigida hacia el personal fisioterapeuta y a los pacientes de la Fundación HOPE.

La encuesta fue realiza a través de GOOGLE FORMULARIOS y conformada de la siguiente manera:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Reciban un cordial saludos, la presente encuesta sirve para obtener datos para el proyecto de titulación de los estudiantes que forman parte de la carrera de Ingeniería Mecatrónica. Esta encuesta tiene propósito académico y por ello le pedimos de la manera mas comedida posible que nos ayude contestando las siguientes preguntas:

1. Correo *

2. ¿Ha utilizado un equipo de bipedestación anteriormente?

Selecciona todos los que correspondan.

Si

No

3. ¿Tiene alguna condición médica que le impide estar de pie o caminar por períodos prolongados de tiempo? *

Selecciona todos los que correspondan.

Si

No

4. ¿Cuánto tiempo puede estar de pie o caminar antes de sentir fatiga o dolor?

Selecciona todos los que correspondan.

Menos de 15 minutos

Entre 15 y 30 minutos

Entre 30 minutos y 1 hora

Más de 1 hora

5. ¿Ha hablado con un profesional de la salud sobre la posibilidad de utilizar un equipo de bipedestación para mejorar su condición médica?

Selecciona todos los que correspondan.

- Si
 No

6. ¿Está interesado en adquirir un equipo de bipedestación para mejorar su calidad de vida y capacidad para realizar actividades cotidianas?

Selecciona todos los que correspondan.

- Si
 No

7. Si ha utilizado un equipo de bipedestación, ¿Qué tal fue su experiencia al usarla?

Selecciona todos los que correspondan.

- Excelente
 Buena
 Regular
 Mala
 Muy Mala
 Nunca e usado

8. Si ya ha utilizado un equipo de bipedestación, ¿ha notado algún cambio en su capacidad para estar de pie o caminar desde que comenzó a usarlo?

Selecciona todos los que correspondan.

- Si
 No
 No estoy seguro

9. ¿Qué características son importantes para usted en un equipo de bipedestación?

Selecciona todos los que correspondan.

- Fácil de usar
- Cómodo
- Ajustable
- Ligero y Portátil
- Otro (especifique)

10. ¿Está preocupado por el costo de un equipo de bipedestación?

Selecciona todos los que correspondan.

- Si
- No
- No estoy seguro

11. ¿Qué beneficios espera obtener al usar un equipo de bipedestación?

Selecciona todos los que correspondan.

- Mejorar la circulación sanguínea
- Reducir el riesgo de úlceras por presión
- Fortalecer los músculos y mejorar el tono muscular
- Mejorar la postura y el equilibrio
- Reducir el dolor en las articulaciones
- Otro (especifique)

12. ¿Qué nivel de comodidad espera al usar un equipo de bipedestación?

Selecciona todos los que correspondan.

- Muy cómodo
- Cómodo
- Neutral
- Incómodo
- Muy incómodo

5.1.2. Tabulación de datos de las encuestas.

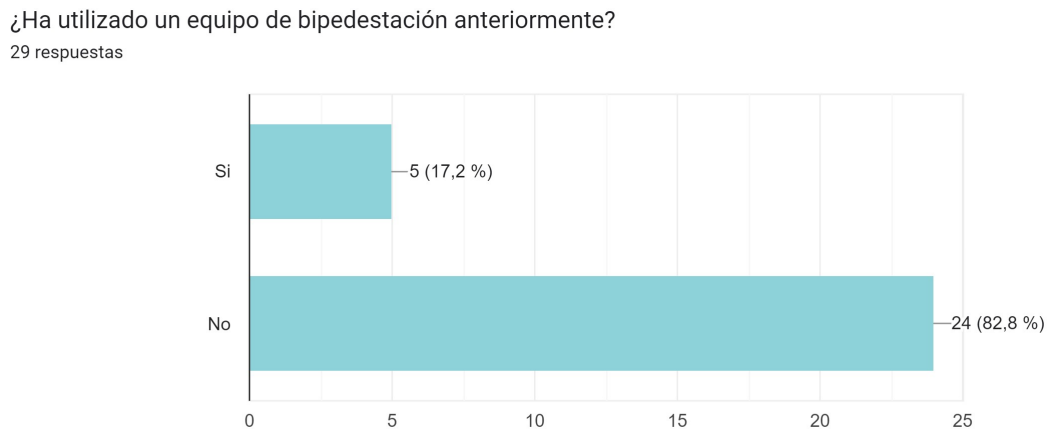
En la encuesta realizada se tuvo un total de 30 voluntarios que respondieron, a continuación presentamos la tabulación de resultados de cada una de las preguntas:

1. ¿Ha utilizado un equipo de bipedestación anteriormente?

En relación con el uso previo de equipos de bipedestación, los resultados muestran que un alto porcentaje, el 82.8%, NO ha tenido experiencia con estos equipos. Por otro lado, el 17.2% de los encuestados SÍ ha utilizado un equipo de bipedestación anteriormente. Esto indica que, aunque una proporción significativa de personas no ha interactuado con este tipo de tecnología, existe un grupo notable que sí ha tenido la oportunidad de hacerlo, estos datos los podemos observar en la Figura 15.

Figura 15

Resultados de la Pregunta 1.



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 1.

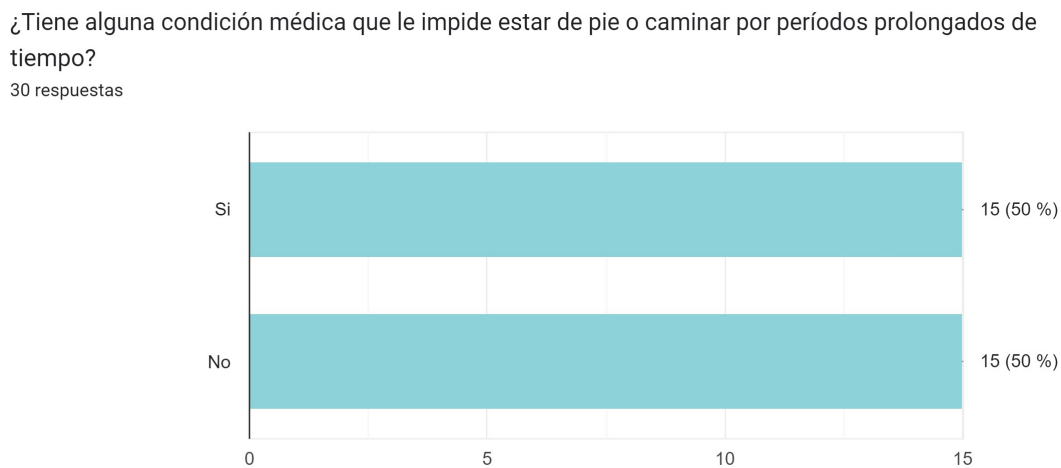
2. ¿Tiene alguna condición médica que le impide estar de pie o caminar por períodos prolongados de tiempo?

En cuanto a la presencia de condiciones médicas que dificulten estar de pie o caminar durante períodos prolongados, los datos revelan una distribución equitativa entre los encuestados. El 50% de los participantes indican tener una condición médica que les

impide realizar estas actividades durante tiempos extendidos, mientras que el otro 50% NO presenta ninguna limitación de este tipo. Este equilibrio sugiere que, para una mitad de la población, las dificultades para mantenerse de pie o caminar por largos periodos son una preocupación significativa, mientras que la otra mitad no enfrenta estos problemas, estos resultados lo podemos observar en la Figura 16.

Figura 16

Resultados de la Pregunta 2.



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 2.

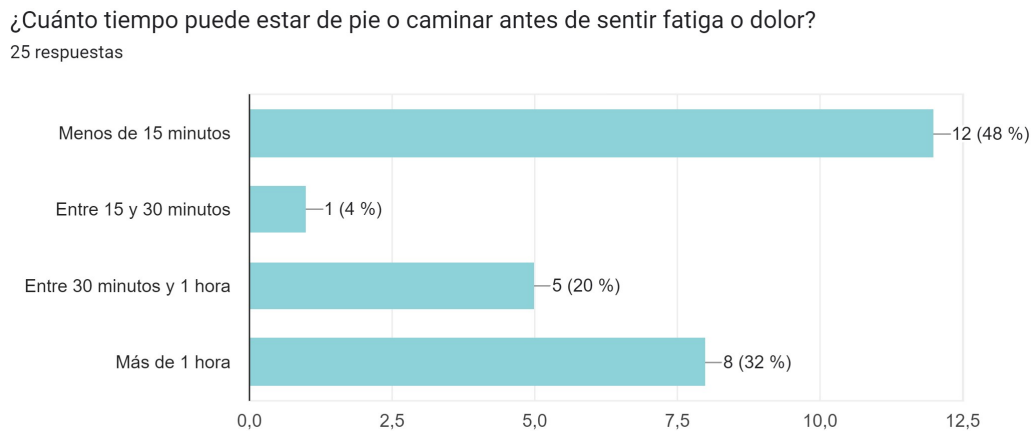
3. ¿Cuánto tiempo puede estar de pie o caminar antes de sentir fatiga o dolor?

Los resultados sobre el tiempo que los participantes pueden estar de pie o caminar antes de experimentar fatiga o dolor muestran una diversidad en las capacidades de resistencia. El 48% de los encuestados indica que solo pueden permanecer de pie durante menos de 15 minutos sin sentir fatiga o dolor. En contraste, un 4% de los participantes puede mantenerse de pie entre 15 y 30 minutos antes de comenzar a sentir molestias. El 20% de los encuestados reporta que pueden estar de pie entre 30 minutos y 1 hora sin experimentar fatiga o dolor, mientras que el 32% afirma que pueden mantener esta posición durante más de 1 hora sin inconvenientes. Estos resultados reflejan una variedad de umbrales de resistencia al estar de pie, con una proporción considerable que puede soportar períodos más largos sin malestar. También sugiere una necesidad

significativa de dispositivos o intervenciones que puedan ayudar a reducir la carga física en actividades que requieren estar de pie, para mejorar su comodidad y bienestar, estas datos lo podemos observar en la Figura 17.

Figura 17

Resultados de la Pregunta 3.



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 3.

4. **¿Ha hablado con un profesional de la salud sobre la posibilidad de utilizar un equipo de bipedestación para mejorar su condición médica?**

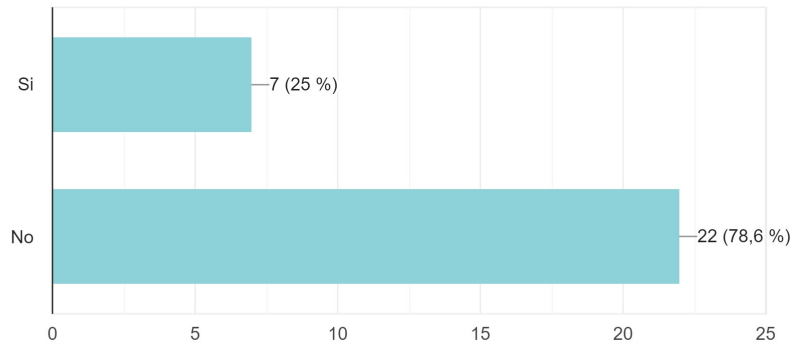
Cuando se les preguntó a los encuestados si habían hablado con un profesional de la salud sobre la posibilidad de utilizar un equipo de bipedestación para mejorar su condición médica, el 25% indicó que sí lo había hecho, mientras que el 78.6% respondió que no. Este resultado sugiere que la mayoría de las personas aún no han considerado o explorado esta opción con un especialista. Se recomienda promover una mayor conciencia sobre los beneficios potenciales del uso de equipos de bipedestación y alentar a más personas a discutir esta posibilidad con sus profesionales de la salud. Estos datos se pueden observar en la Figura 18.

Figura 18

Resultados de la Pregunta 4.

¿Ha hablado con un profesional de la salud sobre la posibilidad de utilizar un equipo de bipedestación para mejorar su condición médica?

28 respuestas



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 4.

5. ¿Está interesado en adquirir un equipo de bipedestación para mejorar su calidad de vida y capacidad para realizar actividades cotidianas?

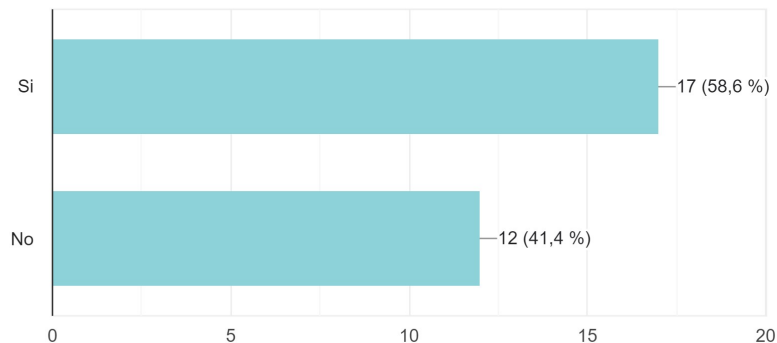
La mayoría de los encuestados, con un 58.6%, expresó interés en adquirir un equipo de bipedestación para mejorar su calidad de vida y capacidad para realizar actividades cotidianas. Esto indica que existe una tendencia favorable hacia la utilización de este tipo de dispositivo como una herramienta para mejorar la movilidad y la independencia. Sin embargo, un 41.4% de los encuestados no mostró interés, lo que podría sugerir preocupaciones sobre la eficacia, el costo, o la necesidad de más información antes de tomar una decisión, estos datos se pueden observar en la Figura 19.

Figura 19

Resultados de la Pregunta 5.

¿Está interesado en adquirir un equipo de bipedestación para mejorar su calidad de vida y capacidad para realizar actividades cotidianas?

29 respuestas



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 5.

6. Si ha utilizado un equipo de bipedestación, ¿Qué tal fue su experiencia al usarla?

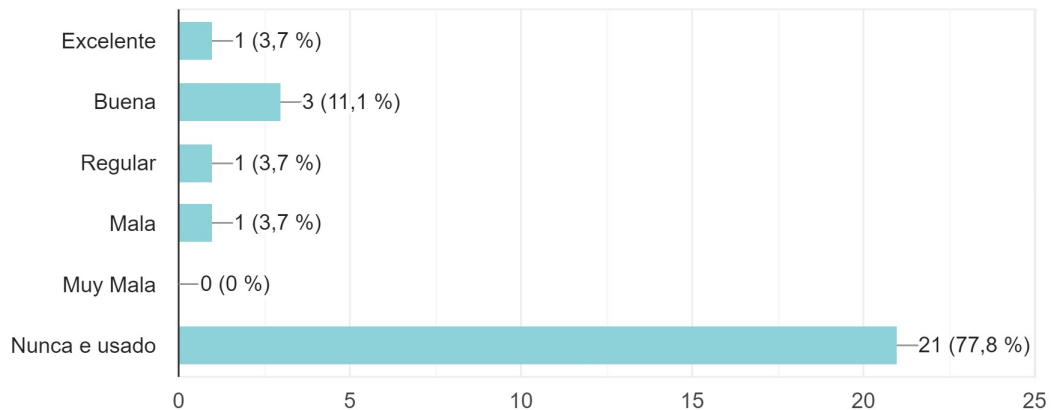
De acuerdo con las respuestas obtenidas sobre la experiencia de uso de un equipo de bipedestación, se observa que una mayoría significativa, el 77.8%, nunca ha utilizado este tipo de equipo. Entre los usuarios que sí han tenido experiencia con equipos de bipedestación, la mayoría reporta una evaluación positiva, con un 11.1% clasificando su experiencia como buena y un 3.7% como excelente. En contraste, solo un pequeño porcentaje experimentó una percepción regular o mala, con un 3.7% en cada categoría. Es importante destacar que ningún usuario calificó su experiencia como muy mala. Estos datos sugieren que, aunque la mayoría no ha usado el equipo, quienes lo han hecho tienden a tener una opinión favorable en general, estos datos lo muestran en la Figura 20.

Figura 20

Resultados de la Pregunta 6.

Si ha utilizado un equipo de bipedestación, ¿Qué tal fue su experiencia al usarla?

27 respuestas



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 6.

7. Si ya ha utilizado un equipo de bipedestación, ¿ha notado algún cambio en su capacidad para estar de pie o caminar desde que comenzó a usarlo?

Los resultados muestran una variedad de experiencias entre quienes han utilizado un equipo de bipedestación. El 22.7% de los encuestados reporta haber notado mejoras en su capacidad para estar de pie o caminar desde que comenzaron a usarlo. Sin embargo, la mayoría, un 54.5%, no ha percibido cambios significativos, y un 27.3% no está seguro de haber experimentado alguna diferencia, estos datos los observamos en la Figura 21.

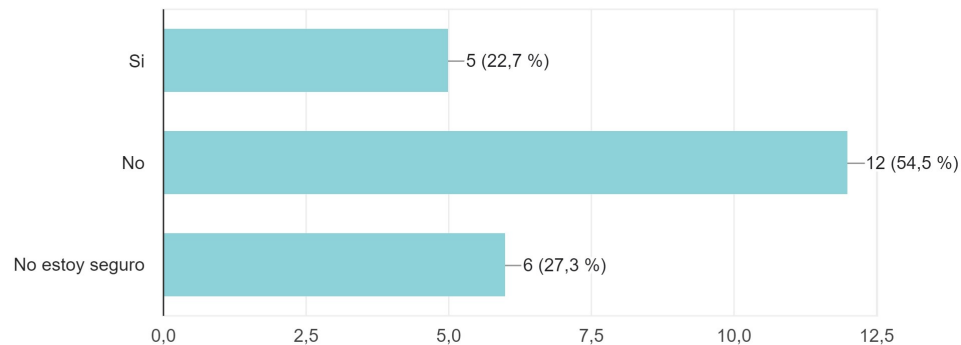
Estos porcentajes sugieren que, aunque algunos usuarios han notado beneficios, existe una mayor proporción que no ha percibido mejoras claras. Esto podría indicar la necesidad de evaluar la adecuación del equipo para cada usuario y considerar ajustes personalizados o un seguimiento más cercano para maximizar los posibles beneficios.

Figura 21

Resultados de la Pregunta 7.

Si ya ha utilizado un equipo de bipedestación, ¿ha notado algún cambio en su capacidad para estar de pie o caminar desde que comenzó a usarlo?

22 respuestas



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 7.

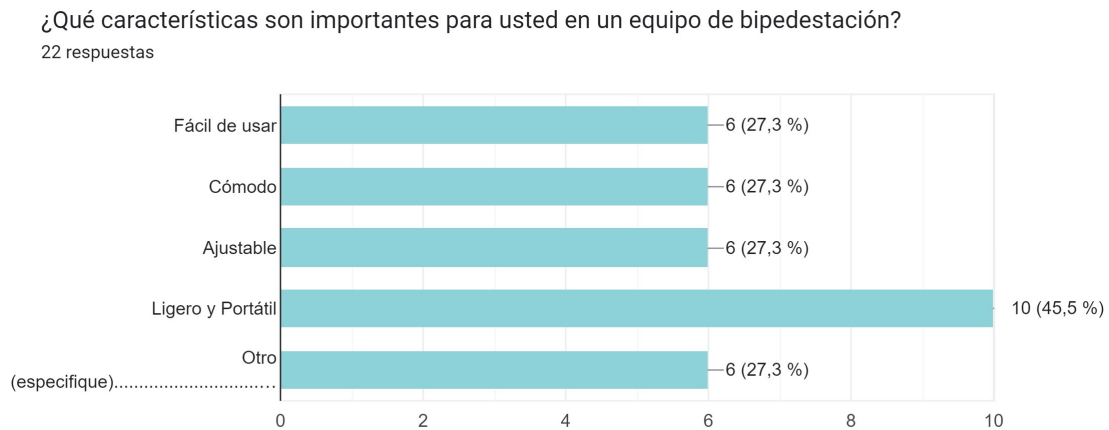
8. ¿Qué características son importantes para usted en un equipo de bipedestación?

Al preguntar sobre las características que los usuarios consideran importantes en un equipo de bipedestación, las respuestas revelaron un conjunto diverso de preferencias. Un 27.3% de los encuestados valora la facilidad de uso, la comodidad y la capacidad de ajuste del equipo. Además, un 45.5% de los participantes considera que es esencial que el equipo sea ligero y portátil. Finalmente, un 27.3% menciona otras características que consideran importantes, estos resultados se reflejan en la Figura 22.

Estos resultados indican que los usuarios buscan equipos que no solo sean prácticos y fáciles de manejar, sino que también ofrezcan comodidad y flexibilidad para adaptarse a sus necesidades individuales. Por lo tanto, al diseñar o seleccionar equipos de bipedestación, sería recomendable priorizar estas características para mejorar la experiencia del usuario y fomentar un uso más frecuente.

Figura 22

Resultados de la Pregunta 8.



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 8.

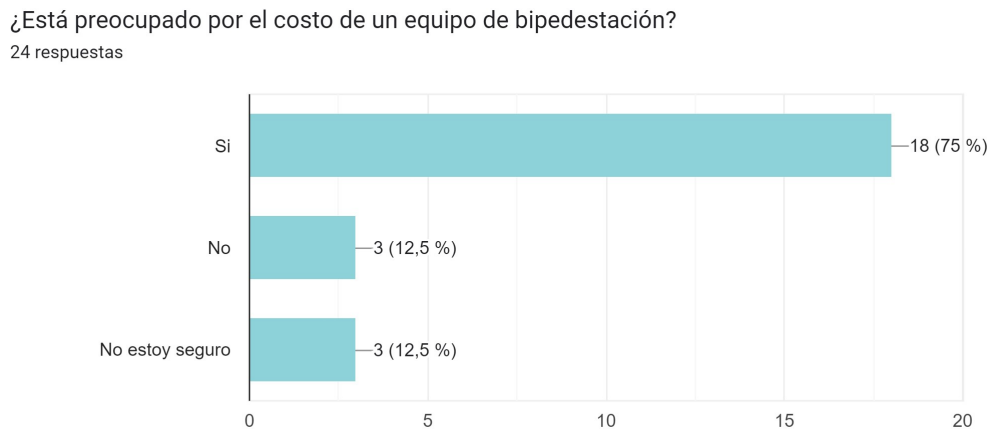
9. ¿Está preocupado por el costo de un equipo de bipedestación?

Al abordar la preocupación por el costo de un equipo de bipedestación, el 75% de los encuestados manifestó que sí les preocupa, mientras que un 12.5% no considera el costo un problema, y otro 12.5% no está seguro, estos datos los podemos observar en la Figura 23.

Este alto porcentaje de preocupación sugiere que el costo es un factor significativo para la mayoría de los usuarios potenciales. Por tanto, sería recomendable explorar opciones de financiamiento, subsidios o versiones más accesibles del equipo para hacerlos más asequibles y, de esta manera, facilitar su adopción por parte de quienes más lo necesitan.

Figura 23

Resultados de la Pregunta 9.



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 9.

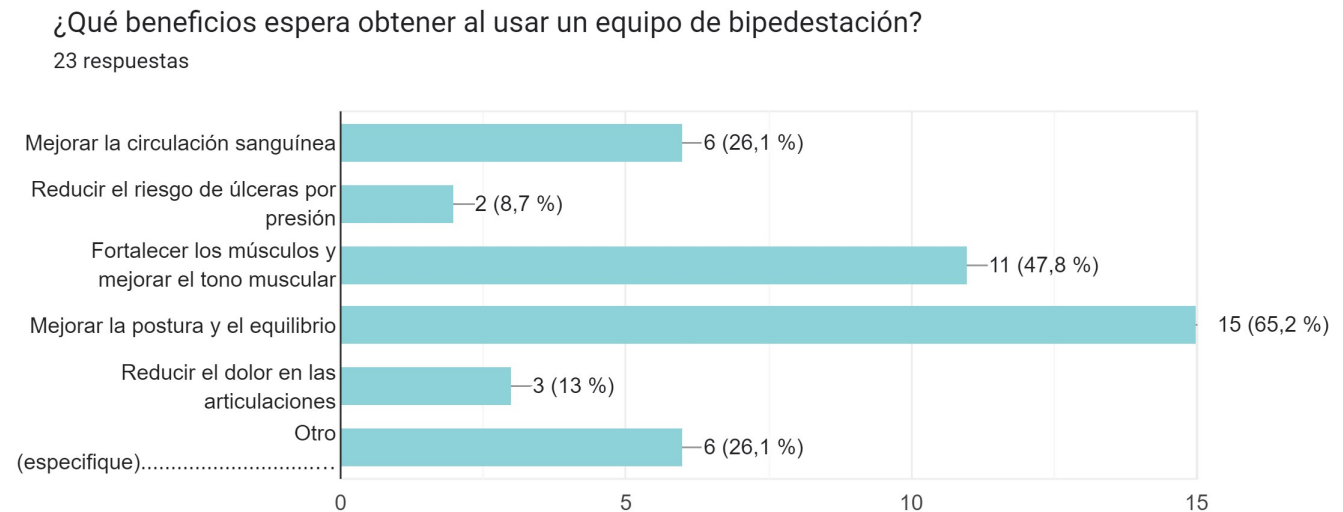
10. ¿Qué beneficios espera obtener al usar un equipo de bipedestación?

Cuando se preguntó a los encuestados sobre los beneficios que esperan obtener al usar un equipo de bipedestación, las respuestas reflejaron una amplia gama de expectativas. El 65.2% de los participantes busca mejorar la postura y el equilibrio, mientras que el 47.8% espera fortalecer los músculos y mejorar el tono muscular. Un 26.1% mencionó la mejora en la circulación sanguínea como un beneficio esperado, y un 13% busca reducir el dolor en las articulaciones. Además, el 8.7% espera reducir el riesgo de úlceras por presión, y otro 26.1% mencionó otros beneficios específicos, esto lo observamos en la Figura 24.

Estos resultados sugieren que los usuarios valoran principalmente los beneficios relacionados con la postura, el equilibrio y el fortalecimiento muscular. Por lo tanto, al promover el uso de equipos de bipedestación, sería útil destacar estos aspectos y asegurar que el equipo esté diseñado para maximizar estos beneficios. Además, se podrían considerar enfoques personalizados para abordar necesidades específicas como la reducción del dolor articular y la prevención de úlceras.

Figura 24

Resultados de la Pregunta 10.



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 10.

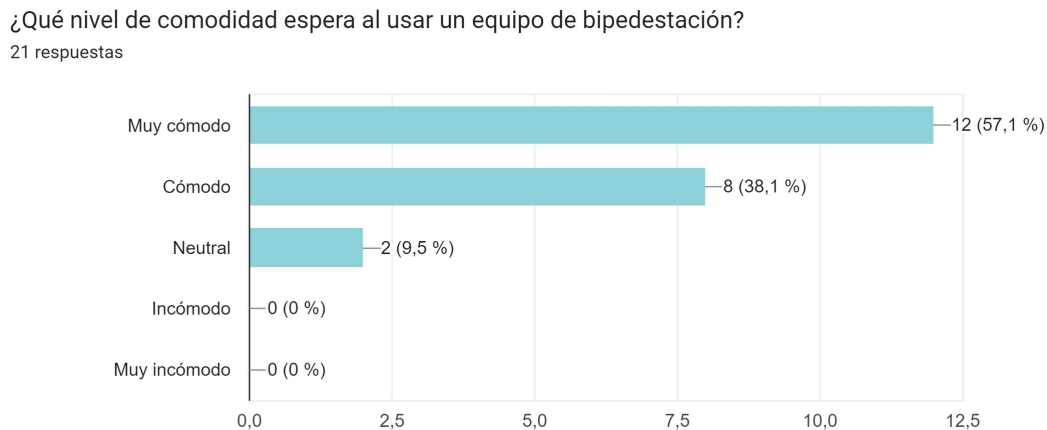
11. ¿Qué nivel de comodidad espera al usar un equipo de bipedestación?

Al preguntar sobre el nivel de comodidad que los usuarios esperan al usar un equipo de bipedestación, las respuestas reflejan altas expectativas. Un 57.1% de los encuestados espera que el equipo sea muy cómodo, mientras que un 38.1% anticipa un nivel de comodidad general. Solo un 9.5% se siente neutral respecto a la comodidad, y ninguno espera que el equipo sea incómodo o muy incómodo, estos datos los observamos en la Figura 25.

Estos resultados indican que la comodidad es una prioridad fundamental para la mayoría de los usuarios. Por lo tanto, es crucial que los diseños de los equipos de bipedestación se centren en proporcionar un alto nivel de confort, ya que esto podría influir significativamente en la aceptación y el uso continuado del equipo. Garantizar que los equipos sean ergonómicos y ajustables contribuirá a cumplir con estas expectativas elevadas

Figura 25

Resultados de la Pregunta 11.



Nota: El gráfico representa la tabulación de resultados de la pregunta 11.

5.2. Determinar variables de diseño

Para iniciar el diseño del dispositivo de bipedestación, se procedió a tomar las diferentes necesidades y acciones que debe realizar el dispositivo, estas fueron solicitadas por los fisioterapeutas de la Fundación HOPE, esto se realiza con el afán de caracterizar de manera adecuada a los usuarios.

A continuación, se muestran las características que debe tener el dispositivo a diseñarse:

- Ser trasladado con facilidad.
- Soportar un peso máximo de 100 kg.
- Debe contar con un sistema de sujeción para el paciente.
- Levantar la espalda hasta un ángulo de 45°.
- Realizar la bipedestación.
- Realizar la sedestación.

- Realizar la flexión de rodillas hasta un ángulo de 30°.
- Sistema de control con un mando para el fisioterapeuta.

Para definir el tamaño de las secciones del dispositivo se toma en cuenta las dimensiones de una persona que mide 1.90 m, tomando en cuenta estos requerimientos realizamos la segmentación de los componentes.

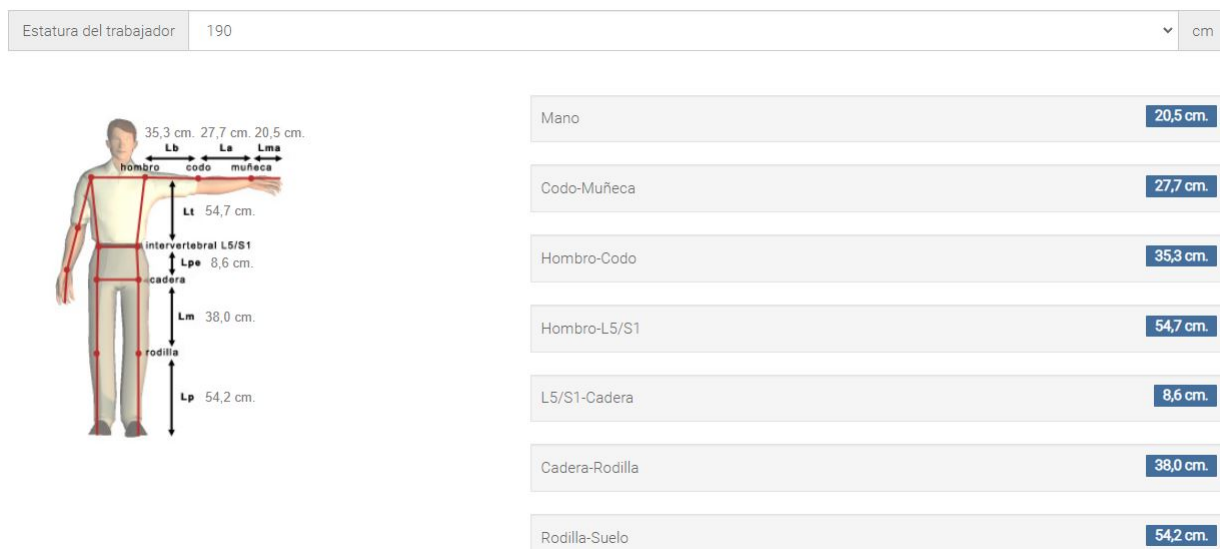
5.2.1. Medidas Antropométricas

Las medidas del dispositivo de bipedestación se utilizan para obtener un producto lo más cómodo y ergonómico posible abarcando la mayoría de pacientes.

Para poder realizar las segmentaciones del cuerpo humano tomamos como medida general una persona de 1.90 m y obtenemos los siguientes datos que se muestran en la Figura 26.

Figura 26

Estimación de longitudes de segmentos corporales de una persona de 190 cm.



Nota: El gráfico representa las segmentaciones corporales de una persona que mide 190 cm (Diego-Mas, 2015).

Mediante las mediciones se conoció las dimensiones aproximadas del diseño:

- Largo total: 190 cm

- Largo del espaldar: 90 cm
- Largo del asiento: 11 cm
- Largo de la sección tibia y peroné: 45cm
- Largo de la sección fémur: 35cm
- Ancho total: 90 cm

5.3. Diseño de Concepto

Para el diseño conceptual del equipo de bipedestación, se busca que las dimensiones estén basadas en la antropometría de un usuario que mida 190 cm y que pese 100 kg, con la finalidad de garantizar su comodidad y ergonomía. Además, se requiere que el dispositivo cumpla con la característica de ser fácilmente manejable y trasladado a diferentes áreas.

5.3.1. Análisis del Mecanismo

Para el diseño del mecanismo, el equipo de bipedestación debe cumplir ciertos parámetros. Considerando el dispositivo en posición de bipedestación:

- Debe partir de la posición decúbito supino eso quiere decir cuando el paciente se sitúa acostado, y levantarse en forma bípeda a un ángulo no mayor de 85° .
- Estar debidamente sujetado por lo mínimo en 3 zonas diferentes.
- Contar con un apoyo al momento de bajar al paciente.
- Debe tener una velocidad moderada al momento de subir.

Considerando el dispositivo en posición de sedestación:

- Se debe considerar un mecanismo de seguro que permita pasar de la posición de bipedestación a sedestación.
- La posición de los piernas y el espaldar no debe pasar de un ángulo de 75° a 80° como máximo
- Los mecanismo del espaldar y de las piernas deben actuar al mismo tiempo.

Considerando el dispositivo en posición de flexión de rodillas:

- Se debe contar con dos secciones separadas donde se ubicaran el fémur y en el otro la tibia y peroné.
- La flexión debe ser hasta un ángulo máximo de 30°.
- Se debe colocar una zona para el apoyo de los pies.

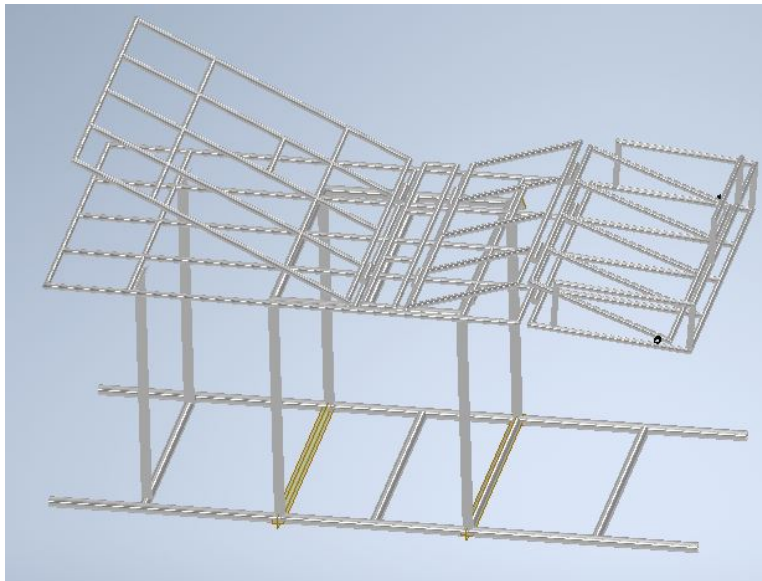
Considerando el dispositivo en posición de fowler:

- Se debe contar con una sección que dimensione solo la espalda del paciente.
- La posición del espaldar debe estar a un ángulo de 45°.
- Debe contar con la separación correcta del asiento y el espaldar para que se cumpla esta condición.

Tomando en cuenta estos parámetros, se procede a realizar la simulación del mecanismo para observar las trayectorias que permiten la correcta ejecución de los movimientos solicitados, como se observa en la Figura 27. La simulación tiene la finalidad de determinar las dimensiones óptimas de los eslabones que conformaran el dispositivo.

Figura 27

Simulación de la trayectoria del mecanismo en Inventor.



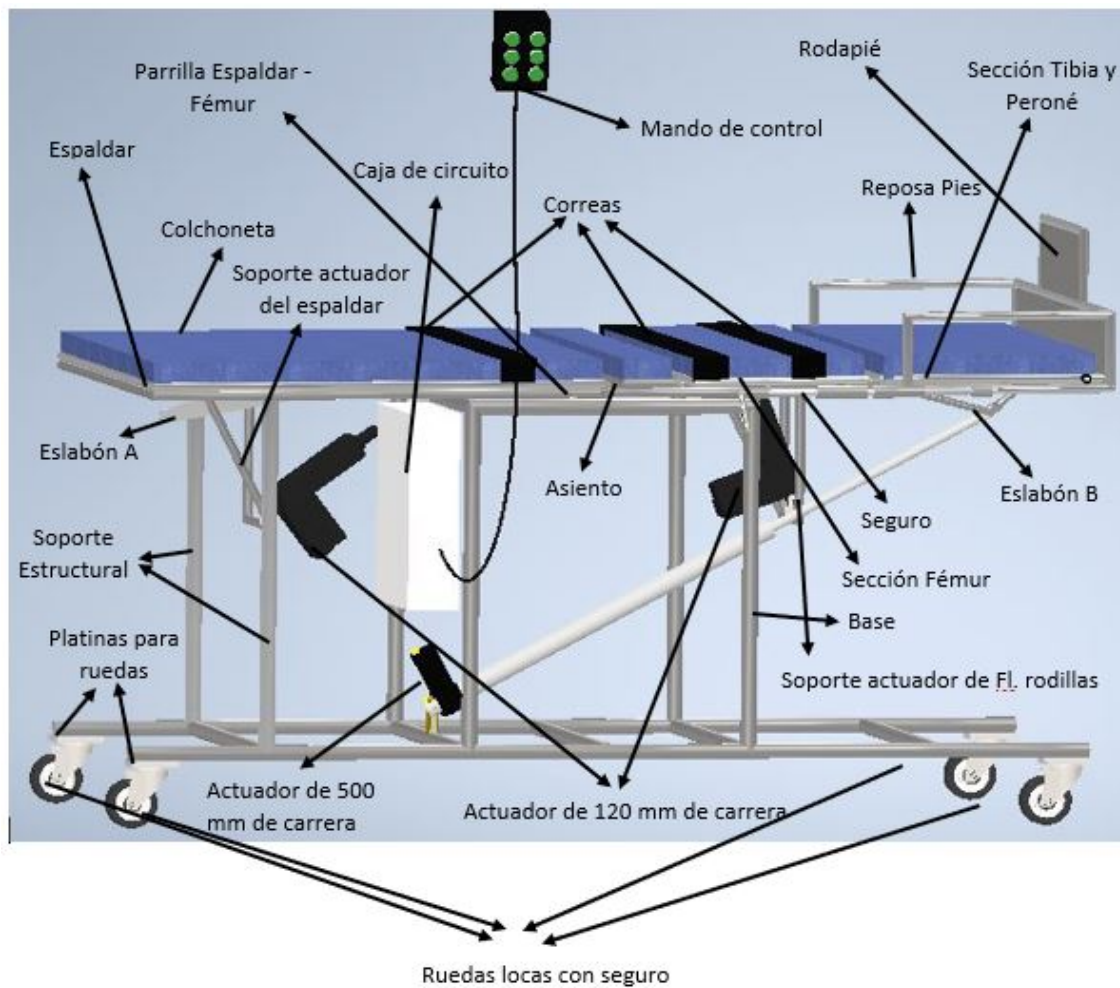
Nota: El gráfico representa la simulación de las posiciones del espaldar, sedestación y flexión de rodillas.

5.3.2. Definición de Componentes

Mediante las longitudes que conforman la estructura del equipo de bipedestación, se procede a realizar un diseño conceptual de los diferentes elementos que la conforman, como se observa en la Figura 28:

Figura 28

Representación de las partes del equipo de bipedestación realizado en Inventor.



Nota: Diseño de concepto de todos los elementos que conforman el equipo de bipedestación.

5.4. Cálculo y Selección de partes y piezas

Una vez definidos los componentes del diseño para la estructura del dispositivo, procederemos a establecer las condiciones de funcionamiento, simulando la deformación de cada una de las piezas expuestas a fuerzas de tensión. Esta evaluación se llevará a cabo mediante el software SOLIDWORKS, permitiéndonos obtener valores en la tensión de Von Mises. Este análisis nos ayudará a identificar las secciones de la estructura que podrían experimentar deformación permanente bajo cargas significativas.

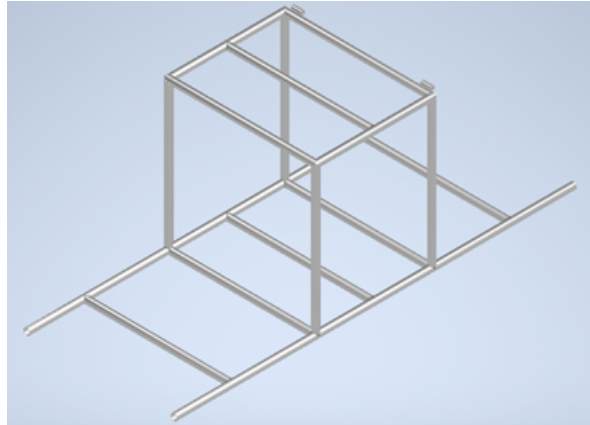
El factor de seguridad será esencial para validar la resistencia mecánica del diseño. Utilizaremos el Acero inoxidable AISI 304, un material altamente resistente a la oxidación y corrosión, preferido en la fabricación de ayudas técnicas que estarán en contacto con el paciente. Este metal, además de ser fácil de limpiar, destaca por su resistencia a deformaciones. Las propiedades mecánicas del AISI 304, tales como su densidad de masa de 8g/cm^3 , límite de elasticidad de 215 MPa, y resistencia máxima a la tracción de 505 MPa, serán especificadas en el análisis de cada parte del dispositivo en la aplicación práctica.

5.4.1. Base

La estructura inferior que la denominaremos como BASE va estar encargada de soportar todo el peso, la hemos configurado con un tubo cilíndrico con un diámetro de 31.75 mm y un grosor de 1.5 mm y los demás componentes que conforman el dispositivo la configuramos con un tubo cilíndrico con un diámetro de 19.05 mm y un grosor de 1.5 mm . En las simulaciones, las tensiones representan las presiones aplicadas en puntos específicos, permitiéndonos evaluar los esfuerzos generados en las estructuras de cada parte del dispositivo. Este enfoque integral nos brindará una visión completa de la resistencia y comportamiento del diseño ante diferentes condiciones de carga, garantizando la eficacia y seguridad del dispositivo.

Figura 29

Representación 3D de la estructura Base.



Nota: Estructura de la Base realizada en Inventor.

5.4.1.1 Propiedades mecánicas

La pieza de la base fue construida para soportar cada uno de los elementos ensamblados en este proyecto considerando la resistencia a todas las tensiones que ejerce cuando realiza sus movimientos.

Tabla 2

Propiedades mecánicas de la estructura base.

Nombre	Acero Inoxidable AISI 304	
Masa		14,88 kg
	Densidad de masa	8 g/cm ³
General	Limite de elasticidad	215 MPa
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,29
	Módulo cortante	75, 5814 GPa

Nota: En la tabla se detallan las propiedades mecánicas de la estructura Base.

La parte en cuestión cuenta con una masa $m = 14,88 \text{ kg}$, la cual se considerará para la magnitud de fuerza del peso que representa la misma.

$$W = m \cdot a \quad (1)$$

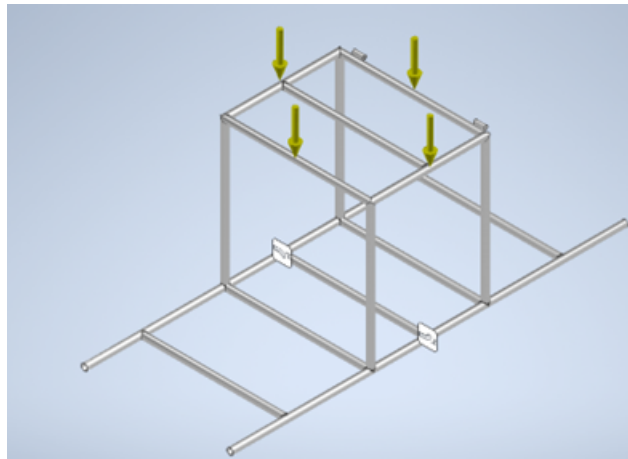
$$W = 14,88 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W = 145,973 \text{ N}$$

Posteriormente se definen las áreas en donde se aplicarán las cargas puntuales para nuestra simulación, evidenciando las cargas por medio de las flechas amarillas y de la siguiente manera.

Figura 30

Fuerzas aplicadas en la estructura Base.



Nota: Representación de las fuerzas aplicadas en la estructura realizada en SolidWorks.

5.4.1.2 Cargas Aplicadas

En cada espacio señalado de la estructura (carga puntual) se establecerán los valores de las cargas que intervendrán en dicha parte de la estructura.

Tabla 3*Cargas aplicadas en la Base.*

Tipo de carga	Fuerza 1
Magnitud	981 N
Vector X	0 N
Vector Y	-981 N
Vector Z	0 N

Nota: En la tabla se detallan las cargas aplicadas en la estructura.

5.4.1.3 Resultados de las cargas aplicadas

Una vez ejecutada la simulación obtenemos valores mínimos y máximos de las tensiones más sobresalientes y por ende más incidentes en nuestra estructura. En este caso, la primera tensión principal indica la máxima tensión que se produce en un eje σ_1 y la tercera tensión principal representa el esfuerzo mínimo σ_3 .

Tabla 4*Resultados de las cargas aplicadas en la Base.*

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	78,0493 MPa
Primera tensión principal	-32,513 MPa	37,3849 MPa
Tercera tensión principal	-122,109 MPa	6,49345 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,267852 mm
Coefficiente de seguridad	2,07044 su	15 su

Nota: En la tabla se detallan el resultado obtenido al aplicar las cargas a la estructura.

Una vez conocida la tensión de Von Mises $\sigma_{VM} = 78,0493$ MPa, conocemos la magnitud de esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura y la podremos relacionar con el límite de elasticidad $\sigma_{\bar{E}} = 215$ MPa y así obtener nuestro factor de seguridad mínimo.

$$FS = \frac{\sigma_{\bar{E}}}{\sigma_{VM}} \quad (2)$$

$$FS = \frac{215 \text{ MPa}}{78,0493 \text{ MPa}}$$

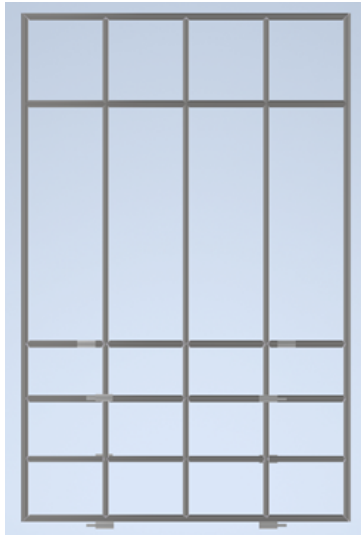
$$FS = 2,75$$

5.4.2. Rejilla Sección Espaldar - Fémur

La estructura que soporta este componente fue construida para soportar el peso del paciente de un peso máximo de 100 kg, se conecta a la base en la parte superior por medio de dos bisagras y se soporta en dos apoyos que conectan a la superficie de la base.

Figura 31

Representación 3D de la estructura de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur.



Nota: Estructura de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur realizada en Inventor.

5.4.2.1 Propiedades mecánicas

A continuación, se presenta las propiedades mecánicas de la la estructura, aplicando el peso correspondiente de la partes de la cabeza, tronco, extremidades superiores, glúteos y fémur de un persona que mide 190 cm y pesa 100 kg.

Tabla 5

Propiedades mecánicas de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur

Nombre	Acero Inoxidable AISI 304	
Masa	7,88 kg	
	Densidad de masa	8 g/cm ³
General	Limite de elasticidad	215 MPa
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,29
	Módulo cortante	75, 5814 GPa

Nota: En la tabla se detallan las propiedades mecánicas de la estructura de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur.

La parte en cuestión cuenta con una masa $m = 7,88$ kg, la cual se considerará para la magnitud de fuerza del peso que representa la misma.

$$W = m \cdot a$$

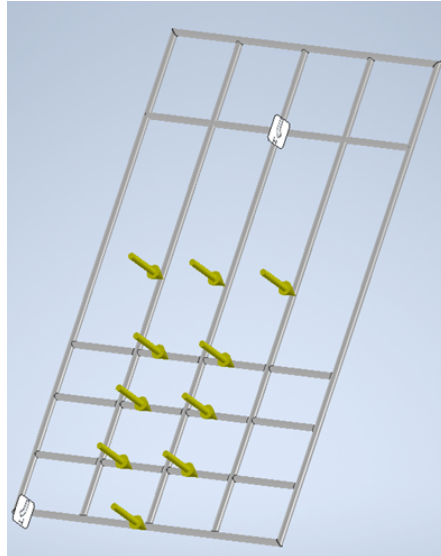
$$W = 7,88\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2$$

$$W = 77,302\text{N}$$

Posteriormente se definen las áreas en donde se aplicarán las cargas puntuales para nuestra simulación, evidenciando las cargas por medio de las flechas amarillas y de la siguiente manera.

Figura 32

Fuerzas aplicadas en la estructura de la Rejilla Sección Espaldar-Fémur.



Nota: Representación de las fuerzas aplicadas en la estructura realizada en SolidWorks.

5.4.2.2 Cargas Aplicadas

En cada espacio señalado de la estructura (carga puntual) se establecerán los valores de las cargas que intervendrán en dicha parte de la estructura.

Tabla 6

Cargas aplicadas en la Rejilla Sección Espaldar-Fémur.

Tipo de carga	Fuerza 1
Magnitud	623 N
Vector X	0 N
Vector Y	-623 N
Vector Z	0 N

Nota: En la tabla se detallan las cargas aplicadas en la estructura.

5.4.2.3 Resultados de las cargas aplicadas

Después de haber realizado la simulación tenemos los resultados de las cargas aplicadas en la estructura, los podemos observar en la Tabla 7.

Tabla 7

Resultados de las cargas aplicadas en la Rejilla Sección Espalдар-Fémur.

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	104,052 MPa
Primera tensión principal	-5,40519 MPa	106,423 MPa
Tercera tensión principal	-88,565 MPa	7,45835 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,706663 mm
Coefficiente de seguridad	2,07322 su	15 su

Nota: En la tabla se detallan el resultado obtenido al aplicar las cargas a la estructura.

Una vez conocida la tensión de Von Mises $\sigma_{VM} = 104,052$ MPa, conocemos la magnitud de esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura y la podremos relacionar con el límite de elasticidad $\sigma_{\bar{E}} = 215$ MPa y así obtener nuestro factor de seguridad mínimo.

$$FS = \frac{\sigma_{\bar{E}}}{\sigma_{VM}}$$

$$FS = \frac{215 \text{ MPa}}{104,052 \text{ MPa}}$$

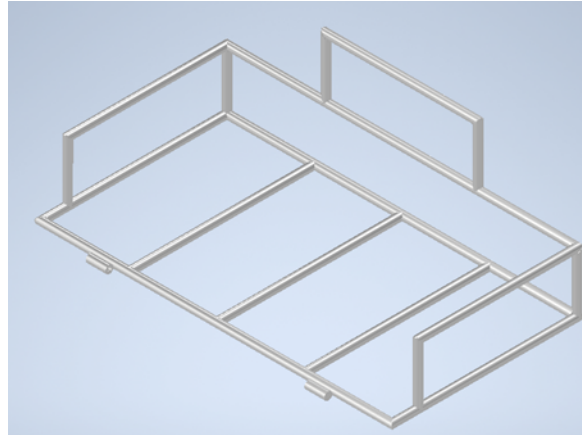
$$FS = 2,067$$

5.4.3. Reposapiés

La estructura del reposapiés se caracteriza por permitir que el paciente pueda reposar la parte inferior del cuerpo, sujeta por dos bisagras que le permiten realizar un movimiento de 85 grados, hace posible realizar la sedestación a bipedestación y viceversa.

Figura 33

Representación 3D de la estructura Reposapiés.



Nota: Estructura del Reposapiés realizada en Inventor.

5.4.3.1 Propiedades mecánicas

Para la obtención de las propiedades mecánicas del Reposapiés, realizamos el cálculo correcto para la segmentación del peso de la parte del cuerpo que va en esa sección, estos datos los podemos observar en la Tabla 8.

Tabla 8

Propiedades mecánicas del Reposapiés.

Nombre	Acero Inoxidable AISI 304	
Masa		4,82 kg
	Densidad de masa	8 g/cm ³
General	Limite de elasticidad	215 MPa
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,29
	Módulo cortante	75, 5814 GPa

Nota: En la tabla se detallan las propiedades mecánicas de la estructura del Reposapiés.

La parte en cuestión cuenta con una masa $m = 4,82$ kg, la cual se considerará para la magnitud de fuerza del peso que representa la misma.

$$W = m \cdot a$$

$$W = 4,82 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

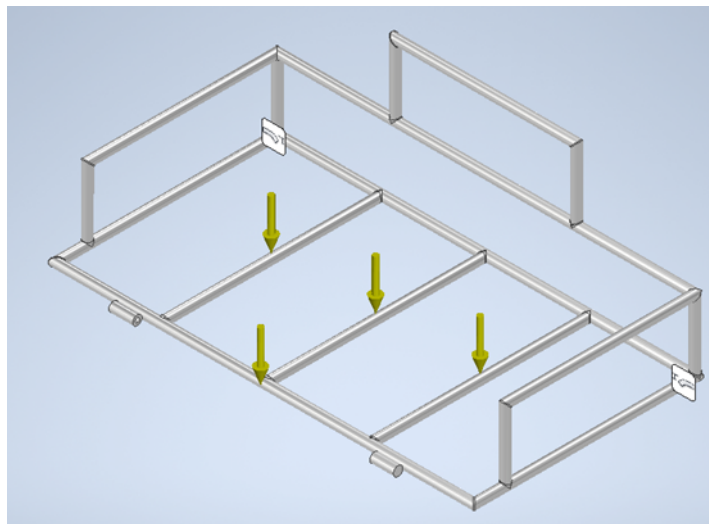
$$W = 47,2842 \text{ N}$$

5.4.3.2 Cargas aplicadas

Posteriormente se definen las áreas en donde se aplicarán las cargas puntuales para nuestra simulación, evidenciando las cargas por medio de las flechas amarillas y de la siguiente manera.

Figura 34

Fuerzas aplicadas en la estructura del Reposapiés.



Nota: Representación de las fuerzas aplicadas en la estructura realizada en SolidWorks.

En cada espacio señalado de la estructura (carga puntual) se establecerán los valores de las cargas que intervendrán en dicha parte de la estructura.

Tabla 9*Cargas aplicadas en la estructura del Reposapiés.*

Tipo de carga	Fuerza 1
Magnitud	154 N
Vector X	0 N
Vector Y	-154 N
Vector Z	0 N

Nota: En la tabla se detallan las cargas aplicadas en la estructura.

5.4.3.3 Resultados de las cargas aplicadas

Una vez realizada la simulación tenemos como resultados los siguientes datos:

Tabla 10*Resultados de las cargas aplicadas en la estructura del Reposapiés.*

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	94,6347 MPa
Primera tensión principal	-5,83748 MPa	106,545 MPa
Tercera tensión principal	-95,5949 MPa	9,66736 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,82289 mm
Coefficiente de seguridad	2,27189 su	15 su

Nota: En la tabla se detallan los resultados obtenidos al aplicar las cargas a la estructura.

Una vez conocida la tensión de Von Mises $\sigma_{VM} = 94.6347 \text{ MPa}$, conocemos la magnitud de esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura y la podremos relacionar con el límite de elasticidad $\sigma_{\bar{E}} = 215 \text{ MPa}$ para obtener nuestro factor de seguridad mínimo.

$$FS = \frac{\sigma_{\bar{E}}}{\sigma_{VM}}$$

$$FS = \frac{215 \text{ MPa}}{94,6347 \text{ MPa}}$$

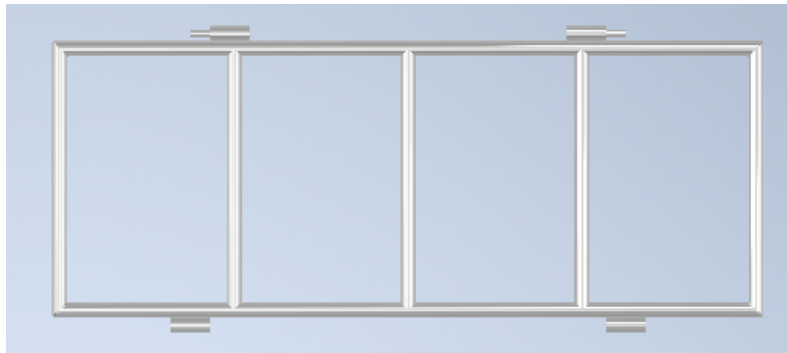
$$FS = 2,27$$

5.4.4. Sección Fémur

El soporte de las piernas se apoya sobre la parrilla del reposapiés, permitiendo elevar el área del fémur y creando flexibilidad en la zona inferior para la terapia del paciente.

Figura 35

Representación 3D de la Sección Fémur.



Nota: Estructura de la Sección Fémur realizada en Inventor.

5.4.4.1 Propiedades mecánicas

Para obtener las propiedades mecánicas de esta sección se aplico los mismos criterios que las piezas anteriores, tenemos los siguientes datos:

Tabla 11

Propiedades mecánicas de la Sección Fémur.

Nombre	Acero Inoxidable AISI 304	
Masa		2,74 kg
	Densidad de masa	8 g/cm ³
General	Limite de elasticidad	215 MPa
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,29
	Módulo cortante	75, 5814 GPa

Nota: En la tabla se detallan las propiedades mecánicas de la estructura de la Sección Fémur.

La parte en cuestión cuenta con una masa $m = 2.74\text{kg}$, la cual se considerará para la magnitud de fuerza del peso que representa la misma.

$$W = m \cdot a$$

$$W = 2.74\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2$$

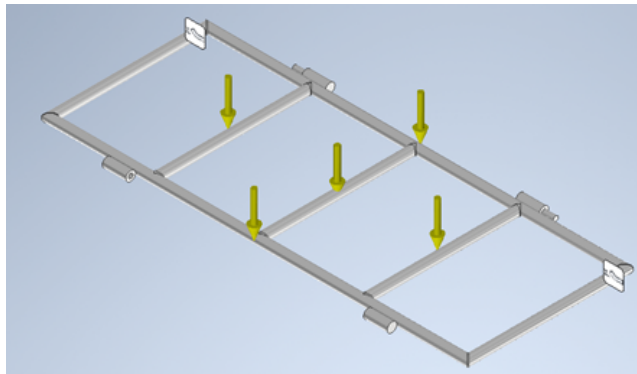
$$W = 26.8794\text{N}$$

5.4.4.2 Cargas aplicadas

Posteriormente, se definen las áreas en donde se aplicarán las cargas puntuales para nuestra simulación, evidenciando las cargas mediante flechas amarillas de la siguiente manera:

Figura 36

Fuerzas aplicadas en la estructura de la Sección Fémur.



Nota: Representación de las fuerzas aplicadas en la estructura realizada en SolidWorks.

A continuación, tenemos la tabla de los valores de las cargas que fueron aplicadas en la simulación.

Tabla 12

Cargas aplicadas en la estructura de la Sección Fémur.

Tipo de carga	Fuerza 1
Magnitud	98 N
Vector X	0 N
Vector Y	98 N
Vector Z	0 N

Nota: En la tabla se detallan las cargas aplicadas en la estructura.

5.4.4.3 Resultados de las cargas aplicadas

Después de realizar la simulación tenemos como resultado lo siguiente:

Tabla 13

Resultados de las cargas aplicadas en la estructura de la Sección Fémur.

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	49,8745 MPa
Primera tensión principal	-3,67427 MPa	56,0616 MPa
Tercera tensión principal	-48,3284 MPa	4,47004 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,489264 mm
Coefficiente de seguridad	4,31082 su	15 su

Nota: En la tabla se detallan los resultados obtenidos al aplicar las cargas a la estructura.

Una vez conocida la tensión de Von Mises $\sigma_{VM} = 49.8745 \text{ MPa}$, conocemos la magnitud de esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura y la podemos relacionar con el límite de elasticidad $\sigma_{\bar{E}} = 215 \text{ MPa}$ para obtener nuestro factor de seguridad mínimo.

$$FS = \frac{\sigma_{\bar{E}}}{\sigma_{VM}}$$

$$FS = \frac{215 \text{ MPa}}{49,8745 \text{ MPa}}$$

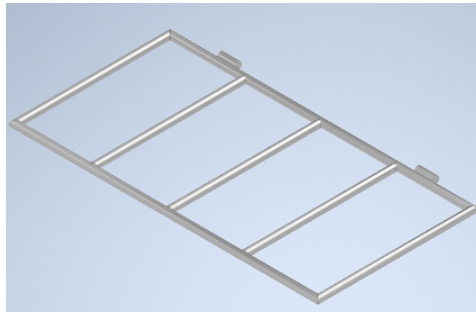
$$FS = 4,31$$

5.4.5. Sección Tibia - Peroné

La estructura para los pies se apoya sobre la parrilla del reposapiés y permite la elevación del área de las rodillas, creando flexibilidad en la zona inferior para la terapia del paciente.

Figura 37

Representación 3D de la Sección Tibia - Peroné.



Nota: Estructura de la Sección Tibia - Peroné realizada en Inventor.

5.4.5.1 Propiedades mecánicas

Para obtener las propiedades mecánicas de esta sección se aplicó el mismo criterio que la anterior estructura, pero con un peso menor debido a la parte del cuerpo que va en esta sección.

Tabla 14

Propiedades mecánicas de la Sección Tibia - Peroné.

Nombre	Acero Inoxidable AISI 304	
Masa		2,73 kg
	Densidad de masa	8 g/cm ³
General	Limite de elasticidad	215 MPa
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,29
	Módulo cortante	75, 5814 GPa

Nota: En la tabla se detallan las propiedades mecánicas de la Sección Tibia - Peroné.

La parte en cuestión cuenta con una masa $m = 2.73\text{kg}$, la cual se considerará para la magnitud de fuerza del peso que representa la misma.

$$W = m \cdot a$$

$$W = 2.73\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2$$

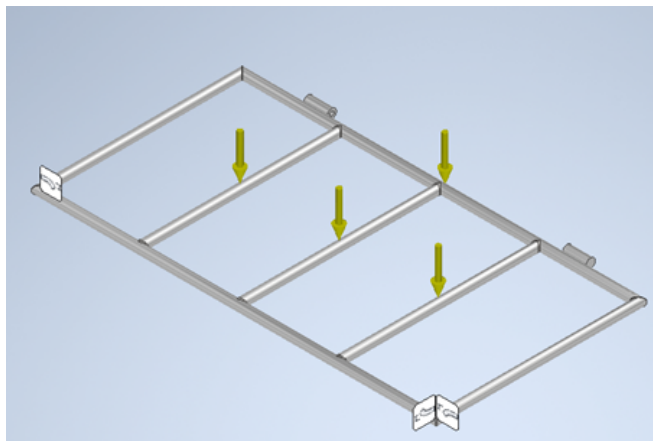
$$W = 26.781\text{N}$$

5.4.5.2 Cargas aplicadas

Posteriormente, se definen las áreas en donde se aplicarán las cargas puntuales para nuestra simulación, evidenciando las cargas mediante flechas amarillas de la siguiente manera:

Figura 38

Fuerzas aplicadas en la estructura de la Sección Tibia - Peroné.



Nota: Representación de las fuerzas aplicadas en la estructura realizada en SolidWorks.

A continuación, tenemos la tabla de los valores de las cargas que fueron aplicadas en la simulación.

Tabla 15

Cargas aplicadas en la estructura Sección Tibia - Peroné.

Tipo de carga	Fuerza 1
Magnitud	56 N
Vector X	0 N
Vector Y	-56 N
Vector Z	0 N

Nota: En la tabla se detallan las cargas aplicadas en la estructura.

5.4.5.3 Resultados de las cargas aplicadas

Una vez terminada la simulación tenemos los siguientes resultados:

Tabla 16

Resultados de las cargas aplicadas en la estructura de la Sección Tibia - Peroné.

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	45,99 MPa
Primera tensión principal	-5,01 MPa	47,03 MPa
Tercera tensión principal	-52,55 MPa	3,01 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,4134 mm
Coefficiente de seguridad	4,67 su	15 su

Nota: En la tabla se detallan los resultados obtenidos al aplicar las cargas a la estructura.

Una vez conocida la tensión de Von Mises $\sigma_{VM} = 45.99 \text{ MPa}$, conocemos la magnitud del esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura y la podemos relacionar con el límite de elasticidad $\sigma_{\bar{E}} = 215 \text{ MPa}$ para obtener nuestro factor de seguridad mínimo.

$$FS = \frac{\sigma_{\bar{E}}}{\sigma_{VM}}$$

$$FS = \frac{215 \text{ MPa}}{45.99 \text{ MPa}}$$

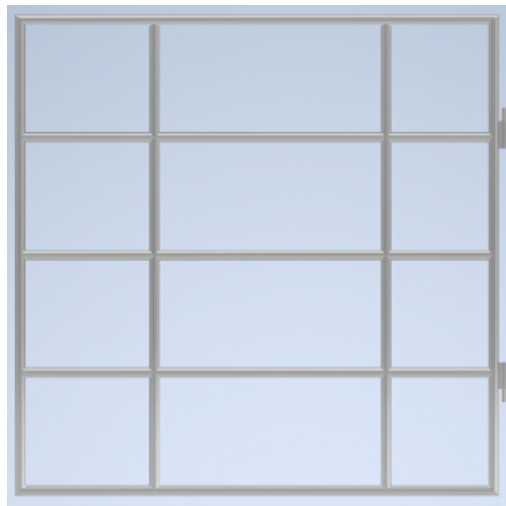
$$FS = 4.67$$

5.4.6. Espaldar

La pieza del espaldar sirve para realizar el soporte del paciente desde el área de la cabeza hasta la cintura. Permite al paciente adquirir una posición de estar acostado a sentado y viceversa, mediante el impulso de un servo motor lineal y soportar su rotación en el mismo eje al tener dos chumaceras soldadas.

Figura 39

Representación 3D del Espaldar.



Nota: Estructura del Espaldar realizada en Inventor.

5.4.6.1 Propiedades mecánicas

Para obtener las propiedades mecánicas de esta sección se aplicó un criterio similar que con la Rejilla Sección Espaldar - Fémur, pero con un peso menor debido a que solo es para las partes del tronco, cabeza y extremidades superiores.

Tabla 17*Propiedades mecánicas del Espaldar.*

Nombre	Acero Inoxidable AISI 304	
Masa		5,43 kg
	Densidad de masa	8 g/cm ³
General	Limite de elasticidad	215 MPa
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,29
	Módulo cortante	75, 5814 GPa

Nota: En la tabla se detallan las propiedades mecánicas de la estructura del Espaldar.

La pieza del espaldar en cuestión cuenta con una masa $m = 5.43\text{ kg}$, la cual se considerará para la magnitud de fuerza del peso que representa la misma.

$$W = m \cdot a$$

$$W = 5.43\text{ kg} \cdot 9.81\text{ m/s}^2$$

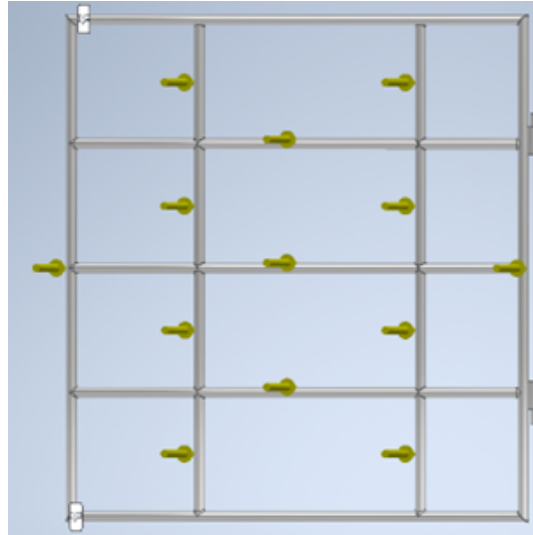
$$W = 53.268\text{ N}$$

5.4.6.2 Cargas aplicadas

Posteriormente se definen las áreas donde se aplicarán las cargas puntuales para nuestra simulación, evidenciando las cargas mediante flechas amarillas y de la siguiente manera.

Figura 40

Fuerzas aplicadas en la estructura del Espaldar.



Nota: Representación de las fuerzas aplicadas en la estructura realizada en SolidWorks.

En cada espacio señalado de la estructura (carga puntual), se establecerán los valores de las cargas que intervendrán en dicha parte de la estructura.

Tabla 18

Cargas aplicadas en la estructura del Espaldar.

Tipo de carga	Fuerza 1
Magnitud	980 N
Vector X	0 N
Vector Y	-980 N
Vector Z	0 N

Nota: En la tabla se detallan las cargas aplicadas en la estructura.

Una vez ejecutada la simulación, obtenemos valores mínimos y máximos de las tensiones más sobresalientes y, por ende, más incidentes en nuestra estructura. En este caso, la primera tensión principal indica la máxima tensión que se produce en un eje σ_1 y la tercera tensión principal representa el esfuerzo en un eje σ_3 .

5.4.6.3 Resultados de las cargas aplicadas

Una vez terminada la simulación tenemos los siguientes resultados:

Tabla 19

Resultados de las cargas aplicadas en la estructura del Espaldar.

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	56,0847 MPa
Primera tensión principal	-12,4216 MPa	56,0862 MPa
Tercera tensión principal	-58,9578 MPa	13,078 MPa
Desplazamiento	0 mm	359,438 mm
Coefficiente de seguridad	3,83349 su	15 su

Nota: En la tabla se detallan los resultados obtenidos al aplicar las cargas a la estructura.

Una vez conociendo la tensión de Von Mises $\sigma_{VM} = 56.085 \text{ MPa}$, conocemos la magnitud de esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura y la podremos relacionar con el límite de elasticidad $\bar{\sigma} = 215 \text{ MPa}$ para obtener nuestro factor de seguridad mínimo.

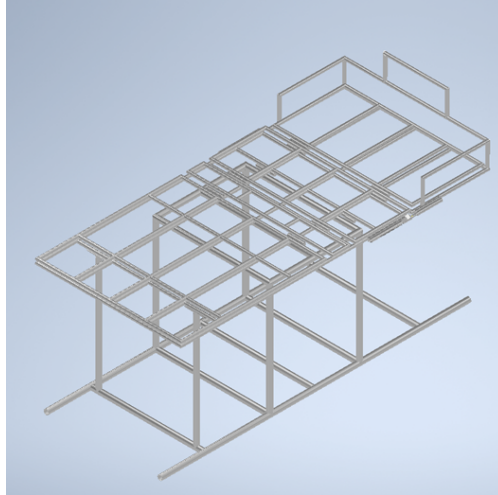
$$\text{FS} = \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{VM}}$$
$$\text{FS} = \frac{215 \text{ MPa}}{56.085 \text{ MPa}}$$
$$\text{FS} = 3.833$$

5.4.7. Estructura completa del Equipo de Bipedestación

Después de sacar el análisis de cada uno de los componentes que conforman el equipo de bipedestación determinamos las cargas aplicadas son soporta todo el conjunto y verificamos si cumple con el factor de seguridad.

Figura 41

Representación 3D de la estructura completa del Equipo de Bipedestación.



Nota: Estructura completa del Equipo de Bipedestación realizada en Inventor.

5.4.7.1 Propiedades mecánicas

Para determinar las propiedades mecánicas de todo el conjunto, sumamos todo los componentes y obtenemos los siguiente:

Tabla 20

Propiedades mecánicas del Equipo de Bipedestación.

Equipo de Bipedestación		
Nombre	Acero Inoxidable AISI 304	
Masa		38,48 kg
	Densidad de masa	8 g/cm ³
General	Limite de elasticidad	215 MPa
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa
	Módulo de Young	195 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,29
	Módulo cortante	75, 5814 GPa

Nota: En la tabla se detallan las propiedades mecánicas del Equipo de Bipedestación.

La parte en cuestión cuenta con una masa $m = 38,48\text{kg}$, la cual se considerará para la magnitud de la fuerza del peso que representa la misma.

$$W = m \cdot a$$

$$W = 38,48\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2$$

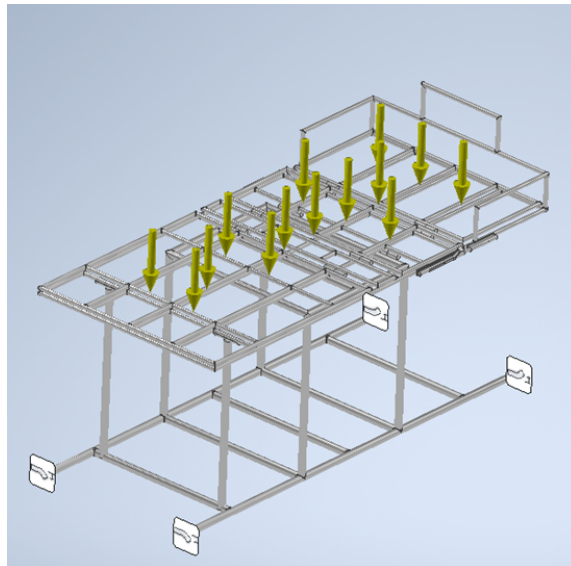
$$W = 377,488\text{N}$$

5.4.7.2 Cargas aplicadas

Posteriormente se definen las áreas en donde se aplicarán las cargas puntuales para nuestra simulación, evidenciando las cargas mediante flechas amarillas de la siguiente manera.

Figura 42

Fuerzas aplicadas en la estructura del Equipo de Bipedestación,



Nota: Representación de las fuerzas aplicadas en la estructura realizada en Solidworks.

En cada espacio señalado de la estructura (carga puntual) se establecerán los valores de las cargas que intervendrán en dicha parte de la estructura.

Tabla 21

Cargas aplicadas en la estructura del Equipo de Bipedestación.

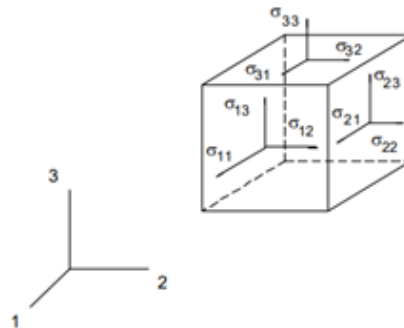
Tipo de carga	Fuerza 1
Magnitud	980 N
Vector X	0 N
Vector Y	-980 N
Vector Z	0 N

Nota: En la tabla se detallan las cargas aplicadas en la estructura.

Mediante la identificación de las tensiones presentes en cada área, se calcularán los valores de las tensiones principales, las cuales se identifican con “ σ ” consecuentemente y son las componentes normales de la tensión efectuada en ese eslabón. En la figura podemos apreciar que son paralelas a los ejes y perpendiculares a cada cara del cuerpo ($\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}$), por otra parte, las componentes tangenciales se identifican como ($\sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{21}, \sigma_{23}, \sigma_{31}, \sigma_{32}$).

Figura 43

Diagrama explicativo de las tensiones presentes en el Equipo de Bipedestación.



Nota: El gráfico representa las tensiones presentes en la estructura.

Una vez obtenidas las tensiones principales o normales, se las relaciona con sus componentes tangenciales de manera que se obtiene un valor escalar, la Tensión de Von Mises, que es el resultante de todas las tensiones actuantes en cada plano del cuerpo. Este valor permitirá validar el diseño posteriormente, debido a que nos permite obtener el factor de seguridad de la estructura.

5.4.7.3 Resultados de las cargas aplicadas

Una vez ejecutada la simulación obtenemos valores mínimos y máximos de las tensiones más sobresalientes y, por ende, más incidentes en nuestra estructura. En este caso, la primera tensión principal indica la máxima tensión que se produce en un eje σ_1 , y la tercera tensión principal representa el esfuerzo mínimo σ_3 .

Tabla 22

Resultados de las cargas aplicadas en la estructura del Equipo de Bipedestación.

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensión de Von Mises	0 MPa	102,124 MPa
Primera tensión principal	-3,483 MPa	97,458 MPa
Tercera tensión principal	-97,109 MPa	7,32547 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,15482 mm
Coefficiente de seguridad	2,11 su	15 su

Nota: En la tabla se detallan los resultados obtenidos al aplicar las cargas a la estructura.

Una vez conociendo la tensión de Von Mises $\sigma_{VM} = 102.124\text{MPa}$, conocemos la magnitud de esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura y podremos relacionarla con el límite de elasticidad $\sigma_{\bar{E}} = 215\text{MPa}$ y así obtener nuestro factor de seguridad mínimo.

$$\text{FS} = \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{VM}}$$
$$\text{FS} = \frac{215\text{MPa}}{102.124\text{MPa}}$$
$$\text{FS} = 2,11$$

5.5. Diseño a detalle

Para el proceso de construcción del dispositivo, en primera instancia se realizaron los planos de cada conjunto, respetando los parámetros obtenidos, los cuales se encuentran disponibles en el Anexo .

5.5.1. Selección del Actuador lineal

Con el fin de brindar una funcionalidad óptima al dispositivo, se realizará un cálculo de las fuerzas que actuarán en el bipedestador, con la finalidad de obtener los valores referenciales para la selección de un actuador lineal, un dispositivo mecánico que transforma la energía de entrada en movimiento lineal. Este tipo de actuador se utiliza para aplicar fuerzas o generar movimientos en una dirección lineal, lo que resulta especialmente útil en aplicaciones que involucran la rehabilitación de extremidades y el movimiento de cargas elevadas.

Para ello se empleará una sobremedida; según el promedio de los habitantes de Cuenca, tendrían sobrepeso, lo que implica un aproximado de 86 Kg; en este sentido, se establecerá una sobremedida en cuanto a la masa esperada para soportar la estructura del bipedestador de 110 Kg, anticipando el funcionamiento del dispositivo para una persona de peso elevado.

De la misma manera, se establecen los porcentajes en pesos segmentarios de una persona, los cuales se pueden resumir en:

Tabla 23

Secciones del cuerpo y su porcentaje de masa.

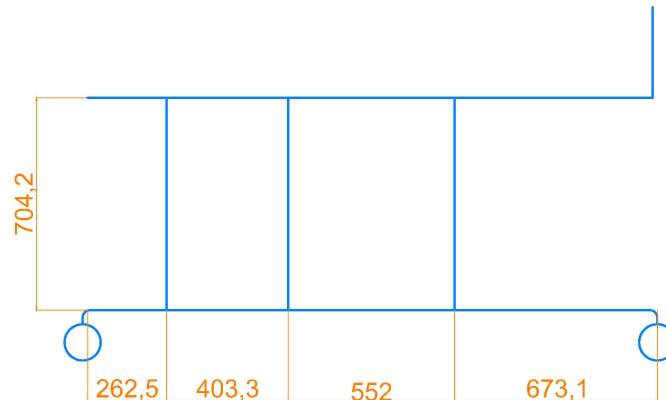
Sección del cuerpo	% masa corporal	Masa [kg]
Cabeza	6.9	7.59
Torso	53.3	58.63
Muslos	28.3	31.13
Pantorrillas	8.7	9.57
Pies	2.7	2.97

Nota: En la tabla se detallan los porcentajes y peso de cada sección del cuerpo humano.

Adicionalmente, se considera la masa de la camilla en aproximadamente 40 kg, siendo con esta, 5 esfuerzos a los que estará sometido el mecanismo. Se los toma independientemente para establecer una relación respecto a su posición en la camilla. Se considera la gravedad como un valor de 9.81 m/s^2 .

Figura 44

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial del equipo y los apoyos.

Establecemos las fuerzas actuantes que corresponden a la masa de cada sección del cuerpo del paciente al ser multiplicadas por la gravedad; también se unificó la masa de pantorrillas y pies como una sección que se apoya al final de la camilla y el mismo peso de la camilla.

Tabla 24

Representación del peso estimado de cada sección del cuerpo.

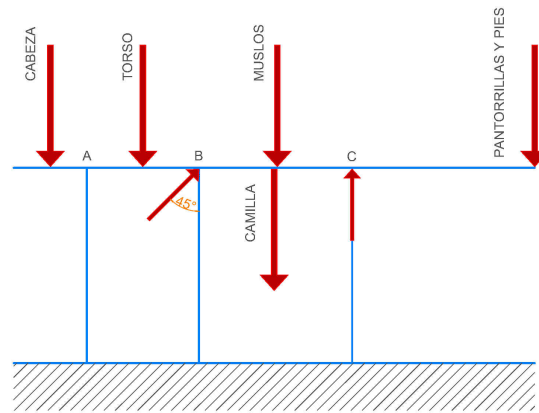
Sección del cuerpo	Peso [N]
Cabeza	74.46
Torso	575.16
Muslos	305.39
Pantorrillas y Pies	123.02
Camilla	392.4

Nota: En la tabla se detallan los pesos estimados de cada parte del cuerpo humano transformados en Newton.

Procedemos a establecer un diagrama simple de eslabones basado en el diseño, de manera que nos permita identificar las fuerzas que se aplican y las reacciones en los puntos de apoyo de la camilla.

Figura 45

Representación de las fuerzas actuantes en el Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un diagrama de cuerpo libre para la ubicación de las fuerzas, reacciones y su sentido.

Por su ubicación en el plano, podemos designar a cada fuerza de la siguiente manera:

Tabla 25

Fuerzas y Reacciones en el plano.

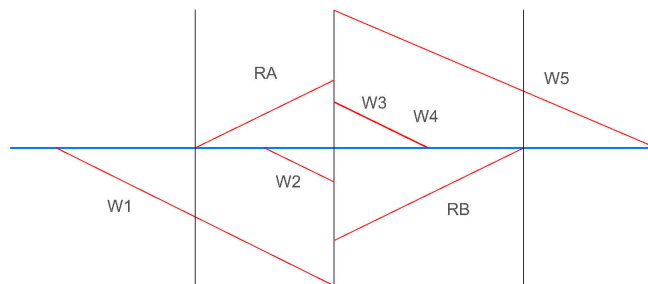
Fuerza	Designación
Cabeza	W_1
Tronco	W_2
Camilla	W_3
Muslos	W_4
Pantorrillas y Pies	W_5

Nota: En la tabla se detallan las fuerzas y reacciones ubicadas en el plano.

Al ser solo fuerzas en dirección perpendicular al plano horizontal, podemos establecer, mediante las ecuaciones de equilibrio para el eje y, con la camilla en posición horizontal. Principalmente comprenderemos la manera en la que se distribuyen las cargas máximas que suponemos que estará expuesta la estructura y las reacciones de cada uno de sus apoyos A, B y C. Al distribuirse la carga en 3 puntos de apoyo, se considera una viga hiperestática, debido a que sus restricciones al momento de ejecutar el análisis mediante las ecuaciones de equilibrio no fue posible obtener los valores de las reacciones actuantes, una característica de la hiperestaticidad CITA. Bajo esa premisa, emplearemos el método de “Área de Momento” donde se calcula las áreas asociadas al diagrama de momento flector de la viga, tomando como el centro de giro el punto B. Mediante el siguiente diagrama identificaremos las fuerzas actuantes en sentido A-B y sentido C-B y posteriormente calcular las áreas de las figuras obtenidas.

Figura 46

Diagrama de Área de Momentos.



Nota: Se muestra el diagrama para las áreas de momentos a identificar el sentido de cada fuerza o reacción.

$$\sum M_B = 0$$

$$W_1(534.4m) + W_2(201.65) + W_3(272.75) + W_4(276) - W_5(1208.5) - R_A(403.3) + R_C(552) = 0$$

$$-R_A(403.3) + R_C(552) + (39.79 + 115.98 - 107.02 - 84.28 - 148.66) = 0$$

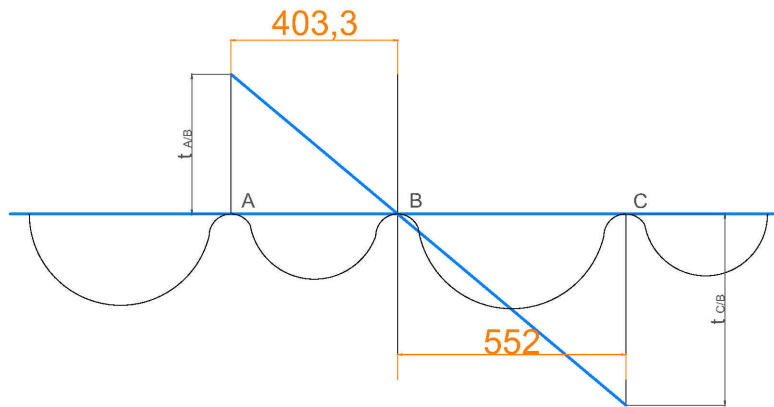
$$-R_A(403.3) + R_C(552) = 184.19 \text{ N} \quad \dots (3)$$

5.5.1.1 Relación entre las Reacciones

$$\frac{t_{A/B}}{0.403} = \frac{t_{C/B}}{0.552}$$

Figura 47

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

Donde:

$$t_{A/B} = \text{Área de la fuerza actuante} \times \text{centroide}(\bar{x}_c)$$

De esta manera obtendremos las desviaciones que produce cada fuerza aplicada en cada sección de la camilla con respecto al punto de apoyo B.

5.5.1.2 Fuerzas actuantes en el tramo A – B

R_A :

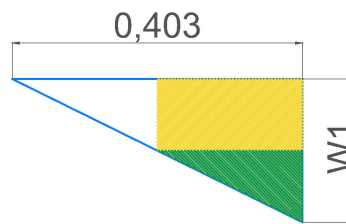
$$A = \frac{b \times h}{2} = \frac{0.403 \times R_A}{2}$$

$$\bar{x}_c = \frac{2}{3} \times b = \frac{2 \times 0.403}{3}$$

$$A \times \bar{x}_c = 0.054 \times R_A$$

Figura 48

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

W_1 :

$$A_1 = b \times h = 0.403 \times 9.76 = 3.93$$

$$\bar{x}_c = \frac{b}{2} = \frac{0,403}{2} = 0.2015$$

$$A = \frac{0.403 \times 30.03}{2} = 6.05$$

$$\bar{x}_c = \frac{2 \times b}{3} = 0.2686$$

$$A_1 * \bar{x}_c + A_2 * \bar{x}_c = 2.01$$

5.5.1.3 Fuerzas actuantes en el tramo C - B

W_3 :

$$A = \frac{0.272 \times 392.4}{2} = 196.2$$

$$\bar{x}_c = \frac{2 \times b}{3} = 0.1818$$

$$A \times \bar{x}_c = 35.67$$

W_4 :

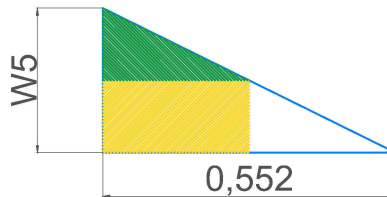
$$A = \frac{b \times h}{2} = \frac{0.276 \times 305.39}{2} = 42.14$$

$$\bar{x}_c = \frac{2}{3} \times b = \frac{2 \times 0.276}{3} = 0.184$$

$$A \times \bar{x}_c = 7.75$$

Figura 49

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

W_5 :

$$A1 = b \times h = 0.552 \times 80.76 = 44.58$$

$$\bar{x}_c = \frac{b}{2} = \frac{0.552}{2} = 0.276$$

$$A1 \times \bar{x}_c = 12.30$$

W_5 :

$$A_2 = \frac{0.552 \times 148.66}{2} = 41.03$$
$$\bar{x}_c = \frac{2 \times b}{3} = \frac{2 \times 0.552}{3} = 0.1344$$
$$A_2 \times \bar{x}_c = 5.519$$
$$A_1 \times \bar{x}_c + A_2 \times \bar{x}_c = 17.81$$

R_C :

$$A = \frac{0.552 \times R_C}{2}$$
$$\bar{x}_c = \frac{2}{3} \times 0.552 = 0.1344$$
$$A \times \bar{x}_c = 0.037 \times R_C$$

De esta manera, obtenemos el valor de la desviación de cada apoyo A y C con respecto al punto B del actuador lineal, en su estado de reposo, y obtenemos los valores de $t_{A/B}$ y $t_{C/B}$.

$$t_{A/B} = W_1 + W_2 - R_A$$
$$t_{A/B} = 2.01 + 1.57 - 0.054 \times R_A$$
$$t_{A/B} = 3.589 - 0.054 \times R_A$$
$$t_{C/B} = R_C - W_3 - W_4 - W_5$$
$$t_{C/B} = 0.037 \times R_C - 7.75 - 17.81 - 35.67$$
$$t_{C/B} = 0.037 \times R_C - 61.23$$

Si:

$$\frac{t_{A/B}}{0.403} = \frac{t_{C/B}}{0.552}$$

Entonces:

$$0.552 \times t_{A/B} = 0.403 \times t_{C/B}$$
$$0.552 \times (3.589 - 0.054 \times R_A) = 0.403 \times (0.037 \times R_C - 61.23)$$
$$1.97 - 0.0298 \times R_A = 0.0149 \times R_C - 24.675$$

$$0.0298 \times R_A + 0.0149 \times R_C = 26.64 \quad \dots(4)$$

Despejando R_A en (3):

$$R_A = \frac{184.19 - 0.552 \times R_C}{-0.403} \quad \dots(5)$$

Reemplazamos (5) en (4):

$$\begin{aligned} 0.0298 \times R_A + 0.0149 \times R_C &= 26.64 \\ 0.0298 \times \left(\frac{184.19 - 0.552 \times R_C}{-0.403} \right) + 0.0149 \times R_C &= 26.64 \\ -13.6098 + 0.0407 \times R_C + 0.0149 \times R_C &= 26.64 \\ 0.05568 \times R_C &= 40.2498 \\ R_C &= 722.877 \text{ N} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{184.19 - 0.552 \times R_C}{-0.403} \\ R_A &= \frac{184.19 - 0.552 \times 722.877}{-0.403} = 532.7 \text{ N} \end{aligned}$$

Así, hemos obtenido el valor de las dos reacciones de los puntos de soporte A y C mientras la camilla se encuentra en reposo. De esta manera podremos analizar el equilibrio de fuerzas y obtener finalmente el valor de la reacción en el actuador, el cual estará colocado a 45° . Siendo que:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ R_A + R_B(\sin 45^\circ) + R_C - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - W_5 &= 0 \\ R_A + R_B(\sin 45^\circ) + R_C &= 1470.7 \\ R_B(\sin 45^\circ) &= 1470.7 - 532.7 - 722 \\ R_B &= \frac{215.123}{\sin 45^\circ} = 304.23 \text{ N} \end{aligned}$$

El objetivo es conocer el esfuerzo que deberá emplear el actuador lineal para conseguir levantar toda la carga a la que está expuesto, esto se produce en el momento que el punto A deja de tener contacto con la camilla y C es el punto de giro, en base a ello el primer apoyo es despreciable en este análisis.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A(\sin 45^\circ) + R_B - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - W_5 = 0$$

$$R_A(\sin 45^\circ) + R_B = 1470.7 \text{ N}$$

5.5.1.4 Cálculo de momentos en el punto de giro de la posición horizontal de la camilla

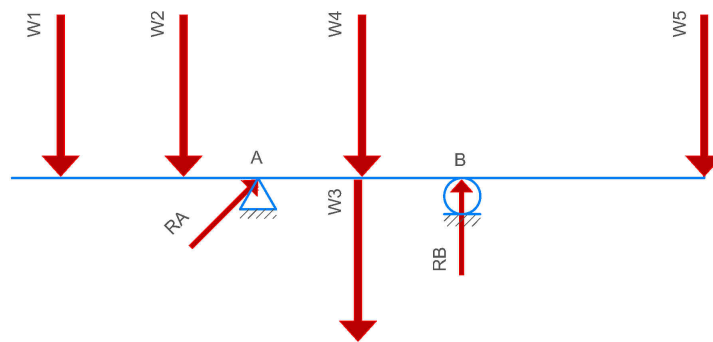
Se establecen las distancias referentes para cada fuerza actuante.

$$(x_{W_1} = 1086.4 \text{ mm}); (x_{W_2} = 753 \text{ mm}); (x_{W_3} = 279.25 \text{ mm})$$

$$(x_{W_4} = 276 \text{ mm}); (x_{W_5} = 656.5 \text{ mm})$$

Figura 50

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

$$\sum M_B = 0$$

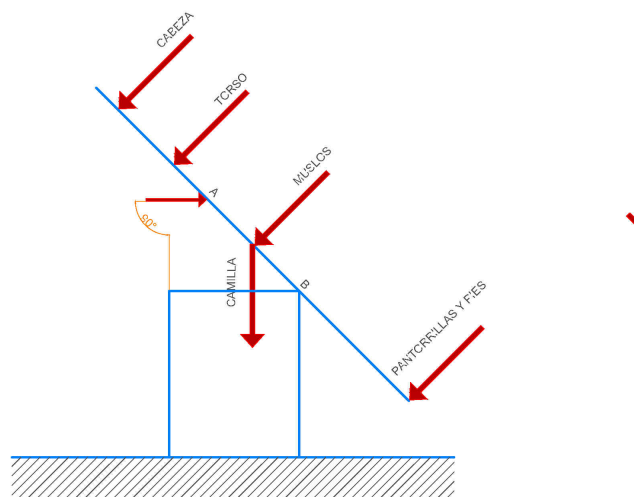
$$W_1 \times (1.0864 \text{ m}) + W_2 \times (0.753) + W_3 \times (0.27925) + W_4 \times (0.276) - W_5 \times (0.6565) - R_A (\sin 45^\circ) \times (0.552) = 0$$

$$R_A (\sin 45^\circ) \times (0.552) = 627.09 \text{ Nm}$$

$$R_A = 1606.59 \text{ N}$$

Figura 51

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

Reemplazando el valor obtenido de R_A en la primera ecuación, el valor de R_B será:

$$R_B = 1470.7 - 1606.59 (\sin 4^\circ) = 334.46 \text{ N}$$

5.5.1.5 Cálculo de fuerzas en el punto de giro y el actuador lineal cuando la camilla se encuentra a 45°

Al ser todas las fuerzas perpendiculares a la camilla, en esta sección tendrán que ser evaluadas respecto al ángulo de inclinación presente. En el caso del actuador, como se observa,

actúa en un ángulo de 45° por lo que, en esa posición, la fuerza será perpendicular al plano de trabajo.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B(\cos 45^\circ) - W_1(\cos 45^\circ) - W_2(\cos 45^\circ) - W_3(\cos 45^\circ) - W_4(\cos 45^\circ) - W_5(\cos 45^\circ) = 0$$

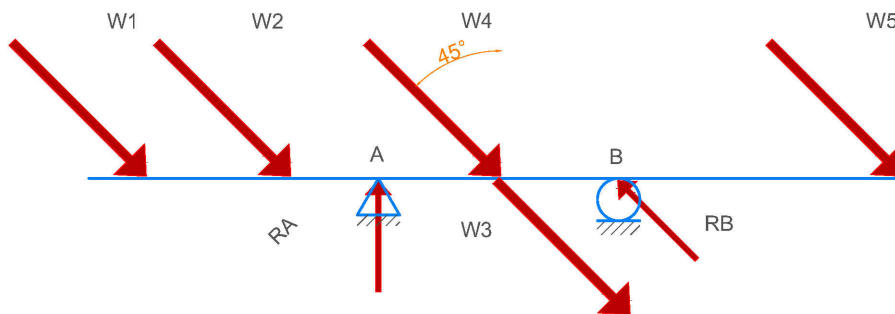
$$R_A + R_B(\cos 45^\circ) - (74.46 + 575.16 + 392.4 + 305.39 + 123.02)(\cos 45^\circ) = 0$$

$$R_A + R_B(\cos 45^\circ) = 1470.7\text{N}(\cos 45^\circ)$$

$$R_A + R_B(\cos 45^\circ) = 1040.5\text{N}$$

Figura 52

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

$$\sum M_B = 0$$

$$W_1(\sin 45^\circ)(1.0864 \text{ m}) + W_2(\sin 45^\circ)(0.753 \text{ m}) + W_3(\sin 45^\circ)(0.27925 \text{ m}) + W_4(\sin 45^\circ)(0.276 \text{ m}) - W_5(\sin 45^\circ)(0.552 \text{ m})$$

$$R_A(0.552 \text{ m}) = 443.65 \text{ Nm}$$

$$R_A = 803.65 \text{ N}$$

Reemplazando el valor obtenido de R_A en la primera ecuación, el valor de R_B será:

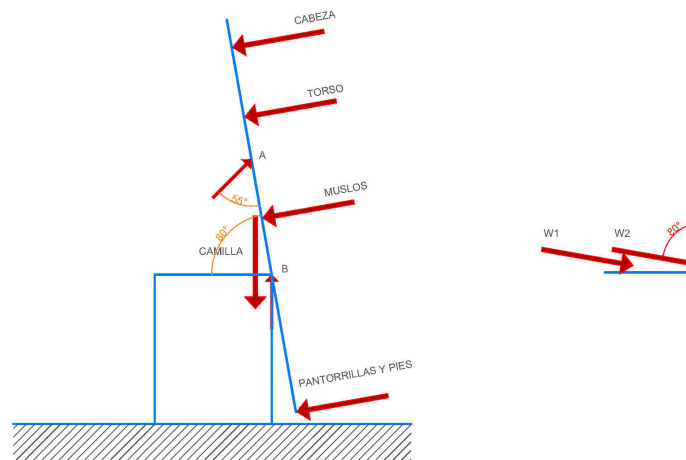
$$R_B = \frac{1040.5 - 803.65}{\cos 45^\circ} = 334.95 \text{ N}$$

5.5.1.6 Cálculo de fuerzas en el punto de giro y el actuador lineal cuando la camilla se encuentra a 80°

Este punto del análisis representara la máxima elongación del actuador lineal y por ende la posición final en la que se encontrara el paciente.

Figura 53

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B(\sin 80^\circ) - W_1(\sin 80^\circ) - W_2(\sin 80^\circ) - W_3(\sin 80^\circ) - W_4(\sin 80^\circ) - W_5(\sin 80^\circ) = 0$$

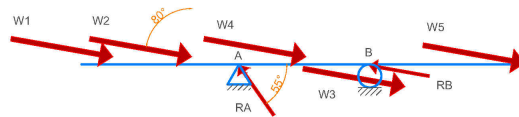
$$R_A(\sin 55^\circ) + R_B(\sin 80^\circ) - (74.46 + 575.16 + 392.4 + 305.39 + 123.02)(\sin 80^\circ) = 0$$

$$R_A(\sin 55^\circ) + R_B(\sin 80^\circ) = 1470.7 \text{ N}(\sin 80^\circ)$$

$$R_A(\sin 55^\circ) + R_B(\sin 80^\circ) = 1448.36 \text{ N}$$

Figura 54

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

$$\sum M_B = 0$$

$$W_1(\sin 80^\circ)(1.0864 \text{ m}) + W_2(\sin 80^\circ)(0.753 \text{ m}) + W_3(\sin 80^\circ)(0.27925 \text{ m}) + W_4(\sin 80^\circ)(0.276 \text{ m}) - W_5(\cos 80^\circ)(0.552 \text{ m}) = 0$$

$$R_A(\sin 55^\circ)(0.552 \text{ m}) = 683.075 \text{ Nm}$$

$$R_A = 1510.65 \text{ N}$$

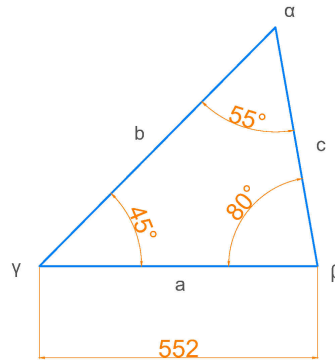
Reemplazando el valor obtenido de R_A en la primera ecuación, el valor de R_B será:

$$R_B = \frac{1448.36 - 1510.65(\sin 55^\circ)}{\sin 80^\circ} = 217.46 \text{ N}$$

Al ser esta la posición final en la que se encontrará el bipedestador, podremos determinar la longitud máxima que requiere extenderse el actuador lineal de manera que:

Figura 55

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

$$\alpha = 55^\circ \quad \beta = 80^\circ \quad \gamma = 45^\circ$$

$$a = 0.552 \text{ m}$$

Según la ley de senos:

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

$$b = \frac{a \times \sin \beta}{\sin \alpha}$$

$$b = \frac{0.552 \times \sin 80^\circ}{\sin 55^\circ}$$

$$b = 0.66 \text{ m}$$

Siendo así que la extensión máxima que podrá alcanzar el actuador lineal es de 0.66 m, de manera que se sugiere emplear un actuador comercial de al menos 700 mm en el brazo extensible.

La velocidad lineal que disponen los actuadores existentes es de 5 mm/s, lo que representa un avance bajo para alcanzar la posición deseada. Determinaremos el aproximado del tiempo que este demorará en alcanzar los 80°.

Desplazamiento angular:

$$\theta = 80^\circ$$

Velocidad lineal del actuador:

$$v = 5 \text{ mm/s} = 0.005 \text{ m/s}$$

Radio de acción del actuador:

$$r = 0.552 \text{ m}$$

Si:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{0.005}{0.552}$$

$$\omega = 0.009 \text{ rad/s}$$

Y:

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

$$0.009 \text{ rad/s} = \frac{80^\circ}{t}$$

$$t = \frac{80}{0.009}$$

$$t = 8888 \text{ s} \approx 2.46 \text{ horas}$$

Se sugiere emplear un actuador lineal con al menos una velocidad de 55 mm/s de manera que:

Desplazamiento angular:

$$\theta = 80^\circ$$

Velocidad lineal del actuador:

$$v = 55 \text{ mm/s} = 0.055 \text{ m/s}$$

Radio de acción del actuador:

$$r = 0.552 \text{ m}$$

Si:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{0.055}{0.552}$$

$$\omega = 0.996 \text{ rad/s}$$

Y:

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

$$0.996 \text{ rad/s} = \frac{80^\circ}{t}$$

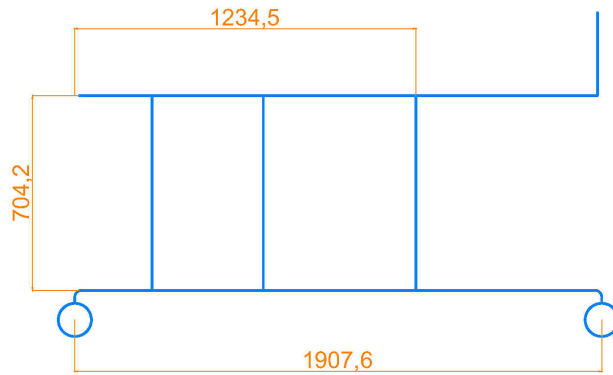
$$t = \frac{80}{0.996}$$

$$t = 80.32 \text{ s} \approx 1.33 \text{ minutos}$$

En la misma posición de máxima inclinación del Equipo de Bipedestación procederemos a encontrar las reacciones que se producirán en los apoyos de las ruedas donde se apoya la camilla, por lo que se representarán sus reacciones como P_1 y P_2 y asumiendo que todo el peso se concentra en P_2 a 90° , establecemos una sobremedida para determinar si se puede producir un giro de la camilla.

Figura 56

Representación de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

$$\sum F_y = 0$$

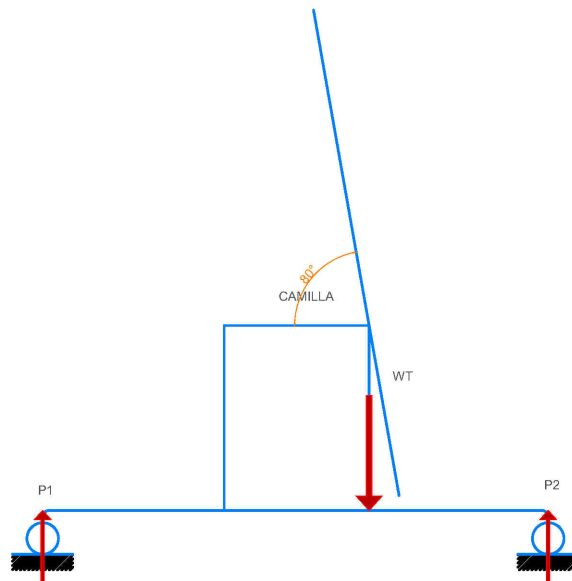
$$P_1 + P_2 - W_T = 0$$

$$P_1 + P_2 = 1470.7\text{N}$$

Equilibrio de momentos en P_2 :

Figura 57

Representacion de las medidas longitudinales del Equipo de Bipedestación.



Nota: Se muestra un boceto simple para identificar la distribución espacial de la camilla y los apoyos.

$$\begin{aligned}\sum M_{P_2} &= 0 \\ -P_1 \cdot (1.907) + 1470.7 \cdot (0.673) &= 0 \\ P_1 &= \frac{989.78}{1.907} = 519.025 \text{ N}\end{aligned}$$

Reemplazando:

$$\begin{aligned}P_1 + P_2 &= 1470.7 \\ P_2 &= 1470.7 - 519.025 = 951.675 \text{ N}\end{aligned}$$

Los actuadores lineales de tipo LA20 tienen las siguientes características que las podemos observar en el Anexo D , la hemos resumido en la siguiente tabla:

Tabla 26*Características del actuador lineal LA20*

Descripción	Valor
Alimentación	24 V DC
Capacidad de empuje	800 kg = 7848 N
Velocidad lineal	5 mm/s
Longitud de carrera	120 mm
Ciclo de trabajo	10 %
Material	Acero Inoxidable

Nota: En la tabla se detallan las características de un actuador lineal Runda LA20.

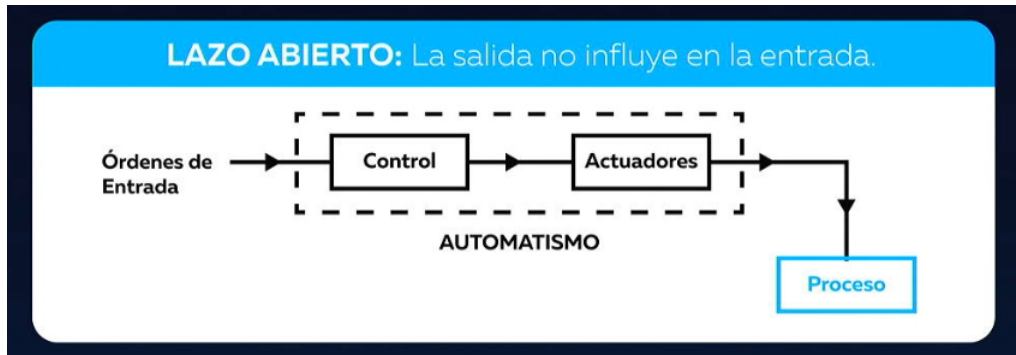
Estos valores anticipan un funcionamiento satisfactorio de los actuadores al tener la capacidad de empuje de elevadas cargas, lo que activará sin complicaciones el mecanismo correspondiente tanto al espaldar de la camilla como de las extremidades inferiores, para que la estructura permita al paciente adoptar una posición reclinada o sentada gracias a estos actuadores lineales. La velocidad de movimiento, al recorrer 80° , el paciente experimentará una velocidad angular de 0.009 rad/s que será constante durante el trayecto lo que deriva en un tiempo estimado de aproximadamente 25 min en cumplir toda la extensión de 300 mm. No obstante, el paciente no experimentará ningún cambio brusco de velocidad en su cabeza principalmente. El material del actuador al constituirse del similar al de la estructura, nos brinda una confianza en su resistencia y durante su funcionamiento debido a que como se ha venido analizando en el trabajo, el acero inoxidable AISI 304 a más de ser uno de los mejores materiales a emplear, resulta uno de los más resistentes para estas labores con cargas.

5.6. Diseño eléctrico para el sistema de control del equipo.

Una vez realizado el análisis mecánico del dispositivo se procede a realizar un diseño funcional del circuito de mando del dispositivo. Para el diseño del circuito eléctrico partiremos de un esquema en lazo abierto simple ya que el control del dispositivo no cuenta con sensores para realizar una retroalimentación al circuito.

Figura 58

Esquema de lazo abierto.

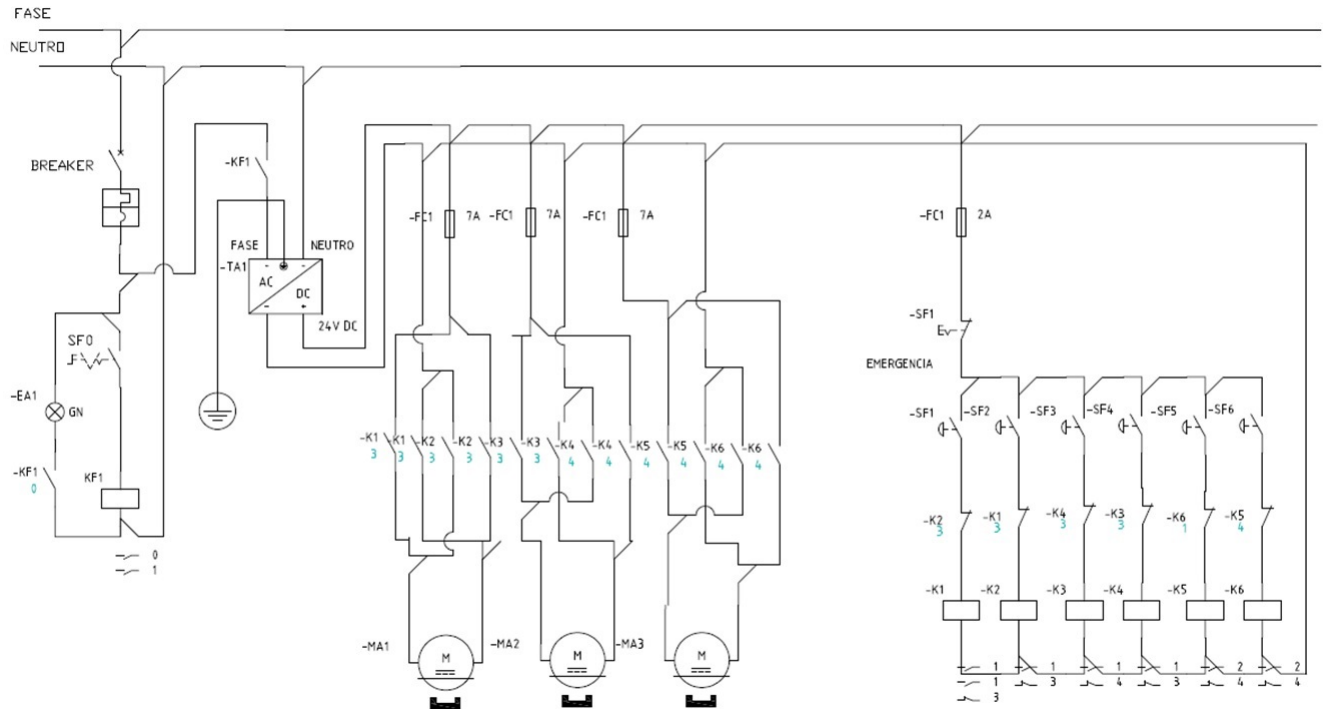


Nota: El esquema muestra una representación del control del dispositivo en lazo abierto sin retroalimentación y salida del proceso directo.

Luego de haber establecido el funcionamiento del sistema de control se procede a realizar el circuito de control ON/OFF controlado mediante el accionamiento de pulsadores sin retención de la acción.

Figura 59

Esquema del circuito eléctrico del equipo diseñado en Autocad Eléctrica.

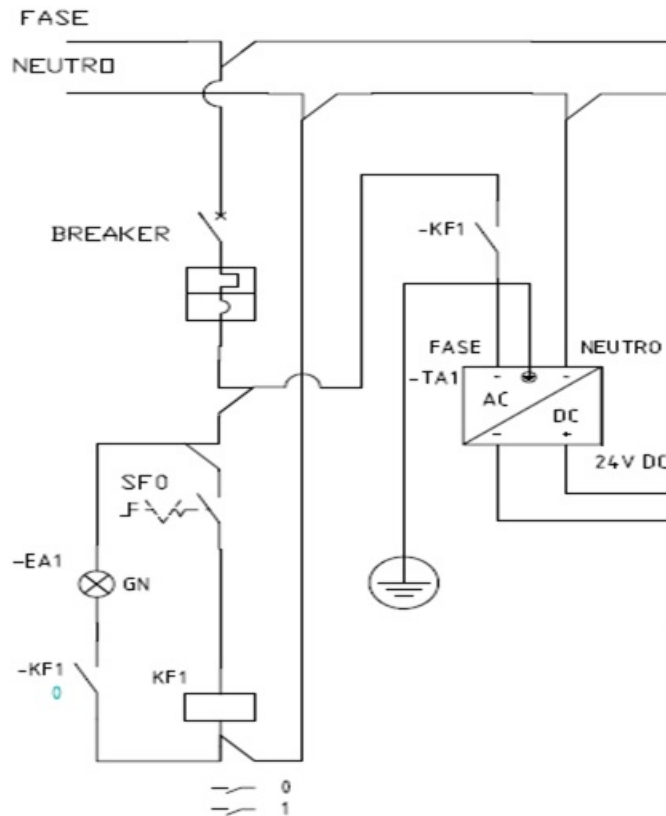


Nota: El gráfico representa el circuito eléctrico para el accionamiento de los actuadores lineales basado en un sistema de accionamiento manual de pulsantes.

De forma general se toma en cuenta la alimentación del circuito que es de 110V AC con una corriente de 10 Amperios RMS para la fuente de alimentación, a continuación se presentara de forma detallada lo que conlleva el esquema del circuito eléctrico.

Figura 60

Esquema de alimentación del circuito eléctrico.



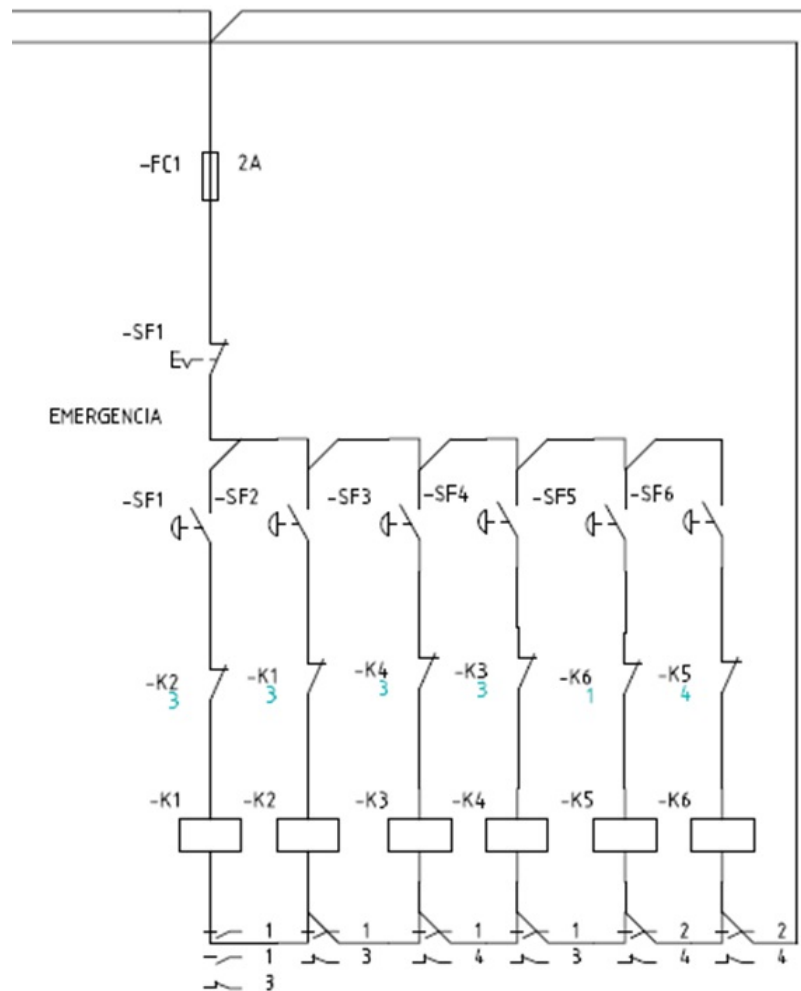
Nota: El esquema representa el sistema de alimentación principal de 110V AC

En la Figura 46 se muestra el circuito de alimentación del dispositivo, se clasifica de esta manera ya que trabaja con 110V AC de alimentación y los actuadores lineales que dan movimiento al dispositivo trabajan con 24v DC. Observando la imagen tenemos la alimentación de Fase, Neutro y tierra. La Fase es interrumpida por un breaker monofásico para protección de los componentes, seguido de un selector de 2 posiciones 0 y 1 llamado SF0 el mismo que al estar en la posición 1 da paso a la corriente alimentando a la bobina del relé principal -KF1, al mismo tiempo que el relé cambia de estado, da paso a la alimentación de una fuente de poder la cual convierte el voltaje de 110V AC a 24V DC y se adiciona una luz piloto llamada EA1 de color verde, así podremos saber que el dispositivo esta listo para usarse.

Luego de haber realizado el circuito de alimentación del dispositivo, precedemos a realizar el diseño del circuito de mando, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 61

Esquema del circuito de mando del dispositivo.



Nota: El circuito de mando es el encargado de comandar los actuadores lineales para realizar los movimientos mecánicos del sistema.

El circuito de mando es alimentado con 24V DC seguido de un Fusible de 2 amperios para protección de las bobinas de los Relés, seguido se conecta un pulsante de emergencia en serie para el mando de los 6 pulsantes respectivos para el cambio de giro de los actuadores

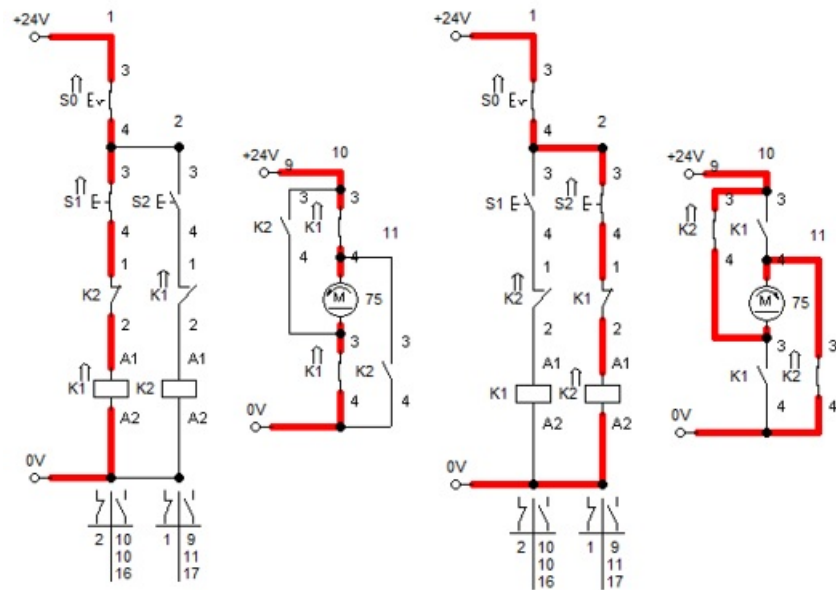
lineales donde SF1 y SF2 corresponden al primer actuador seguido de SF3 y SF4 para el segundo actuador, SF5 y SF6 para el tercer actuador, cada par de pulsantes mencionados están estratégicamente señalados y ubicados, estos corresponden a la subida y bajada del movimiento del dispositivo, cada uno de estos accionamientos tienen protección en caso de que ambos pulsantes del mismo actuador sean accionados sabiendo que en este sistema hace un cambio de giro del actuador, es decir que la polaridad de alimentación de cada motor cambia con cada pulsante. En total el sistema de mando utiliza 6 relés para ayudar con el cambio de giro del motor y desplazamiento del actuador lineal.

5.6.1. Simulación del circuito eléctrico con ayuda del software FluidSIM.

En esta sección se realiza una simulación del circuito de mando y el control de giro de los motores que dan como resultado que el bastido de los actuadores salgan o retornen de la cámara.

Figura 62

Esquema de simulación del circuito.



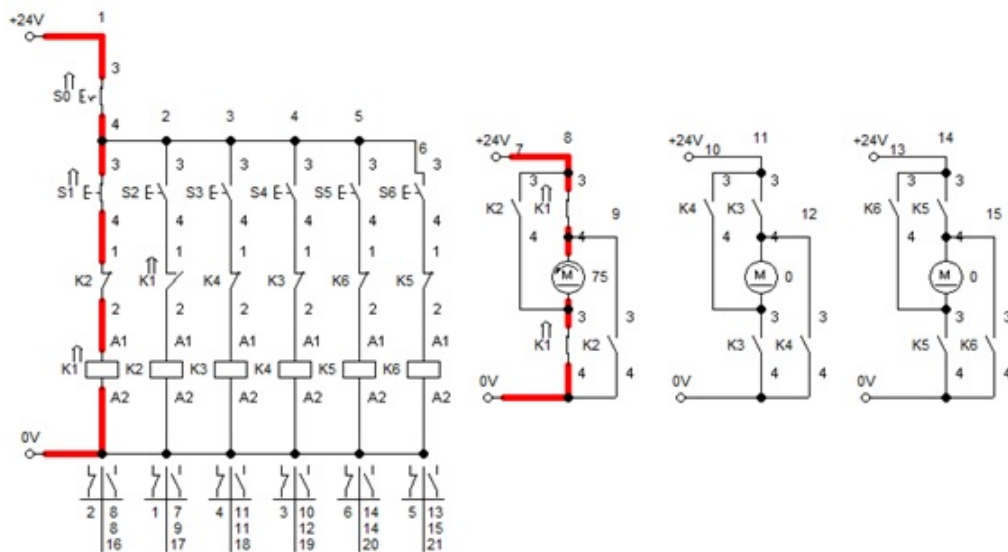
Nota: La simulación del circuito eléctrico es comprobada gracias al programa.

En el esquema de simulación se observan 4 circuitos los 2 primeros corresponden al pulsante

de adelante del motor y los otros 2 corresponden al pulsante de retroceso del motor, dando a conocer lo siguiente el primer pulsante S1 activa la bobina del relé K1 para que los contactos den paso de corriente al primer motor y de la misma manera el pulsante S2 activa la bobina del relé K2 para que los contactos del relé den paso a la corriente pero con la diferencia que en estos están conectados de una manera cambiando la polaridad de alimentación hacia el motor y como resultado cambiando el giro del mismo.

Figura 63

Simulación completa del control de mando.



Nota: Una vez comprobando la funcionalidad de la simulación se recrea el mismo funcionamiento para los otros 2 actuadores.

Se realiza el circuito completo con los 6 pulsantes de avance y retorno de los actuadores y como resultado podemos obtener todo el circuito funcional para poder implementar en un gabinete o armario eléctrico de nuestro equipo.

5.7. Construcción del equipo de bipedestación.

Las piezas fueron construidas en los talleres de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, en cada una de las piezas se aplico los procesos de manufactura correspondiente.

5.7.1. Construcción del sistema mecánico.

Se construyo cada pieza de la estructura del dispositivo por separado para posterior ser ensamblado.

Figura 64

Estructura del Reposapiés.



Nota: En este gráfico se muestra la estructura del reposapiés construida en acero inoxidable.

Se inició por la construcción de las partes como el reposapiés, y luego la sección del fémur; para ello se utilizaron tubos de acero inoxidable, en la Figura 65 se muestra la partes del reposapiés, la sección de la tibia - peroné y la sección del fémur ya unida por unas bisagras.

Figura 65

Estructura mecánica para las extremidades inferiores.



Nota: En este gráfico se muestra las estructuras del reposapiés, la sección de la tibia - peroné y la sección del fémur ya ensamblada.

Se continua con la construcción del espaldar, la rejilla sección Espaldar - Fémur, el asiento y la base, se procede a ensamblarlos como se muestran en la Figura 66.

Figura 66

Ensamble completo del sistema mecánico del equipo de bipedestación.



Nota: En este gráfico se muestra la estructura completa del sistema mecánico que contempla las partes principales para las acciones del dispositivo.

Por ultimo, se finaliza con la comprobación de los movimientos requeridos para el correcto funcionamiento del dispositivo.

Figura 67

Movimientos de flexión de rodillas y Bipedestación.



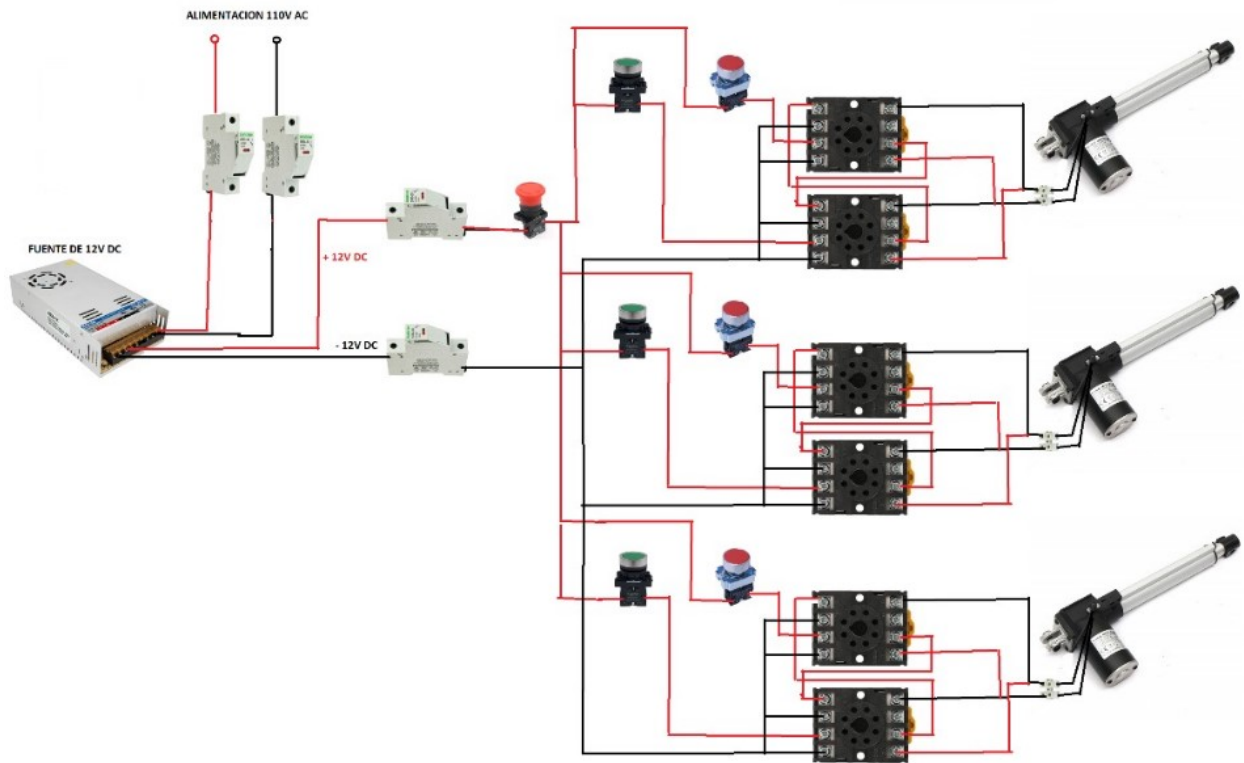
Nota: En este gráfico se muestra la ejecución de los movimientos de flexión de rodillas y bipedestación.

5.7.2. Construcción y armado del sistema electrónico

Para comenzar con la construcción del sistema electrónico se realizó una simulación para ver como situar los componentes en el dispositivo.

Figura 68

Circuito eléctrico con los componentes electrónicos y actuadores lineales simulado en 3D.



Nota: En este gráfico se muestra el circuito simulado con los componentes que van a hacer utilizados en el dispositivo.

Se colocan los componentes electrónicos como los módulos de relé en el tablero de control que se va a ubicar una esquina de la base. La figura 69 muestra el tablero de control en el cual se controla las posiciones del equipo de bipedestación.

Figura 69

Tablero de control del equipo de bipedestación.



Nota: En este gráfico se muestra el tablero de control ya armado con los componentes electrónicos.

Por ultimo, construimos el mando de control para el dispositivo, el cual esta hecho de 6 pulsadores que esta programados para ejecutar los movimientos y también cuenta con un botón de paro de emergencia.

Figura 70

Mando de control del equipo de bipedestación.



Nota: En este gráfico se muestra el mando que controla los movimientos del equipo.

5.7.3. Análisis de precios unitarios.

Se especifica en las tablas 27 - 35 un análisis de costos unitarios de cada uno de los elementos integrados en la fabricación de nuestro equipo de bipedestación, para lo cual se realiza con una utilidad del 15%, basados en las tablas salariales del 2014 de la controlaría general del estado.

Tabla 27

Análisis de precios unitarios de la estructura "BASE".

PROYECTO: DESARROLLO DE UN EQUIPO DE BIPEDESTACIÓN AUTOMATIZADA PARA APOYAR LA SIFIOTERAPIA EN PERSONAS CON DISCAPACIDAD

NOMBRE DEL OFERENTE: Daniel Vasquez

PROYECTO: Dispositivo de Bipedestación

ITEM: 1

DESCRIPCION: Base

UNIDAD: u

EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA proceso B	RENDIMIENTO proceso/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor	3%MO			0,00
(Taladro, brocas, llaves de boca, dados,etc)	1			0,00
esmeril	1	1,00	3	3,00
tomo	1	1,00	3	3,00
soldadora	1	3,50	20	70,00
			PARCIAL M	76,00

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU	COSTO TOTAL C=A*B
tubo acero inoxidable 31.75mmx15mmx6m	m	3,00	30,84	92,52
puntas de caucho negra para patas	u	4,00	4	16,00
bisagra inox 2 piezas 10mmx50mm	u	2,00	5	10,00
angulos	m	0,40	4	1,60
G1/4*1 | perno acero inoxidable	u	16,00	0,15	2,40
G1/4| tuerca cero inox pulgada	u	16,00	0,1	1,60
6PRI PL Arandela presion acero inoxidable	u	0,02	16	0,27
				0,00
				0,00
				0,00
			PARCIAL N	124,39

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante Mecatrónico	1	4,14	4	16,56
Ingeniero Mecatrónico	1	4,67	3	14,01
				0,00
			PARCIAL P	30,57

TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)				234,21
INDIRECTOS Y UTILIDAD			15,00%	35,13
COSTO TOTAL DEL RUBRO				
VALOR PROPUESTO				269,34

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados para la construcción de la estructura Base.

Tabla 28

Análisis de precios unitarios de la estructura “ESPALDAR”.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Daniel Vásquez			
PROYECTO: dispositivo de bipedestación.					
ITEM:		2			
DESCRIPCION:		Espaldar			
UNIDAD:		u			
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO proceso/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor		3%MO			0,00
esmeril			1,00	2	2,00
soldadora			3,50	20	70,00
				PARCIAL M	72,00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU		COSTO TOTAL C=A*B
Tubo acero inoxidable 19.00mmX1.5mmX8m	m	1,00	15,15		15,15
					0,00
Perno acero inoxidable 8mm x 3pulgadas	u	4,00	1,15		4,60
tuerca de seguridad acero inox M8	u	4,00	0,45		1,80
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
				PARCIAL N	21,55
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
camioneta	u	1	2,00	1	2,00
transporte tuberías	u	1	1,50	1	1,50
				PARCIAL O	3,50
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
					0,00
Ayudante mecatrónico		1	4,14	2	8,28
Ingeniero Mecatrónico		1	4,87	2	9,34
				PARCIAL P	17,62
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					114,67
INDIRECTOS Y UTILIDAD				15,00%	17,20
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO					131,87

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados para la construcción de la estructura Espaldar.

Tabla 29

Análisis de precios unitarios de la estructura “REJILLA SECCIÓN ESPALDAR - FEMUR”.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Daniel Vásquez			
PROYECTO: dispositivo de bipedestación.					
ITEM:		3			
DESCRIPCION:		Rejilla sección espaldar fémur			
UNIDAD:					
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO proceso/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
(Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)		3%MO			0,00
Esmeril		1	1,00	1	1,00
Soldadura		1	3,50	26	91,00
				PARCIAL M	92,00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU		COSTO TOTAL C=A*B
Tubo acero inox redondo 19mmX1.5mmX6m	m	3,00	15,15		45,45
bisagra inox 2 piezas 10mmx50mm	u	6,00	5		30,00
Perno acero inoxidable 8mm x 3pulgadas	u	2,00	1,15		2,30
tuerca de seguridad acero inox M8	u	2,00	0,45		0,90
				PARCIAL N	78,65
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
camioneta	u	1	2,00	1	2,00
transporte tuberías	u	1	1,50	1	1,50
				PARCIAL O	3,50
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
					0,00
Ayudante mecánico		1	4,14	3	12,42
Ingeniero Mecánico		1	4,67	3	14,01
				PARCIAL P	26,43
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					
					200,58
INDIRECTOS Y UTILIDAD					
				15,00%	30,09
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO					
					230,67

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados para la construcción de la estructura Rejilla Sección Espaldar - Fémur.

Tabla 30

Análisis de precios unitarios de la estructura “SECCIÓN FÉMUR”.

ÁNALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Daniel Vásquez			
PROYECTO: dispositivo de bipedestación.					
ITEM:		4			
DESCRIPCION:		Seccion Femur			
UNIDAD:		u			
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO proceso/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
(Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)		3%MO			0,00
Esmeril		1	1,00	1	1,00
Soldadura		1	3,50	9	31,50
				PARCIAL M	32,50
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU	COSTO TOTAL C=A*B
Tubo acero inox redondo 19mmX1.5mmX6m		m	1,00	15,15	15,15
bisagra inox 2 piezas 10mmx50mm		u	1,00	5	5,00
Perno acero inoxidable 8mm x 3pulgadas		u	1,00	1,15	1,15
tuerca de seguridad acero inox M8		u	1,00	0,45	0,45
				PARCIAL N	21,75
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
camioneta	u	1	2,00	1	2,00
transporte tuberías	u	1	1,50	1	1,50
				PARCIAL O	3,50
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
					0,00
Ayudante mecatrónico		1	4,14	2	8,28
Ingeniero Mecatrónico		1	4,67	2	9,34
				PARCIAL P	17,62
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					
					75,37
INDIRECTOS Y UTILIDAD					
				15,00%	11,31
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
					86,68
VALOR PROPUESTO					
					86,68

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados para la construcción de la estructura Sección Fémur.

Tabla 31

Análisis de precios unitarios de la estructura “SECCIÓN TIBIA Y PERONÉ”.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Daniel Vásquez			
PROYECTO: dispositivo de bipedestación.					
ITEM:		5			
DESCRIPCION:		Sección tibia y peroné			
UNIDAD:		u			
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO proceso/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
(Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)		3%MO			0,26
Esmeril		1	1,00	1	1,00
Soldadura		1	3,50	6	21,00
				PARCIAL M	22,26
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU		COSTO TOTAL C=A*B
Tubo acero inox redondo 19mmX1.5mmX6m	m	0,70	15,15		10,61
Perno acero inoxidable 8mm x 3pulgadas	u	1,00	1,15		1,15
tuerca de seguridad acero inox M8	u	1,00	0,45		0,45
				PARCIAL N	12,21
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
camioneta	u	1	2,00	1	2,00
transporte tuberías	u	1	1,50	1	1,50
				PARCIAL O	3,50
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante mecatrónico		1	4,14	1	4,14
Ingeniero Mecatrónico		1	4,67	1	4,67
				PARCIAL P	8,81
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					
					46,78
INDIRECTOS Y UTILIDAD					
					15,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
					7,02
VALOR PROPUESTO					
					53,80

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados para la construcción de la estructura Sección Tibia y Peroné.

Tabla 32

Análisis de precios unitarios de la estructura "REPOSAPIÉS".

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Daniel Vásquez			
PROYECTO: dispositivo de bipedestación.					
ITEM:		6			
DESCRIPCION:		Reposapiés			
UNIDAD:		u			
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO proceso/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
(Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)		3%MO			0,26
Esmeril		1	1,00	1	1,00
Soldadura		1	3,50	11	38,50
				PARCIAL M	39,76
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	PREC/U	COSTO TOTAL C=A*B
Tubo acero Inox redondo 19mmX1.5mmX6m		m	1,00	15,15	15,15
					0,00
					0,00
				PARCIAL N	15,15
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
camioneta	u	1	2,00	1	2,00
transporte tuberías	u	1	1,50	1	1,50
				PARCIAL O	3,50
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante mecatrónico		1	4,14	1	4,14
Ingeniero Mecatrónico		1	4,67	1	4,67
				PARCIAL P	8,81
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					
					67,22
INDIRECTOS Y UTILIDAD				15,00%	10,08
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO					77,31

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados para la construcción de la estructura Reposapiés.

Tabla 34

Análisis de precios unitarios de los "ACTUADORES LINEALES".

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Daniel Vásquez			
PROYECTO: dispositivo de bipedestación.					
ITEM:		8			
DESCRIPCIÓN:		Actuadores			
UNIDAD:		U.			
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
(Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)		3%MO	1,00	5	5
				PARCIAL M	5,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U		COSTO TOTAL C=A*B
					0
Actuador lineal Carrera de 120mm 8000N	u	2,00	100		200
Actuador lineal Carrera de 500mm 4000N	u	1,00	130		130
				PARCIAL N	330
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte	UNIDAD	1	3,00	1	3
				PARCIAL O	3
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
					0
					0
					0
				PARCIAL P	0
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					340,00
INDIRECTOS Y UTILIDAD					15,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					51,00
VALOR PROPUESTO					391,00

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados de los Actuadores Lineales.

Tabla 35

Análisis de precios unitarios de los "ACCESORIOS".

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Daniel Vásquez			
PROYECTO: dispositivo de bipedestación.					
ITEM:		10			
DESCRIPCIÓN:		Accesorios			
UNIDAD:					
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (destornillador, martillo, playo, etc)		3%MO			5
				PARCIAL M	5,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU B	COSTO TOTAL C=A*B
Rueda loca 3" naranja		u	4,00	6,5	26
Conchoneta 4 piezas unidas		u	1,00	60	60
Correas reata negra de 50mm		m	15,00	1,6	24
				PARCIAL N	110
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
TAXY	u	1	3,00	1	3
				PARCIAL O	3
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
					0
					0
					0
				PARCIAL P	0
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					118,00
INDIRECTOS Y UTILIDAD					15,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					17,70
VALOR PROPUESTO					135,70

Nota: En la tabla se muestran los valores estimados de los Accesorios complementarios.

6. Resultados

6.1. Resultados de las simulaciones

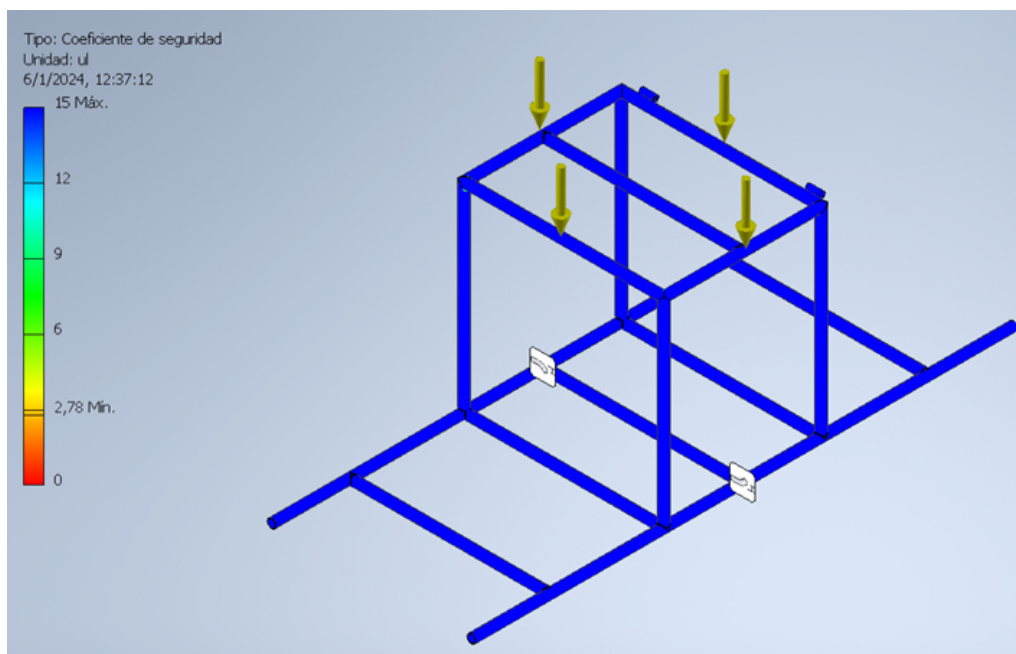
En los resultados de las simulaciones, primero se realizó un cálculo de armadura para determinar las fuerzas que se ejercen en cada nodo. Estas fuerzas permitieron dimensionar las secciones del mecanismo, los cuales se utilizaron de forma general en la estructura.

6.1.1. Resultados de la estructura Base

En la Figura 71 se observa el análisis de fuerzas aplicadas en la estructura Base del equipo.

Figura 71

Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Base.



Nota: En la gráfica se observa la simulación de fuerzas aplicadas en la estructura esto fue realizado en Solidworks.

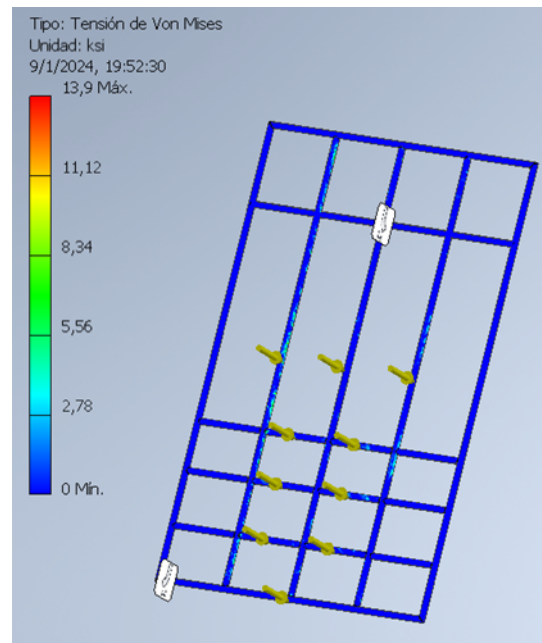
La gráfica resultante de la simulación nos presenta el coeficiente de seguridad en casi todos sus elementos, determinando que en el caso de estar sujeto a un esfuerzo máximo llegaría a afectar parte de la estructura.

6.1.2. Resultados de la estructura Rejilla Sección Espaldar - Fémur

En la Figura 72 se observa el análisis de fuerzas aplicadas en el Rejilla Sección Espaldar - Fémur. Este análisis se realizar para evaluar el comportamiento estructural de la rejilla bajo condiciones de carga específicas.

Figura 72

Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Rejilla Sección Espaldar - Fémur.



Nota: En la gráfica se observa la simulación de fuerzas aplicadas en la estructura esto fue realizado en Solidworks.

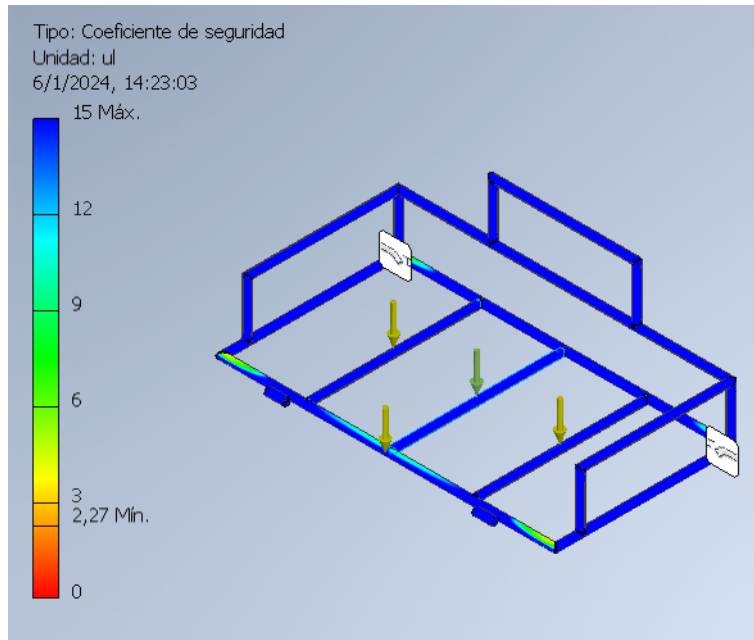
La gráfica resultante del análisis estático nos permite ver el comportamiento de las estructuras al aplicar las cargas correspondientes. En esta gráfica se determina el coeficiente de seguridad en casi todos sus elementos.

6.1.3. Resultados de la estructura Reposapiés

En la Figura 73 se observa el análisis de fuerzas aplicadas en la estructura Reposapiés. La figura muestra la distribución de tensiones y deformaciones a lo largo de la estructura, proporcionando una visión detallada de cómo se comporta el material bajo las cargas aplicadas.

Figura 73

Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Reposapiés.



Nota: En la gráfica se observa la simulación de fuerzas aplicadas en la estructura esto fue realizado en Solidworks.

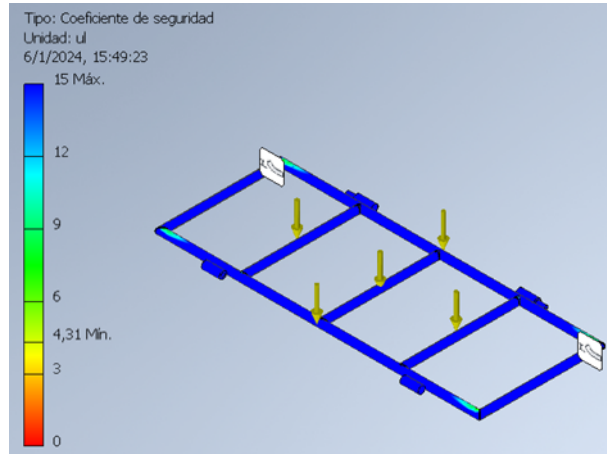
En esta gráfica resultante de la simulación se muestran cuáles son los elementos que sufrirán una mayor deformación, considerando que con la carga aplicada el coeficiente de seguridad está en el rango aceptable y esto se producirá siempre y cuando el esfuerzo aplicado no supere al máximo indicado.

6.1.4. Resultados de la estructura Sección Fémur

En la Figura 74 se observa el análisis de fuerzas aplicadas en la estructura Sección Fémur. El análisis permite identificar puntos críticos y evaluar la resistencia del perfil, lo que es crucial para garantizar la integridad estructural y el desempeño adecuado en su aplicación práctica.

Figura 74

Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Sección Fémur.



Nota: En la gráfica se observa la simulación de fuerzas aplicadas en la estructura esto fue realizado en Solidworks.

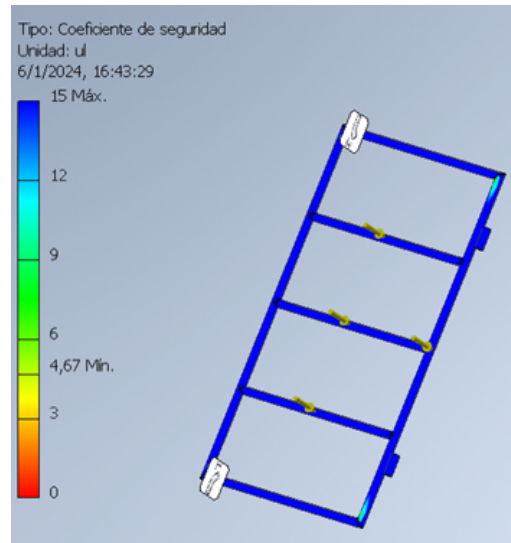
En esta gráfica resultante de la simulación se aprecia que los extremos de los eslabones más extensos presentarán una deformación significativa, siendo el centro de estos el que experimentará un pandeo al estar sujeto a un esfuerzo elevado. Por ello, las secciones críticas han cambiado su color.

6.1.5. Resultados de la estructura Sección Tibia y Peroné

En la Figura 75 se observa el análisis de fuerzas aplicadas en la estructura Sección Tibia y Peroné. El análisis es esencial para identificar áreas de alta carga y posibles fallos, lo que contribuye a asegurar que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad para su aplicación prevista.

Figura 75

Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Sección Tibia y Peroné.



Nota: En la gráfica se observa la simulación de fuerzas aplicadas en la estructura esto fue realizado en Solidworks.

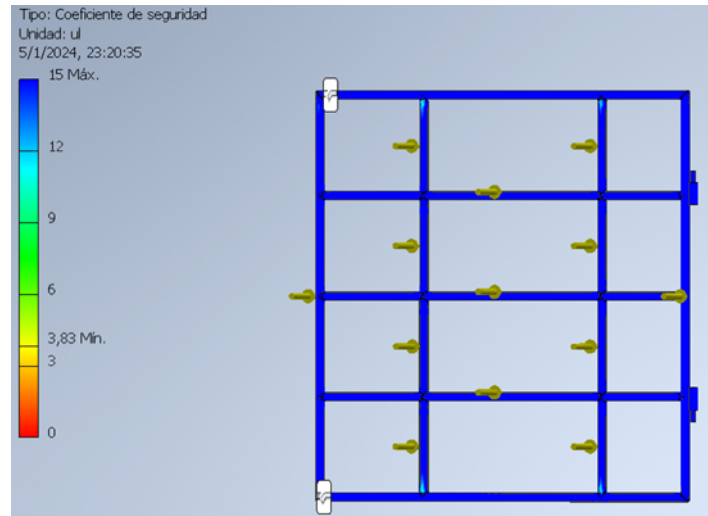
En la gráfica resultante de la simulación se aprecia que los extremos de la estructura presentarán una deformación significativa a medida que se aumente la carga.

6.1.6. Resultados de la estructura Espaldar

En la Figura 76 se observa el análisis de fuerzas aplicadas en la estructura Espaldar.

Figura 76

Simulación de fuerzas aplicadas en la estructura Espaldar.



Nota: En la gráfica se observa la simulación de fuerzas aplicadas en la estructura esto fue realizado en Solidworks.

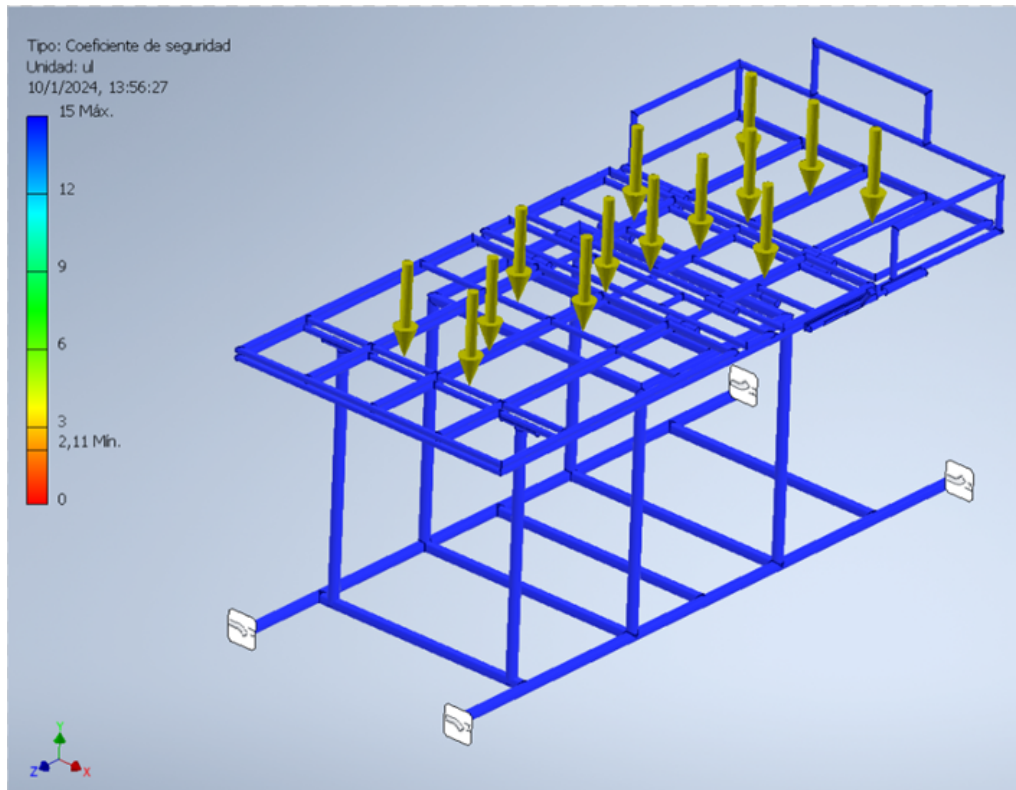
Finalmente, se puede observar que la mayor deformación se producirá en las áreas coloreadas de celeste. No obstante, no es una deformación tan alta ni representará un inconveniente, ya que solo se producirá en casos de máximo esfuerzo.

6.1.7. Resultados de la estructura general

En la Figura 77 se observa el análisis de la estructura general. Este análisis proporciona una evaluación detallada del comportamiento global de la estructura bajo diferentes condiciones de carga. La figura ilustra la distribución de tensiones, deformaciones y posibles puntos críticos a lo largo de toda la estructura, permitiendo una comprensión profunda de su respuesta estructural. El análisis es esencial para identificar áreas de alta carga y posibles fallos, lo que contribuye a asegurar que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad para su aplicación prevista.

Figura 77

Simulación general de fuerzas aplicadas en la estructura mecánica.



Nota: En la gráfica se observa la simulación de fuerzas aplicadas en la estructura esto fue realizado en Solidworks.

La gráfica resultante del análisis estático nos permite ver el comportamiento de las estructuras al aplicar las cargas correspondientes. En esta gráfica se determina el coeficiente de seguridad en casi todos sus elementos.

6.2. Resultados de la construcción del Equipo de Bipedestación Automatizado.

Para la construcción del prototipo se utilizaron métodos tradicionales de manufactura. Estos métodos incluyen técnicas estándar de procesamiento y ensamblaje que aseguran la precisión y la calidad del prototipo final.

En la Figura 78 se observa el dispositivo finalizado, el cual se destaca que tiene ya incluido todos sus accesorios. Esta imagen muestra el prototipo completo, evidenciando su diseño y características finales. El peso del dispositivo es un factor importante a considerar, ya que puede influir en su maniobrabilidad y en su aplicación práctica. Las figuras proporcionan una visión clara del producto terminado, permitiendo una evaluación visual de su construcción y de las características físicas que se han logrado alcanzar en el proceso de fabricación.

Figura 78

Equipo de Bipedestación Automatizado



Nota: Producto final terminado del Equipo de Bipedestación.

7. Conclusiones

- A partir del análisis de los criterios terapéuticos y el estudio del estado del arte, se logró definir las variables clave para el diseño del equipo de bipedestación. La identificación de los mecanismos, la estética y la ergonomía requeridas permitió establecer una base sólida que se alinea con las necesidades tanto clínicas como técnicas para asegurar la efectividad del dispositivo en su aplicación fisioterapéutica.
- El diseño del equipo de bipedestación, apoyado en la incorporación de sensores, actuadores y un sistema de control automatizado, ha permitido cumplir con los requisitos de funcionalidad, ergonomía y estética. El uso de herramientas de ingeniería para la validación virtual garantizó que el equipo diseñado responda a las expectativas tanto técnicas como terapéuticas, minimizando errores y asegurando un enfoque eficiente desde su concepción hasta la simulación.
- El proceso de manufactura local permitió construir el prototipo de manera efectiva, cumpliendo con los requisitos establecidos en el diseño. Las pruebas realizadas confirmaron la eficiencia del equipo, demostrando su capacidad para cumplir con los movimientos requeridos y proporcionando el nivel de ergonomía esperado.
- El análisis de costos reveló que el prototipo diseñado es económicamente viable en comparación con equipos de importación. Esta evaluación no solo resalta las ventajas del uso de técnicas y recursos locales, sino que también subraya la competitividad del proyecto en términos de costos, haciendo factible su implementación en contextos donde el acceso a dispositivos importados puede ser limitado.

8. Recomendaciones

- Se recomienda no utilizar el equipo de bipedestación en superficies inclinadas muy pronunciadas ya que provoca inestabilidad y la seguridad del paciente se ve afectada.
- Se recomienda no exceder el peso máximo que se ha establecido en el diseño del equipo de bipedestación, ya que provocará deformaciones en la estructura o elementos que son vitales para su funcionamiento.
- Se recomienda evaluar el funcionamiento del prototipo, con el objetivo de mejorar o rediseñar ciertos elementos que sean de vital importancia para su correcto funcionamiento.

Referencias

- Bach, J. R., y Bianchi, C. (2018). *Principles of rehabilitation medicine*. Elsevier Health Sciences.
- Baker, R., y Gough, M. (2020). *Biomechanics of movement: The science of sports, robotics, and rehabilitation*. Human Kinetics.
- Bohannon, R. W. (1993). Standing balance, lower extremity muscle strength, and walking performance of patients referred for physical therapy. *Perceptual and Motor Skills*, 76(3), 783-792.
- Brown, A. (2022). *Hydraulic actuators: Principles and applications*. Engineering Press.
- Casa del Kine. (2024). *Camilla de bipedestación tilt table eléctrica*. <https://casadelkine.cl/producto/camilla-de-bipedestacion-tilt-table-electrica/>.
- Cia. General de Aceros S.A. (2022). *Aisi 304*. <https://www.cga.com.co/producto/aisi-304/>.
- Coimpormédica. (2024). *Camilla de bipedestación eléctrica m-138*. <https://coimpormedica.com/producto/camilla-de-bipedestacion-electrica-m-138/>.
- CONADIS. (2014). *Registro nacional de discapacidades e instituciones*. https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/registro_nacional_de_discapacidades_instituciones.pdf.
- CONADIS. (2016). *Clasificación de discapacidades*. <https://www.gob.ec>.
- CONADIS. (2024). *Estadísticas de discapacidad*. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. (Recuperado el 10 de mayo de 2024)
- DH Material Médico. (2024). *Camilla eléctrica serie tijera gris 2 cuerpos respaldo normal y periférico 62x188*. <https://www.dhmaterialmedico.com/camilla-electrica-serie-tijera-gris-2-cuerpos-respaldo-normal-y-periferico-62x188>.
- Diego-Mas, J. A. (2015). *Estimación la longitud de los miembros corporales a partir de la estatura*. <https://www.ergonautas.upv.es/herramientas/lsc/lsc.php>. (Recuperado de Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia)
- Eng, J. J., Levins, S. M., Townson, A. F., Mah-Jones, D., Bremner, J., y Huston, G. (2001). Use of prolonged standing for individuals with spinal cord injuries. *Physical Therapy*, 81(8), 1392-1399.
- Fastpack. (2024). *Actuadores hidráulicos*. <https://www.fastpack.cl/21/product/actuadores-hidraulicos/>.
- Fernández, J., y Ruiz, M. (2023). Innovaciones en dispositivos de asistencia para la movilidad. *Revista de Salud y Tecnología*, 15(3), 45-56.

- Fisaude. (2024). *Camilla eléctrica ecopostural elevación vertical con dos columnas tres cuerpos cabezal inclinable 70/50x198 cm.* <https://tienda.fisaude.com/camilla-electrica-ecopostural-elevacion-vertical-con-dos-columnas-tres-cuerpos-cabezal-inclinable-70-50x198-cm-p-51333.html>.
- Fundación Bobath. (2022). *10 beneficios de la bipedestación que no conocías.* <https://fundacionbobath.org/10-beneficios-de-la-bipedestacion/>. (Recuperado el 20 de junio de 2024)
- Fábrica de Artículos Ortopédicos. (2024). *Bipedestadores.* https://www.fabricaarticulosortopedicos.com/co_bipedestadores_4.html.
- GM System. (2024). *Actuadores neumáticos.* <https://gmsystem.net/productos/productos-neumaticos/actuadores-neumaticos/>.
- González, A., Martínez, R., y López, S. (2021). Innovaciones en tecnología de asistencia. *Revista de Rehabilitación*, 15(3), 45-58.
- Harkema, S. J. (2001). Neural plasticity after human spinal cord injury: Application of locomotor training to the rehabilitation of walking. *Neuroscientist*, 7(5), 455-468.
- Jones, M. (2021). *Pneumatic systems: Theory and practice.* Industrial Publishing.
- Kreutzfeldt, M., Jensen, M. H., Pedersen, S. M., y Kristensen, J. K. (2019). Biomechanical and physiological effects of standing in persons with spinal cord injury: A systematic review. *Disability and Rehabilitation*, 41(4), 430-438. doi: 10.1080/09638288.2017.1390692
- Lemer Pax. (2024). *Camilla antimagnética de altura ajustable.* <https://www.lermpax.com/es/productos/camilla-antimagnetica-de-altura-ajustable/>.
- Martínez, C., y López, R. (2021). Impacto de las camillas eléctricas en la atención al paciente. *Revista Española de Medicina*, 29(2), 112-119.
- Metinvest Holding. (2024). *Acero astm a36: Características, propiedades, análogos.* <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>.
- Moseley, A. M. (1997). The effect of casting combined with stretching on passive ankle dorsiflexion in adults with traumatic head injuries. *Physical Therapy*, 77(3), 240-247.
- Neurotrauma Center & Cuidamed S.A.S. (2023). *Camilla bipedestadora.* <https://neurotraumacenter.org>.
- Norton, R. (2019). *Mechanical engineering principles.* Wiley.
- Novotec Argentina. (2024). *Actuadores eléctricos.* <https://www.novotecargentina.com/actuadores-electricos--news--3-1057>.
- OMS. (2020). *Disability and health.* <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>.
- Ortopedia Orto España. (2024). *Camilla eléctrica de 7 cuerpos ce-0177-*

- abrpc. <https://xn--ortopediaortoespaa-30b.es/camillas-de-reconocimiento/3493-camilla-electrica-de-7-cuerpos-ce-0177-abrpc.html>.
- Ortopedia Ortoespaña. (2023). *Cama articulada con elevación eléctrica care trend*. <https://xn--ortopediaortoespaa-30b.es/camas-articuladas-electricas-con-carro-elevador/2963-cama-articulada-con-elevacion-electrica-care-trend.html>.
- Ortoweb. (2024). *Camilla de bipedestación eléctrica con cinchas y brazos de apoyo c-690br*. <https://www.ortoweb.com/camilla-de-bipedestacion-electrica-con-cinchas-y-brazos-de-apoyo-c-690br>.
- PDM Mobility Store. (2024). *Camilla bipedestadora ali*. <https://pdmmobilitystore.com/products/camilla-bipedestadora-ali?variant=40591765700668>.
- Pérez, S. (2022). Seguridad en el transporte de pacientes con movilidad reducida. *Journal of Nursing Care*, 18(4), 234-240.
- Roa Health Technology. (2024). *Camillas de bipedestación*. <https://roa-health.com>.
- Saavedra, R., García, E., y San Antonio, T. (2013). Diseño de un equipo de bipedestación. *Revista INGENIERÍA UC*, 20(1), 25-33. Descargado de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732640004.pdf>
- Santos, L., Silva, F., y Oliveira, M. (2021). Camillas bipedestadoras robóticas: Una revisión sistemática. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 25(2), 150-160.
- Smith, J. (2020). *Electric actuators: Design and applications*. Tech Books.
- Sumiteccr. (2024). *Astm a36 - acero estructural*. <https://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>.
- Sánchez, T. (2020). Seguridad en el transporte de pacientes: Un análisis crítico. *Journal of Patient Safety*, 14(1), 15-22.
- Thompson, P. D., y Buchner, D. M. (2019). Physical activity guidelines for americans. *Journal of the American Medical Association*, 321(19), 1901-1902. doi: 10.1001/jama.2019.3630
- TurboSquid. (2021). *Emergency stretcher trolley*. <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-emergency-stretcher-trolley-1771854>.
- Turner-Stokes, L. (2002). The effectiveness of rehabilitation: A critical review of the evidence. *Clinical Rehabilitation*, 16(7), 563-572.
- Universidad Politécnica Salesiana. (2020). *Características del sistema hidráulico y mecánico en camillas bipedostadoras*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11394/3/UPS-KT01207.pdf>.
- Universidad Técnica del Norte. (2020). *Características de los actuadores para el diseño de la camilla*. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5613/1/04%20MEC%20132%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>.

ANEXOS

Anexo A.

Propiedades mecánicas de los materiales

AISI Número	C	Mn Max	P Max	Cr	Ni	Otros
----------------	---	-----------	----------	----	----	-------

Aceros Austeníticos

201	0.15 max.	5.5/7.5	0.060	16.00/18.00	3.50/5.50	N	0.25 max.
202	0.15 max.	7.5/10.0	0.060	17.00/19.00	4.00/6.00	N	0.25 max.
301	0.15 max.	2.00	0.045	16.00/18.00	6.00/8.00		.....
302	0.15 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	8.00/10.00		.....
302 B	0.15 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	8.00/10.00	Si	2.00-3.00
303	0.15 max.	2.00	0.200	17.00/19.00	8.00/10.00	Mo, Zr	0.60 max.
303 Se	0.15 max.	2.00	0.200	17.00/19.00	8.00/10.00	Se	0.15 min.
304	0.08 max.	2.00	0.045	18.00/20.00	8.00/12.00		.....
304 L	0.03 max.	2.00	0.045	18.00/20.00	8.00/12.00		.....
305	0.12 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	10.00/13.00		.....
308	0.08 max.	2.00	0.045	19.00/21.00	10.00/12.00		.....
309	0.20 max.	2.00	0.045	22.00/24.00	12.00/15.00		.....
309 S	0.08 max.	2.00	0.045	22.00/24.00	12.00/15.00	Si	1.50 max.
310	0.25 max.	2.00	0.045	24.00/26.00	19.00/22.00	Si	1.50 max.
310 S	0.08 max.	2.00	0.045	24.00/26.00	19.00/22.00	Si	1.50-3.00
314	0.25 max.	2.00	0.045	23.00/26.00	19.00/22.00	Mo	2.00-3.00
316	0.08 max.	2.00	0.045	16.00/18.00	10.00/14.00	Mo	2.00-3.00
316 L	0.03 max.	2.00	0.045	16.00/18.00	10.00/14.00	Mo	3.00-4.00
317	0.08 max.	2.00	0.045	18.00/20.00	11.00/15.00	Ti	5 x C min.
321	0.08 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	9.00/12.00	Cb-Ta	10 x C min.
347	0.08 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	9.00/13.00	Ta	0.10 max.
348	0.08 max.	2.00	0.045	17.00/19.00	9.00/13.00	Cb-Ta	10 x C min.

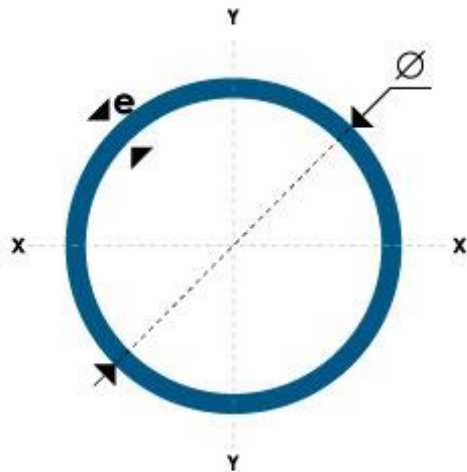
Aceros Martensíticos

403	0.15 max.	1.00	0.040	11.50/13.00	.....	Si	0.50 max.
410	0.15 max.	1.00	0.040	11.50/13.50	.....		.....
414	0.15 max.	1.00	0.040	11.50/13.50	1.25/2.50		.....
416	0.15 max.	1.25	0.060	12.00/14.00	.....	Mo, Zr	0.60 max.
416 Se	0.15 max.	1.25	0.060	12.00/14.00	.....	Se	0.15 min.
420	0.15 min.	1.00	0.040	12.00/14.00	.....		.....
431	0.20 max.	1.00	0.040	15.00/17.00	1.25/2.50		.....
440 A	0.60/0.75	1.00	0.040	16.00/18.00	.....	Mo	0.75 max.

Aceros Ferríticos

405	0.08 max.	1.00	0.040	11.50/14.50	.....	Al	0.10-0.30
430	0.12 max.	1.00	0.040	14.00/18.00	.....		.....
430 F	0.12 max.	1.25	0.060	14.00/18.00	.....	Mo, Zr	0.60 max.
430 Fse	0.12 max.	1.25	0.060	14.00/18.00	.....	Se	0.15 min.
446	0.20 max.	1.50	0.040	23.00/27.00	.....	N	0.25 max.

Anexo B.
Catalogo de tubería de Acero Inoxidable
AISI 304



Nomenclatura

A= Área de selección transversal del tubo, (Plg²).
 e= Espesor (mm)

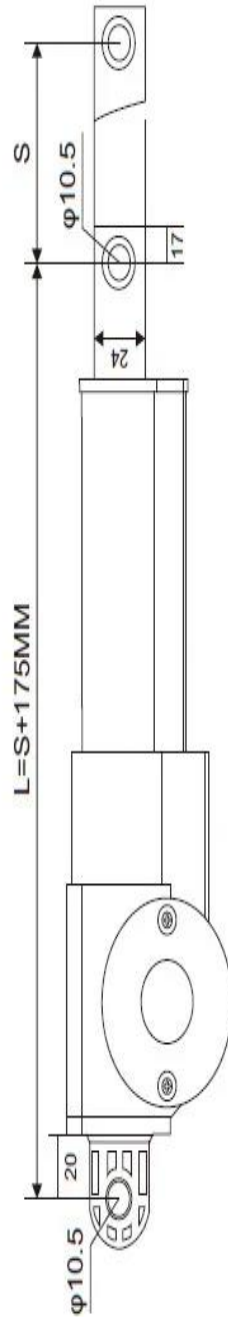
DIMENSIONES		PROPIEDADES		
DIÁMETRO Ø		ESPESOR (e)	PESO	ÁREA SECCIÓN
Plg.	mm	mm	Kg/mts	Plg ²
1"	25.4	1.2	0.7235	0.1414
1"	25.4	1.5	0.8391	0.1745
1"	24.4	2	1.1659	0.2278
1 1/4"	31.75	1.2	0.9148	0.1785
1 1/4"	31.75	1.5	1.1323	0.2209
1 1/2"	38.1	1.5	1.3677	0.2673
1 1/2"	38.1	1.2	1.1031	0.2156
2"	50.8	1.2	1.4828	0.2898
2"	50.8	1.5	1.8423	0.3600
2"	50.8	2	2.4315	0.4752

*Otros largos previa consulta

Anexo C.

Ficha Técnica
Actuador Lineal Eléctrico 12 VDC, Carrera
500mm, Velocidad 5mm/s, Carga 6000N

PRODUCT PARAMETERS



6000N LINEAR ACTUATOR

Input Voltage	12V DC
Max Push Load	1320lbs/6000N
Max Pull Load	880lbs/4000N
No Load Travel Speed	0.2in/sec
Operating Frequency	20%
Power	60W
Noise Level	$\text{dB} \leq 50$
Ambient Temperature	-30°C to $+65^{\circ}\text{C}$
Protection Class	IP43
Main Material	Aluminium alloy
Limit Switch	Built-in



A1 Type: $\phi 10$ Lug + Bracket

Anexo D.

Ficha Técnica Actuador Lineal Eléctrico 24 VDC, Carrera 100 mm, Carga 8000 N

LA-A1 Linear Actuator

Model: LA-A1

Brand: RUNDA,MCS,OEM



8000N carga 5mm/seg velocidad 12V 24V actuador lineal eléctrico

Especificaciones:

Tipo LA20

Entrada 24Vdc

Capacidad de carga/empuje/fuerza 8000N = 800KG = 1760LBS

Velocidad 5mm por seg = 0,2 pulgadas por seg

Interruptor limitado con

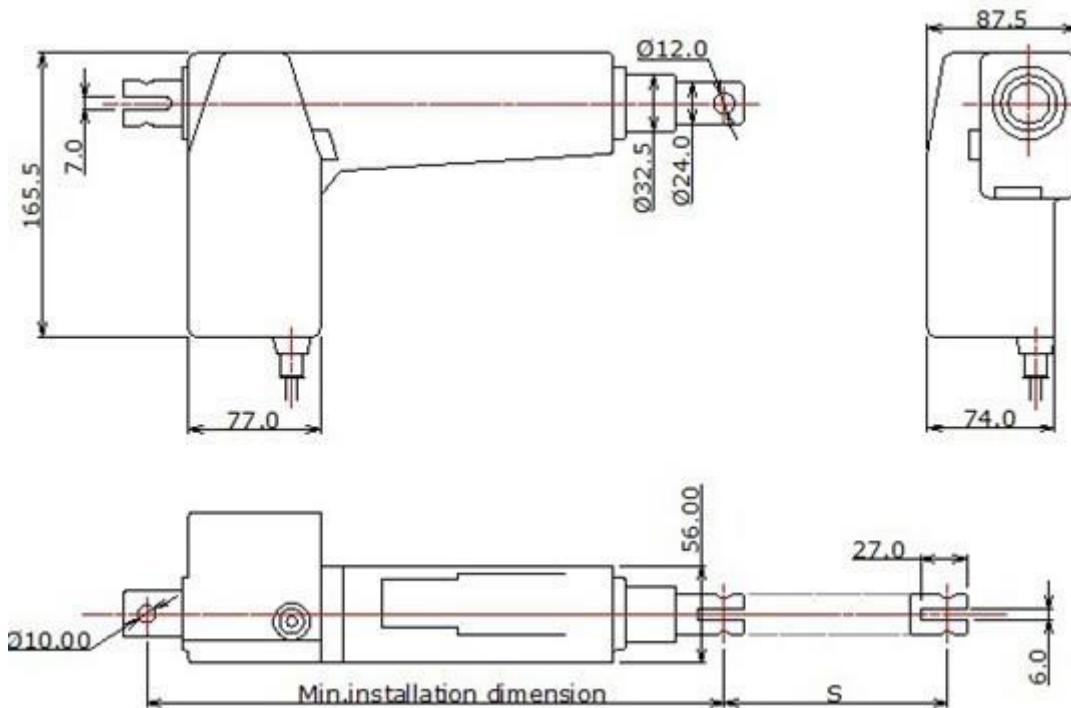
Ciclo de trabajo 10%

Tubo interior de acero inoxidable

Longitud de carrera 50/100/150/200/250/300mm

Color negro

Temperatura de funcionamiento-26 ~ + 65 grados
 Opciones de clase IP IP54



Lmin significa la longitud cuando el actuador lineal 100% se retrae completamente, mientras tanto, tocará el interruptor de cola limitada.

Para tiempos de 50mm y 100mm, Lmin = 325MM

Para 150mm de carrera Lmin = 175 + carrera = 175 + 150 = 325MM

Para 200mm de carrera Lmin = 175 + carrera = 175 + 200 = 375MM

Para 250mm de carrera Lmin = 175 + carrera = 175 + 250 = 425MM

Para 300mm de carrera Lmin = 175 + carrera = 175 + 300 = 475MM

Carrera significa la longitud de movimiento del actuador lineal.

$L_{max} = L_{min} + \text{trazo}$

Lmax significa la longitud cuando el actuador lineal 100% se extiende completamente, mientras tanto, tocará el interruptor de cabeza limitada.

Para 50mm de carrera Lmax = Lmin + carrera = 325 + 50 = 375MM

Para 100mm de carrera Lmax = Lmin + carrera = 325 + 100 = 425MM

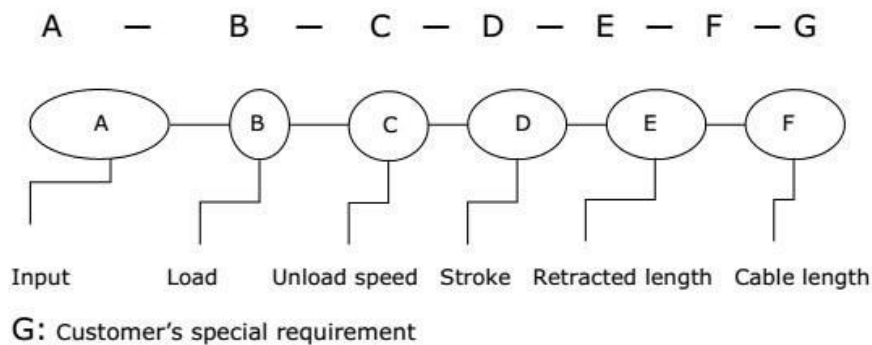
Para 150mm de carrera $L_{max} = L_{min} + \text{carrera} = 325 + 150 = 475\text{MM}$

Para 200mm de carrera $L_{max} = L_{min} + \text{carrera} = 375 + 200 = 575\text{MM}$

Para 250mm de carrera $L_{max} = L_{min} + \text{carrera} = 425 + 250 = 675\text{MM}$

Para 300mm de carrera $L_{max} = L_{min} + \text{carrera} = 475 + 300 = 775\text{MM}$

Customized order example:



Entrada: 12V o 24V

Carga: 100N o 100KG o 220LBS y así sucesivamente

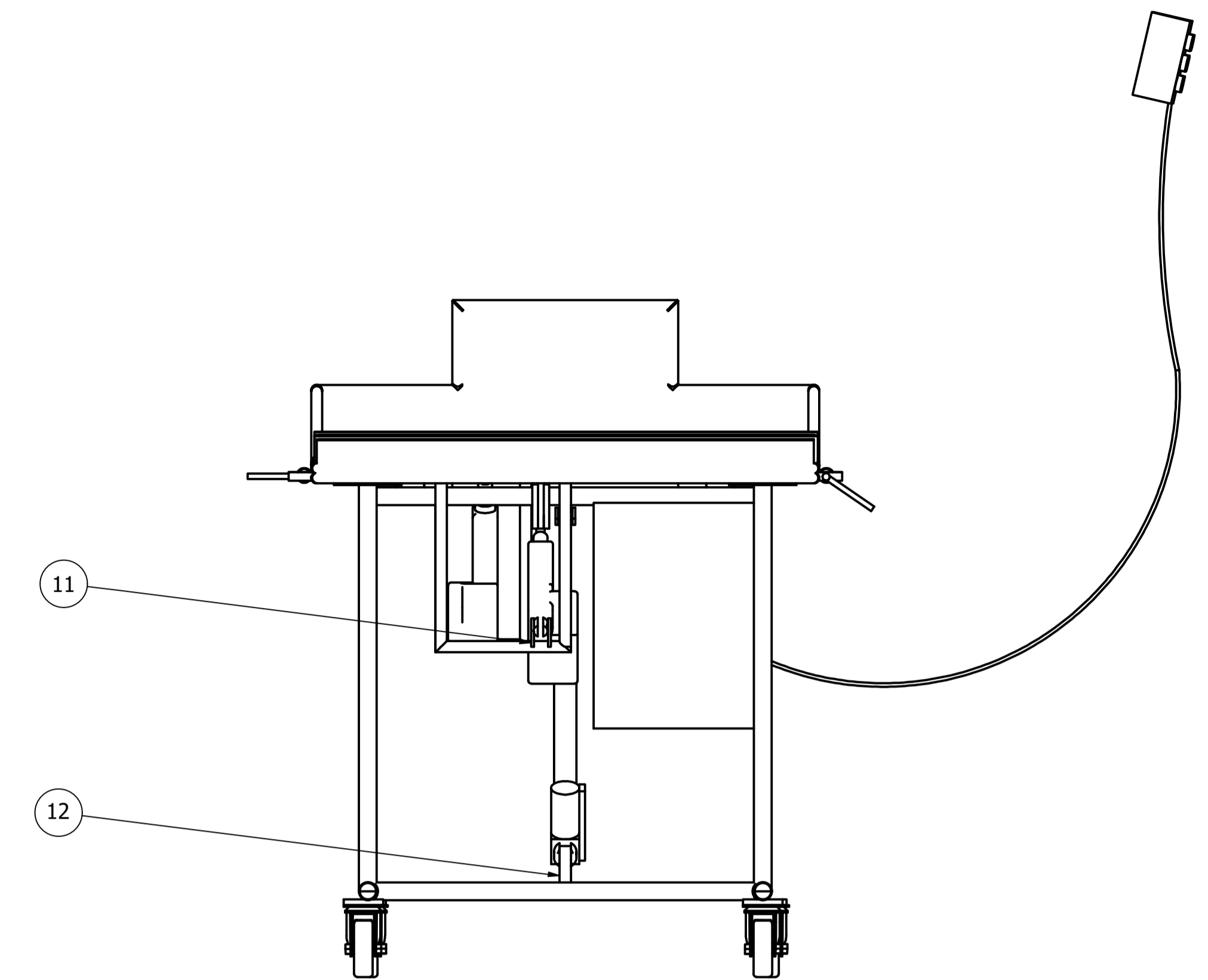
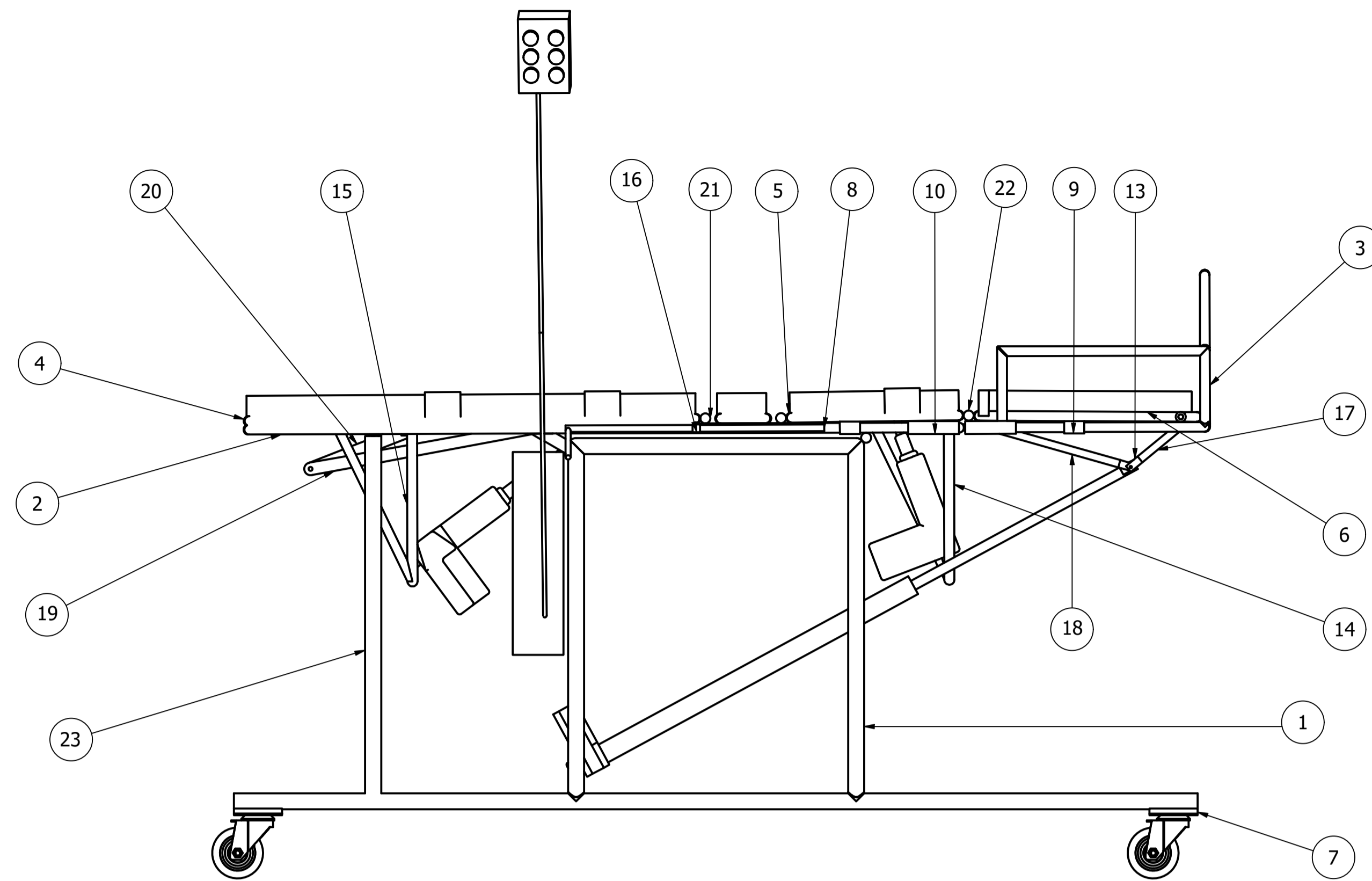
Velocidad: 5mm/seg o 10mm/seg o 1 pulgada/seg o 4 pulgadas/seg y así sucesivamente

Carrera: 50mm o 200mm o 4 pulgadas o 16 pulgadas y así sucesivamente

Longitud reclinada: 100% longitud totalmente retractada

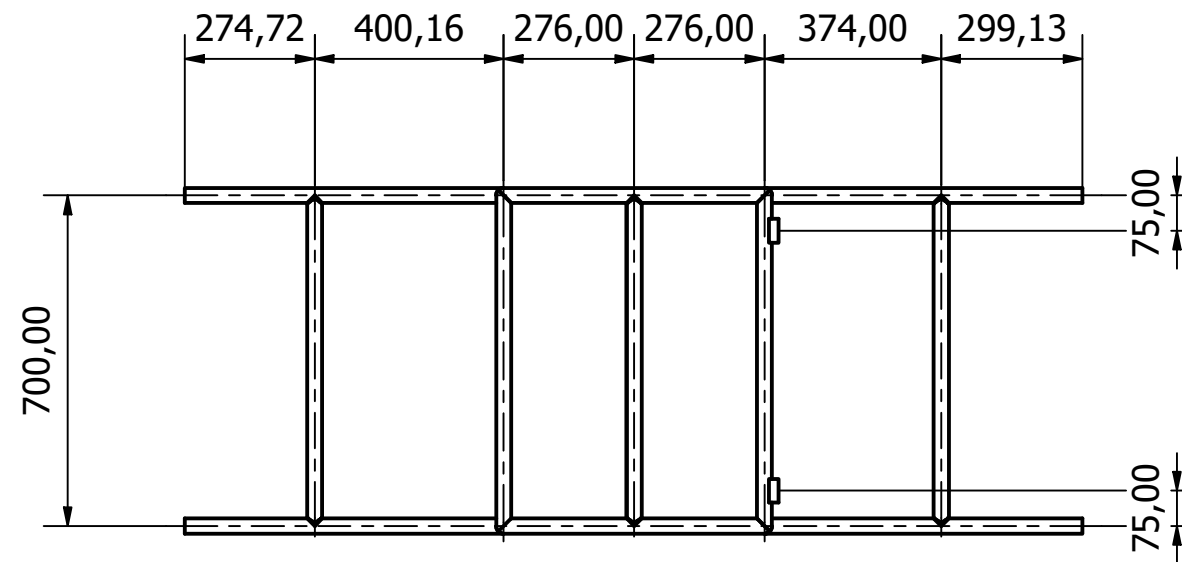
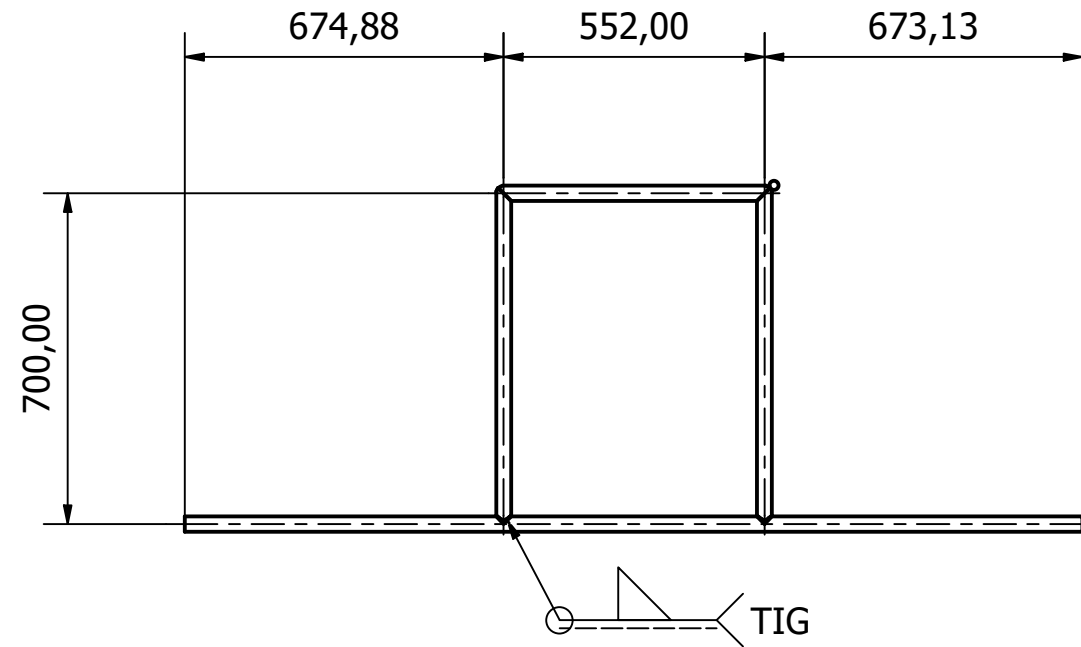
Longitud del Cable: 1m O 2m o 20 pulgadas o 40 pulgadas y así sucesivamente

Anexo E.
Planos
Equipo de Bipedestación Automatizado

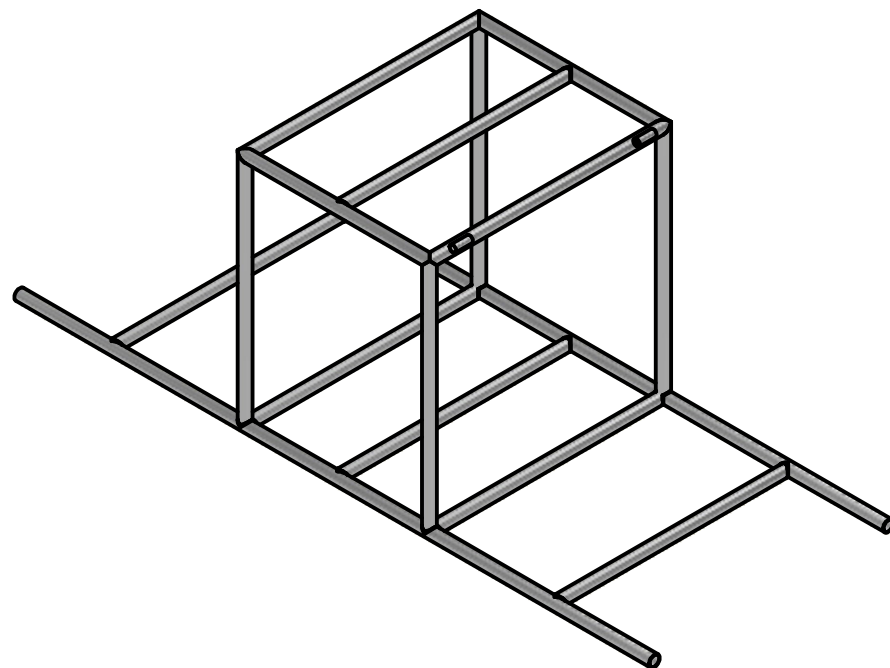



23	2	Soporte Parrilla Superior	Acero Inoxidable
22	10	Buje Bisagra Mayor	Acero Inoxidable
21	10	Buje Bisagra Menor	Acero Inoxidable
20	1	Eslabón Espaldar B	Acero Inoxidable
19	2	Eslabón Espaldar A	Acero Inoxidable
18	1	Soporte Bipedestación B	Acero Inoxidable
17	1	Soporte Bipedestación A	Acero Inoxidable
16	2	Tope del Seguro	Acero Inoxidable
15	1	Soporte Actuador Espaldar	Acero Inoxidable
14	1	Soporte Actuador Flexión Rodillas	Acero Inoxidable
13	2	Oreja Soporte Bipedestación	Acero Inoxidable
12	1	Oreja de Anclaje Base	Acero Inoxidable
11	5	Oreja de Sujeción	Acero Inoxidable
10	4	Casquillo Guía Mayor	Acero Inoxidable
9	4	Casquillo Guía Menor	Acero Inoxidable
8	2	Pasador del Seguro	Acero Inoxidable
7	4	Platina Sujeción Rueda	Acero Inoxidable
6	1	Sección Tibia - Peroné	Acero Inoxidable
5	1	Sección Femúr	Acero Inoxidable
4	1	Espaldar	Acero Inoxidable
3	1	Reposapiés	Acero Inoxidable
2	1	Rejilla Sección Espaldar - Femúr	Acero Inoxidable
1	1	Base	Acero Inoxidable

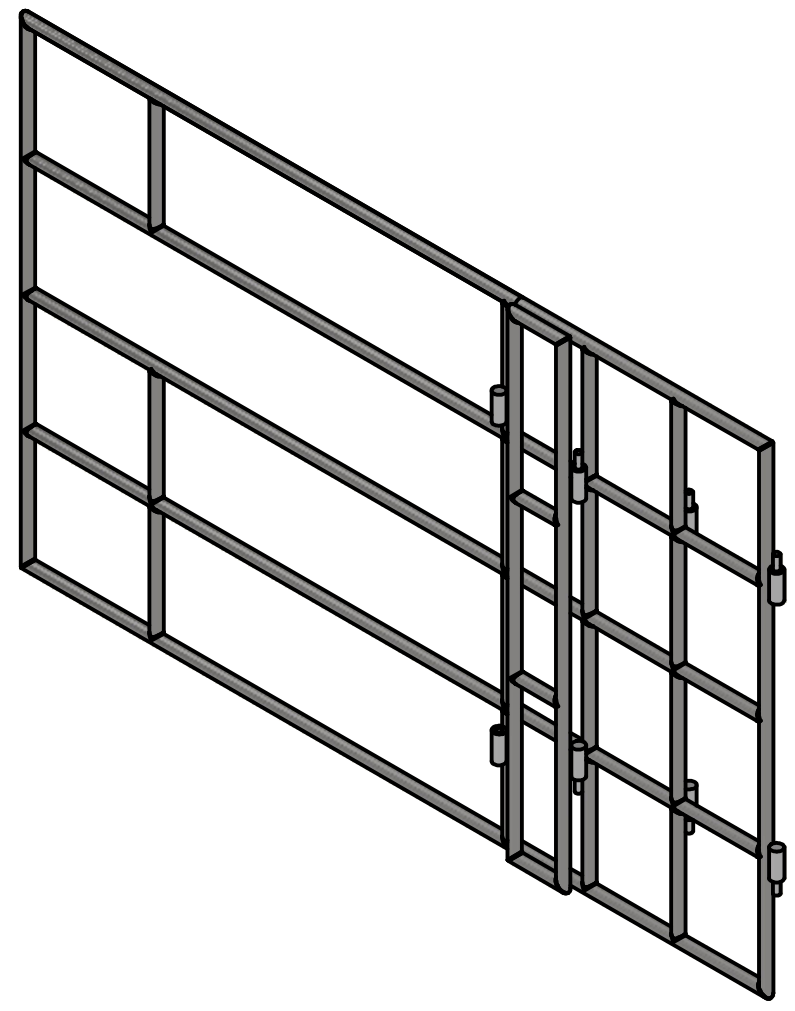
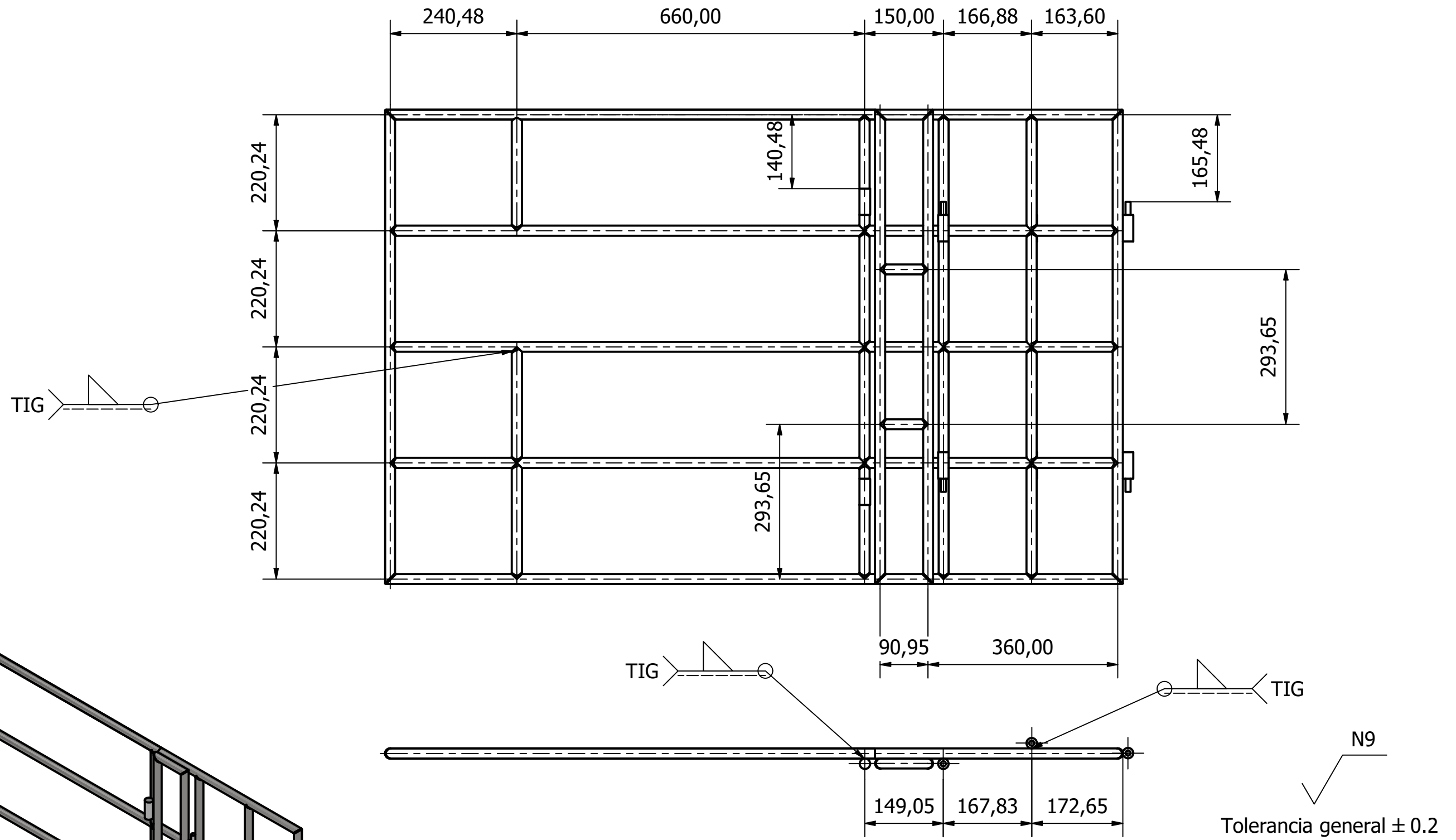
Pos.	Cant.	Denominación	Material
X CICLO		Fecha	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecátronica</p>
Dibujado		29/08/24	
Comprobado		30/08/24	
Laboratorio de Máquinas Herramientas			
Escala: 1:10 Lámina: 01 / 24	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto: <p style="text-align: center;">EQUIPO DE BIPEDESTACIÓN AUTOMATIZADO</p>	



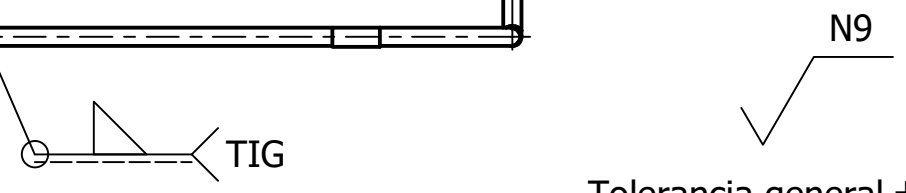
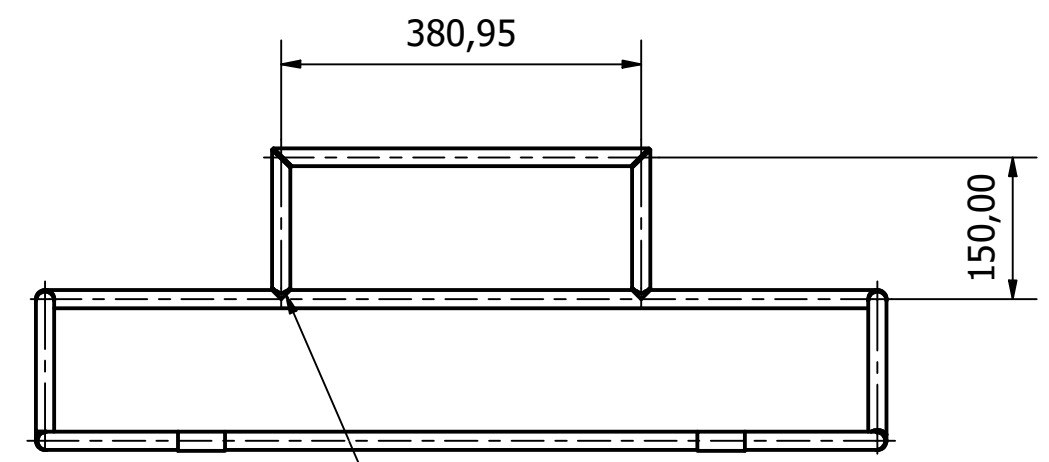
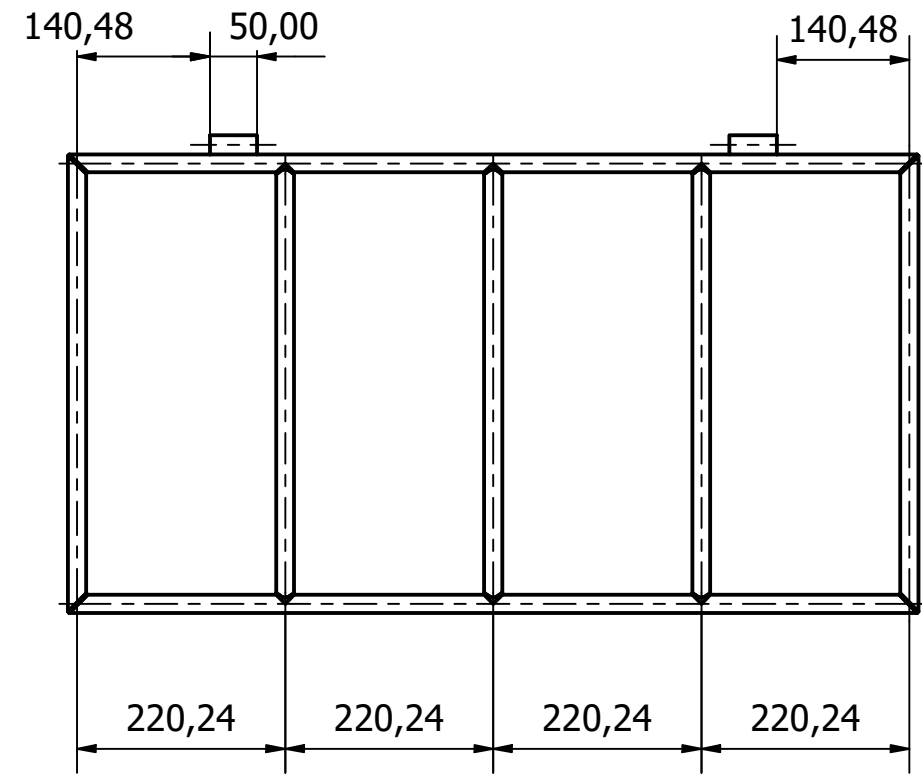
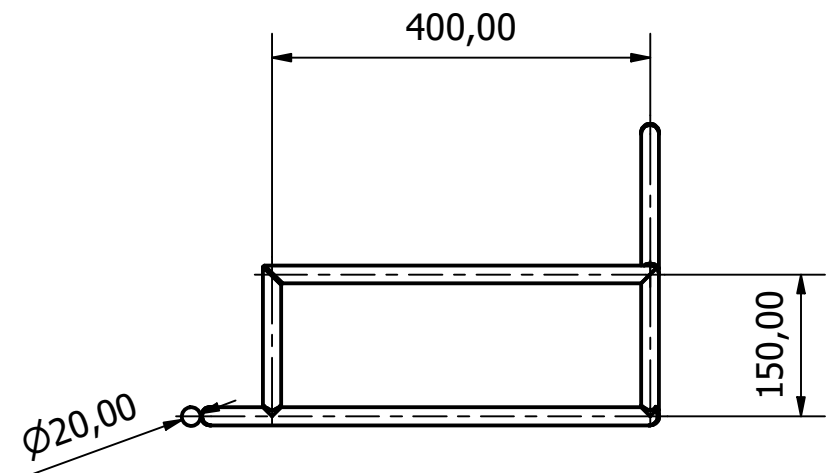
Tolerancia general ± 0.2



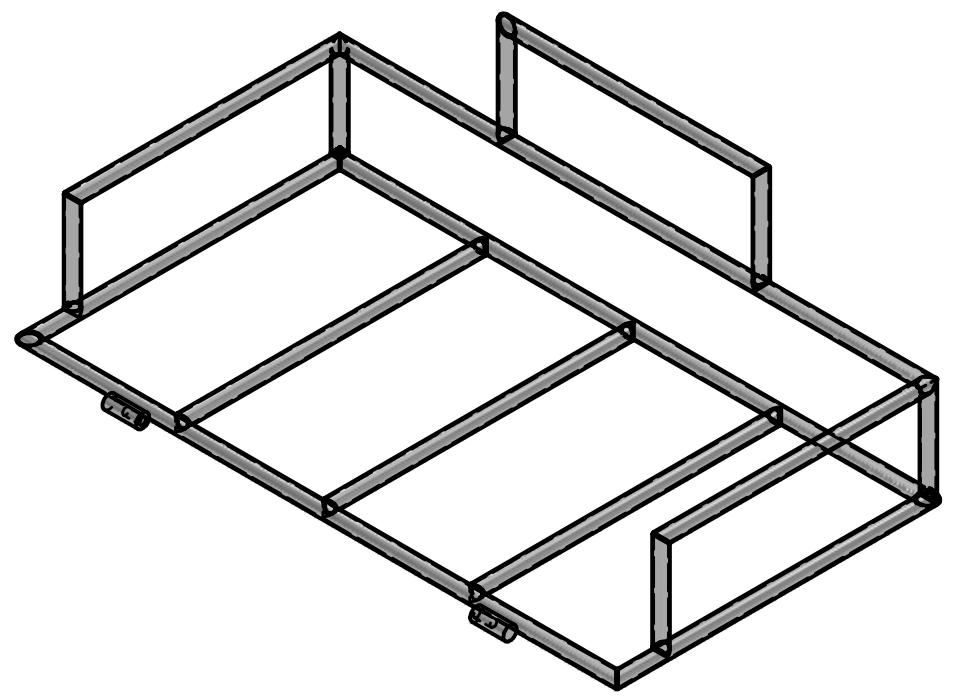
1	1	Base	Acero Inoxidable	AISI 304	1 1/4" x 1,5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:16	ISO 2768-m				
Lámina: 02 / 24		BASE			



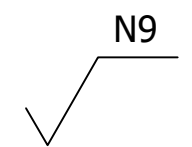
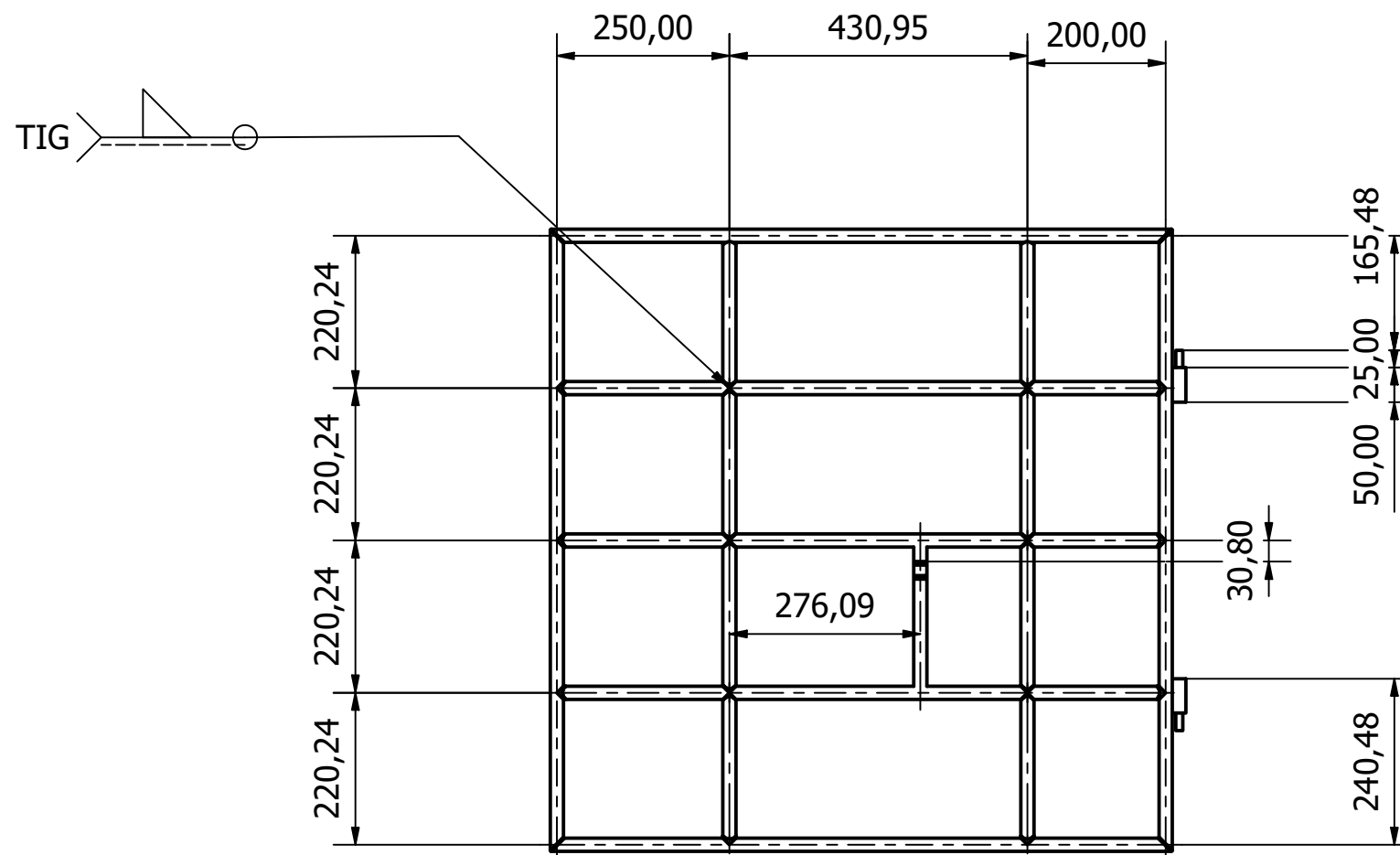
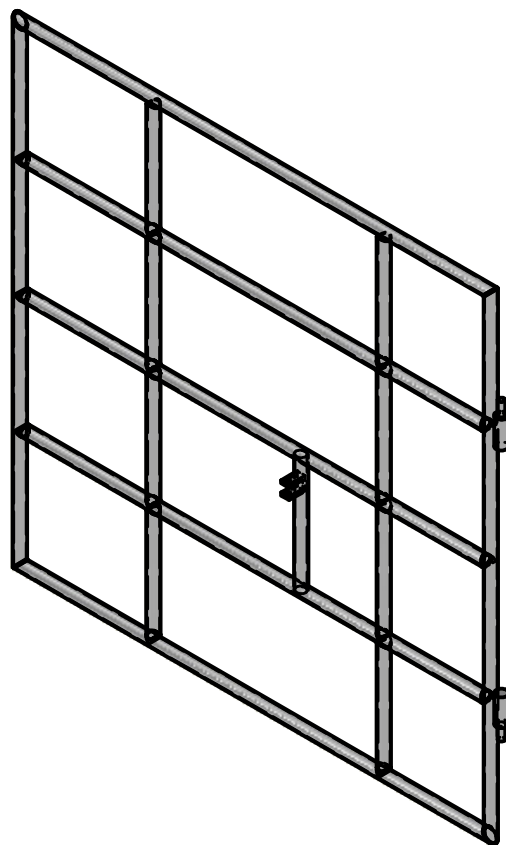
2	1	Rejilla Sección Espaldar - Fémur	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1.5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:8	ISO 2768-m	REJILLA SECCIÓN ESPALDAR - FÉMUR			
Lámina:	03 / 24				



Tolerancia general ± 0.2

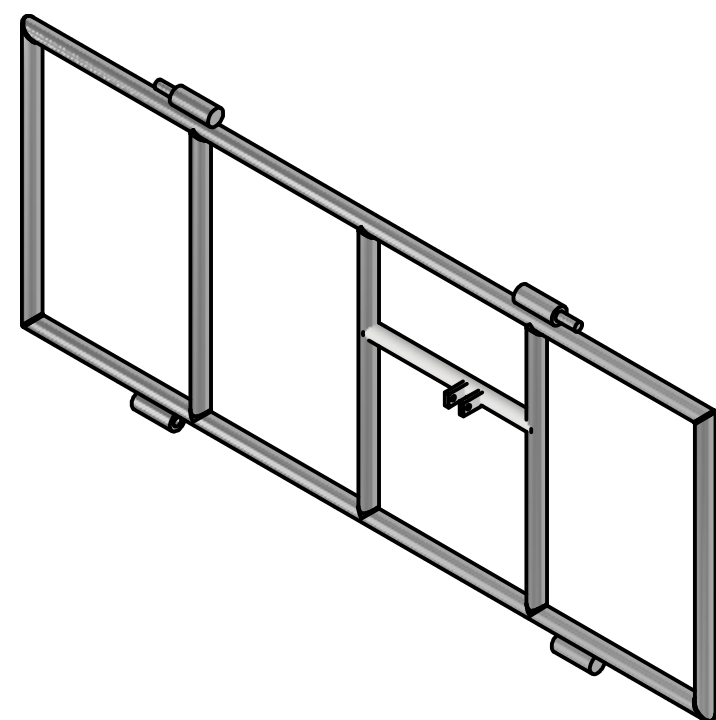
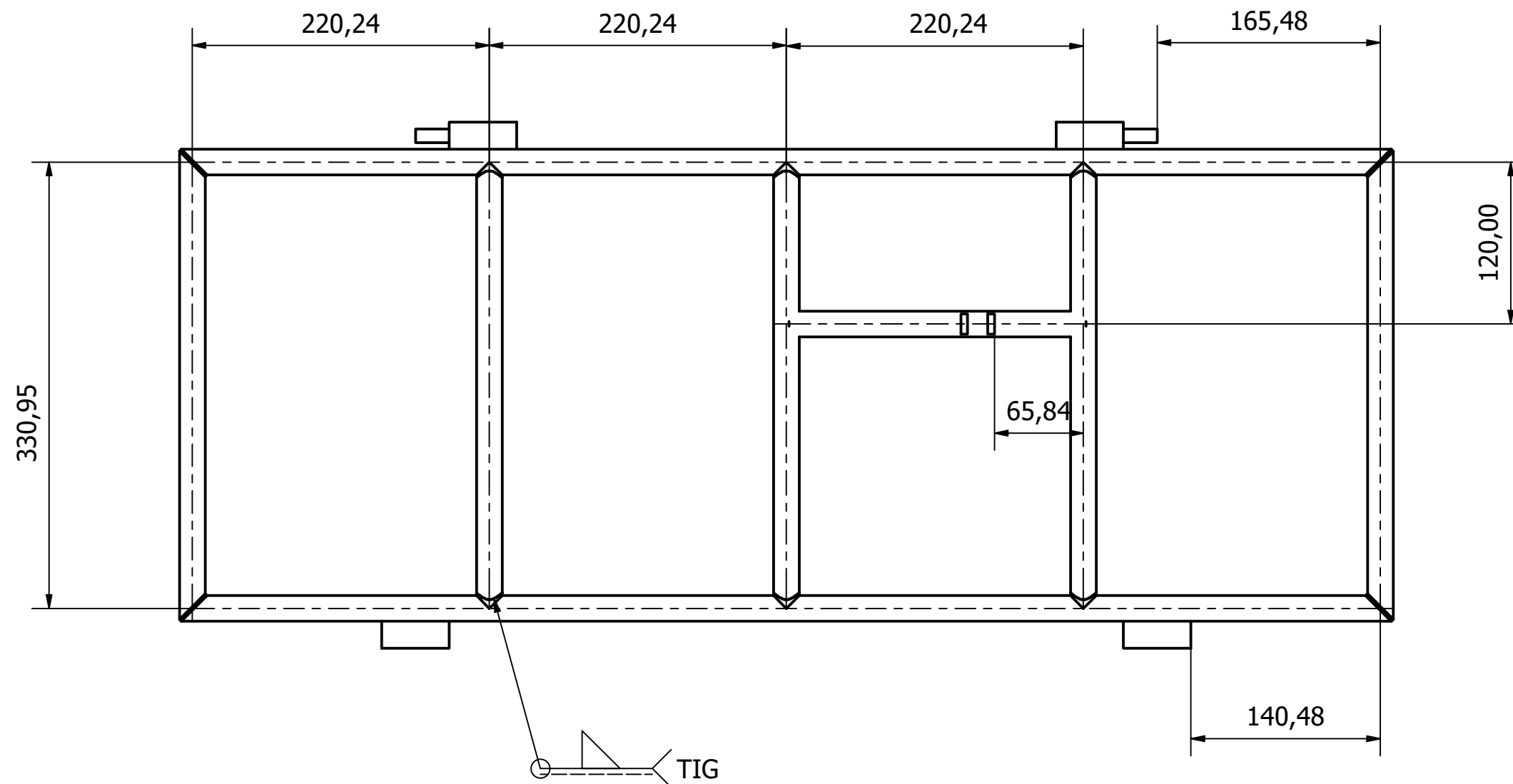


3	1	Reposapiés	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1,5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:8	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 04 / 24		REPOSAPIÉS			



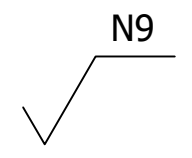
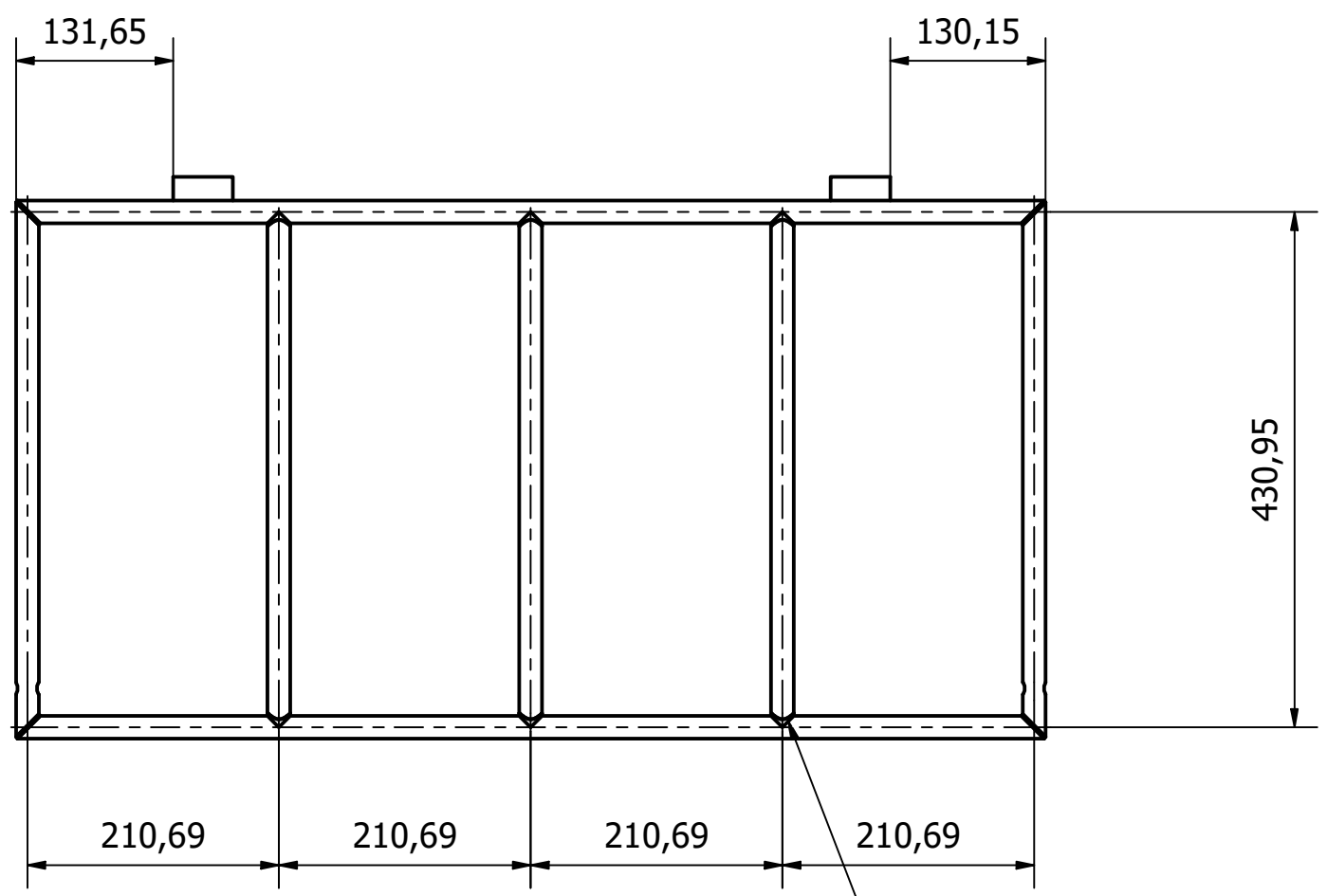
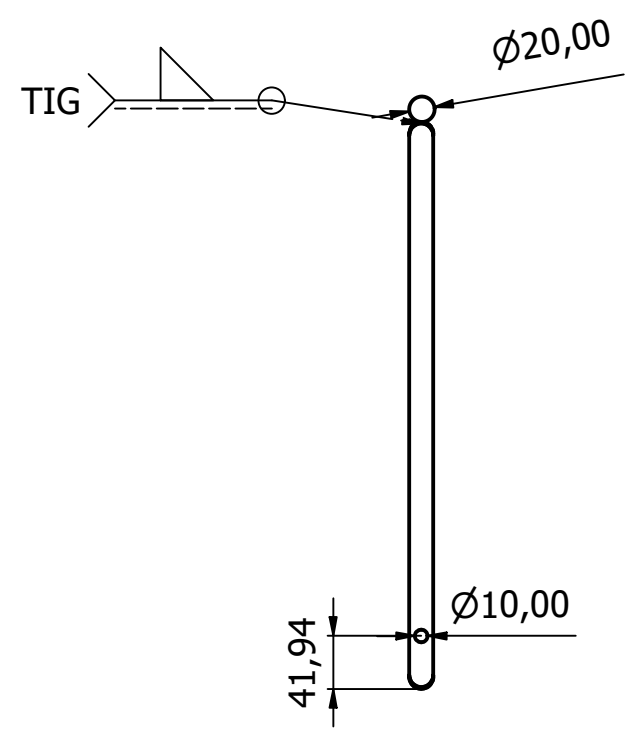
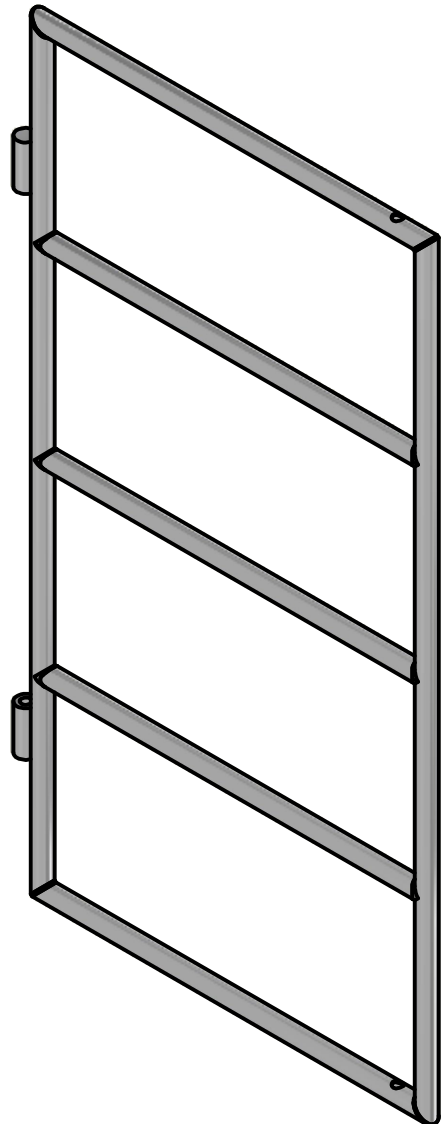
Tolerancia general ± 0.2

4	1	Espaldar	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1,5 mm	
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto	
X CICLO		Fecha	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica			
Dibujado		29/08/24				Vásquez D./Ordoñez S.
Comprobado		30/08/24				Ing. John Calle
Laboratorio de Máquinas Herramientas						
Escala: 1:4		Tol. gen.: ISO 2768-m		Subconjunto:		
Lámina: 05 / 24		ESPALDAR				



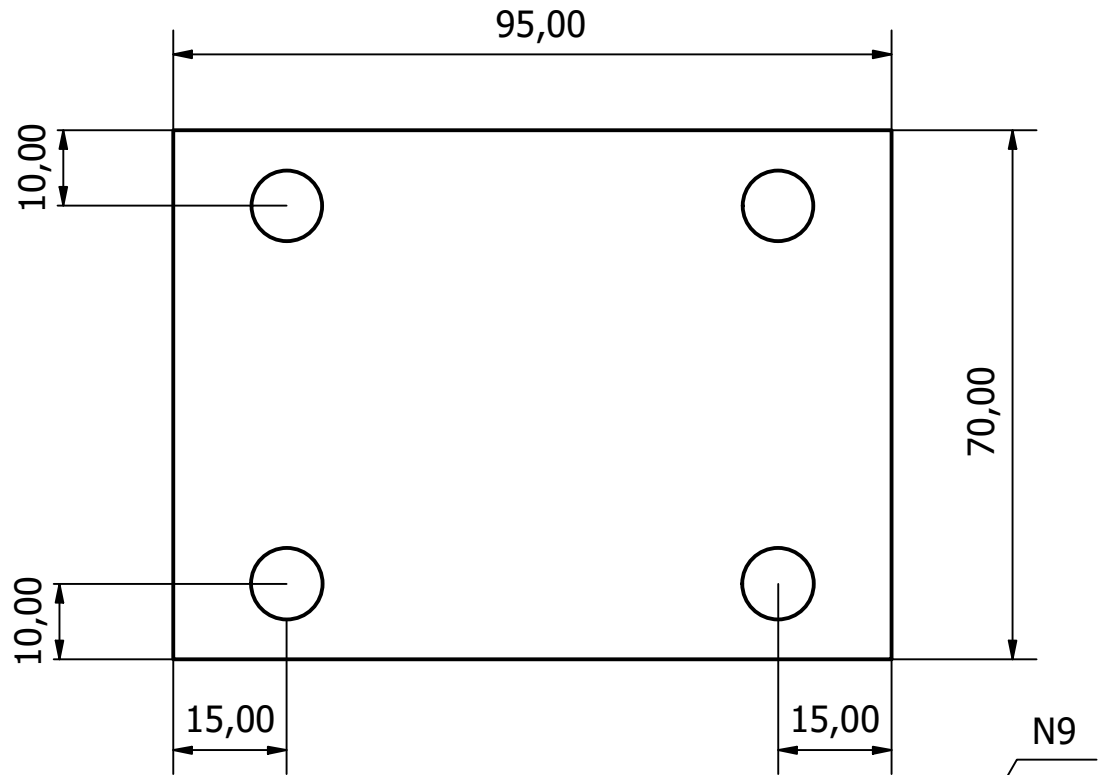
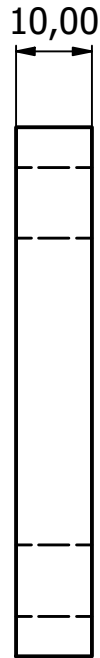
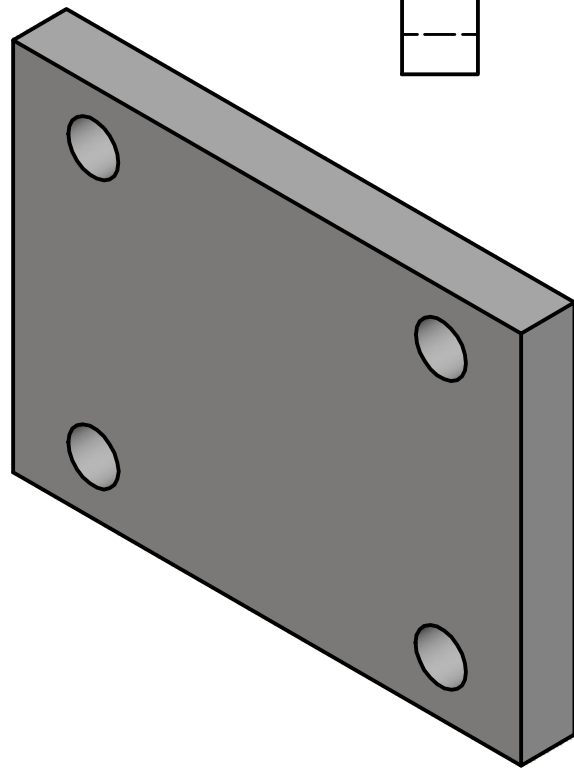
N9
 Tolerancia general ± 0.2

5	1	Sección Fémur	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1.5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:8	ISO 2768-m				
Lámina: 06 / 24		SECCIÓN FÉMUR			



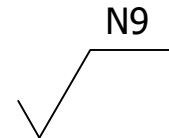
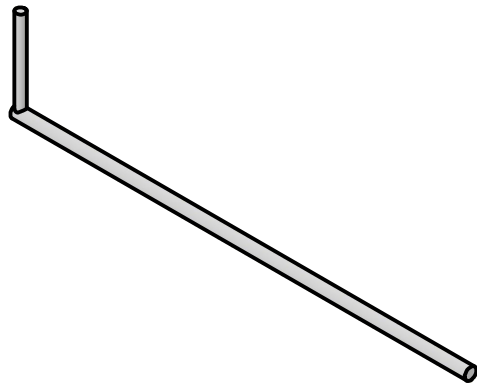
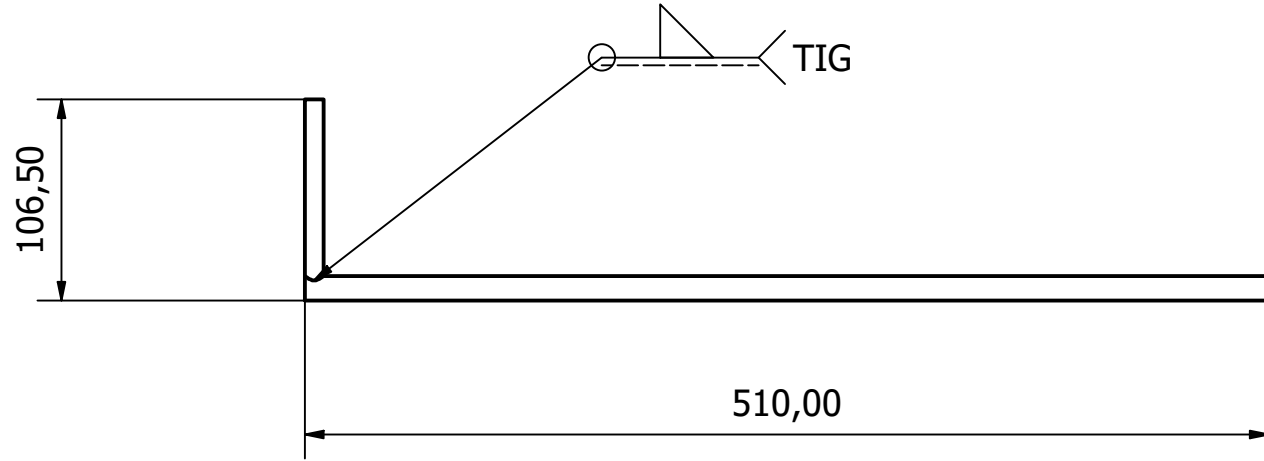
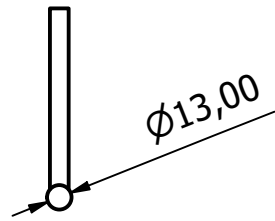
Tolerancia general ± 0.2

6	1	Sección Tibia - Peroné	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1,5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:6	ISO 2768-m	SECCIÓN TIBIA - PERONÉ			
Lámina:	07 / 24				



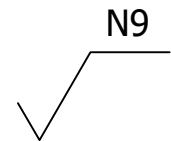
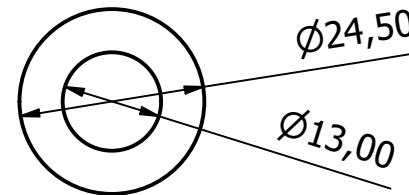
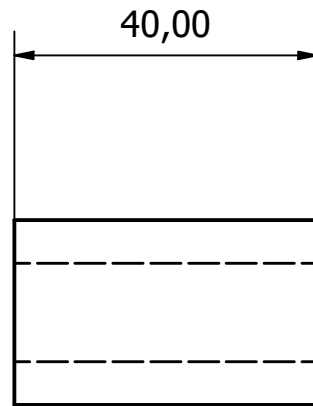
Tolerancia general ± 0.2

7	4	Platina Sujeción Rueda	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 10 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:1	ISO 2768-m				
Lámina: 08/24		PLATINA SUJECIÓN RUEDA			

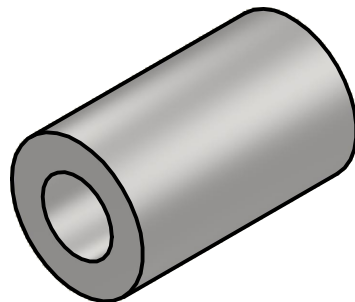


Tolerancia general ± 0.2

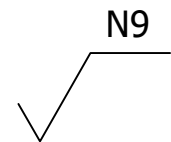
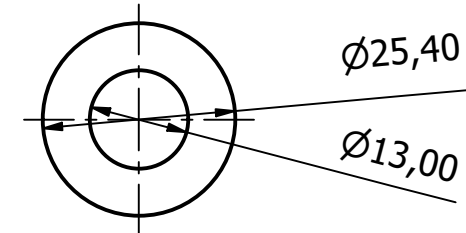
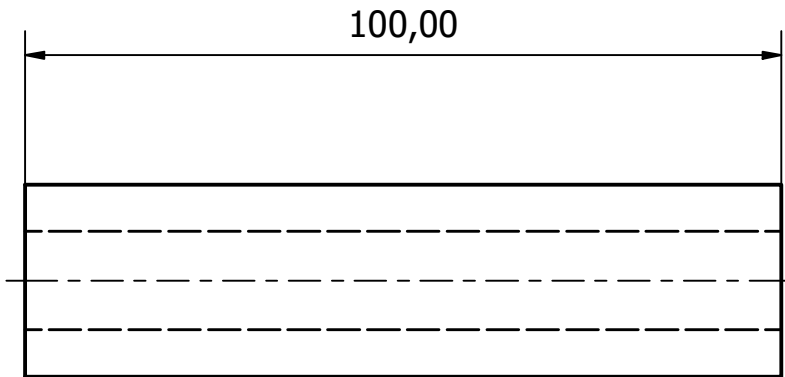
8	2	Pasador del Seguro		Acero Inoxidable	AISI 304	1/2"
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO		Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado		29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado		30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas						
Escala: 1:4		Tol. gen.: ISO 2768-m		Subconjunto:		
Lámina: 09 / 24		PASADOR DEL SEGURO				



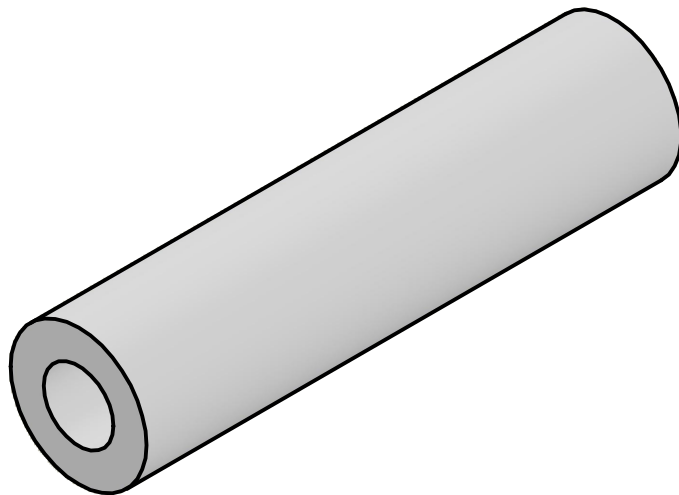
Tolerancia general ± 0.2



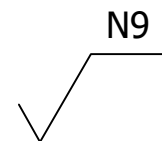
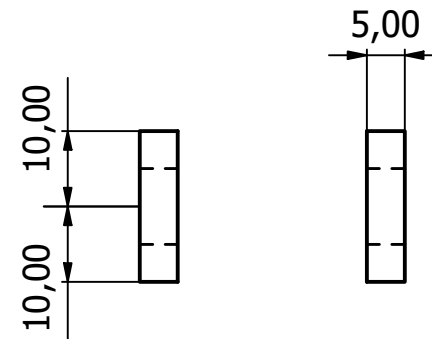
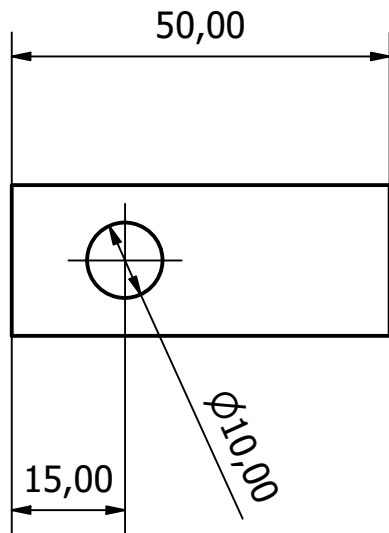
9	4	Casquillo Guía Menor	Acero Inoxidable	AISI 304	1" x 5,75 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:1	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 10 / 24	CASQUILLO GUÍA MENOR				



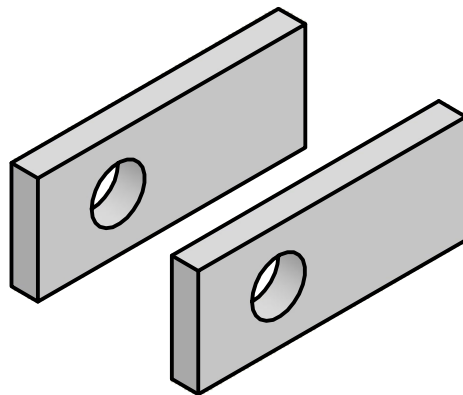
Tolerancia general ± 0.2



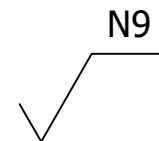
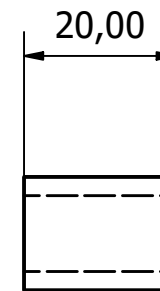
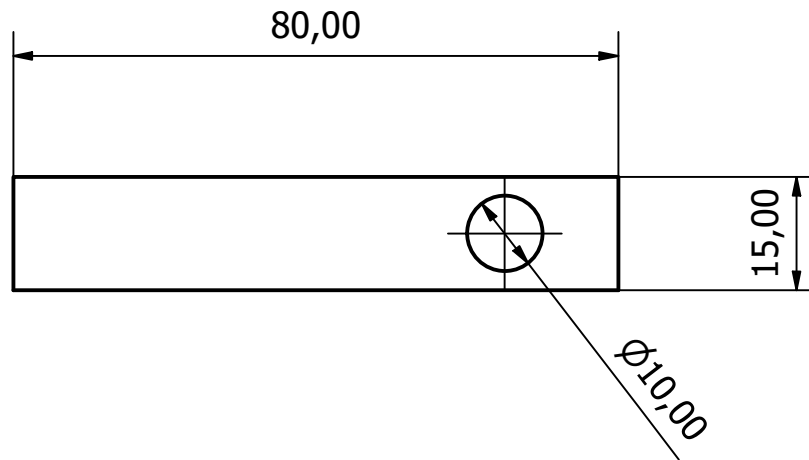
10	4	Casquillo Guía Mayor	Acero Inoxidable	AISI 304	1" x 5,75 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica</p>		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:4	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 11 / 24		CASQUILLO GUÍA MAYOR			



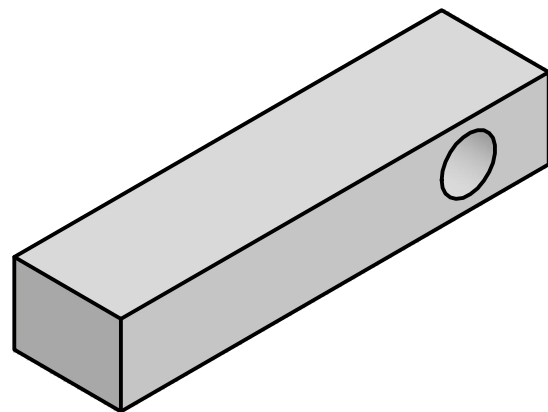
Tolerancia general ± 0.2



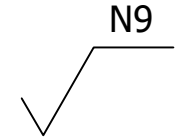
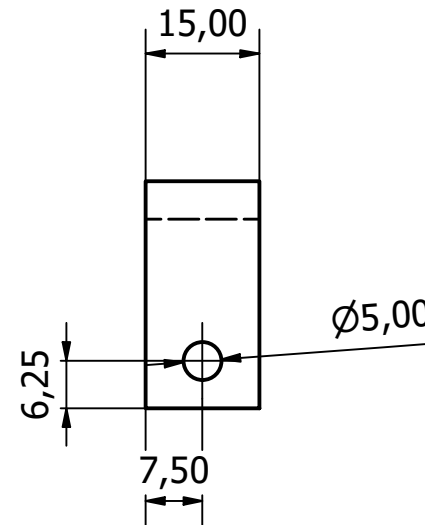
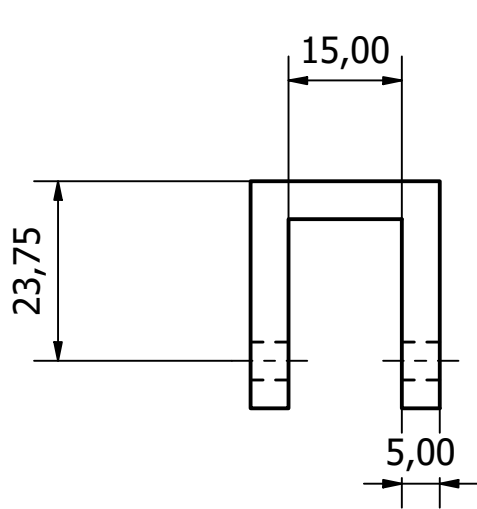
11	5	Oreja de Sujeción	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica</p>		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:1	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 12 / 24		OREJA DE SUJECIÓN			



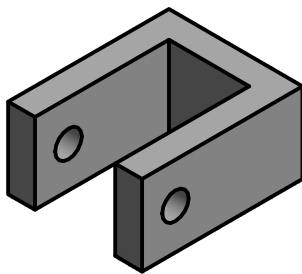
Tolerancia general ± 0.2



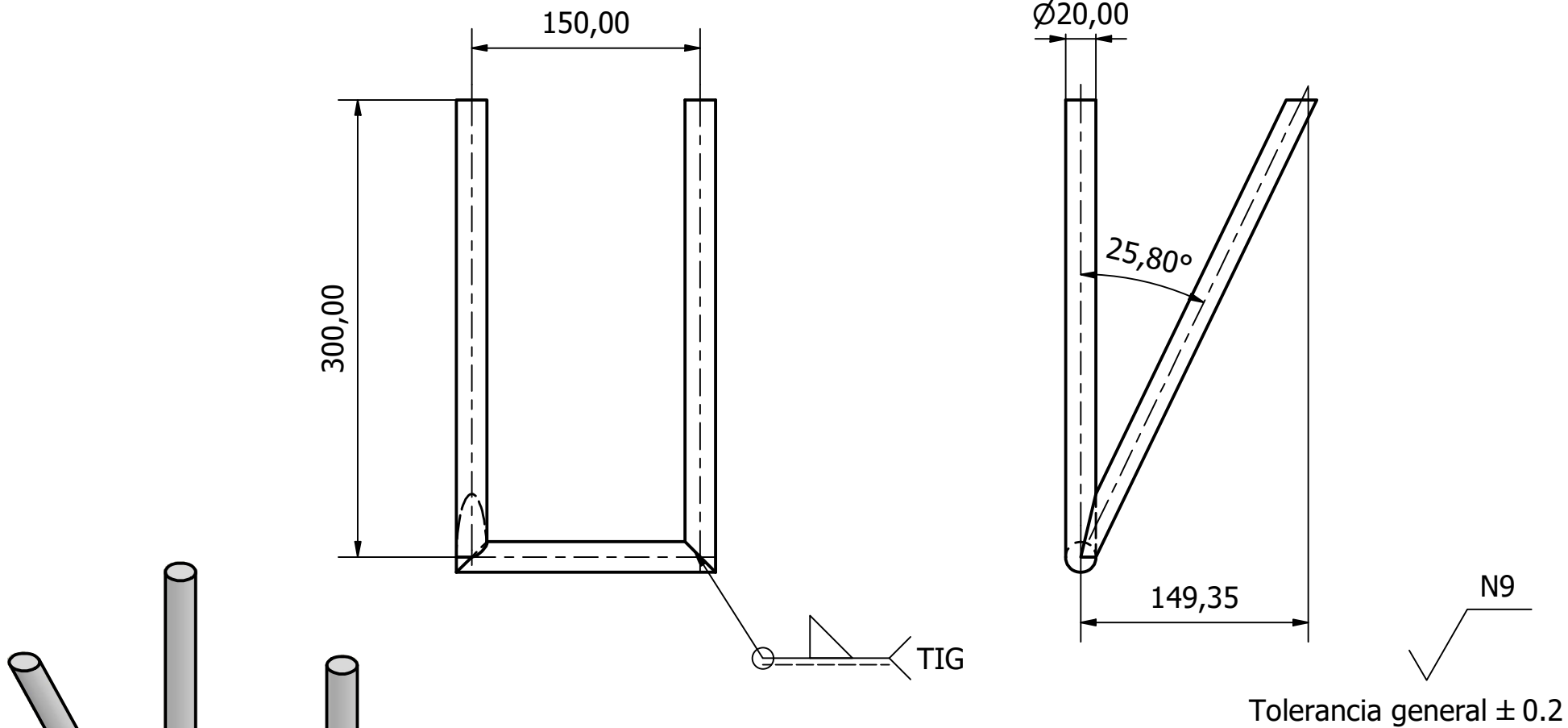
12	1	Oreja Anclaje Base	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 30 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:4	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 13 / 24		OREJA ANCLAJE BASE			



Tolerancia general ± 0.2

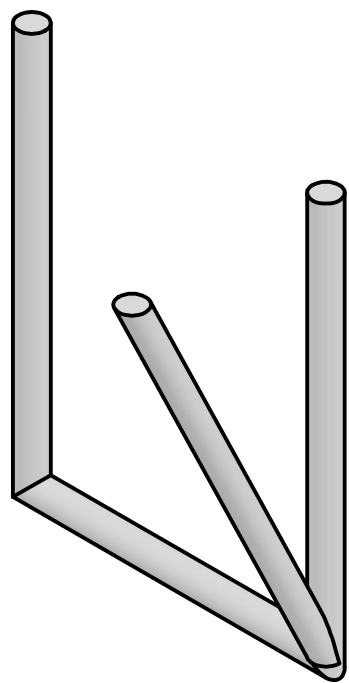
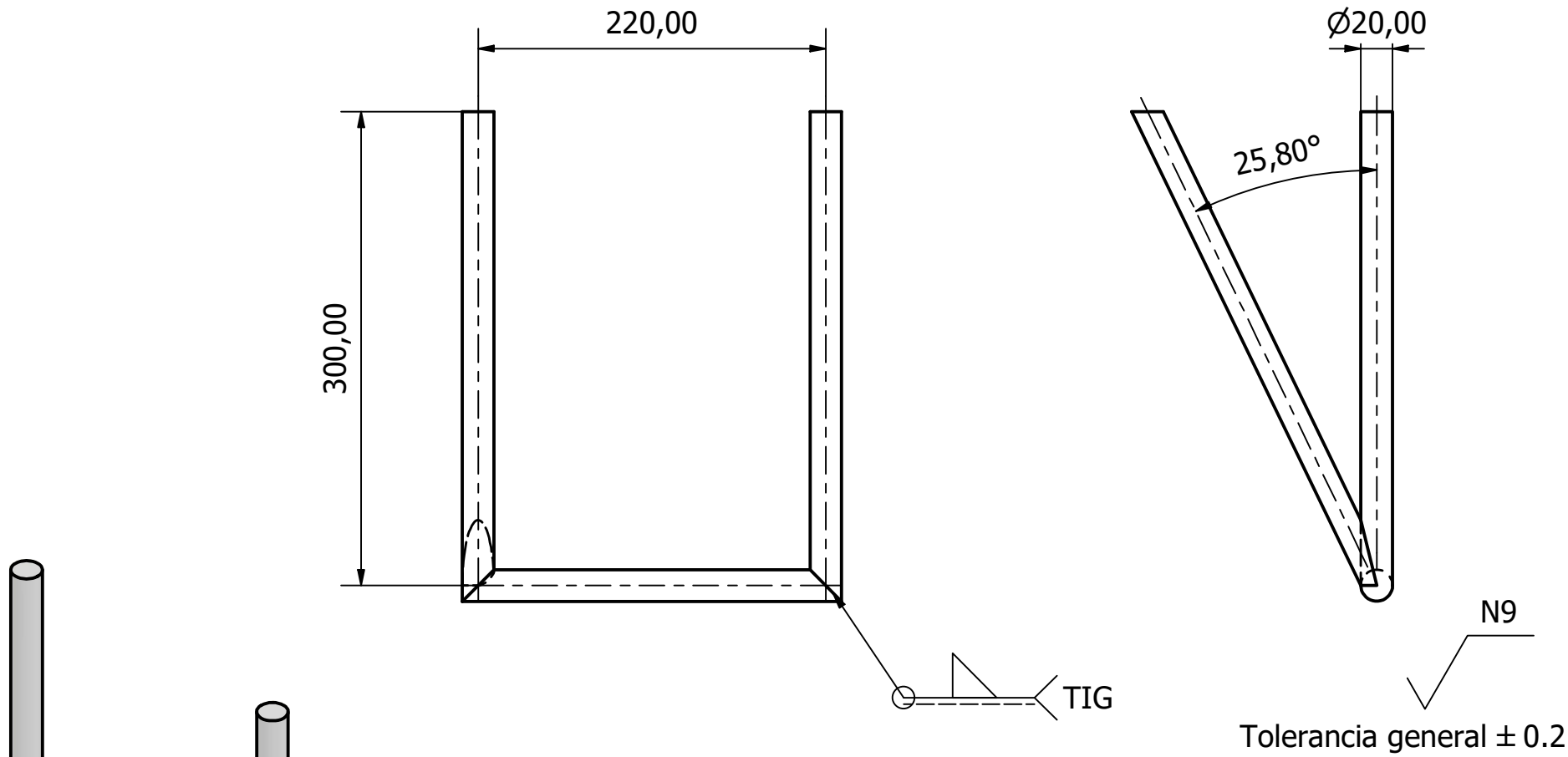


13	2	Oreja Soporte Bipedestación	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica</p>		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:4	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 14 / 24	OREJA SOPORTE BIPEDESTACIÓN				

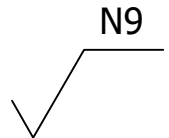
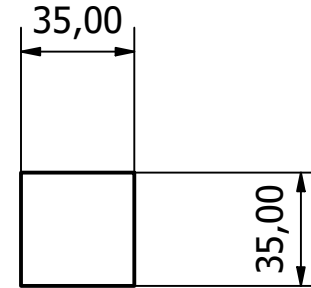
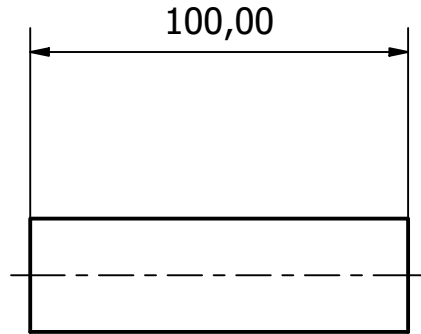


Tolerancia general ± 0.2

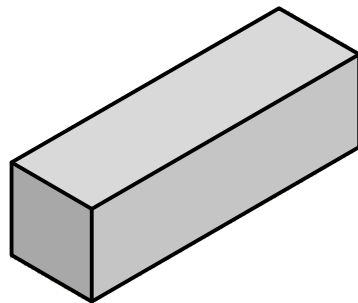
14	1	Soporte Actuador Flexión Rodillas	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1,5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:4	ISO 2768-m				
Lámina: 15 / 24		SOPORTE ACTUADOR FLEXIÓN RODILLAS			



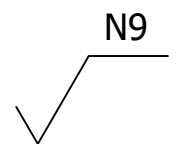
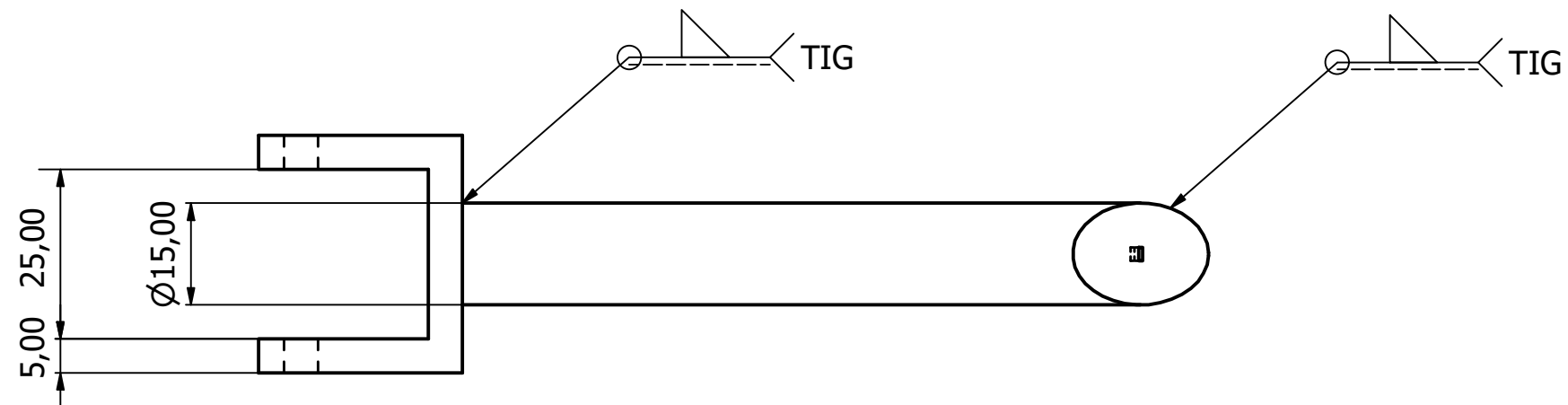
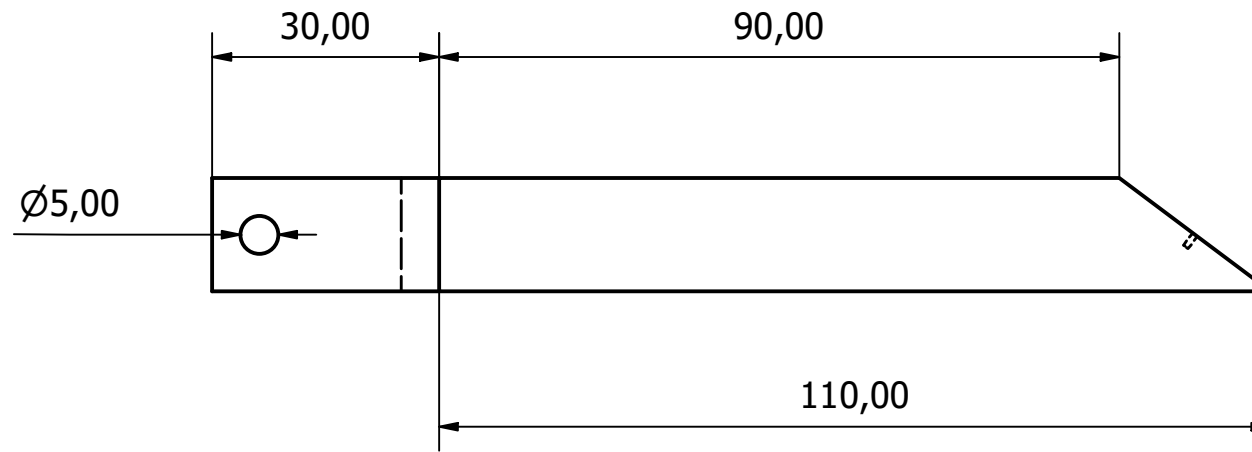
15	1	Soporte Actuador Espaldar	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1,5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:4	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 16 / 24	SOPORTE ACTUADOR ESPALDAR				



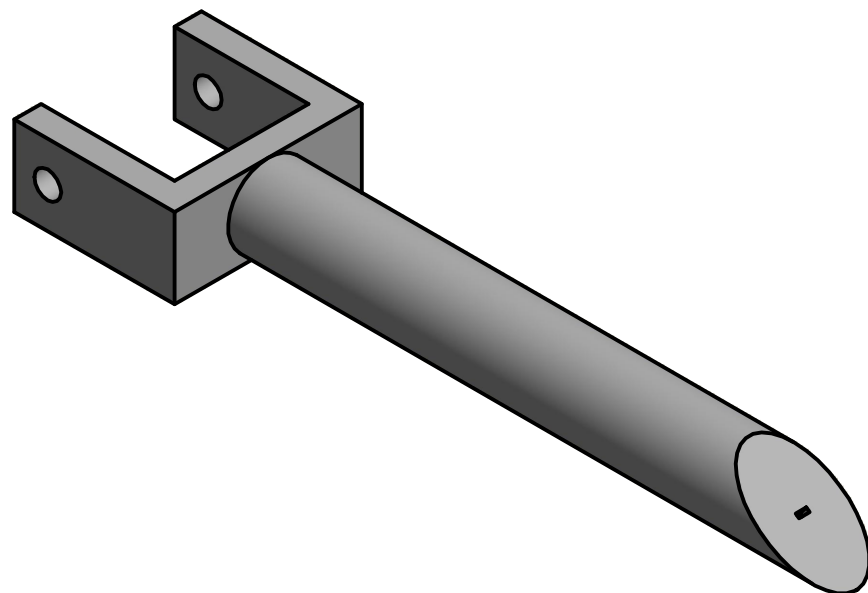
Tolerancia general ± 0.2



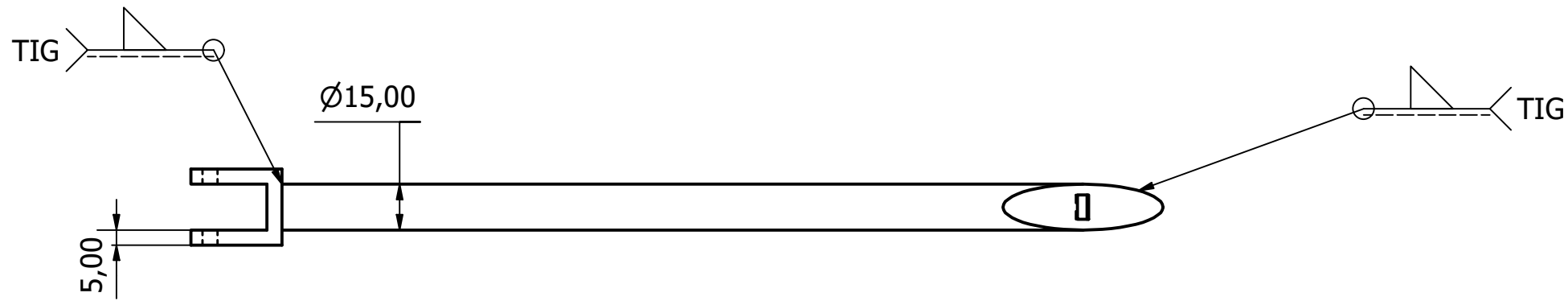
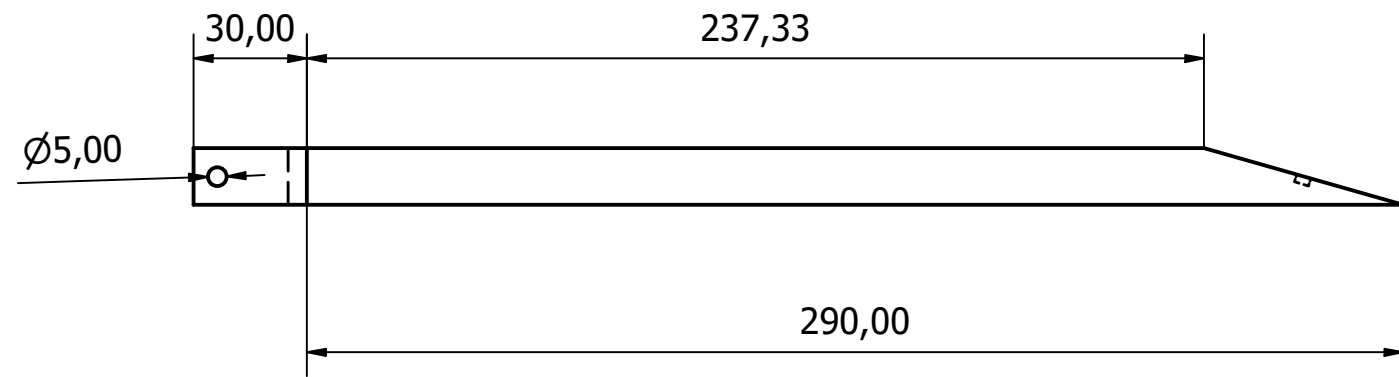
16	2	Tope del Seguro		Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 35 mm
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO		Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecátronica	
Dibujado		29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado		30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas						
Escala: 1:4		Tol. gen.: ISO 2768-m		Subconjunto:		
Lámina: 17 / 24				TOPE DEL SEGURO		



Tolerancia general ± 0.2

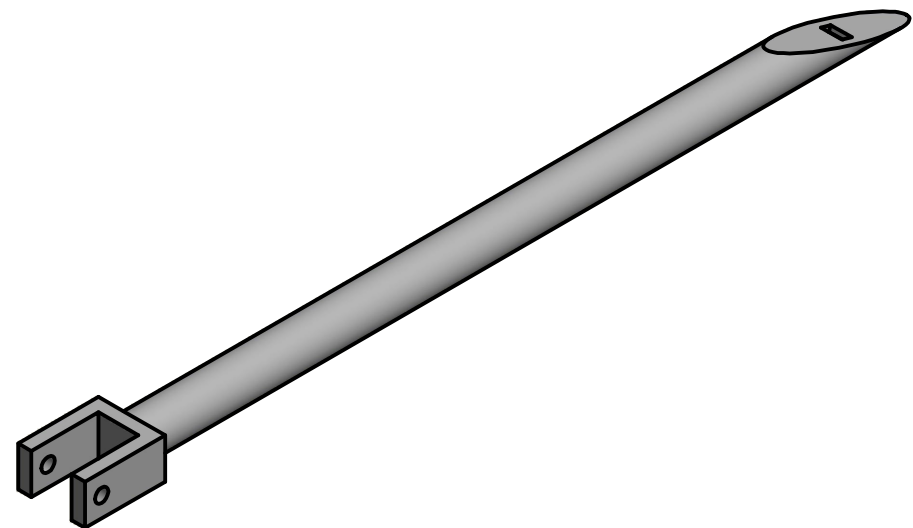


17	1	Soporte Bipedestación A	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1,5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:1	ISO 2768-m	SOPORTE BIPEDESTACIÓN "A"			
Lámina: 18/24					

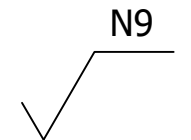
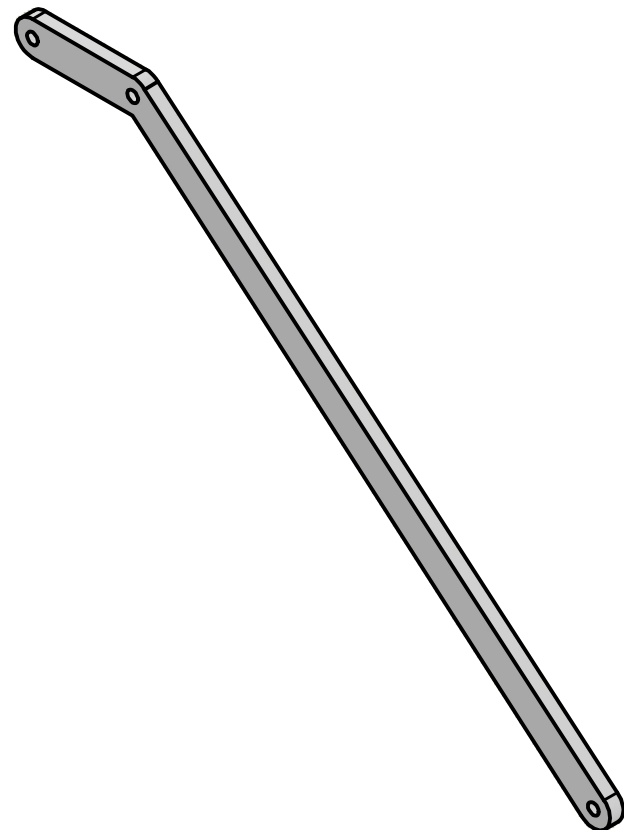
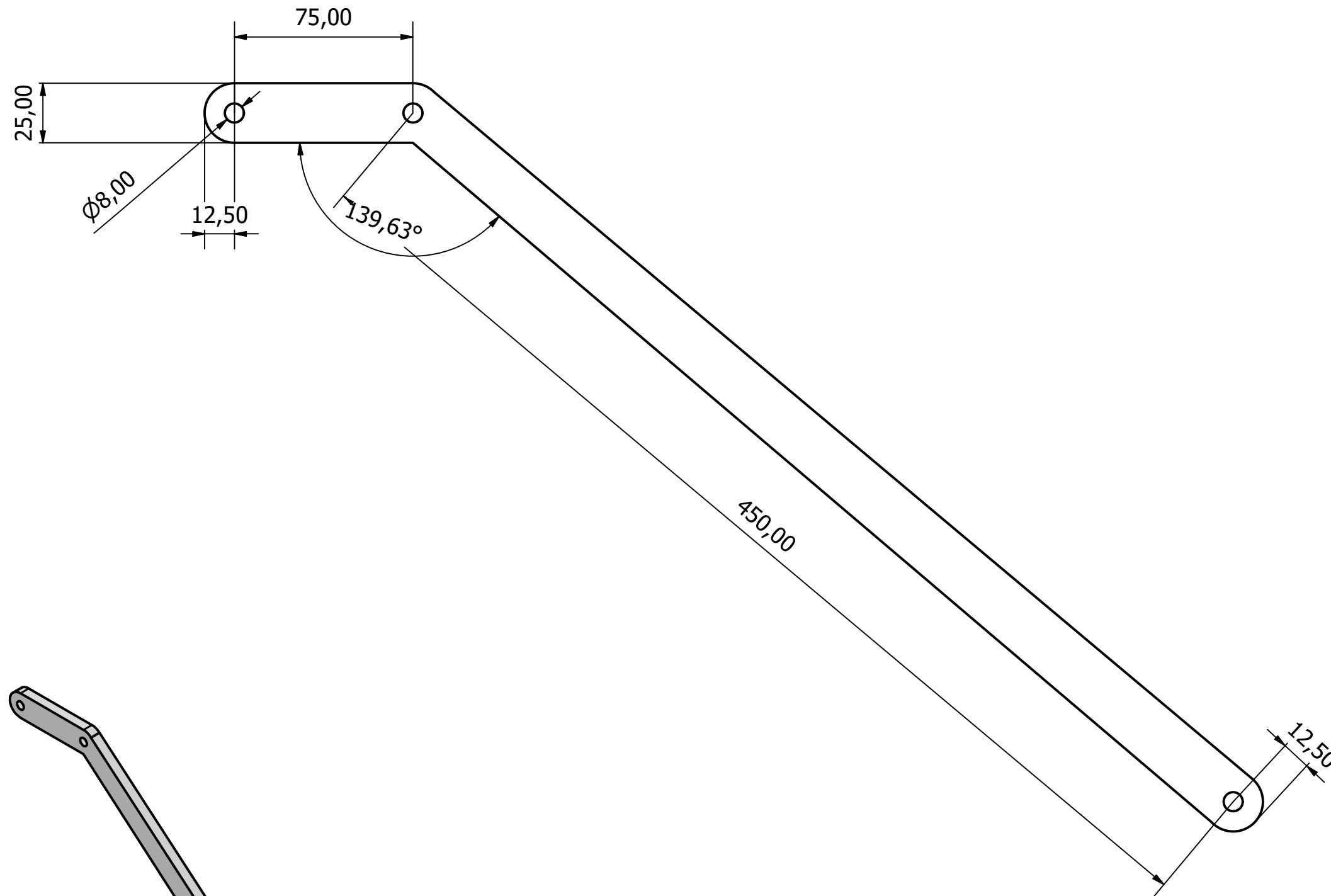


N9

Tolerancia general ± 0.2



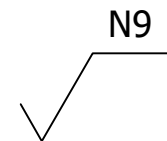
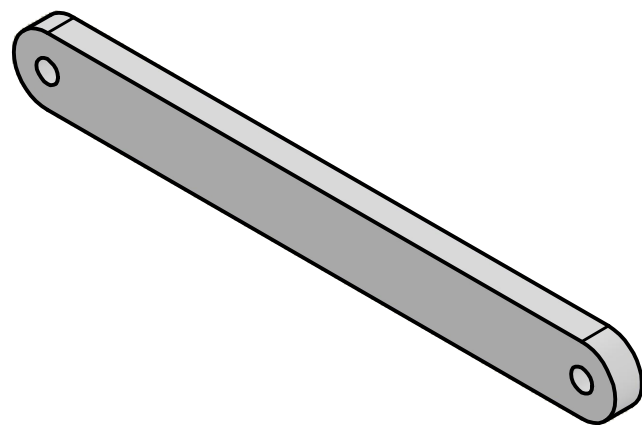
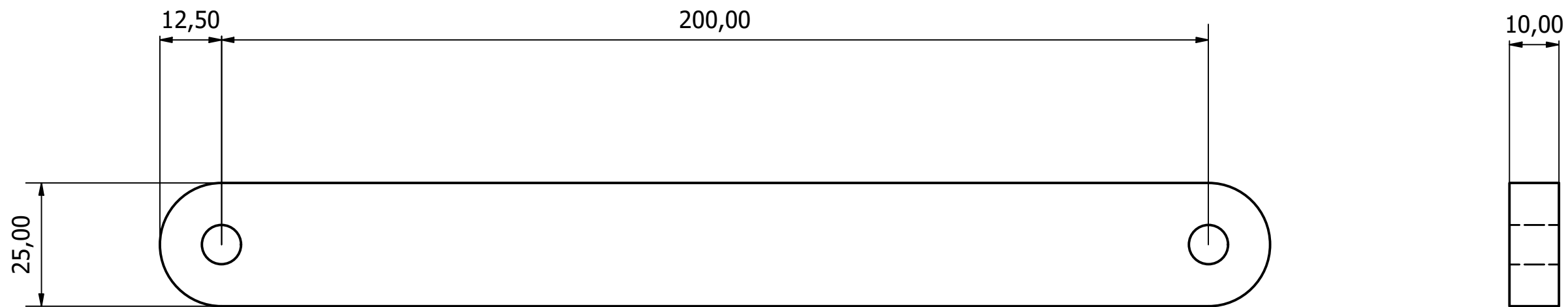
18	1	Soporte Bipedestación B	Acero Inoxidable	AISI 304	3/4" x 1,5 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO		Fecha	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:1	ISO 2768-m				
Lámina: 19 / 24		SOPORTE BIPEDESTACIÓN "B"			



Tolerancia general ± 0.2

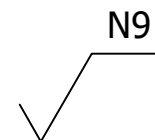
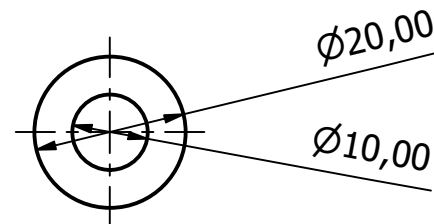
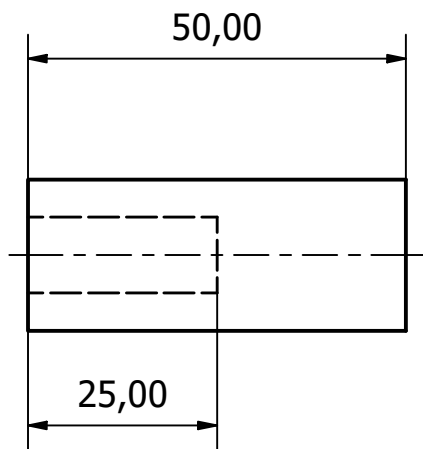
Todos los agujeros pasantes de 8mm tienen tolerancia dimensional H7 de 8,00-8,02

19	2	Eslabón Espaldar A	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 10 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:2	ISO 2768-m	ESLABÓN ESPALDAR "A"			
Lámina:	20 / 24				

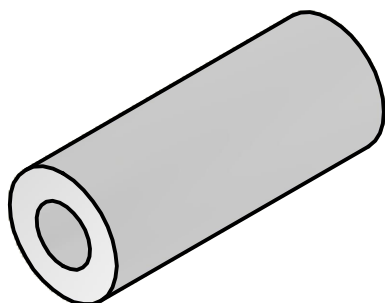


Tolerancia general ± 0.2
 Todos los agujeros pasantes
 de 8mm tienen tolerancia
 dimensional H7 de
 8,00-8,02

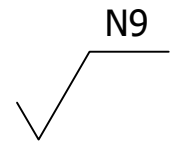
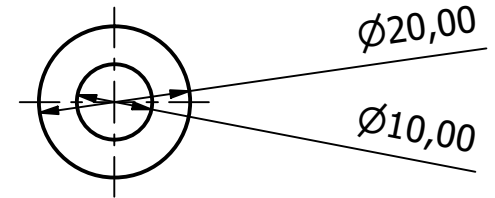
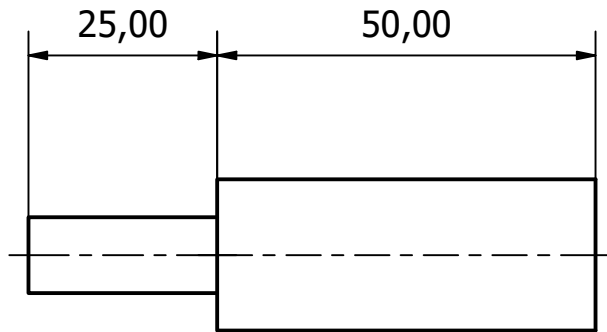
20	1	Eslabón Espaldar B	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 10 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:1	ISO 2768-m	ESLABÓN ESPALDAR "B"			
Lámina:	21 / 24				



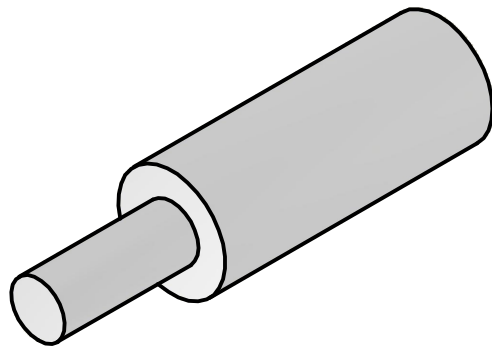
Tolerancia general ± 0.2



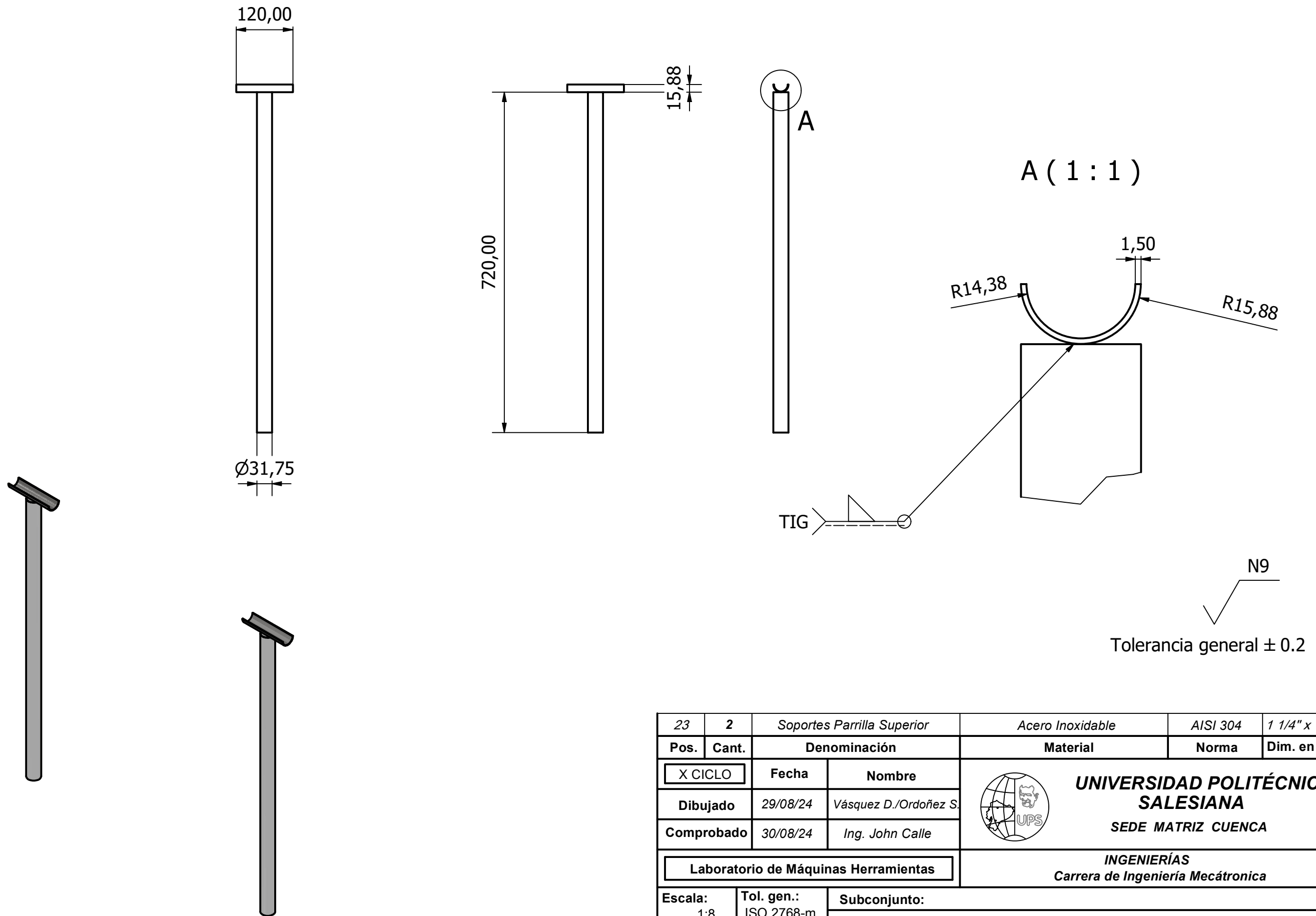
21	10	Buje Bisagra Menor	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 20 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:4	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 22 / 24	BUJE BISAGRA MENOR				

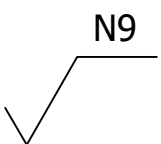


Tolerancia general ± 0.2



22	10	Buje Bisagra Mayor	Acero Inoxidable	AISI 304	Espesor 20 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:1	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 23/24	BUJE BISAGRA MAYOR				



 N9
 Tolerancia general ± 0.2

23	2	Soportes Parrilla Superior	Acero Inoxidable	AISI 304	1 1/4" x 1.5mm
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Dim. en Bruto
X CICLO		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	29/08/24	Vásquez D./Ordoñez S.			
Comprobado	30/08/24	Ing. John Calle			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:8	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: 24 / 24		SOPORTES PARRILLA SUPERIOR			