

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño de un bipedestador de accionamiento eléctrico para adultos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Ken Alexander Asencio Holguin

Michael Steven Gaibor Espinoza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres Miguel Asencio e Isabel Holguin por su comprensión, amor y apoyo incondicional, a mis hermanos y primos para demostrarles que todo lo que uno se propone lo puede cumplir y que nunca deben desistir de sus objetivos, a mi pareja por su apoyo total a lo largo de mi carrera y a mis amigos que hicieron que mi trayectoria universitaria sea agradable.

Ken Alexander Asencio Holguin

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mi familia, amigos y acompañantes durante mi vida universitaria debido a que por ellos logré lo que tanto anhelaba mediante esfuerzo y paciencia, tendré en cuenta las acciones que formaron mi carácter para desenvolverme de la mejor manera en mi vida profesional, de verdad muchas gracias a cada una de las personas que he llegado a conocer.

Michael Steven Gaibor Espinoza

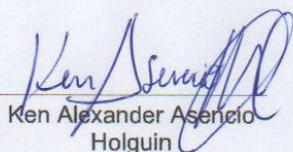
AGRADECIMIENTOS

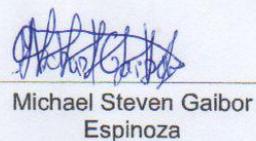
Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a todos los docentes, estudiantes y profesionales que nos han guiado y apoyado a lo largo de nuestra carrera, un agradecimiento especial al Ing. Francis Loayza y al Ec. Xavier Avellan por ser apoyo constante en la elaboración del presente proyecto.

Ken Asencio & Michael Gaibor

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Ken Alexander Asencio Holguin y Michael Steven Gaibor Espinoza damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"


Ken Alexander Asencio
Holguin


Michael Steven Gaibor
Espinoza

EVALUADORES

PhD. Francis Roderich Loayza Paredes

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Francis Roderich Loayza Paredes

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Actualmente, Ecuador no cuenta con empresas especializadas en dispositivos de rehabilitación física para pacientes adultos con discapacidad motriz en las extremidades inferiores, lo que implica asistencia de terceras personas para llevar su tratamiento, por esta razón se describe el estudio de un diseño de bipedestador eléctrico que permita al usuario poder estar de pie por su propia cuenta y mantener el beneficio terapéutico. Para definir el diseño se plantearon cuatro alternativas de solución conforme las especificaciones del bipedestador y se seleccionó la opción que más se adaptó a las necesidades del paciente. Posteriormente, mediante el programa de Inventor 2021 se realizó el diseño inicial de cada elemento del bipedestador y consecuentemente el análisis de elementos finitos para obtener los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad. Por medio de iteración se logró determinar si los materiales iniciales eran adecuados para resistir los esfuerzos aplicados en cada parte del bipedestador definiendo así al acero galvanizado y la madera como materiales pertinentes. Finalmente, el diseño permite la bipedestación del paciente mediante un actuador eléctrico, este puede ser utilizado por personas de 1,50 a 2 metros con hasta 75 kilogramos, ya que su modelo es ajustable considerando las medidas antropométricas del usuario, además se muestra la viabilidad del proyecto desde el punto de vista comercial, donde es rentable a partir del cuarto bipedestador, con un TIR y VAN de 39% y \$8.731,83 respectivamente.

Palabras Clave: Bipedestador, Accionamiento eléctrico, Discapacidad motriz en las extremidades inferiores, Rehabilitación física.

ABSTRACT

Currently, in Ecuador doesn't have specialized companies specializing in the design of physical rehabilitation devices for adult patients with motor disabilities in the lower extremities, and the therapy applied to them involves a caregiver. For this reason, the development of a standing frame will allow the user to stand up by himself and maintain the therapeutic benefit. The investigation proposed four alternatives to define the design according to the specifications of the standing frame and selected the best option to suit the patient. Subsequently, using Inventor 2021 software, the initial design of each element of the electrical stander was carried out. Consequently, the finite element analysis was performed to obtain the stress, strain, and safety factors. Through iteration, we could determine if the initial materials were the ones that could resist the stress applied in each part of the standing frame so it can define the galvanized steel and wood as relevant materials. Finally, the design allows the patient to stand by employing an electric actuator which can be used by people from 1.50 to 2 meters with up to 75 kilograms since its model is adjustable considering the anthropometric measurements of the patient. In addition, the commercial viability of the project is shown, where it is profitable from the fourth standing frame with an IRR and NPV of 39% and \$8,731.83, respectively.

Keywords: *Standing frame, Electric stander, Motor disabilities in the lower extremities, Physical rehabilitation.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
ÍNDICE DE PLANOS	XX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Discapacidad motriz.....	4
1.4.2 Estudio de bipedestadores.....	5
1.4.3 Tipos de bipedestadores	5
1.4.4 Análisis y determinación de cargas	8
1.4.5 Análisis de tensión	9
1.4.6 Soldadura	12
1.4.7 Actuadores de control	13
1.4.8 Batería	13

1.4.9	Controlador	13
CAPÍTULO 2		14
2.	METODOLOGÍA	14
2.1	Especificaciones del diseño.....	14
2.2	Alternativas de solución.....	15
2.3	Matriz de decisión.....	16
2.4	Diseño detallado de la alternativa ganadora	17
2.5	Especificaciones para el sistema de accionamiento del asiento	18
2.5.1	Alternativas para el sistema de accionamiento.....	18
2.5.2	Matriz de selección para el sistema de accionamiento	19
2.6	Especificaciones para el sistema de movimiento del bipedestador	19
2.6.1	Alternativas para el sistema de movimiento	19
2.6.2	Matriz de selección para el sistema de movimiento.....	20
2.7	Diseño de forma	21
2.8	Dimensionamiento del diseño	21
2.9	Elementos del diseño seleccionado	22
2.10	Diseño detallado.....	24
2.10.1	Sistema soporte de pies.....	25
2.10.2	Sistema de manubrio	30
2.10.3	Sistema de ruedas	33
2.10.4	Sistema de mesa	36
2.10.5	Sistema ajuste de rodillas	41
2.10.6	Sistema actuador	44
2.10.7	Sistema de columna-asiento	45
2.10.8	Resolución del sistema mecánico	50
2.10.9	Sistema de pernería.....	50

2.11	Método de obtención de resultados	51
2.11.1	Sistema mecánico	51
2.11.2	Sistema eléctrico	52
2.12	Condiciones de la rueda motorizada y batería	52
2.13	Diseño del sistema electrónico de control	52
CAPÍTULO 3		54
3.	Resultados	54
3.1	Desarrollo de la parte mecánica:	54
3.1.1	Mesa	54
3.1.2	Soporte de mesa	56
3.1.3	Elevador de mesa	58
3.1.4	Asiento	60
3.1.5	Soporte de asiento	62
3.1.6	Actuador eléctrico	64
3.1.7	Rodillera	66
3.1.8	Soportes de rodillera	68
3.1.9	Placa deslizadora	70
3.1.10	Elevador de rodilleras	72
3.1.11	Ajusta pie	74
3.1.12	Reposapiés	76
3.1.13	Plataforma reposapiés	78
3.1.14	Ruedas giratorias	81
3.1.15	Conexión manubrio y rueda	83
3.1.16	Manubrio	85
3.1.17	Batería y rueda motorizada	87
3.1.18	Soporte de columna con empuñadura	90

3.1.19	Elementos del sistema mecánico	92
3.1.20	Pernería	92
3.1.21	Circuito eléctrico.....	93
3.1.22	Costos generales	94
3.2	Proyección de ventas general.....	96
CAPÍTULO 4		97
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
4.1	Conclusiones.....	101
4.2	Recomendaciones.....	102
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FOS	Factor de Seguridad
FEA	Análisis de Elemento Finitos
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
SEL	Sistema de Ecuaciones Lineales
PET	Tereftalato de Polietileno
MDF	Fibropanel de Densidad Media
AS	Aleación de Acero
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
IHT	Transferencia de Calor Interactiva
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

SIMBOLOGÍA

Análisis de tensión

σ	Magnitud del esfuerzo principal.
n	Normal al plano principal.
$n_{x,y,z}$	Cosenos de la dirección del vector unitario n .
S_y	Resistencia a la fluencia del material.
σ'	Esfuerzo de Von Mises.

Mesa

W_{om}	Peso del objeto sobre la mesa.
W_m	Peso de la mesa.
F_{bu}	Fuerza del brazo del usuario.
F_m	Fuerza de la mesa.
F_{am}	Fuerza lateral de la mesa.
F_{pm}	Fuerza del perno de la mesa.
F_{tm}	Fuerza de la tuerca de la mesa.
M_{am}	Momento lateral de la mesa.
M_{pm}	Momento del perno de la mesa.
M_{tm}	Momento de la tuerca de la mesa.

Soporte de mesa

W_{sm}	Peso del soporte de mesa.
R_{smh}	Reacción del soporte mesa horizontal.
R_{smp}	Reacción del soporte mesa perpendicular.
R_{smy}	Reacción del soporte mesa vertical.
M_{rsmh}	Momento de la reacción del soporte mesa horizontal.
M_{rsmp}	Momento de la reacción del soporte mesa perpendicular.
M_{rsmy}	Momento de la reacción del soporte mesa vertical.

Elevador de mesa

W_l	Peso del soporte en L.
F_{pcs}	Fuerza de pasador de la columna superior.
F_{pcs1}	Fuerza de pasador de la columna superior primer componente.
F_{pcs2}	Fuerza de pasador de la columna superior segundo componente.
M_{pcs}	Momento de pasador de la columna superior.
M_{pcs1}	Momento de pasador de la columna superior primer componente.
M_{pcs2}	Momento de pasador de la columna superior segundo componente.

Asiento

W_a	Peso del asiento.
F_u	Fuerza del usuario.
F_{sa}	Fuerza de soporte del asiento.
F_{pa}	Fuerza del perno del asiento.
F_{pah}	Fuerza del perno del asiento lado horizontal.
F_{psdap}	Fuerza del perno del asiento lado perpendicular.
M_{pa}	Momento del perno del asiento.
M_{pah}	Momento del perno del asiento lado horizontal.
M_{psdap}	Momento del perno del asiento lado perpendicular.

Soporte de asiento

W_{sa}	Peso del soporte asiento.
F_{pasx}	Fuerza de pasador del actuador superior componente x.
F_{pasy}	Fuerza de pasador del actuador superior componente y.
F_{psah}	Fuerza de pasador del soporte asiento lado horizontal.
F_{psap}	Fuerza de pasador del soporte asiento lado perpendicular.
F_{psav}	Fuerza de pasador del soporte asiento lado vertical.
M_{psah}	Momento de pasador del soporte asiento lado horizontal.
M_{psav}	Momento de pasador del soporte asiento lado vertical.

Actuador lineal

W_{ac}	Peso del actuador.
α	Ángulo del actuador eléctrico.
F_{paix}	Fuerza de pasador del actuador inferior componente x.
F_{paiy}	Fuerza de pasador del actuador inferior componente y.

Rodillera

W_{ro}	Peso de la rodilla.
F_{ro}	Fuerza de la rodilla.
$F_{prs,pri}$	Fuerza de pasador de rodillera (superior e inferior).
$F_{prsh,prih}$	Fuerza de pasador de rodillera (superior e inferior) horizontal.
$F_{prsp,prisp}$	Fuerza de pasador de rodillera (superior e inferior). perpendicular.
$M_{prs,pri}$	Momento de pasador de rodillera (superior e inferior).
$M_{prsh,prih}$	Momento de pasador de rodillera (superior e inferior) horizontal.
$M_{prsp,prisp}$	Momento de pasador de rodillera (superior e inferior) perpendicular.

Soporte de rodillera

W_{sr}	Peso del soporte de rodillera.
F_{psr1}	Fuerza de la perilla del soporte de rodillera.
F_{psrh1}	Fuerza de la perilla del soporte de rodillera horizontal.
F_{psrp1}	Fuerza de la perilla del soporte de rodillera perpendicular.
M_{psr1}	Momento de la perilla del soporte de rodillera.
M_{psrh1}	Momento de la perilla del soporte de rodillera horizontal.
M_{psrp1}	Momento de la perilla del soporte de rodillera perpendicular.

Placa deslizador

W_{pdr}	Peso de la placa deslizador.
F_{kppdrc}	Fuerza de fricción de la perilla de placa deslizador de rodilla y columna.
F_{ppdrc}	Fuerza perilla de placa deslizador de rodilla y columna.
F_{ppdrch}	Fuerza perilla de placa deslizador de rodilla y columna lado horizontal.
F_{erpd}	Fuerza del elevador de rodilla en la placa deslizador.
F_{erpdh}	Fuerza del elevador de rodilla en la placa deslizador horizontal.
M_{ppdrc}	Momento de la perilla de placa deslizador de rodilla y columna.

Elevador de rodilleras

W_{er}	Peso del elevador de rodillera.
F_{kerc}	Fuerza de fricción del elevador de la rodillera y columna.
F_{erc}	Fuerza del elevador de la rodillera y columna.
F_{erch}	Fuerza del elevador de la rodillera y columna lado horizontal.
M_{erc}	Momento del elevador de la rodillera y columna.

Ajusta-pie

W_{ap}	Peso del ajusta-pie.
F_{ppu}	Fuerza posterior del pie del usuario.
F_{aap}	Fuerza del ajusta-pie.
F_{pap}	Fuerza del perno ajusta-pie.
F_{tap}	Fuerza de la tuerca ajusta-pie.
M_{aap}	Momento del ajusta-pie.
M_{pap}	Momento del perno ajusta-pie.
M_{tap}	Momento de la tuerca ajusta-pie.

Reposapiés

W_b	Peso de la batería.
W_{ce}	Peso de los componentes electrónicos.
W_r	Peso del reposapiés.
F_{pu}	Fuerza de pie del usuario.
W_{bce}	Peso de la batería y componentes electrónicos.
F_{pr}	Fuerza del perno de reposapiés.
F_{ap}	Fuerza lateral del perno.
F_{tr}	Fuerza de la tuerca del reposapiés.
M_{ap}	Momento lateral del perno.
M_{pr}	Momento del perno de reposapiés.
M_{tr}	Momento de la tuerca del reposapiés.

Plataforma reposapiés

W_{pr}	Peso de la plataforma reposapiés.
F_{acmr}	Fuerza lateral de la conexión manubrio y rueda.
F_{cmr}	Fuerza conexión manubrio y rueda.
F_{frc}	Fuerza del freno de rueda de la conexión.
F_{arg}	Fuerza lateral de la rueda giratoria.
$F_{f_{rgpr}}$	Fuerza de la fricción de la rueda giratoria en la plataforma reposapiés.
F_{rg}	Fuerza de la rueda giratoria.
M_{acmr}	Momento lateral de la conexión manubrio y rueda.
M_{frc}	Momento del freno de rueda de la conexión.
$M_{f_{rgpr}}$	Momento de la fricción de la rueda giratoria en la plataforma reposapiés.
M_{arg}	Momento lateral de la rueda giratoria.
M_{rg}	Momento de la rueda giratoria.

Rueda giratoria

W_{rg}	Peso de la rueda giratoria.
$F_{f_{rg}}$	Fuerza de fricción de la rueda giratoria.
F_{rgl}	Fuerza de la rueda giratoria horizontal.
N_{rg}	Normal de la rueda giratoria.
$M_{f_{rg}}$	Momento de fricción de la rueda giratoria.
$M_{f_{rgl}}$	Momento de la rueda giratoria horizontal.
M_{nrg}	Momento normal de la rueda giratoria.

Conexión manubrio y rueda

W_{crm}	Peso de la conexión manubrio y rueda.
F_{arm}	Fuerza lateral de la rueda motorizada.
F_{crm}	Fuerza de la conexión manubrio y rueda.
F_{fr}	Fuerza del freno de la rueda.
M_{fr}	Momento del freno de la rueda.
M_{arm}	Momento lateral de la rueda motorizada.
M_{crm}	Momento de la conexión manubrio y rueda.

Manubrio

W_{ma}	Peso del manubrio.
F_{pmu}	Fuerza del peso de la mano del usuario.
F_{ma}	Fuerza del manubrio.
F_{mah}	Fuerza del manubrio horizontal.
F_{map}	Fuerza del manubrio perpendicular.
M_{ma}	Momento del manubrio.
M_{map}	Momento del manubrio perpendicular.
M_{mah}	Momento del manubrio horizontal.

Rueda motorizada

W_{rm}	Peso de la rueda motorizada.
F_{frm}	Fuerza de la fricción de la rueda motorizada.
F_{rml}	Fuerza de la rueda motorizada lateral.
N_{rm}	Normal de la rueda motorizada.
M_{frm}	Momento de la fricción de la rueda motorizada.
M_{rml}	Momento de la rueda motorizada lateral.
M_{nrm}	Momento de la normal de la rueda motorizada.

Soporte de columna con empuñadura

W_c	Peso de la columna.
F_{pc}	Fuerza de puño de la columna.
F_{pci}	Fuerza de pasador de la columna inferior.
F_{cp}	Fuerza de la columna en la plataforma.
F_{pcz}	Fuerza de la plataforma en columna lado horizontal Z.
M_{cp}	Momento de la columna en la plataforma.
M_{pci}	Momento de pasador de la columna inferior.
M_{pcz}	Momento de la plataforma en columna lado horizontal Z.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Tipos de bipedestadores	6
Figura 1-2 Diseño de bipedestador standing	6
Figura 1-3 Diseño de bipedestador supino	7
Figura 1-4 Diseño de bipedestador tabla supino.....	7
Figura 1-5 Diseño de bipedestador standing en abducción	8
Figura 1-6 Esfuerzos normales principales.....	10
Figura 1-7 Esfuerzos cortantes principales.....	11
Figura 2-1 Planteamiento de alternativas de solución.....	16
Figura 2-2 Criterios de diseño del accionamiento para el asiento.....	18
Figura 2-3 Descripción de alternativas de accionamiento	18
Figura 2-4 Criterio de diseño del movimiento para el bipedestador	19
Figura 2-5 Descripción de alternativas de movimiento.....	20
Figura 2-6 Vistas del diseño de forma	21
Figura 2-7 Medición del bipedestador referente al usuario	21
Figura 2-8 Vista en explosión de los elementos del dispositivo	23
Figura 2-9 Diseño inicial de reposapiés	25
Figura 2-10 DCL del reposapiés	25
Figura 2-11 Diseño inicial de la plataforma reposapiés.....	27
Figura 2-12 DCL de la plataforma reposapiés	27
Figura 2-13 Diseño inicial del ajusta-pie	29
Figura 2-14 DCL del ajusta-pie.....	29
Figura 2-15 Diseño inicial de la conexión manubrio y rueda	30
Figura 2-16 DCL de la conexión manubrio y rueda.....	31
Figura 2-17 Diseño inicial del manubrio.....	32
Figura 2-18 DCL del manubrio.....	32
Figura 2-19 Diseño inicial de la rueda motorizada	33
Figura 2-20 DCL de la rueda motorizada.....	34
Figura 2-21 Diseño inicial de la rueda giratoria.....	35
Figura 2-22 DCL de la rueda giratoria.....	35
Figura 2-23 Diseño inicial del elevador de mesa	36
Figura 2-24 DCL del elevador de mesa	37

Figura 2-25 Diseño inicial del soporte de mesa	38
Figura 2-26 DCL del soporte de mesa	38
Figura 2-27 Diseño inicial de la mesa	39
Figura 2-28 DCL de la mesa.....	40
Figura 2-29 Diseño inicial del sistema completo de ajuste de rodillas.....	41
Figura 2-30 DCL del sistema ajuste de rodillas.....	42
Figura 2-31 Diseño inicial del actuador lineal.....	44
Figura 2-32 DCL del actuador lineal	44
Figura 2-33 Diseño inicial del soporte asiento	45
Figura 2-34 DCL del soporte asiento	46
Figura 2-35 Diseño inicial de la columna con empuñadura.....	47
Figura 2-36 DCL de la columna con empuñadura	47
Figura 2-37 Diseño inicial del asiento	48
Figura 2-38 DCL del asiento.....	49
Figura 2-39 Diagrama de la resolución en cadena de los elementos mecánicos	50
Figura 2-40 Diseño inicial de la perilla	50
Figura 2-41 Diagrama de flujo del sistema de control	53
Figura 3-1 DCL de la mesa.....	54
Figura 3-2 Distribución de esfuerzos en la mesa	55
Figura 3-3 DCL del soporte de mesa	56
Figura 3-4 Distribución de esfuerzos en el soporte de mesa	57
Figura 3-5 DCL del elevador de mesa	58
Figura 3-6 Distribución de esfuerzos en el elevador de mesa.....	59
Figura 3-7 DCL del asiento.....	60
Figura 3-8 Distribución de esfuerzos en el asiento	61
Figura 3-9 DCL del soporte de asiento	62
Figura 3-10 Distribución de esfuerzos en el soporte de asiento.....	63
Figura 3-11 DCL del actuador eléctrico	64
Figura 3-12 Catálogo de dimensiones del actuador lineal.....	65
Figura 3-13 DCL de la rodillera.....	66
Figura 3-14 Distribución de esfuerzos en las rodilleras.....	67
Figura 3-15 DCL de soportes de rodillera	68
Figura 3-16 Distribución de esfuerzos en los soportes de rodillera	69

Figura 3-17 DCL de placa deslizadora.....	70
Figura 3-18 Distribución de esfuerzos en la placa deslizadora	71
Figura 3-19 DCL del elevador de rodilleras	72
Figura 3-20 Distribución de esfuerzos del elevador de rodilleras	73
Figura 3-21 DCL del ajusta pie	74
Figura 3-22 Distribución de esfuerzos del ajusta pie.....	75
Figura 3-23 DCL del reposapiés	76
Figura 3-24 Distribución de esfuerzos del reposapiés	77
Figura 3-25 DCL de la plataforma reposapiés	78
Figura 3-26 Distribución de esfuerzos de la plataforma reposapiés modo standing..	79
Figura 3-27 Distribución de esfuerzos en modo no-standing	80
Figura 3-28 DCL de la rueda giratoria.....	81
Figura 3-29 Catálogo de dimensiones de las ruedas giratorias	82
Figura 3-30 DCL de la conexión manubrio y rueda.....	83
Figura 3-31 Distribución de esfuerzos de la conexión manubrio y rueda	84
Figura 3-32 DCL del manubrio.....	85
Figura 3-33 Distribución de esfuerzos del manubrio	86
Figura 3-34 DCL de la rueda motorizada.....	87
Figura 3-35 Catálogo de dimensiones de la rueda motorizada	88
Figura 3-36 Tabla de valores asociados al uso de la rueda motorizada	89
Figura 3-37 DCL del soporte columna	90
Figura 3-38 Distribución de esfuerzos en el soporte columna cuando está sentado .	91
Figura 3-39 Representación del circuito eléctrico	93
Figura 3-40 Código Arduino para el actuador	94
Figura A-1 Resolución de ecuaciones mediante el programa IHT	106
Figura A-2 Fuerzas internas para cada elemento	106
Figura A-3 Cálculos para los costos generales.....	108
Figura A-4 Cálculos para la proyección de ventas.....	108
Figura A-5 Circuito eléctrico	109
Figura A-6 Licencia estudiantil de Autodesk Inventor	109
Figura A-7 Manual de Operación.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 De Demxter para el cálculo del peso de los segmentos corporales	9
Tabla 1-2 Factores de seguridad típicos	12
Tabla 2-1 Matriz de decisión para el diseño del bipedestador	17
Tabla 2-2 Matriz de decisión para el movimiento del asiento	19
Tabla 2-3 Matriz de decisión para el movimiento del bipedestador	20
Tabla 2-4 Medidas del usuario y bipedestador	22
Tabla 2-5 Dimensiones del dispositivo.....	22
Tabla 2-6 Lista de elementos del diseño	23
Tabla 3-1 Valores de entrada de la mesa	54
Tabla 3-2 Fuerzas internas en la mesa.....	55
Tabla 3-3 Resumen de resultados en la mesa.....	55
Tabla 3-4 Valores de entrada del soporte de mesa	56
Tabla 3-5 Fuerzas internas en el soporte de mesa	56
Tabla 3-6 Resumen de resultados en soporte de mesa.....	57
Tabla 3-7 Valores de entrada del elevador de mesa.....	58
Tabla 3-8 Fuerzas internas en el elevador de mesa	58
Tabla 3-9 Resumen de resultados en elevador de mesa	59
Tabla 3-10 Valores de entrada del asiento	60
Tabla 3-11 Fuerzas internas en el asiento.....	60
Tabla 3-12 Resumen de resultados en el asiento	61
Tabla 3-13 Valores de entrada del soporte de asiento.....	62
Tabla 3-14 Fuerzas internas del soporte de asiento	62
Tabla 3-15 Resumen de resultados del soporte de asiento	63
Tabla 3-16 Valores de entrada del actuador eléctrico.....	64
Tabla 3-17 Fuerzas internas del actuador eléctrico	64
Tabla 3-18 Especificaciones del actuador lineal	65
Tabla 3-19 Valores de entrada de las rodilleras.....	66
Tabla 3-20 Fuerzas internas de las rodilleras	66
Tabla 3-21 Resumen de resultados de las rodilleras	67
Tabla 3-22 Valores de entrada de soportes de rodillera	68
Tabla 3-23 Fuerzas internas de soportes de rodillera	68

Tabla 3-24 Resumen de resultados de soportes de rodillera	69
Tabla 3-25 Valores de entrada de placa deslizadora	70
Tabla 3-26 Fuerzas internas de placa deslizadora	70
Tabla 3-27 Resumen de resultados de la placa deslizadora	71
Tabla 3-28 Valores de entrada del elevador de rodilleras	72
Tabla 3-29 Fuerzas internas del elevador de rodilleras	72
Tabla 3-30 Resumen de resultados del elevador de rodilleras	73
Tabla 3-31 Valores de entrada del ajusta pie.....	74
Tabla 3-32 Fuerzas internas del ajusta pie	74
Tabla 3-33 Resumen de resultados del ajusta pie	75
Tabla 3-34 Valores de entrada del reposapiés	76
Tabla 3-35 Fuerzas internas del reposapiés	76
Tabla 3-36 Resumen de resultados del reposapiés	77
Tabla 3-37 Valores de entrada de la plataforma reposapiés	78
Tabla 3-38 Fuerzas internas de la plataforma reposapiés standing	79
Tabla 3-39 Fuerzas internas de la plataforma reposapiés no standing	79
Tabla 3-40 Resumen de resultados de la plataforma reposapiés standing	80
Tabla 3-41 Resumen de resultados de la plataforma reposapiés no standing	80
Tabla 3-42 Valores de entrada de la rueda giratoria	81
Tabla 3-43 Fuerzas internas de las ruedas giratorias	81
Tabla 3-44 Especificaciones de las ruedas giratorias	82
Tabla 3-45 Valores de entrada de la conexión manubrio y rueda	83
Tabla 3-46 Fuerzas internas de la conexión manubrio y rueda.....	84
Tabla 3-47 Resumen de resultados de la conexión manubrio y rueda.....	84
Tabla 3-48 Valores de entrada del manubrio	85
Tabla 3-49 Fuerzas internas del manubrio	85
Tabla 3-50 Resumen de resultados del manubrio	86
Tabla 3-51 Especificaciones de la batería	87
Tabla 3-52 Valores de entrada de la rueda motorizada	87
Tabla 3-53 Fuerzas internas de la rueda motorizada.....	88
Tabla 3-54 Especificaciones de la rueda motorizada.....	89
Tabla 3-55 Valores de entrada del soporte columna.....	90
Tabla 3-56 Fuerzas internas del soporte columna con usuario de pie	90

Tabla 3-57 Fuerzas internas del soporte columna con usuario sentado	91
Tabla 3-58 Resumen de resultados del soporte columna	91
Tabla 3-59 Lista de materiales de la estructura mecánica	92
Tabla 3-60 Lista de elementos para pernería	93
Tabla 3-61 Costos globales	95
Tabla 3-62 Proyección de venta	96
Tabla 3-63 Punto de equilibrio por unidades vendidas	96
Tabla 3-64 Análisis de inversión	96
Tabla A-1 Costo de la tubería estructural	107
Tabla A-2 Lista de materiales del sistema eléctrico	107

ÍNDICE DE PLANOS

Plano A-1 Mesa.....	112
Plano A-2 Soporte de mesa.....	113
Plano A-3 Elevador de mesa	114
Plano A-4 Asiento.....	115
Plano A-5 Soporte de asiento.....	116
Plano A-6 Rodillera.....	117
Plano A-7 Soporte de rodilla.....	118
Plano A-8 Placa deslizadora.....	119
Plano A-9 Elevador de rodilleras	120
Plano A-10 Ajusta-pie.....	121
Plano A-11 Reposapiés.....	122
Plano A-12 Plataforma reposapiés	123
Plano A-13 Conexión manubrio y rueda	124
Plano A-14 Manubrio.....	125
Plano A-15 Columna con empuñadura.....	126
Plano A-16 Máxima dimensión del bipedestador	127
Plano A-17 Mínima dimensión del bipedestador	128
Plano A-18 Lista de materiales del bipedestador eléctrico.....	129
Plano A-19 Vista frontal y posterior del bipedestador	130
Plano A-20 Vista superior e inferior del bipedestador	131
Plano A-21 Vista lateral e isométrica del bipedestador	132

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según el consejo de discapacidades del gobierno del Ecuador (CONADIS, 2022), la discapacidad más predominante en el país es la de tipo física y el rango de edad que más se ve afectado se encuentra entre los 19 y 64 años, lo cual da paso a criterios de discapacidad por daños en el sistema óseo, falta de motricidad, ausencia de extremidades, entre otras; estas traen consigo diferentes efectos en las enfermedades de los pacientes por lo que deben cumplir ciertos tratamientos y terapias para evitar desarrollarse en un futuro.

Entre las discapacidades motoras más frecuentes, se encuentra la incapacidad para la deambulación o el desarrollo de la puesta en marcha y la bipedestación, para lo cual se requiere un perfecto equilibrio entre la musculatura anti gravitatoria, actividad proximal y distal, además de un adecuado ciclo de contracción y relajación muscular. (Daza, S. & Fernandez, G., 2011)

Para promover la postura bípeda existen diferentes tipos de bipedestadores, los cuales permiten al paciente estar de pie y generar beneficios directos hacia su salud. Actualmente la mayoría de los diseños son propuestos y fabricados fuera del Ecuador. Por lo tanto, se requiere diseñar un dispositivo económico y nacional que permita mantener la posición vertical del usuario y que cuente con accionamiento eléctrico.

1.1 Definición del Problema

La postura vertical es una posición natural del ser humano; sin embargo, pacientes con falta de motricidad o con lesiones conjuntas requieren de dispositivos mecánicos para tratar su falta de bipedestación y así ejercer las actividades de la vida cotidiana.

En el Ecuador no se cuenta con suficiente ayuda técnica, ni con la elaboración de productos que permitan la apropiada rehabilitación física de pacientes con este tipo de discapacidades, lo que conlleva a decaimientos en su salud, la falta de independencia y altos gastos médicos por tratamientos.

Para su diseño es importante considerar especificaciones técnicas que brinden al usuario la mayor seguridad, comodidad y resistencia para su correcta realización, de tal manera que se cumplan con satisfacción los requerimientos básicos del cliente.

Dentro de los requerimientos aplicables cabe destacar:

- **Salud Pública:** Con el diseño propuesto se promueven los beneficios de la bipedestación y el uso de este dispositivo en pacientes con problemas colaterales a la discapacidad motriz inferior, esto va en correlación con los costos de servicios de salud, ya que el dispositivo actúa como tratamiento terapéutico preventivo de los usuarios y con ello disminuye los costos asociados.
- **Seguridad y bienestar:** Con el proyecto se trata de implementar un dispositivo que mantenga a los usuarios protegidos mientras realicen todas las actividades del diario vivir y conforme ello vaya mejorando su condición física.
- **Aspectos globales:** Se emplea para competir en el mercado internacional, ya que es un producto limitado en Suramérica y con muchas posibles mejoras.
- **Aspectos culturales:** Se destina para el cambio de la calidad de vida del paciente, para mejorar su interacción y facilitar la adaptación del usuario con su entorno.
- **Aspectos sociales:** Mediante la implementación del diseño de este dispositivo, se amplía la oportunidad de interactuar cara a cara con los demás en cualquier entorno social, mejorando la interacción del paciente.

- **Aspectos ambientales:** Con el proyecto se fomenta el ciclo de vida de los materiales que quedan varados como chatarra para uso en posibles versiones ecosostenibles.
- **Aspectos económicos:** La fabricación de estos dispositivos generan circulación de materia prima local y nuevas plazas de trabajo mejorando la capitalización del mercado de la salud y bienestar nacional.

1.2 Justificación del proyecto

El diseño de un dispositivo que permita la bipedestación es de vital importancia como asistencia terapéutica ya que genera beneficios como; adaptación de postura recta, mejor calidad de vida, desarrollo de musculatura, equilibrio del cuerpo, mejor circulación sanguínea, mejora la digestión, entre otras, lo que produce al paciente mayor independencia y permite desarrollar sus actividades diarias con mayor facilidad. Además, provoca en el paciente un beneficio psicológico por brindarle la oportunidad de poder ponerse de pie.

Asimismo, se forma la posibilidad de ayudar a personas que cuentan con algún tipo de discapacidad similar, de esta forma el diseño puede ser capaz de evolucionar y adaptarse a los diferentes cambios tecnológicos en la medicina para ayudar a que las terapias motrices puedan ser ejecutadas de manera diferente y con igual eficacia.

Actualmente, estos diseños de bipedestadores con accionamiento eléctricos se fabrican en países altamente desarrolladas, con tecnologías que mejoran radicalmente la calidad de vida de los pacientes, provocando que participen independientemente en sus labores diarias e integrándolos en la sociedad. Sin embargo, estos equipos rondan en precios mínimos de aproximadamente 3300 dólares americanos.

Por lo tanto, el proyecto tiene como finalidad, crear un diseño económico que pueda contar con un mecanismo de bipedestación propulsado eléctricamente, para que luego de su investigación y análisis el diseño sea capaz de

construirse y comercializarse en el Ecuador. Todos los resultados de este trabajo pueden ser utilizados como base para el diseño de próximos bipedestadores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un dispositivo de bipedestación orientado a usuarios con discapacidad en sus extremidades inferiores mediante un sistema de accionamiento eléctrico para que le brinde al paciente el control de la postura vertical.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Indagar sobre la bipedestación y los tipos de bipedestadores existentes.
2. Diseñar cuatro alternativas de solución que cumplan con las necesidades del cliente.
3. Realizar el diseño detallado del dispositivo de bipedestación seleccionado considerando el diseño estructural y mecanismo de control.
4. Ejecutar simulaciones estructurales para cada elemento del bipedestador.
5. Estimar el precio del bipedestador basado en el costo de fabricación, materiales y mano de obra referente al mercado nacional.
6. Elaborar un manual de operación para el uso y cuidado del bipedestador.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Discapacidad motriz

La caracterización de la discapacidad motriz se identifica como un cambio en la capacidad del movimiento, la cual afecta en diferentes proporciones la manipulación o la movilidad del ser humano, por ende, limita la interacción social y el desarrollo personal de quien lo padece. Tienen origen cuando hay alteración en músculos, articulaciones o huesos, o también por daños cerebrales que afectan el área motriz de la persona y les impide moverse de manera correcta y precisa. (CONAFE, 2010)

Este tipo de discapacidad se divide en dos trastornos:

1. Trastornos físicos: Se caracterizan por afectar de manera directa los músculos, huesos, articulaciones y extremidades del ser humano, estos trastornos tienen suceso desde el nacimiento o se forman por enfermedades en su niñez. (CONAFE, 2010)
2. Trastornos neurológicos: Se define como el daño generado en el cerebro, el cual limita el tránsito de transportar información de movimiento a todo el cuerpo humano, tal cual la parálisis o traumatismos. (CONAFE, 2010)

1.4.2 Estudio de bipedestadores

Los bipedestadores son dispositivos mecánicos cuya ocupación es ayudar a colocar en posición bípeda a una persona en que no tienen la capacidad de hacerlo por su propia cuenta, con la finalidad de mejorar la circulación sanguínea, mejorar las funciones renales, digestivas, urinarias y respiratorias, aparte de permitir mantener los músculos de las extremidades inferiores. (Saavedra, García & San Antonio , 2013)

1.4.3 Tipos de bipedestadores

Existen múltiples discapacidades que son tratadas con terapias físicas, los bipedestadores también ayudan a seguir estos tratamientos como método de prevención, por lo que existen varios tipos de bipedestadores con diferentes características, según (Bermejo Franco, 2012) entre ellos se tiene:

TIPOS DE BIPEDESTADORES

Plano ventral: Se enfoca en ubicar a una persona en posición prona sujetando el tronco, pelvis y las extremidades. Se aplica con beneficios fisiológicos de las cargas.

Supino: Mantiene posición supina y admite un alto nivel de interacción con el entorno, no cuenta con soporte de extremidades superiores.

Standing: Se emplea en personas capaces de controlar cabeza y tronco, pero sin control correcto de piernas y pelvis para mantener la bipedestación.

Standing en abducción: Se aplica para pacientes con tetraplejía y diplejía espástica lo que provoca que los aductores interfieran con la postura vertical.

Figura 1-1 Tipos de bipedestadores

Actualmente existen empresas y universidades que realizan diseños de diferentes tipos de bipedestadores eléctricos, por ejemplo:

1.4.3.1 Diseño de bipedestador eléctrico infantil.

Proyecto realizado en la universidad de La Frontera en Chile-Temuco, la propuesta se centra en un bipedestador dinámico que logre mantener en posición erguida al usuario, que sea de bajo costo y que permita en lo máximo posible el desplazamiento autónomo por medio de un mecanismo eléctrico. (Aros Oñate & Aros Beltran, 2010)

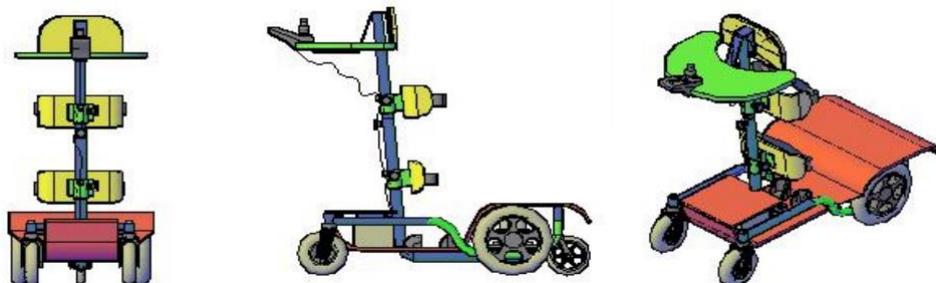


Figura 1-2 Diseño de bipedestador standing

1.4.3.2 Diseño de bipedestador para pacientes pediátricos con espina bífida.

Proyecto realizado en la universidad nacional de Colombia-Bogotá, la propuesta va dirigida a pacientes con espina bífida donde se requiere de un diseño de bipedestación que pueda ofrecer adecuadas condiciones de mantenimiento y condiciones musco-esqueléticas para terapias específicas, además de promover la bipedestación asistida a un bajo costo. (Quiñones, Robayo, & García, 2013)



Figura 1-3 Diseño de bipedestador supino

1.4.3.3 Bipedestador automatizado para rehabilitación de niños y preadolescentes.

Proyecto realizado en la universidad técnica del norte en Ecuador-Ibarra, la propuesta va dirigida a la rehabilitación de pacientes infantiles y preadolescentes con PCI leve, el fin del proyecto radica en desarrollar un dispositivo terapéutico con asistencia automatizada para generar beneficios a raíz de la bipedestación de los pacientes en centro de rehabilitación la Joya. (Conejo, 2021)

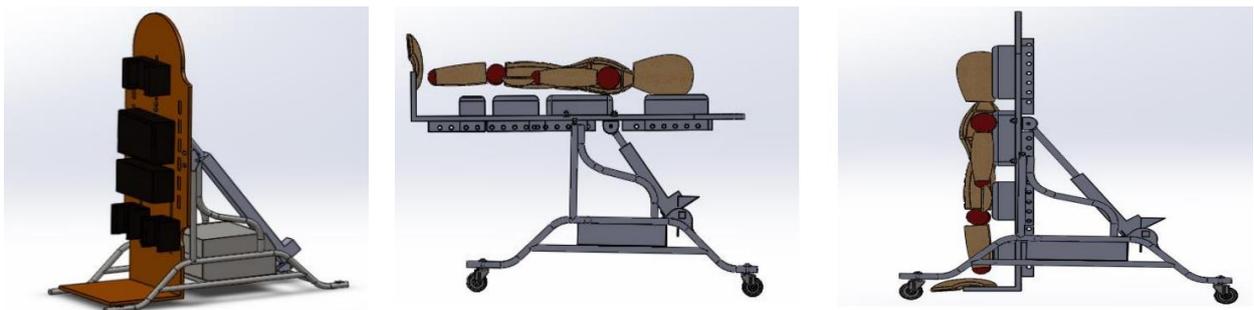


Figura 1-4 Diseño de bipedestador tabla supino

1.4.3.4 Mejora continua de un bipedestador móvil infantil: como elemento clave en la calidad del producto.

Proyecto realizado en la universidad de La Frontera en Chile-Temuco, la propuesta presenta las especificaciones mecánicas y eléctricas del sistema principal de movilidad para el bipedestador, la idea es proveer el máximo control al usuario con el mínimo esfuerzo posible, debido a su limitada motricidad. De esta manera se logra independizar al usuario con un control apropiado de su entorno. (Aros Oñate & Aros Beltran, 2011)



Figura 1-5 Diseño de bipedestador standing en abducción

1.4.4 Análisis y determinación de cargas

En la definición de las fuerzas internas y reacciones del sistema mecánico mediante las cargas externas estimadas, se emplean los siguientes temas según el libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley” (Budynas & Nisbett, 2008):

1.4.4.1 Análisis de cargas tridimensionales

Para un sistema tridimensional de cuerpos rígidos conectados en un análisis estático, la sumatoria de fuerzas en x, y, z se puede escribir como:

$$\sum F_{x,y,z} = 0 \quad (1.1)$$

Mientras que el momento de los tres planos del elemento, se realizó a partir de uno o más puntos para la descripción de las limitantes presentes.

$$\sum M_{xy,xz,yz} = 0 \quad (1.2)$$

1.4.4.2 Cargas por antropometría

Para obtener las fuerzas externas involucradas con el cuerpo humano, se utiliza la tabla 1.1 que indica el porcentaje de magnitud por cada uno de los segmentos corporales dependiendo del peso del usuario. (Mosquera, 2002)

Tabla 1-1 De Demxter para el cálculo del peso de los segmentos corporales

Cabeza y cuello	8,4%	Cabeza	73,8%
		Cuello	26,2%
Torso	50,0%	Tórax	43,8%
		Lumbar	29,4%
		Pelvis	26,8%
1 brazo entero (x2)	5,1%	Brazo (superior)	54,9%
		Antebrazo	33,3%
		Mano	11,8%
1 pierna entera (x2)	15,7%	Muslo	63,7%
		Pierna	27,4%
		Pie	8,9%

1.4.5 Análisis de tensión

Para el análisis de esfuerzo mediante el método FEA se emplea Inventor para diseñar el sistema mecánico brindando flexibilidad y velocidad al analizar. Este programa especializado permite a los diseñadores reducir el tiempo necesario para resolver varios fenómenos físicos relacionados durante todo el proceso de diseño, empleando así más tiempo para el análisis, la creatividad y la optimización. (Cruz, 2009)

El modelo deformado muestra límites de color que coinciden con los valores establecidos en la barra de colores. Además, se puede obtener una visualización de la malla de las partes que forman parte de la simulación, lo que permite configurar el tamaño del triángulo de la malla, el factor de modificación y el ángulo de giro para que la malla pueda construirse de manera idónea según el tipo de geometría que tenga la pieza o ensamble por analizar. Mediante FEA cada resultado proporciona información diferente sobre la influencia de las cargas en el elemento como:

1.4.5.1 Esfuerzos principales

Teniendo en cuenta que el esfuerzo normal y cortante de los elementos que componen el sistema siguen los principios matemáticos, como se describe en el libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley” (Budynas & Nisbett, 2008):

Relacionando esfuerzos aplicados y esfuerzos principales se tiene el caso tridimensional:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Desarrollando el determinante e igualando a cero se obtiene el tensor de esfuerzos:

$$\sigma^3 - C_2\sigma^2 - C_1\sigma - C_0 = 0 \quad (1.4)$$

Donde para las constantes del tensor de esfuerzos son:

$$\begin{aligned} C_2 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \\ C_1 &= \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_y\sigma_z - \sigma_z\sigma_x \\ C_0 &= \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{xy}^2 - \sigma_y\tau_{yz}^2 - \sigma_z\tau_{zx}^2 \end{aligned} \quad (1.5)$$

Obteniendo un polinomio cúbico, cuyas raíces son los esfuerzos principales $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

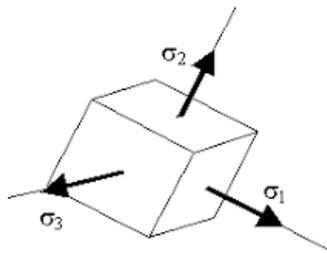


Figura 1-6 Esfuerzos normales principales

Por otro lado, los esfuerzos cortantes principales se obtienen a partir de $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, en el cual se emplea la ecuación 1.6 para cada uno de los esfuerzos normales principales.

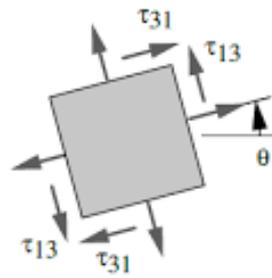


Figura 1-7 Esfuerzos cortantes principales

Se muestra la ecuación del esfuerzo cortante tridimensional:

$$\tau_{13} = \frac{|\sigma_1 - \sigma_3|}{2} \quad (1.6)$$

Recordando que la primera tensión principal indica el valor de tensión normal para el nivel donde la tensión de corte es cero, permitiendo comprobar el esfuerzo elástico máximo provocado por la pieza debido a la condición de carga. Mientras que la tercera tensión principal permite un procedimiento del plano normal donde el esfuerzo cortante es cero, ayudando a verificar la presión de tensión máxima causada en la pieza debido a la condición de carga.

1.4.5.2 Desplazamiento

Los resultados muestran la forma distorsionada del modelo después de aplicar la solución y determinan la cantidad de distorsión en comparación con la forma original.

1.4.5.3 Tensión de Von Mises

La simulación utiliza los resultados de FEA para indicar las tensiones calculadas. En el cual emplea las componentes x, y, z de los esfuerzos principales para obtener el esfuerzo de Von Mises: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad (1.7)$$

1.4.5.4 Factor de seguridad del diseño

Indica las áreas del modelo que probablemente fallen durante la carga, empleando en caso de falla estática la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles, que supone que la tasa de energía que hace que un componente cambie de forma, sea un factor relevante relacionado con la tensión del material. (Budynas & Nisbett, 2008)

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (1.8)$$

Por esta razón, cuanto mayor sea el número del FOS, más seguro será el elemento o la estructura. Un FOS de uno indica que la estructura o elemento fallará inmediatamente cuando se alcance la carga de diseño y ya no podrá soportar la carga. Es decir, las estructuras o equipos deben poder soportar más peso que el uso normal para ser más seguros. De modo que los sistemas se diseñan a propósito para que sean más robustos de lo que se requiere para una configuración normal. La siguiente tabla muestra los FOS utilizados. (Engineering ToolBox, 2010)

Tabla 1-2 Factores de seguridad típicos

Pernos	8.5
Para usar con materiales con características poco confiables y donde las condiciones ambientales y de carga no son severas, o cuando se usan materiales confiables en condiciones ambientales severas	3-4

1.4.6 Soldadura

Se considera un proceso de unión de materiales en el cual se funden parcialmente las piezas mediante la aplicación de calor y/o presión, entre estos procesos se presentan el arco eléctrico protegido y la soldadura oxiacetilénica; además el acero es uno de los materiales más utilizados para la soldadura, al ser una aleación de varios elementos químicos, especialmente hierro y carbono, a la que se le pueden añadir otros elementos químicos como azufre, fósforo, silicio y manganeso para mejorar y/o fortalecer sus principales propiedades mecánicas. (Instituto Politécnico Nacional, 2008)

1.4.7 Actuadores de control

1.4.7.1 Actuadores electrónicos

Son accionados por corriente eléctrica, en caso de que consuman una cantidad relevante de energía se emplean controladores, existen diversos tipos de actuadores electrónicos como LEDs, motores DC, electroválvulas, relé, servomotores, motor paso a paso, entre otros. (Gutiérrez & Sadi, 2017)

1.4.7.2 Actuadores lineales

Se encarga de convertir las señales eléctricas en ondas de presión en el aire para generar un movimiento recto y se emplean principalmente en válvulas y amortiguadores. (Gutiérrez & Sadi, 2017)

1.4.8 Batería

1.4.8.1 Batería de iones de litio y manganeso

Se caracteriza por su estabilidad a altas temperaturas y también son más seguras que otras baterías de iones de litio. Por esta razón, a menudo se utilizan en equipos médicos, ya que pueden proporcionar alta energía, potencia específica y ser térmicamente estables. Además, presenta una vida más larga de ciclos (1000-2000 ciclos), pero una menor densidad energética (140-200 W/kg). (Vertiv, 2017)

1.4.9 Controlador

1.4.9.1 Arduino UNO

Es una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basado en sistemas informáticos flexibles y fáciles de usar permitiendo que la construcción de circuitos electrónicos sea accesible para cualquier persona. (Moreno & Córcoles)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En esta sección se describió cada etapa realizada del proceso general del dispositivo, tomando en consideración los parámetros de diseño y especificaciones técnicas para el diseño estructural del bipedestador.

2.1 Especificaciones del diseño

Como parte de los requisitos para realizar el diseño del dispositivo, es necesario tomar características demandables en el mercado que suplen las necesidades del cliente, con la finalidad de lograr un óptimo desarrollo en el funcionamiento de este.

1. **Selección del cliente:** Consiste en la preferencia del cliente en torno a su diseño ideal.
2. **Costo de la elaboración:** El gasto necesario para realizar el dispositivo con el fin de que sea accesible en mercado ecuatoriano.
3. **Estabilidad de la estructura:** El diseño con diversos puntos de apoyos para soportar diferentes cargas en toda la estructura.
4. **Portabilidad:** Facilidad para trasladar el dispositivo tanto como la posibilidad de colocarlo en vehículos.
5. **Ergonomía:** La adaptación óptima que otorga la mayor comodidad al usuario.
6. **Seguridad:** El sistema mecánico que optimice los aspectos de seguridad manteniendo la eficacia de su funcionalidad como la implementación de ruedas con frenos.
7. **Disposición de mesa:** Permite la incorporación adecuada de una mesa.
8. **Estabilizador de rodilleras ajustables:** Capacidad de ajustar las rodilleras conforme el deseo del usuario.
9. **Accionamiento eléctrico con manejo remoto:** Dispositivo que permita una correcta concordancia del sistema mecánico con el eléctrico.
10. **Intuitivo:** Facilidad de comprensión del funcionamiento para su puesta en marcha.

11. **Factibilidad de mantenimiento:** Permite el acceso a la limpieza de los equipos y la estructura, teniendo en cuenta los repuestos del mercado local.

12. **Sencillez:** Sintetiza la funcionalidad del dispositivo.

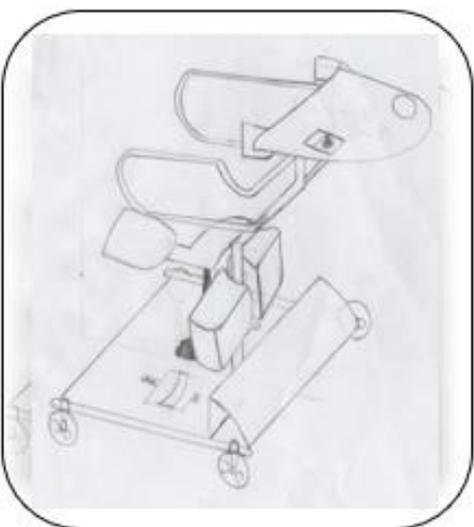
2.2 Alternativas de solución

Como primera parte se propuso cuatro alternativas de diseño que cumplan con los criterios del cliente para el dispositivo de bipedestación.

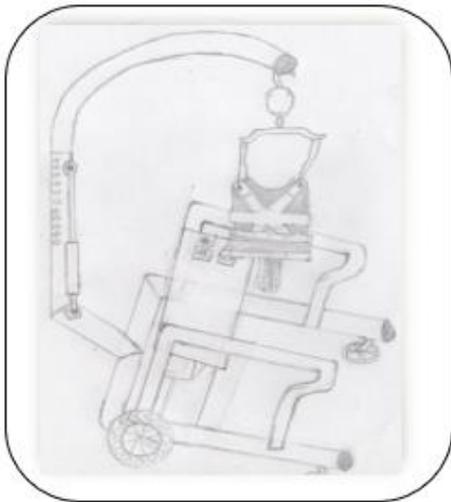
Alternativas de solución



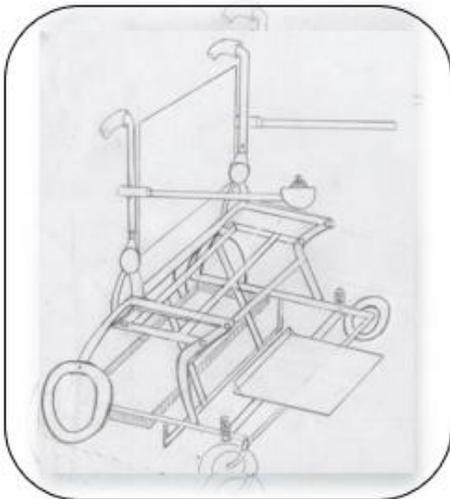
Diseño A: Estructura con movimiento de barras articuladas por medio de accionamiento eléctrico, capaz de sentar y parar al usuario, además la silla cuenta con soporte de espaldar a los 90°, disposición de brazos desmontables que cuentan con el control y disposición de mesa.



Diseño B: Estructura metálica con diseño ligero, uso de tubos circulares y rectangulares, caja protectora de baterías, soporte de levantamiento, cuenta con manejo eléctrico para accionamiento de actuador y propulsión, además, cuenta con rodilleras ajustables e instalación de mesa.



Diseño C: Estructura en forma de gancho para mantener elevado al usuario mediante un amés, el dispositivo es controlado por actuador eléctrico, cuenta con mesa desplegable, accionamiento eléctrico, soportes de amés de seguridad y brazos de agarre.



Diseño D: Estructura articulada por medio de tubos cilíndricos, cuenta con dos actuadores para mantener erguido el cuerpo, cinturones de agarre para espalda, pies y rodillas. Uso tanto para posición sentada y de pie.

Figura 2-1 Planteamiento de alternativas de solución.

2.3 Matriz de decisión

Se detallaron los requerimientos del cliente para la elaboración del bipedestador y a su lado el valor en porcentaje de su importancia, se mostraron cuatro alternativas de solución y la ponderación de cada diseño con el fin de validar cuál de ellos era el más conveniente.

Tabla 2-1 Matriz de decisión para el diseño del bipedestador

Criterio		Alternativas de diseño			
		A	B	C	D
Selección del cliente	10.72%	3	9	3	3
Costo de elaboración	10.72%	12	9	6	12
Estabilidad de la estructura	10.72%	12	15	12	15
Portabilidad	7.14%	6	6	4	8
Ergonomía	7.14%	8	6	6	8
Seguridad	10.72%	12	12	9	9
Disposición de mesa	7.14%	6	10	10	6
Estabilizador de rodilleras ajustable	7.14%	6	10	4	10
Accionamiento eléctrico con manejo remoto	10.72%	15	12	12	15
Intuitivo	7.14%	8	8	6	8
Factibilidad de mantenimiento	3.56%	5	4	4	3
Sencillez	7.14%	10	8	4	6
Total	100%	103	109	80	103

Los resultados obtenidos indicaron que la mejor opción fue la alternativa B, un bipedestador de tipo standing.

2.4 Diseño detallado de la alternativa ganadora

La alternativa ganadora posee un sistema de accionamiento eléctrico por medio de un actuador que se encarga de dirigir el movimiento de bipedestación del usuario. El actuador se encuentra acoplado al brazo de la estructura del asiento y de la misma forma sujeta a la base de la columna del mecanismo. El dispositivo cuenta con un sistema de propulsión el cual se usará por medio de motores y baterías que tengan la capacidad suficiente para hacer que se traslade independientemente con la ayuda de una palanca de mano.

Para la rehabilitación, el paciente tendrá la capacidad de darle una angulación desde 0° a 90° a su columna vertebral para que poco a poco vaya ejerciendo el peso de su cuerpo a sus piernas, rodillas y pies, los cuales estarán sujetos mediante velcro en zonas específicas del dispositivo para la estabilización del usuario.

Una vez el paciente cambie de posición por medio del bipedestador, éste tendría la capacidad de moverse sin esfuerzos, además el beneficio psicológico de charlar con los demás cara a cara sin la necesidad de recibir ayuda de terceras personas.

2.5 Especificaciones para el sistema de accionamiento del asiento

La selección se realizó conforme los siguientes requerimientos de diseño.

Selección del cliente	Diseño conforme a gusto del paciente
Costo de elaboración	Precio de elaboración o compra del sistema
Facilidad de instalación	Capacidad de instalarse de manera sencilla
Disponibilidad en el país	Elementos que puedan encontrarse en el mercado ecuatoriano
Peso que soporta	Máxima capacidad de peso que pueda sostener el dispositivo
Facilidad de mantenimiento	Realizar mantenimiento de manera rápida y cómoda

Figura 2-2 Criterios de diseño del accionamiento para el asiento

2.5.1 Alternativas para el sistema de accionamiento

Se plantearon diversas opciones capaces de cumplir con la necesidad de elevar el asiento del bipedestador como se muestra en la figura 2-3.

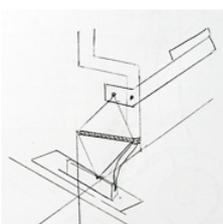
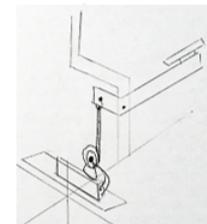
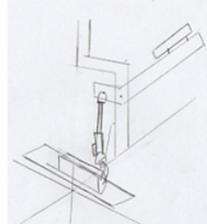
Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
 <p>Diseño de gata mecánica, capaz de elevar y bajar el asiento por medio de un tornillo sin fin, sistema eléctrico conectado a una de sus esquinas para recibir carga por medio de batería.</p>	 <p>Diseño de polea y cables, capaz de aplicar el movimiento de ascenso cuando se recoge el cable, sistema eléctrico conectado al centro de la polea y recibe carga por medio de batería.</p>	 <p>Diseño de actuador lineal, capaz de realizar el empuje del asiento por medio de tubos conectados concéntricamente, sistema eléctrico conectado en la base de los tubos y tiene integrada la batería en el sistema.</p>

Figura 2-3 Descripción de alternativas de accionamiento

2.5.2 Matriz de selección para el sistema de accionamiento

Conforme a los sistemas mencionados, se calificaron los criterios para cada alternativa propuesta:

Tabla 2-2 Matriz de decisión para el movimiento del asiento

Criterio		Alternativas de diseño		
		A	B	C
Selección del cliente	21.43%	9	12	15
Costo de elaboración	21.43%	12	12	6
Facilidad de instalación	21.43%	6	12	15
Disponibilidad del país	14.29%	10	10	8
Peso que soporta	14.29%	8	6	10
Factibilidad de mantenimiento	7.13%	3	3	5
Total	100%	48	55	59

Los resultados indicaron que la alternativa ganadora fue la opción C, un actuador lineal.

2.6 Especificaciones para el sistema de movimiento del bipedestador

La selección del sistema de movimiento contó con criterios similares al sistema de accionamiento, por lo que se puede observar su descripción en la sección 2.5, sin embargo, se añadió un nuevo requerimiento:

Control de movimiento	Capacidad de ejercer movimiento del bipedestador
-----------------------	--

Figura 2-4 Criterio de diseño del movimiento para el bipedestador

2.6.1 Alternativas para el sistema de movimiento

Se plantearon diferentes opciones capaces de brindar movimiento al bipedestador como se muestra en la figura 2-5.

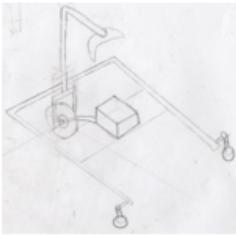
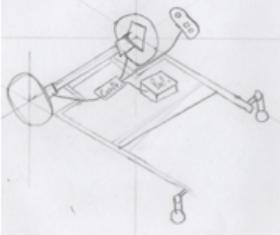
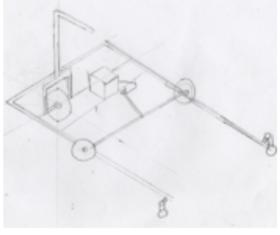
Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
 <p>Diseño de una estructura con una rueda motorizada y dos giratorias, sistema de movimiento conectado por medio de un servomotor integrado en el centro de la rueda motorizada, y con sistema recargable.</p>	 <p>Diseño de una estructura con dos ruedas motorizadas y dos giratorias, sistema de movimiento conectado por medio de dos servomotores integrados en las ruedas motorizadas, y con sistema recargable.</p>	 <p>Diseño de una estructura con una rueda motorizada, dos de soporte y dos giratorias, sistema de movimiento conectado por medio de un servomotor integrado en el eje de los soportes, y con sistema recargable.</p>

Figura 2-5 Descripción de alternativas de movimiento

2.6.2 Matriz de selección para el sistema de movimiento

Conforme a los sistemas mencionados, se calificaron los criterios para cada alternativa propuesta:

Tabla 2-3 Matriz de decisión para el movimiento del bipedestador

Criterio		Alternativas de diseño		
		A	B	C
Selección del cliente	20%	15	12	9
Costo de elaboración	20%	12	6	9
Facilidad de instalación	20%	12	9	6
Disponibilidad del país	13.33%	6	6	6
Control del movimiento	20%	12	15	9
Factibilidad de mantenimiento	6.67%	4	3	3
Total	100%	61	51	42

Los resultados mostraron que la alternativa ganadora es la opción A, diseño de una estructura con una rueda motorizada y dos ruedas giratorias.

2.7 Diseño de forma

En la figura 2-6 se muestra la vista lateral, frontal y la perspectiva isométrica del diseño. El bipedestador es capaz de ajustarse conforme al tamaño del usuario, ajustar los niveles de los pies, elevar la mesa y limitar las distancias de las rodilleras.

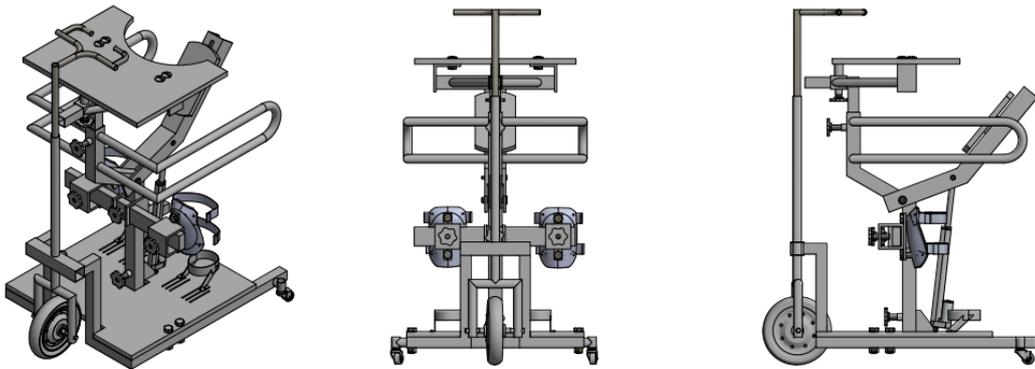


Figura 2-6 Vistas del diseño de forma

2.8 Dimensionamiento del diseño

Ernst Neufert mencionó que la selección del tamaño apropiado del bipedestador depende de las indicaciones médicas, diseños similares y medidas verticales a partir de la estatura, sea esta independiente de la edad del usuario. (Gabinete técnico de patronaje y antropometría aplicada , 2014)

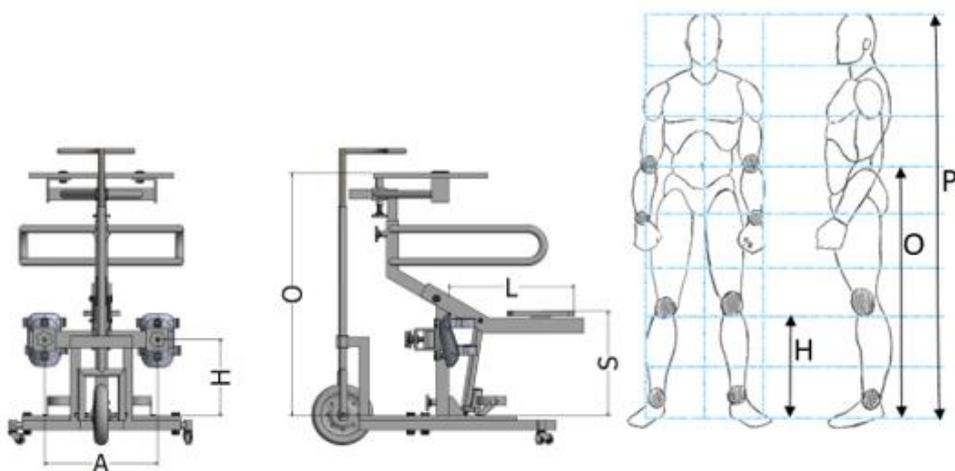


Figura 2-7 Medición del bipedestador referente al usuario

A partir de la figura 2-7, se muestra cómo se establecieron las mediciones del bipedestador, con las cuales se determinaron las limitaciones para los usuarios y además las dimensiones generales del bipedestador.

Tabla 2-4 Medidas del usuario y bipedestador

Símbolo	Medición	Unidad	Talla
P	Altura aproximada del usuario	[mm]	1504-2004
O	Altura de la bandeja (desde el reposapiés)	[mm]	929-1264
H	Altura de los soportes de la rodilla	[mm]	228-623
A	Anchura de los soportes de la rodilla	[mm]	272-472
S	Altura del asiento (desde el reposapiés)	[mm]	min. 417
L	Longitud del asiento	[mm]	569

Tabla 2-5 Dimensiones del dispositivo

Medición	Unidad	Talla
Ancho	[mm]	684
Longitud	[mm]	1181
Altura	[mm]	1187-1537

Mientras que el peso a soportar por el asiento se definió mediante la estatura máxima del usuario descrita en la tabla ICM, por lo tanto, se escogió 75kg, valor que forma parte del rango de peso ideal. (Pinheiro, 2022)

2.9 Elementos del diseño seleccionado

En la figura 2-8 se observa la vista explosionada del diseño de forma. Del mismo modo, se observa la tabla con los elementos y cantidades que se utilizaron en el diseño del bipedestador eléctrico.

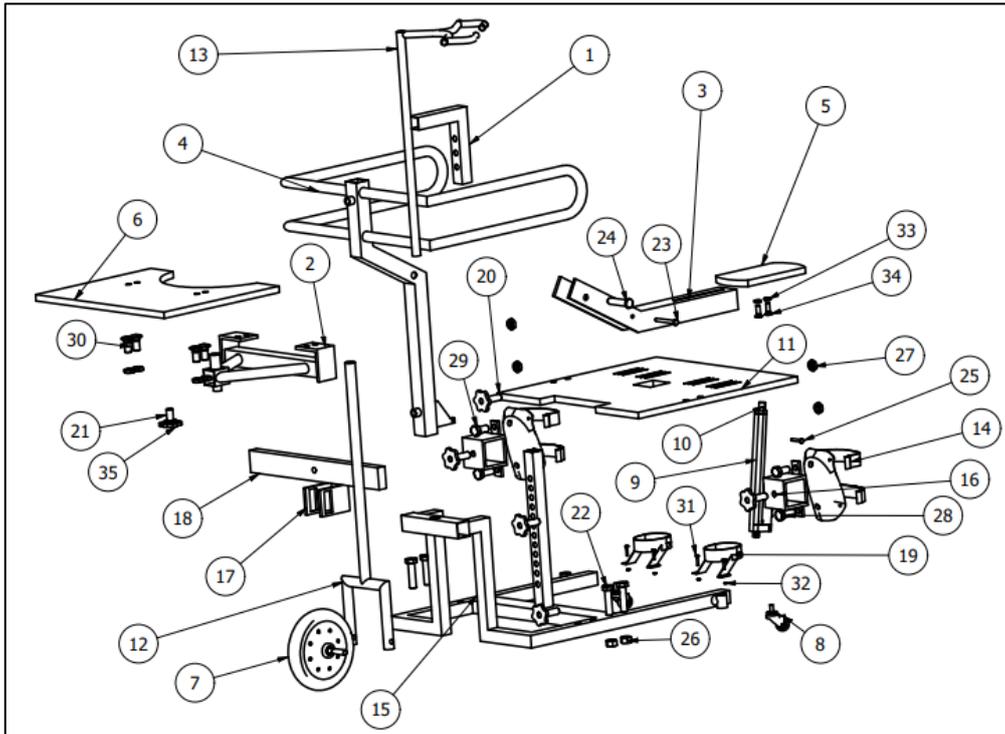


Figura 2-8 Vista en explosión de los elementos del dispositivo

Mediante la tabla 2-6, se observa el número correspondiente al dispositivo explosionado, la descripción y la cantidad de elementos dentro del diseño.

Tabla 2-6 Lista de elementos del diseño

N° de elemento	Detalle	Cantidad
1	Elevador de mesa	1
2	Soporte de la mesa	1
3	Soporte del asiento	1
4	Columna con empuñadura	1
5	Asiento	1
6	Mesa	1
7	Rueda motorizada	1
8	Rueda giratoria	2
9	Actuador lineal	1
10	Cilindro elevador del actuador	1
11	Reposapiés	1

12	Conexión manubrio y rueda	1
13	Manubrio	1
14	Rodillera	2
15	Plataforma de reposapiés	1
16	Soporte de rodillera	2
17	Elevador de rodilleras	1
18	Placa deslizador	1
19	Ajusta pie	2
20	Pasador de columna	2
	Pasador de rodilleras	3
21	Pasador de mesa	1
22	Perno hexagonal de plataforma	4
23	Pasador del actuador superior	1
24	Pasador de soporte para asiento	1
25	Pasador del actuador inferior	1
26	Tuerca de plataforma	4
27	Tuerca de rodilleras	4
	Tuerca de mesa	4
28	Perno hexagonal inferior de rodillera	2
29	Perno hexagonal superior de rodillera	2
30	Perno avellanado de mesa	4
31	Perno avellanado del ajusta pie	4
32	Tuerca del ajusta pie	4
33	Tuerca del asiento	2
34	Perno avellanado del asiento	2
35	Perilla	6

2.10 Diseño detallado.

A continuación, se describen todos los elementos asociados al bipedestador representados como sistemas, y para cada pieza se detalla su característica junto con sus dimensiones a partir de los catálogos nacionales para la selección de materiales.

Todas las ilustraciones siguientes fueron realizadas por medio del programa de Autodesk Inventor 2021 a base de la licencia estudiantil emitida por la ESPOL.

2.10.1 Sistema soporte de pies

2.10.1.1 Reposapiés

Se eligió madera en forma rectangular de 656x660 [mm], teniendo aberturas lineales para colocar el ajusta-pie y cuatro agujeros para emperrar con la plataforma de reposapiés.

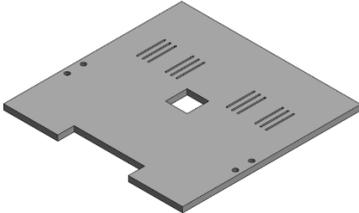


Figura 2-9 Diseño inicial de reposapiés

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

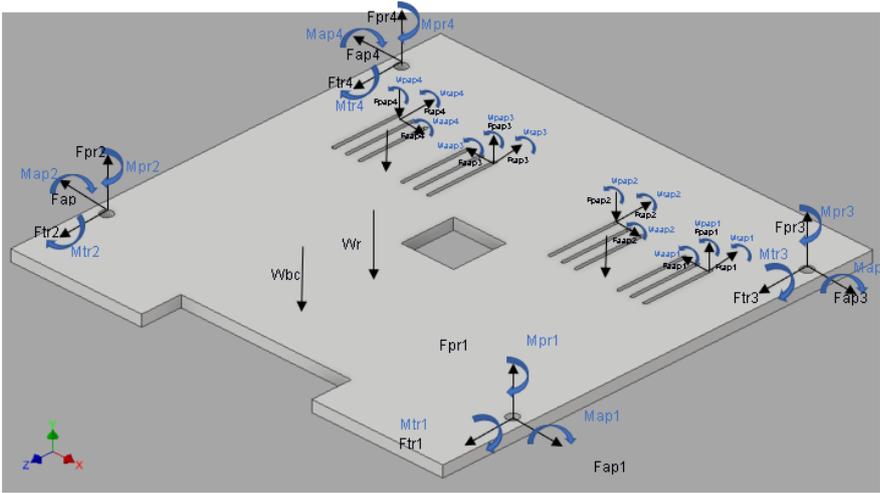


Figura 2-10 DCL del reposapiés

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
 \sum F_y = 0 &\rightarrow F_{pr1} + F_{pr2} + F_{pr3} + F_{pr4} - W_{bce} - W_r - F_{pu} - F_{pap1} - F_{pap2} - F_{pap3} - F_{pap4} = 0 \\
 \sum F_z = 0 &\rightarrow F_{tap1} + F_{tap2} + F_{tap3} + F_{tap4} - F_{tr1} - F_{tr2} - F_{tr3} - F_{tr4} = 0 \\
 \sum F_x = 0 &\rightarrow -F_{ap1} + F_{ap2} - F_{ap3} + F_{ap4} + F_{aap1} - F_{aap2} + F_{aap3} - F_{aap4} = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{Fpr3} = 0 \\
&F_{pr1} * (0.45) + F_{pr2} * (0.45) - F_{pu} * (0.125) - W_r * (0.238982) - F_{pap1} * (0.1075) - F_{pap2} \\
&\quad * (0.1075) - F_{pap3} * (0.1075) - F_{pap4} * (0.1075) - W_{bce} * (0.39325) + M_{ap1} \\
&\quad + M_{ap2} + M_{ap3} + M_{ap4} - M_{aap1} - M_{aap2} - M_{aap3} - M_{aap4} = 0 \\
(\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{Fpr3} = 0 \\
&-F_{pr4} * (0.619872) - F_{pr2} * (0.619872) + W_r * (0.309936) + W_{bce} * (0.309936) + F_{pu}/2 \\
&\quad * (0.144936) + F_{pu}/2 * (0.474936) + F_{pap1} * (0.072436) + F_{pap2} \\
&\quad * (0.217436) + F_{pap3} * (0.402436) + F_{pap4} * (0.547436) + M_{tr1} + M_{tr2} \\
&\quad + M_{tr3} + M_{tr4} - M_{tap1} - M_{tap2} - M_{tap3} - M_{tap4} = 0
\end{aligned} \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{Fpr3} = 0 \\
&-F_{ap1} * (0.45) + F_{ap2} * (0.45) - F_{tr4} * (0.619872) + F_{aap1} * (0.1075) - F_{aap2} * (0.1075) \\
&\quad + F_{aap3} * (0.1075) - F_{aap4} * (0.1075) + F_{tap1} * (0.072436) + F_{tap2} \\
&\quad * (0.217436) + F_{tap3} * (0.402436) + F_{tap4} * (0.547436) - F_{tr2} * (0.619872) \\
&\quad + M_{pr1} + M_{pr2} + M_{pr3} + M_{pr4} - M_{pap1} - M_{pap2} - M_{pap3} - M_{pap4} = 0
\end{aligned}$$

Donde W_{bce} , W_r y F_{pu} son valores de entrada en este SEL, además por simetría del reposapiés se cumplió lo siguiente:

$$\begin{aligned}
F_{pr2} &= F_{pr4} & M_{ap2} &= M_{ap4} \\
F_{pr2} &= F_{pr2} & M_{ap2} &= M_{ap2} \\
F_{ap1} &= F_{ap2} & M_{tr1} &= M_{tr2} \\
F_{ap2} &= F_{ap2} & M_{tr2} &= M_{tr4} \\
F_{ap1} &= F_{ap2} & M_{tr2} &= M_{tr2} \\
F_{tr1} &= F_{tr2} & M_{pr1} &= M_{pr2} \\
F_{tr2} &= F_{tr4} & M_{pr2} &= M_{pr4} \\
F_{tr1} &= F_{tr2} & M_{pr2} &= M_{pr2} \\
M_{ap1} &= M_{ap2} & &
\end{aligned} \tag{2.3}$$

2.10.1.2 Plataforma reposapiés

Se partió de una estructura doblada y soldada de tubería cuadrada con diferente arista, se emplearon 4410 [mm] de longitud para la base y la conexión con la columna que presenta nueve agujeros del diámetro del pasador, y 260 [mm] de longitud para la colocación de la conexión manubrio y rueda, además la base disponía cuatro agujeros para el empernado del reposapiés y dos agujeros inferiores para las ruedas giratorias.

$$\begin{aligned}
(\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{Frg1} = 0 \\
&F_{tr3} * (0.02) + F_{tr2} * (0.02) + F_{tr1} * (0.02) + F_{tr4} * (0.02) - F_{pr3} * (0.183) - F_{pr4} \\
&\quad * (0.183) - F_{pr1} * (0.633) - F_{pr2} * (0.633) + F_{cmr} * (0.830193) - W_{pr} \\
&\quad * (0.501946) - F_{pci} * (0.413) - F_{frc} * (0.37) + F_{cp} * (0.36) + M_{pcz} \\
&\quad - M_{ap1} - M_{ap2} - M_{ap3} - M_{ap4} + M_{acmr} + M_{arg1} + M_{arg2} = 0 \\
(\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{Wpr} = 0 \\
&-F_{rg2} * (0.501946) - F_{rg1} * (0.501946) + F_{frgpr1} * (0.105585) + F_{frgpr2} * (0.105585) \\
&\quad + F_{pr3} * (0.318946) + F_{pr4} * (0.318946) - F_{tr3} * (0.085585) - F_{tr4} \\
&\quad * (0.085585) + F_{pci} * (0.088946) + F_{cp} * (0.254415) - F_{pr1} * (0.131054) \\
&\quad - F_{pr2} * (0.131054) - F_{tr1} * (0.085585) - F_{tr2} * (0.085585) + F_{cmr} \\
&\quad * (0.328247) - F_{frc} * (0.264415) + M_{pcz} - M_{ap1} - M_{ap2} - M_{ap3} - M_{ap4} \\
&\quad + M_{acmr} + M_{arg1} + M_{arg2} = 0 \\
(\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{Fcmr} = 0 \\
&-F_{rg2} * (0.830193) - F_{rg1} * (0.830193) + F_{frgpr1} * (0.37) + F_{frgpr2} * (0.37) + F_{pr3} \\
&\quad * (0.647193) + F_{pr4} * (0.647193) - F_{tr3} * (0.35) - F_{tr4} * (0.35) + F_{pci} \\
&\quad * (0.417193) - F_{cp} * (0.01) + F_{pr1} * (0.197193) + F_{pr2} * (0.197193) \\
&\quad - F_{tr1} * (0.35) - F_{tr2} * (0.35) + W_{pr} * (0.328247) + M_{pcz} - M_{ap1} - M_{ap2} \\
&\quad - M_{ap3} - M_{ap4} + M_{acmr} + M_{arg1} + M_{arg2} = 0 \\
(\text{plano } zy) &\rightarrow \sum M_{Frg1} = 0 \\
&F_{pr4} * (0.619873) + F_{pr2} * (0.619873) - F_{rg2} * (0.619873) - F_{ap4} * (0.02) - F_{ap2} * (0.02) \\
&\quad + F_{ap1} * (0.02) + F_{ap3} * (0.02) + F_{pci} * (0.31) + W_{pr} * (0.309936) + F_{pcz} \\
&\quad * (0.36) - F_{cmr} * (0.309936) - F_{acmr} * (0.37) + M_{cp} - M_{tr1} - M_{tr2} \\
&\quad - M_{tr3} - M_{tr4} + M_{frc} + M_{frgpr1} + M_{frgpr2} = 0 \\
(\text{plano } zy) &\rightarrow \sum M_{Wpr} = 0 \\
&F_{rg1} * (0.309936) - F_{arg1} * (0.105585) - F_{rg2} * (0.309937) - F_{arg2} * (0.105585) - F_{pr3} \\
&\quad * (0.309936) - F_{pr1} * (0.309936) - F_{ap3} * (0.085585) - F_{ap1} \\
&\quad * (0.085585) + F_{pr4} * (0.309937) + F_{pr2} * (0.309937) + F_{ap4} \\
&\quad * (0.085585) + F_{ap2} * (0.085585) + F_{pcz} * (0.254415) + F_{pci} \\
&\quad * (0.000064) - F_{acmr} * (0.264415) + M_{cp} - M_{tr1} - M_{tr2} - M_{tr3} - M_{tr4} \\
&\quad + M_{frc} + M_{frgpr1} + M_{frgpr2} = 0 \\
(\text{plano } zy) &\rightarrow \sum M_{Fcmr} = 0 \\
&F_{rg1} * (0.309936) - F_{arg1} * (0.37) - F_{rg2} * (0.309937) - F_{arg2} * (0.37) - F_{pr3} \\
&\quad * (0.309936) - F_{pr1} * (0.309936) - F_{ap3} * (0.35) - F_{ap1} * (0.35) + F_{pr4} \\
&\quad * (0.309937) + F_{pr2} * (0.309937) + F_{ap4} * (0.35) + F_{ap2} * (0.35) - F_{pcz} \\
&\quad * (0.01) + F_{pci} * (0.000064) + M_{cp} - M_{tr1} - M_{tr2} - M_{tr3} - M_{tr4} + M_{frc} \\
&\quad + M_{frgpr1} + M_{frgpr2} = 0 \\
(\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{Frg1} = 0 \\
&F_{ap3} * (0.183) - F_{ap4} * (0.183) - F_{frgpr2} * (0.619873) + F_{tr4} * (0.619873) + F_{tr2} \\
&\quad * (0.619873) + F_{ap1} * (0.633) - F_{ap2} * (0.633) - F_{acmr} * (0.830193) \\
&\quad - F_{frc} * (0.309937) + F_{pcz} * (0.433) + F_{cp} * (0.31) + M_{pci} - M_{pr1} - M_{pr2} \\
&\quad - M_{pr3} - M_{pr4} + M_{rg1} + M_{rg2} = 0 \\
(\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{Wpr} = 0 \\
&-F_{arg1} * (0.501946) + F_{frgpr1} * (0.309936) - F_{arg2} * (0.501946) - F_{frgpr2} * (0.309937) \\
&\quad - F_{ap3} * (0.318946) - F_{tr3} * (0.309936) + F_{ap4} * (0.318946) + F_{tr4} \\
&\quad * (0.309937) - F_{ap2} * (0.131054) + F_{tr2} * (0.309937) + F_{ap1} \\
&\quad * (0.131054) - F_{tr1} * (0.309936) - F_{pcz} * (0.088946) - F_{acmr} \\
&\quad * (0.328247) + F_{cp} * (0.000064) + M_{pci} - M_{pr1} - M_{pr2} - M_{pr3} - M_{pr4} \\
&\quad + M_{rg1} + M_{rg2} = 0
\end{aligned} \tag{2.5}$$

Donde W_{pr} es valor de entrada en este SEL, además por simetría de la plataforma reposapiés se cumplió lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 F_{arg1} &= F_{arg2} & M_{frgpr1} &= M_{frgpr2} \\
 F_{rg1} &= F_{rg2} & M_{arg1} &= M_{arg2} \\
 F_{frgpr1} &= F_{frgpr2} & M_{rg1} &= M_{rg2}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

2.10.1.3 Ajusta-pie

Se partió del plástico PET para el apoyo de la parte posterior del pie y velcro para el ajuste del tobillo, además, de un agujero de $\varnothing 5$ [mm] para ajustar el ancho y la posición del ajusta-pie.

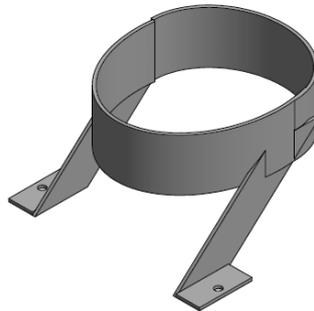


Figura 2-13 Diseño inicial del ajusta-pie

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

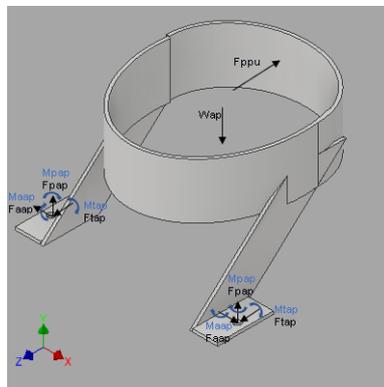


Figura 2-14 DCL del ajusta-pie

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
\sum Fy = 0 &\rightarrow F_{pap1} + F_{pap2} - W_{ap} = 0 \\
\sum Fz = 0 &\rightarrow -F_{ppu1} + F_{tap1} + F_{tap2} = 0 \\
\sum Fx = 0 &\rightarrow F_{aap1} - F_{aap2} = 0
\end{aligned}
\tag{2.7}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{Fpap2} = 0 \\
F_{ppu1} * (0.059495) + W_{ap} * (0.043033) + M_{aap1} + M_{aap2} &= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } yx) &\rightarrow \sum M_{Fpap2} = 0 \\
W_{ap} * (0.072548) - F_{pap1} * (0.145) + M_{tap1} + M_{tap2} &= 0
\end{aligned}
\tag{2.8}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } zx) &\rightarrow \sum M_{Fpap2} = 0 \\
-F_{ppu1} * (0.072548) + F_{tap1} * (0.145) + M_{pap1} + M_{pap2} &= 0
\end{aligned}$$

Donde W_{ap} y F_{ppu} son valores de entrada en este SEL, además por simetría del ajuste se cumplió lo siguiente:

$$\begin{aligned}
F_{pap3} &= F_{pap4} & F_{pap1} &= F_{pap2} \\
F_{aap3} &= F_{aap4} & F_{aap1} &= F_{aap2} \\
F_{tap3} &= F_{tap4} & F_{tap1} &= F_{tap2} \\
M_{pap3} &= M_{pap4} & M_{pap1} &= M_{pap2} \\
M_{aap3} &= M_{aap4} & M_{aap1} &= M_{aap2} \\
M_{tap3} &= M_{tap4} & M_{tap1} &= M_{tap2}
\end{aligned}
\tag{2.9}$$

2.10.2 Sistema de manubrio

2.10.2.1 Conexión manubrio y rueda

Se partió de una estructura en forma de “y” empleando 1257 [mm] de tubería circular, soldando una tubería de 689 [mm] de longitud con lo restante doblada en “U” con una apertura para el eje de la rueda, asimismo con seis agujeros para el levantamiento del manubrio.



Figura 2-15 Diseño inicial de la conexión manubrio y rueda

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

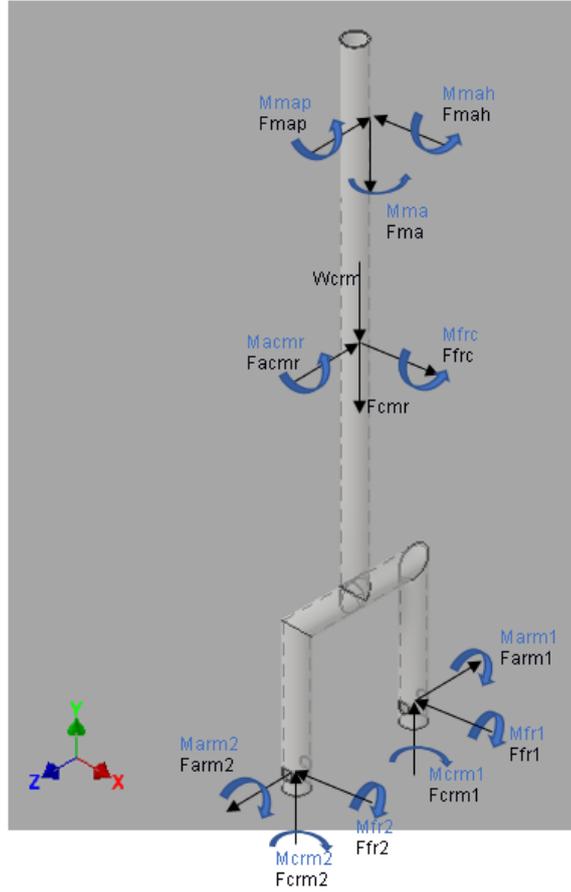


Figura 2-16 DCL de la conexión manubrio y rueda

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
 \sum Fy = 0 &\rightarrow F_{crm1} + F_{crm2} - W_{crm} - F_{cmr} - F_{ma} = 0 \\
 \sum Fx = 0 &\rightarrow -F_{mah} + F_{frc} - F_{fr1} - F_{fr2} = 0 \\
 \sum Fz = 0 &\rightarrow F_{arm2} - F_{arm1} - F_{acmr} - F_{map} = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{F_{crm2}} = 0 \\
 -F_{crm1} * (0.1683) &+ W_{crm} * (0.084244) + F_{cmr} * (0.08415) + F_{ma} * (0.08415) + F_{acmr} * (0.385) \\
 &+ F_{map} * (0.801021) + M_{fr1} + M_{fr2} - M_{mah} - M_{frc} = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{F_{crm2}} = 0 \\
 F_{frc} * (0.385) &+ F_{ma} * (0.015875) + F_{mah} * (0.801021) + M_{arm1} + M_{arm2} - M_{map} - M_{acmr} = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{F_{crm2}} = 0 \\
 -F_{fr1} * (0.1683) &+ F_{frc} * (0.08415) - F_{mah} * (0.08415) - F_{map} * (0.015875) + M_{crm1} + M_{crm2} \\
 &- M_{ma} = 0
 \end{aligned}$$

Donde W_{crm} es valor de entrada en este SEL, además por simetría de la conexión manubrio y rueda se cumplió lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 F_{crm1} &= F_{crm2} & M_{crm1} &= M_{crm2} \\
 F_{fr1} &= F_{fr2} & M_{fr1} &= M_{fr2} \\
 F_{arm1} &= F_{arm2} & M_{arm1} &= M_{arm2}
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

2.10.2.2 Manubrio

Se partió de una estructura soldada de tubería circular, se empleó 758 [mm] de longitud para el volante y 710 [mm] de longitud para elevar el manubrio en la conexión manubrio y rueda.

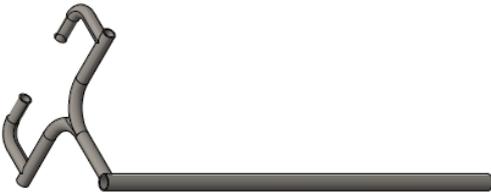


Figura 2-17 Diseño inicial del manubrio

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

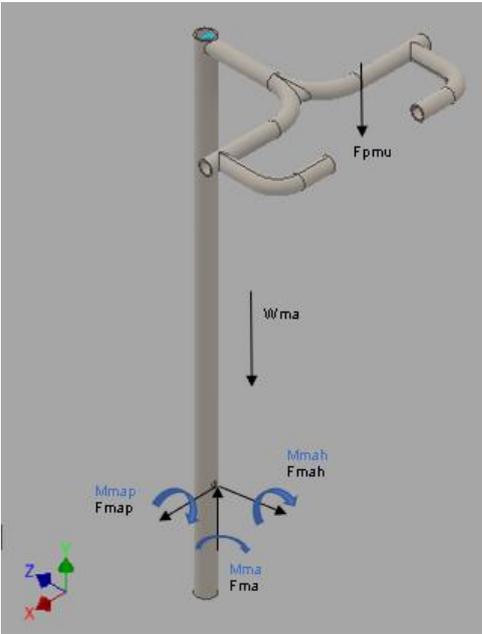


Figura 2-18 DCL del manubrio

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned} \sum Fy = 0 &\rightarrow F_{ma} - W_{ma} - F_{pmu} = 0 \\ \sum Fz = 0 &\rightarrow F_{mah} = 0 \\ \sum Fx = 0 &\rightarrow F_{map} = 0 \end{aligned} \tag{2.13}$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } zy) &\rightarrow \sum M_{Ftmim} = 0 \\ -F_{ma} * (0.0254) + F_{mah} * (0.140) + W_{ma} * (0.111696) + F_{pmu} * (0.2577) + M_{map} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } zx) &\rightarrow \sum M_{Ftmim} = 0 \\ F_{map} * (0.0254) + M_{ma} &= 0 \end{aligned} \tag{2.14}$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } zy) &\rightarrow \sum M_{Ftmim} = 0 \\ M_{mah} &= 0 \end{aligned}$$

Donde W_b y F_{pmu} son valores de entrada en este SEL.

2.10.3 Sistema de ruedas

2.10.3.1 Rueda motorizada

El sistema de movimiento del bipedestador se basó en una rueda motorizada de $\varnothing 255$ [mm] aproximado, empleando un controlador externo que acepta voltajes de 24/36/48 V con un soporte de freno de disco y un rango de potencia de 500W-1000W, el cual se ensambla en la parte inferior de la conexión manubrio y rueda.

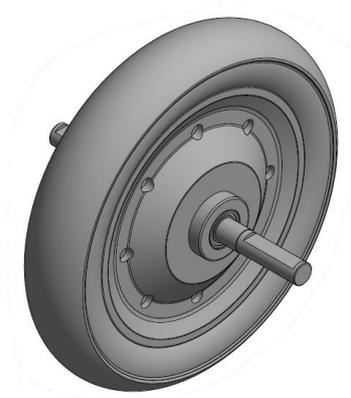


Figura 2-19 Diseño inicial de la rueda motorizada

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

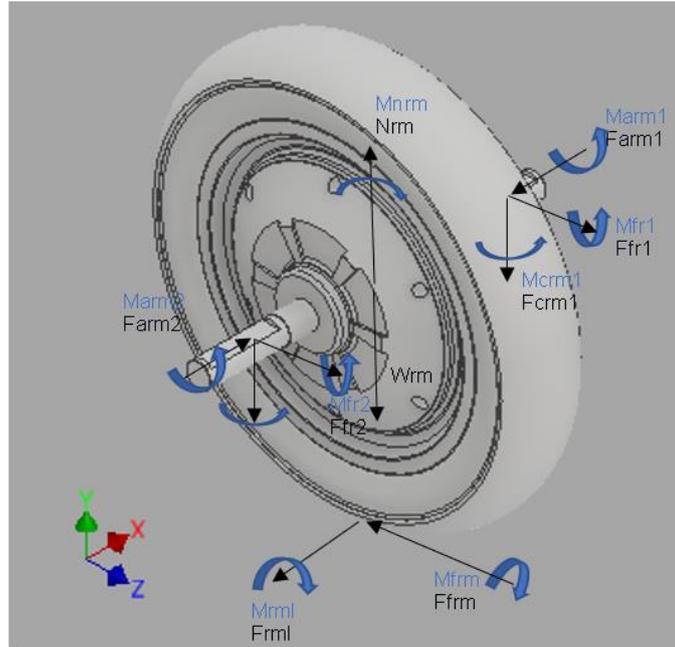


Figura 2-20 DCL de la rueda motorizada

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
 \sum F_y = 0 &\rightarrow N_{rm} - F_{crm1} - F_{crm2} - W_{rm} = 0 \\
 \sum F_z = 0 &\rightarrow F_{fr1} + F_{fr2} - F_{frm} = 0 \\
 \sum F_x = 0 &\rightarrow F_{arm2} - F_{arm1} - F_{rml} = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } zx) &\rightarrow \sum M_{F_{crm2}} = 0 \\
 F_{fr1} * (0.1683) - F_{frm} * (0.08415) + M_{nrm} - M_{crm1} - M_{crm2} &= 0 \\
 (\text{plano } yx) &\rightarrow \sum M_{F_{crm2}} = 0 \\
 W_{rm} * (0.08415) - N_{rm} * (0.08415) + F_{crm1} * (0.1683) + F_{rml} * (0.175) + M_{frm} - M_{fr1} - M_{fr2} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{z=-175, y=0} = 0 \\
 F_{crm1} * (0.175) + F_{crm2} * (0.175) - F_{frm} * (0.175) + M_{rml} - M_{arm1} - M_{arm2} &= 0
 \end{aligned}$$

Donde W_{rm} es valor de entrada en este SEL.

2.10.3.2 Rueda giratoria

Se partió de una altura de 83 [mm] y rueda de $\varnothing 40$ [mm] aproximadamente y mediante un perno se conecta este elemento con la plataforma reposapiés, presentando una rotación en un solo eje.

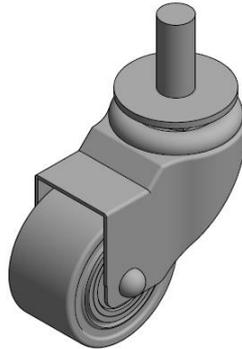


Figura 2-21 Diseño inicial de la rueda giratoria

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

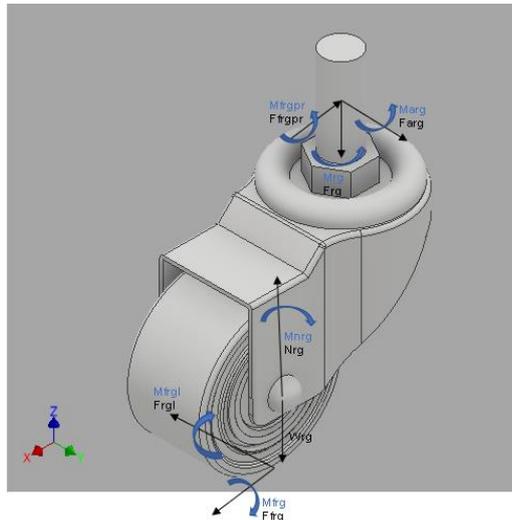


Figura 2-22 DCL de la rueda giratoria

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
 \sum F_z = 0 &\rightarrow N_{rg1} - W_{rg} - F_{rg1} = 0 \\
 \sum F_x = 0 &\rightarrow F_{frgpr1} - F_{frg1} = 0 \\
 \sum F_y = 0 &\rightarrow F_{arg1} - F_{rgl1} = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned}
& (\text{plano } xz) \rightarrow \sum M_{F_{f_{rg}}} = 0 \\
& W_{rg} * (0.008629) + F_{rg1} * (0.049922) + F_{f_{rgpr1}} * (0.100) + M_{f_{rgl1}} - M_{rg1} = 0 \\
& N_{rg1} * (0.008629) + F_{rg1} * (0.041293) + F_{f_{rgpr1}} * (0.06) + M_{nr_{g1}} - M_{rg1} = 0 \\
& (\text{plano } xy) \rightarrow \sum M_{W_{rg}} = 0 \\
& F_{arg1} * (0.022624) + F_{f_{rgl1}} * (0.007433) - M_{arg1} - M_{nr_{g1}} = 0 \\
& (\text{plano } yz) \rightarrow \sum M_{W_{rg}} = 0 \\
& M_{f_{rg1}} - M_{f_{rgpr1}} = 0
\end{aligned} \tag{2.18}$$

Donde W_{rg} son valores de entrada en este SEL.

2.10.4 Sistema de mesa

2.10.4.1 Elevador de mesa

Se partió de la unión soldada de dos tuberías cuadradas, la longitud que se empleó en el tubo es de 440 [mm] y su mecanizado es de corte, cuenta con tres agujeros separados entre sí por 45 [mm] que sirven para levantar la estructura de la mesa mediante un pasador de la columna con empuñadura.

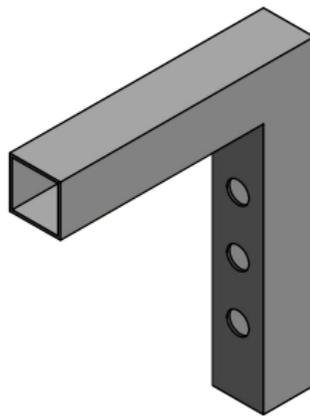


Figura 2-23 Diseño inicial del elevador de mesa

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

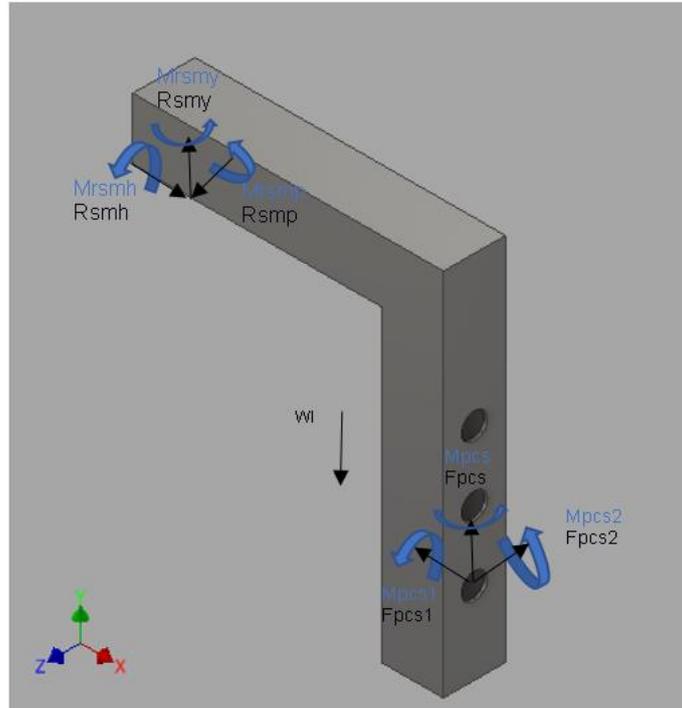


Figura 2-24 DCL del elevador de mesa

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
 \sum Fy = 0 &\rightarrow R_{smv} - W_l + F_{pcs} = 0 \\
 \sum Fx = 0 &\rightarrow R_{smh} - F_{pcs1} = 0 \\
 \sum Fz = 0 &\rightarrow F_{pcs2} - R_{smp} = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } yx) &\rightarrow \sum M_{Ftmil} = 0 \\
 -W_l * (0.060282) - F_{pcs1} * (0.053) + R_{smh} * (0.2) + R_{smv} * (0.165) - M_{rsmv} - M_{pcs2} &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{Ftmil} = 0 \\
 F_{pcs2} * (0.053) - R_{smp} * (0.200) - M_{rsmh} - M_{pcs1} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } zx) &\rightarrow \sum M_{Ftmil} = 0 \\
 -R_{smp} * (0.165) - M_{rsmv} - M_{pcs} &= 0
 \end{aligned}$$

Donde W_l es valor de entrada en este SEL.

2.10.4.2 Soporte de mesa

Se partió de una estructura soldada de tubería cuadrada, circular y lamina, se empleó 500 [mm] de tubería cuadrada para la base y el deslizador del elevador de mesa, y 594 [mm] de tubería circular para conexión de la base y el deslizador, soporte para la mesa y ajustador para la mesa con agujero; por último, dos laminas doblada en L de 204x70 [mm] con dos roscas para el empernado de la mesa.

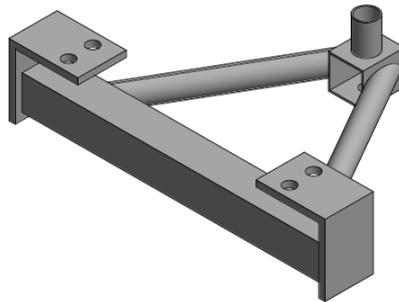


Figura 2-25 Diseño inicial del soporte de mesa

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

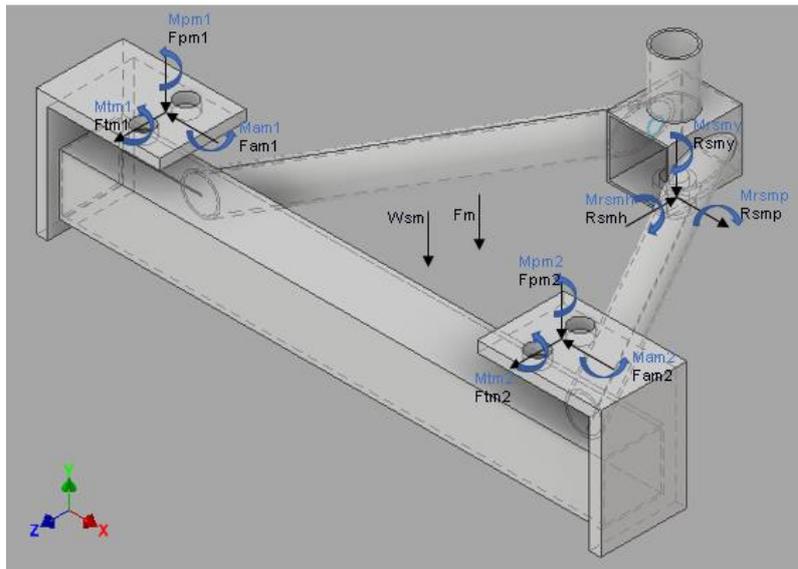


Figura 2-26 DCL del soporte de mesa

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
\sum Fy = 0 &\rightarrow -F_m - W_{sm} - F_{pm1} - F_{pm2} - R_{smy} = 0 \\
\sum Fz = 0 &\rightarrow F_{tm1} + F_{tm2} - R_{smh} = 0 \\
\sum Fx = 0 &\rightarrow F_{am2} - F_{am1} + R_{smp} = 0
\end{aligned}
\tag{2.21}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{Fpm2} = 0 \\
F_m * (0.01491) + W_{sm} * (0.039767) + R_{smy} * (0.253827) - R_{smh} * (0.100) + M_{rsmp} - M_{am1} \\
&\quad - M_{am2} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{Fpm2} = 0 \\
F_m * (0.160) + W_{sm} * (0.160) + F_{pm1} * (0.32) + R_{smy} * (0.160) + R_{smp} * (0.100) + M_{rsmh} \\
&\quad - M_{tm1} - M_{tm2} = 0
\end{aligned}
\tag{2.22}$$

$$\begin{aligned}
(\text{plano } zx) &\rightarrow \sum M_{Fpm2} = 0 \\
-F_{tm1} * (0.320) + R_{smh} * (0.160) + R_{smp} * (0.253827) + M_{rsmy} - M_{pm1} - M_{pm2} = 0
\end{aligned}$$

Donde W_{sm} es valor de entrada en este SEL.

2.10.4.3 Mesa

Se eligió madera en forma rectangular de 600x475 [mm] con un corte semicircular para el apoyo del abdomen y 4 roscas para el empernado con su soporte.

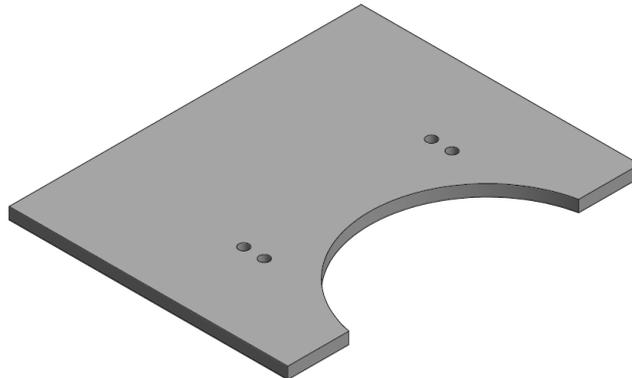


Figura 2-27 Diseño inicial de la mesa

Las fuerzas internas y externas se representan en el siguiente DCL:

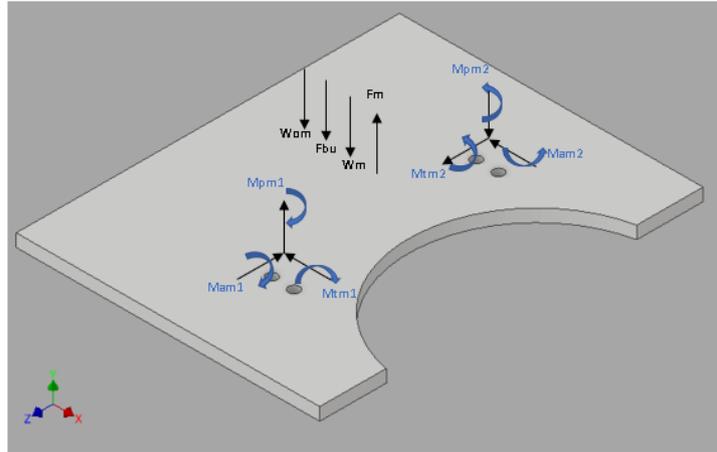


Figura 2-28 DCL de la mesa

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
 \sum Fy = 0 &\rightarrow F_{pm1} + F_{pm2} + F_m - W_m - W_{om} - F_{bu} = 0 \\
 \sum Fx = 0 &\rightarrow F_{tm1} + F_{tm2} = 0 \\
 \sum Fz = 0 &\rightarrow F_{am1} - F_{am2} = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } yx) &\rightarrow \sum M_{Fpm1} = 0 \\
 -W_m * (0.06075) - W_{om} * (0.088973) - F_{bu} * (0.04) + F_m * (0.01491) + M_{am1} + M_{am2} &= 0 \\
 -F_{pm1} * (0.06075) - F_{pm2} * (0.06075) - W_{om} * (0.028223) + F_{bu} * (0.02075) - F_m * (0.04584) \\
 + M_{am1} + M_{am2} &= 0 \\
 (\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{Fpm1} = 0 \\
 -F_{pm2} * (0.320) + W_m * (0.160) + W_{om} * (0.160) + F_{bu} * (0.160) - F_m * (0.160) + M_{tm1} + M_{tm2} \\
 &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{Wm} = 0 \\
 -F_{am1} * (0.06075) + F_{am2} * (0.06075) + F_{tm1} * (0.160) - F_{tm2} * (0.160) + M_{pm1} + M_{pm2} &= 0
 \end{aligned}$$

Donde W_{om} , W_m y F_{bu} son valores de entrada en este SEL, además por simetría de la mesa se cumplió lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 F_{pm1} = F_{pm2} & \quad M_{am1} = M_{am2} \\
 F_{am1} = F_{am2} & \quad M_{tm1} = M_{tm2} \\
 F_{tm1} = F_{tm2} & \quad M_{pm1} = M_{pm2}
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

2.10.5 Sistema ajuste de rodillas

El sistema está compuesto por los elementos 14,16,17 y 18 que pueden observarse en la tabla 2-6. Estas piezas trabajaron en conjunto con la finalidad de realizar los diferentes tipos de regulación en las rodillas.

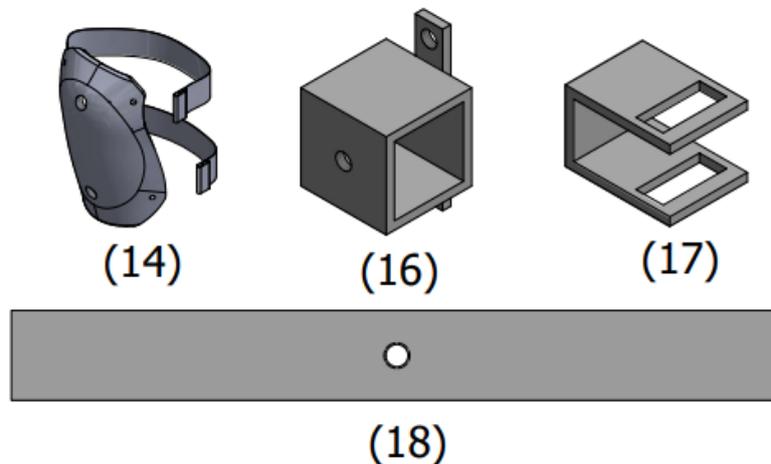


Figura 2-29 Diseño inicial del sistema completo de ajuste de rodillas

Pieza 14: Estructura de rodillera ajustada por medio de velcro desde un costado a otro donde cuenta con dos agujeros para el empernado con su soporte.

Pieza 16: El soporte de rodilleras cuenta con tres agujeros, uno es para una perilla de regulación ubicada en medio de una base cuadrada de 94x94 [mm] y los otros dos agujeros se encuentran en una estructura rectangular de 174x30[mm] que es soldada a la base cuadrada para la conexión con la rodillera.

Pieza 17: El elevador de rodilleras es aquel que permite operar todo el sistema, cuenta con tres caras que se realizan por el doblado de una plancha; una cara de 78x85 [mm] y dos caras de 85x115[mm] con un agujero rectangular de 70x30[mm], el cual se conecta con la placa deslizadora y está presente en la parte inferior de la columna con empuñadura.

Pieza 18: La placa deslizadora tiene forma rectangular cerrada y cuenta con dimensiones de 600x70[mm] con un agujero en la parte central y agujeros para el desplazamiento del soporte de rodillera.

Las fuerzas internas y externas se representaron en los siguientes DCL:

Para el caso de las rodilleras, se representaron las fuerzas de una sola rodillera:

$$\begin{aligned}\sum F_x = 0 &\rightarrow -F_{prsp1} - F_{pri1} = 0 \\ \sum F_y = 0 &\rightarrow F_{prs1} + F_{pri1} - W_{ro} = 0 \\ \sum F_z = 0 &\rightarrow -F_{ro} + F_{prih1} + F_{prsh1} = 0\end{aligned}\quad (2.28)$$

$$\begin{aligned}(\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{F_{pri1}} = 0 \\ W_{ro} * (0.0181102) - F_{ro} * (0.0853059) + F_{prs1} * (0.016256) + F_{prsh1} * (0.1371092) + M_{pri1} \\ &\quad + M_{prsp1} = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{F_{pri1}} = 0 \\ -F_{prsp1} * (0.1750568) + M_{prih1} + M_{prsh1} = 0\end{aligned}\quad (2.29)$$

$$\begin{aligned}(\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{F_{pri1}} = 0 \\ F_{prsp1} * (0.016256) + M_{pri1} + M_{prs1} = 0\end{aligned}$$

Para la placa deslizadora:

$$\begin{aligned}\sum F_x = 0 &\rightarrow F_{psrp2} + F_{ppdrch} + F_{psrp1} = 0 \\ \sum F_y = 0 &\rightarrow -F_{psr2} - F_{erpd2}/2 - W_{pdr} - F_{kppdrc} - F_{erpd1}/2 - F_{psr1} = 0 \\ \sum F_z = 0 &\rightarrow -F_{psrh2} + F_{erpdh2}/2 - F_{ppdrc} + F_{erpdh1}/2 - F_{psrh1} = 0\end{aligned}\quad (2.30)$$

$$\begin{aligned}(\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{F_{psr2}} = 0 \\ F_{erpd2}/2 * (0.2015) + F_{kppdrc} * (0.236) + W_{pdr} * (0.236) + F_{psr1} * (0.472) + F_{erpd1}/2 \\ &\quad * (0.2705) + M_{psrh1} + M_{psrh2} = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{F_{psr2}} = 0 \\ -F_{erpdh2}/2 * (0.2015) + F_{ppdrc} * (0.236) - F_{erpdh1}/2 * (0.2705) + F_{psrh1} * (0.472) + M_{psr1} \\ &\quad + M_{psr2} = 0\end{aligned}\quad (2.31)$$

$$\begin{aligned}(\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{F_{psr2}} = 0 \\ M_{psrp1} + M_{psrp2} + M_{ppdrc} = 0\end{aligned}$$

Donde W_{ro} , W_{sr} , W_{pdr} , W_{er} y F_{ro} son valores de entrada en este SEL, además por simetría del sistema ajuste de rodillas se cumplió lo siguiente:

$$\begin{array}{ll}
F_{prs1} = F_{pro1} & F_{kerc} = F_{kppdrc} \\
F_{prsp1} = F_{prp1} & F_{erch} = F_{ppdrch} \\
F_{prsh1} = F_{prih1} & M_{prs1} = M_{pri1} \\
F_{prs2} = F_{pri2} & M_{prsp1} = M_{prip1} \\
F_{prsp2} = F_{prip2} & M_{prsh1} = M_{prih1} \\
F_{prsh2} = F_{prih2} & M_{prs2} = M_{pri2} \\
F_{erpd1} = F_{erpd2} & M_{prsp2} = M_{prip2} \\
F_{erpdh2} = F_{erpdh1} & M_{prsh2} = M_{priph2} \\
F_{erc} = F_{ppdrc} & M_{erc} = M_{ppdrc}
\end{array}
\tag{2.32}$$

2.10.6 Sistema actuador

El sistema se dividió en cuerpo y eje del actuador; se ubicó entre los soportes de la columna y el soporte del asiento por medio de pasadores; el actuador en modo cerrado mide 421 [mm] y en modo abierto mide 621 [mm] aproximadamente, ya que se extiende por medio del eje del actuador 200 [mm]; funcionando por medio de una batería.

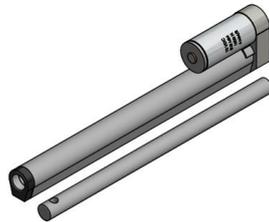


Figura 2-31 Diseño inicial del actuador lineal

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

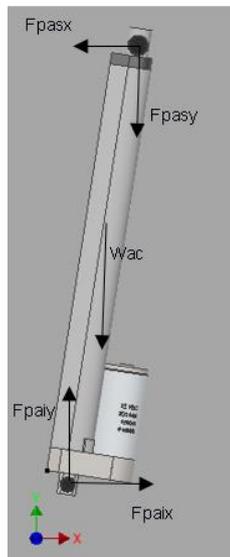


Figura 2-32 DCL del actuador lineal

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 &\rightarrow F_{paix} - F_{pasx} = 0 \\ \sum F_z = 0 &\rightarrow -W_{ac} + F_{paiy} - F_{pas_y} = 0 \end{aligned} \quad (2.33)$$

Donde W_{ac} y α es valor de entrada en este SEL, además por la inclinación del actuador, las fuerzas cuentan con las siguientes componentes:

$$\begin{aligned} F_{pas_y} &= F_{pas} * \sin(\alpha) \\ F_{pas_x} &= F_{pas} * \cos(\alpha) \end{aligned} \quad (2.34)$$

2.10.7 Sistema de columna-asiento

2.10.7.1 Soporte asiento

Se partió de una estructura soldada en forma de L acostada con ángulo de 150° entre caras, teniendo en cuenta que dos triángulos de la plancha están soldados en el espacio vacío generado por dos perfiles rectos; cuenta con dos agujeros en las caras laterales que servirán para acoplar los pasadores de la columna con empuñadura y el actuador lineal, asimismo dos agujeros para el empernado del asiento.

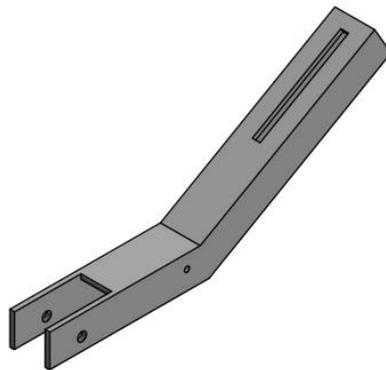


Figura 2-33 Diseño inicial del soporte asiento

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

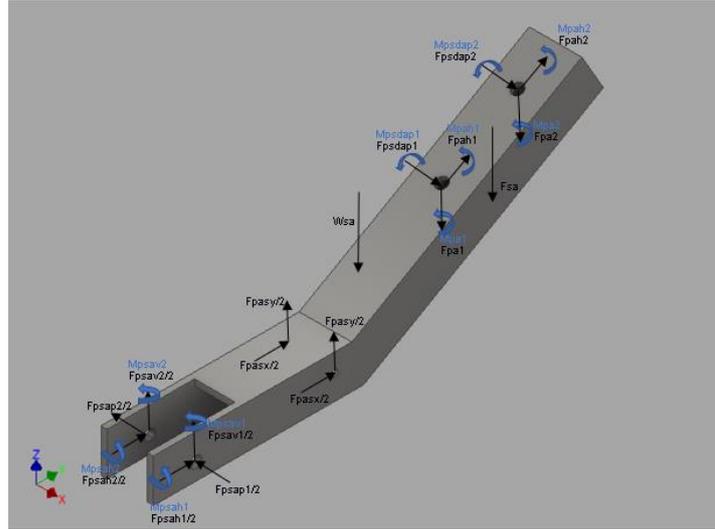


Figura 2-34 DCL del soporte asiento

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned}
 \sum F_x = 0 &\rightarrow -F_{psap1}/2 - F_{psap2}/2 + F_{psdap1} + F_{psdap2} = 0 \\
 \sum F_y = 0 &\rightarrow F_{psah1}/2 + F_{psah2}/2 + F_{pah1} + F_{pah2} + F_{pasx} = 0 \\
 \sum F_z = 0 &\rightarrow F_{psav1}/2 + F_{psav2}/2 + F_{psay}/2 + F_{psay}/2 - W_{sa} - F_{sa} - F_{pa1} - F_{pa2} = 0
 \end{aligned} \tag{2.35}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{F_{psav1}/2} = 0 \\
 \frac{F_{psav2}}{2} * (0.069) + F_{psay}/2 * (0.069) - W_{sa} * (0.0345) - F_{sa} * (0.0345) + F_{pa1} * (0.0345) \\
 &\quad - F_{pa2} * (0.0345) + F_{psdap1} * (0.138703) + F_{psdap2} * (0.203703) - M_{pah1} \\
 &\quad - M_{pah2} - M_{psah1} - M_{psah2} = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{F_{psav1}/2} = 0 \\
 F_{psay} * (0.205512) + W_{sa} * (0.289929) + F_{sa} * (0.4603875) + F_{pa1} * (0.404096) \\
 &\quad + F_{pa2} * (0.516679) + F_{pah1} * (0.138703) + F_{pah2} * (0.203703) \\
 &\quad + F_{pasx} * (0.012027) - M_{psdap1} - M_{psdap2} = 0
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{F_{psav1}/2} = 0 \\
 \frac{F_{psah2}}{2} * (0.069) + F_{pah1} * (0.0345) + F_{pah2} * (0.0345) + \frac{F_{pasx}}{2} * (0.069) - M_{pa1} - M_{pa2} - M_{psav1} \\
 &\quad - M_{psav2} = 0
 \end{aligned}$$

Donde W_{sa} es valor de entrada en este SEL, además por simetría del soporte asiento se cumplió lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 F_{psav1} &= F_{psav2} & M_{psav1} &= M_{psav2} \\
 F_{psap1} &= F_{psap2} & M_{psah1} &= M_{psah2} \\
 F_{psah1} &= F_{psah2} & &
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 &\rightarrow -F_{cp} + F_{ppdrc} - F_{erc} + F_{psah1}/2 - F_{psah2}/2 + F_{pcs1} + F_{pc} - F_{paix} = 0 \\ \sum F_y = 0 &\rightarrow F_{pci} - F_{paiy}/2 - F_{paiy}/2 + F_{kppdrc} + F_{kerc} - W_c - F_{psav2}/2 - F_{psav1}/2 - F_{pcs} = 0 \\ \sum F_z = 0 &\rightarrow F_{pcz} - F_{erch} - F_{ppdrch} + F_{psap1}/2 + F_{psap2}/2 + F_{pcs2} = 0 \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{F_{pai}/2} = 0 \\ &-F_{paiy}/2 * (0.026) + F_{pci} * (0.013) + F_{psav1}/2 * (0.012) - F_{psav2}/2 * (0.038) - W_c * (0.013) \\ &- F_{pcs} * (0.013) + F_{kerc} * (0.015) + F_{kppdrc} * (0.015) + F_{pcz} * (0.047) - F_{erch} \\ &* (0.3645) - F_{ppdrch} * (0.3645) + F_{psap1}/2 * (0.483759) + F_{psap2}/2 \\ &* (0.483759) + F_{pcs2} * (0.755) + M_{pcs1} + M_{psah1} + M_{psah2} + M_{erc} - M_{ppdrc} \\ &- M_{cp} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{F_{pai}/2} = 0 \\ F_{pci} * (0.132) - F_{cp} * (0.047) + W_c * (0.104583) - F_{psav2}/2 * (0.122) - F_{psav1}/2 * (0.122) - F_{pcs} \\ &* (0.269846) + F_{pc} * (0.707717) + F_{ppdrc} * (0.363164) - F_{erc} * (0.363164) \\ &+ F_{kppdrc} * (0.122083) + F_{kerc} * (0.07214) - F_{psah1}/2 * (0.483759) - F_{psah2}/2 \\ &* (0.483759) + F_{pcs1} * (0.755) + M_{pcs2} - M_{pcz} = 0 \end{aligned} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } xz) &\rightarrow \sum M_{F_{pai}/2} = 0 \\ -F_{cp} * (0.013) - F_{erc} * (0.015) + F_{ppdrc} * (0.015) - F_{pc}/2 * (0.31288) + F_{pc}/2 * (0.33888) - F_{pcz} \\ &* (0.132) + F_{erch} * (0.07239) + F_{ppdrch} * (0.122) + F_{psah1}/2 * (0.026) \\ &- F_{psah2}/2 * (0.052) + F_{pcs1} * (0.013) - F_{pcs2} * (0.269846) - F_{psap1}/2 * (0.122) \\ &- F_{psap2}/2 * (0.122) - F_{paix}/2 * (0.028) + M_{pcs} + M_{psav1} + M_{psav2} - M_{pci} = 0 \end{aligned}$$

Donde W_c y F_{pc} son valores de entrada en este SEL.

2.10.7.3 Asiento

Se partió de la unión emperrada de la base de madera acolchonada con forma rectangular de 280x150 [mm] y con dos roscas para el emperrado con su soporte.

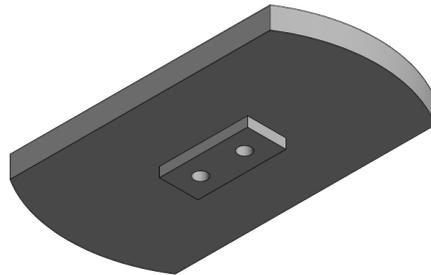


Figura 2-37 Diseño inicial del asiento

Las fuerzas internas y externas se representaron en el siguiente DCL:

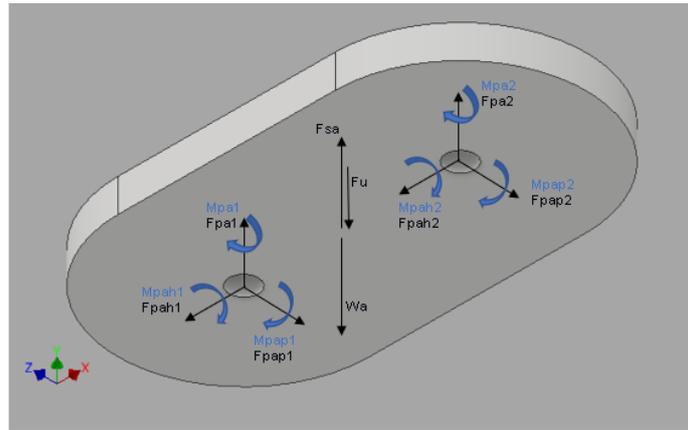


Figura 2-38 DCL del asiento

Por lo tanto, se obtuvieron las siguientes generales:

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 &\rightarrow F_{pa1} + F_{pa2} - F_u + F_{sa} - W_a = 0 \\ \sum F_x = 0 &\rightarrow F_{pah1} + F_{pah2} = 0 \\ \sum F_z = 0 &\rightarrow F_{psdap1} + F_{psdap2} = 0 \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{Fpa1} = 0 \\ F_u * (0.065) + W_a * (0.065) - F_{sa} * (0.065) - F_{pa2} * (0.13) + M_{psdap1} + M_{psdap2} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } xy) &\rightarrow \sum M_{Wa} = 0 \\ F_{pa1} * (0.065) - F_{pa2} * (0.065) + M_{psdap1} + M_{psdap2} &= 0 \end{aligned} \quad (2.41)$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } zx) &\rightarrow \sum M_{Wa} = 0 \\ F_{psdap1} * (0.065) - F_{psdap2} * (0.065) + M_{pa1} + M_{pa2} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{plano } yz) &\rightarrow \sum M_{Wa} = 0 \\ M_{pah1} + M_{pah2} &= 0 \end{aligned}$$

Donde W_a y F_u son valores de entrada en este SEL, además por simetría de la columna con empuñadura se cumplió lo siguiente:

$$\begin{aligned} F_{pa1} &= F_{pa2} & M_{pah1} &= M_{pah2} \\ F_{psdap1} &= F_{psdap2} & M_{psdap1} &= M_{psdap2} \\ F_{pah1} &= F_{pah2} & M_{pa1} &= M_{pa2} \end{aligned} \quad (2.42)$$

2.10.8 Resolución del sistema mecánico

Para la obtención de las fuerzas internas se empleó un sistema de resolución en cadena, donde las fuerzas externas dependen únicamente de las fuerzas de sus elementos antecesores generando un sistema lineal con solución única.

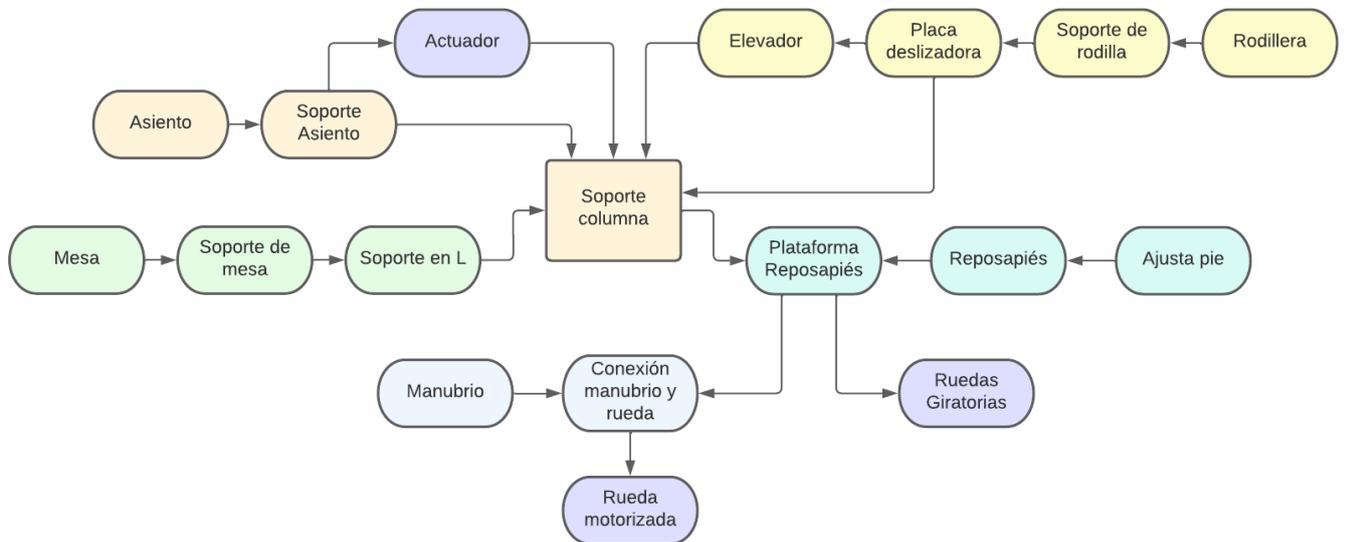


Figura 2-39 Diagrama de la resolución en cadena de los elementos mecánicos

2.10.9 Sistema de pernería

2.10.9.1 Perilla

Para la perilla se partió de material plástico, otorgando una mayor sujeción con el pasador o perno del cual se va a disponer.

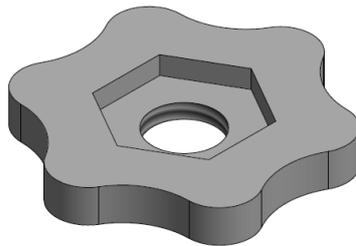


Figura 2-40 Diseño inicial de la perilla

2.10.9.2 Diámetro del perno y pasador

El cálculo del diámetro mínimo del perno y pasador se obtuvo a partir de la fuerza máxima ejercida en los diferentes elementos de conexión del bipedestador, teniendo en cuenta el FOS definido en la sección 1.4.5.4, se generó la siguiente ecuación:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\frac{8.5F_{max}}{\sigma_f} \right)} \quad (2.43)$$

2.11 Método de obtención de resultados

El bipedestador es la unión de un conjunto de elementos. Sin embargo, se pueden resumir en dos sistemas principales.

2.11.1 Sistema mecánico

En este apartado se utilizaron las ecuaciones de la sección 1.4.4, donde:

Para la simulación de tensiones se empleó la ecuación de caso tridimensional para la obtención de las fuerzas internas ya que se escogió una vista 3D de los elementos, considerando que se inició con dimensiones asumidas como referencia, teniendo en cuenta los materiales presentes en el mercado nacional, se procedió a realizar por medio de iteración la primera respuesta de solución y se la expresó como base para el cálculo de todas las demás variables, cada iteración permitió conocer las características de las tensiones, desplazamientos y FOS con la finalidad de encontrar los resultados que brinden al conjunto de elementos, los materiales, las dimensiones, el FOS y todas las características necesarias para elegir la mejor opción de solución con respecto a los objetivos planteados en el proyecto.

Mediante FEA se determinó el valor de las tensiones y por medio de gráficos se mostró cómo se distribuyen estos esfuerzos alrededor de la pieza analizada, estos resultados se obtuvieron por medio de la simulación en Inventor 2021, además de la observación de las secciones críticas de cada elemento del bipedestador.

2.11.2 Sistema eléctrico

Dentro de esta fase se realizó el análisis de los componentes eléctricos tales como controladores, baterías, actuadores y motores para su consecutiva selección, además, mediante ella se realizó la automatización del dispositivo.

Fase 1: Especificaciones de criterios y restricciones del sistema a diseñar, con el fin de hallar alternativas de solución.

Fase 2: Determinar la solución más óptima con respecto a las alternativas planteadas mediante matrices de decisión.

Fase 3: Preparación del diagrama de flujo para la programación del accionamiento y propulsión.

Fase 4: Selección de actuadores, baterías, motores y controladores comerciales.

Fase 5: Estudio del funcionamiento del dispositivo.

2.12 Condiciones de la rueda motorizada y batería

El accionamiento necesario para el movimiento de la rueda delantera recayó en un motor de corriente, la corriente consumida por el motor en operación dependió de la selección de la batería y las conexiones eléctricas empleadas.

Para la obtención de la velocidad de la rueda motorizada, se utilizó la tabla de revoluciones en función del voltaje y la corriente, el cual entregó el proveedor.

Por otro lado, la elección de la batería se realizó por medio del consumo de voltaje y corriente que se determinó en los componentes eléctricos del bipedestador, el cual debía cumplir con ser recargable, soportar temperatura ambiente y contar con el voltaje necesario para que pueda distribuir la corriente tanto en el sistema de propulsión como el de accionamiento.

2.13 Diseño del sistema electrónico de control

Para el diseño del circuito, la rueda motorizada cuenta con su propio controlador y en el caso del actuador eléctrico se le realizó el diseño electrónico del mismo. A continuación, se observa la secuencia de la activación de la parte eléctrica del sistema.

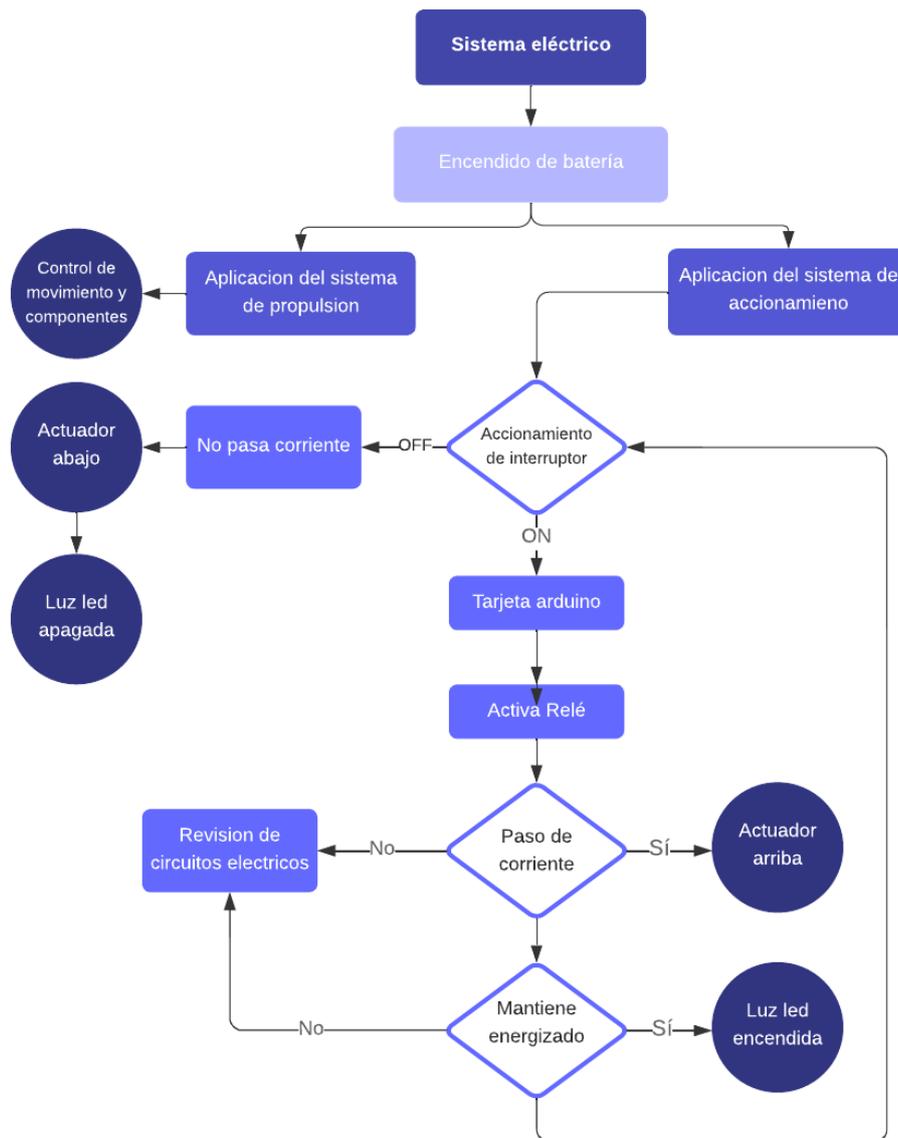


Figura 2-41 Diagrama de flujo del sistema de control

La idea de un controlador es proporcionar el mayor grado de control al usuario sobre los movimientos de la bipedestador y del actuador con el mínimo esfuerzo posible. En forma sencilla se logró transmitir órdenes electrónicas mediante Arduino, independizando a la persona en levantamiento mediante un control de su entorno. Además, el actuador y motor tienen una configuración que permite la bajada y el apagado del actuador y motor respectivamente.

Una vez determinados los pesos, las dimensiones y demás características de los componentes, se procedió a verificar la mejor opción para la selección del actuador, el cual es el principal elemento para el accionamiento del bipedestador.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En esta sección se detallaron los resultados de la solución definitiva de los elementos, además se observa la selección y el diseño de varios componentes.

3.1 Desarrollo de la parte mecánica:

Se especificaron los resultados por medio de tablas de valores para cada uno de los elementos mecánicos del bipedestador.

3.1.1 Mesa

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

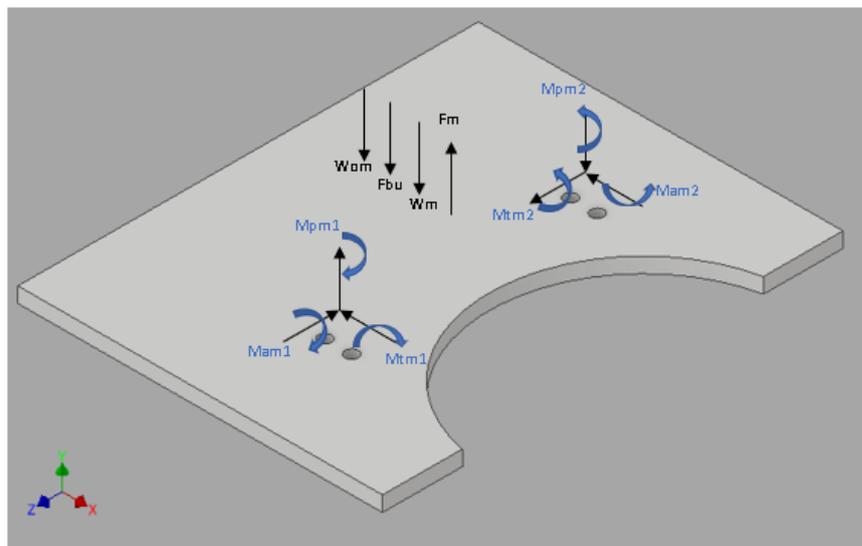


Figura 3-1 DCL de la mesa

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-1 Valores de entrada de la mesa

Material	Volumen [mm ³]	W_{om} [N]	W_m [N]	F_{bu} [N]
MDF Fibraplac Chapa	5201530	50	52	98

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.4.3, obteniendo un sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas.

Tabla 3-2 Fuerzas internas en la mesa

Fm [N]	Fam [N]	Fpm [N]	Ftm [N]	Mam [Nm]	Mpm [Nm]	Mtm [Nm]
313,6	1	-60,28	0	3,215	0	-3,55E-15

El FEA que se aplicó en la mesa muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

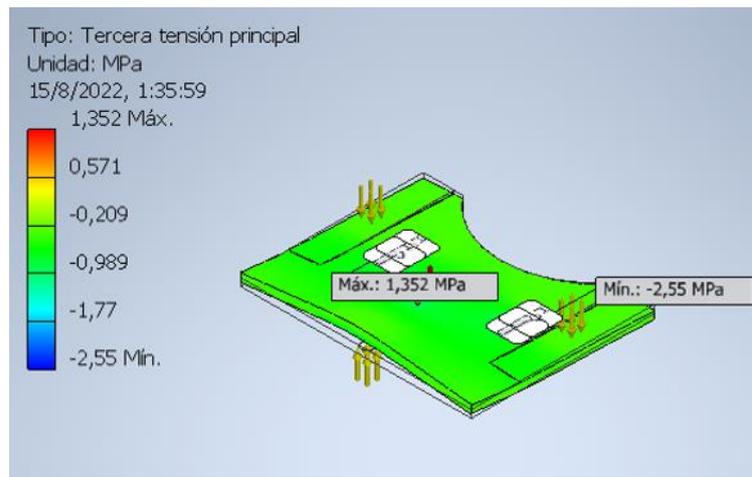


Figura 3-2 Distribución de esfuerzos en la mesa

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-3 Resumen de resultados en la mesa

Tensión de Von Mises	1,16419 MPa
Primera tensión principal	2,55875 MPa
Tercera tensión principal	-2,54991 MPa
Coficiente de seguridad	15 su

3.1.2 Soporte de mesa

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

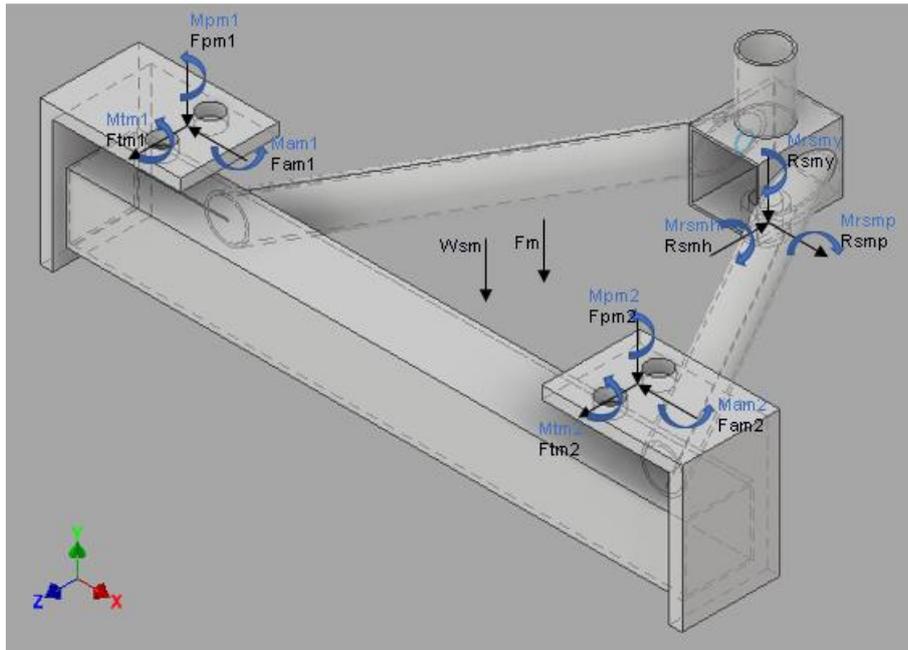


Figura 3-3 DCL del soporte de mesa

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-4 Valores de entrada del soporte de mesa

Material	Volumen [mm ³]	Wsm [N]
Acero galvanizado	532523	40,55

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.4.2, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-5 Fuerzas internas en el soporte de mesa

Rsmh [N]	Rsmv [N]	Rsmv [N]	Mrsmh [Nm]	Mrsmv [Nm]	Mrsmv [Nm]
0	0	-233,6	0	59,44	0

El FEA que se aplicó en el soporte de mesa muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

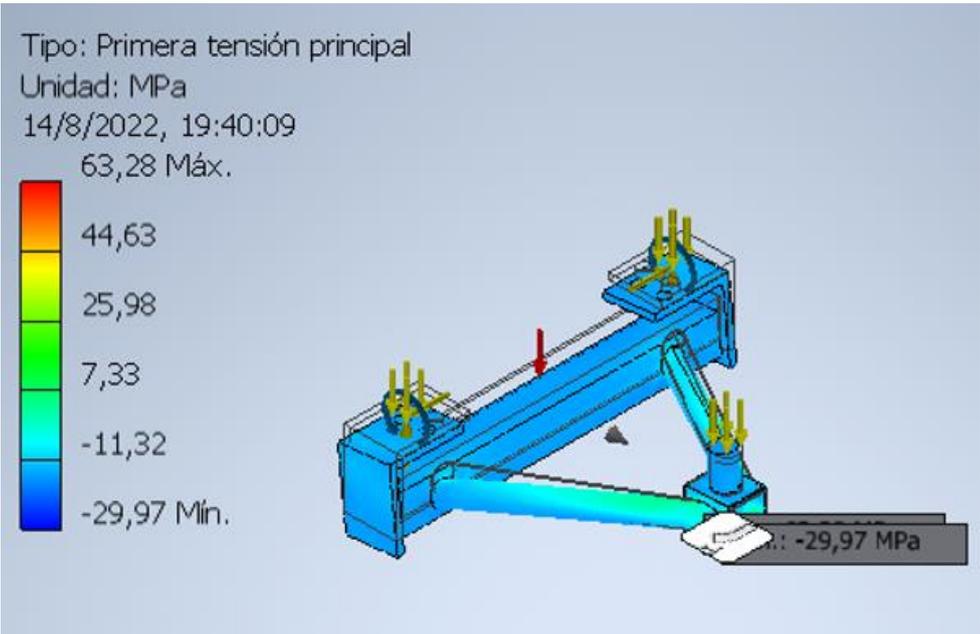


Figura 3-4 Distribución de esfuerzos en el soporte de mesa

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-6 Resumen de resultados en soporte de mesa

Tensión de Von Mises	49,9399 MPa
Primera tensión principal	63,2835 MPa
Tercera tensión principal	-49,2125 MPa
Desplazamiento	0,5956 mm
Coefficiente de seguridad	4,14498 su

3.1.3 Elevador de mesa

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

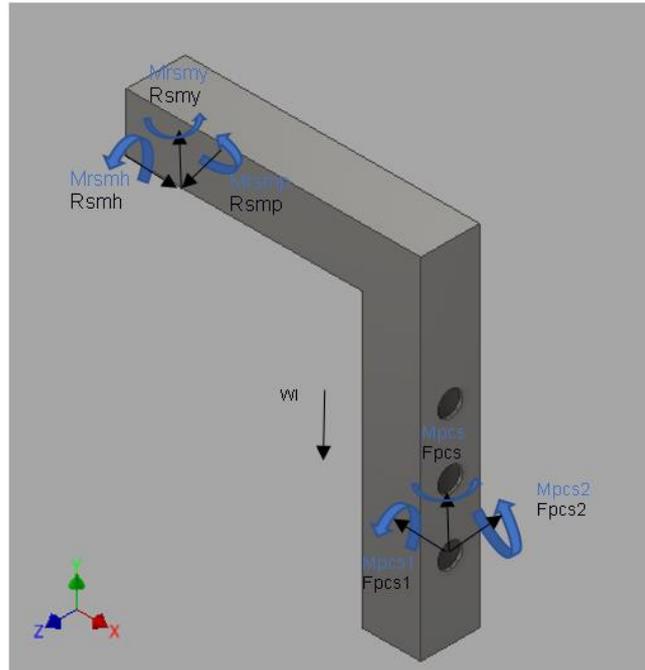


Figura 3-5 DCL del elevador de mesa

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-7 Valores de entrada del elevador de mesa

Material	Volumen [mm ³]	WI [N]
Acero galvanizado	126267	9,241

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.4.1, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-8 Fuerzas internas en el elevador de mesa

Fpcs [N]	Fpcs1 [N]	Fpcs2 [N]	Mpcs [Nm]	Mpcs1 [Nm]	Mpcs2 [Nm]
242,8	0	0	0	0	-98,54

El FEA que se aplicó en el elevador de mesa muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

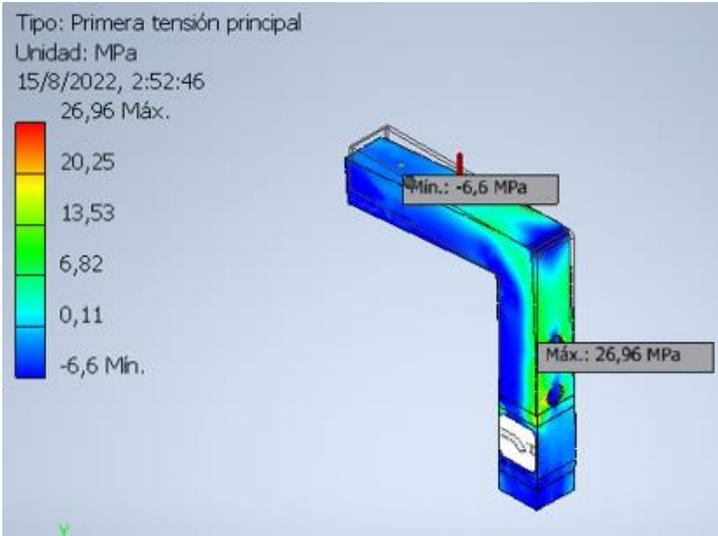


Figura 3-6 Distribución de esfuerzos en el elevador de mesa

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-9 Resumen de resultados en elevador de mesa

Tensión de Von Mises	51,6597 MPa
Primera tensión principal	26,959 MPa
Tercera tensión principal	-57,2695 MPa
Desplazamiento	0,149067 mm
Coefficiente de seguridad	4,00699 su

3.1.4 Asiento

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

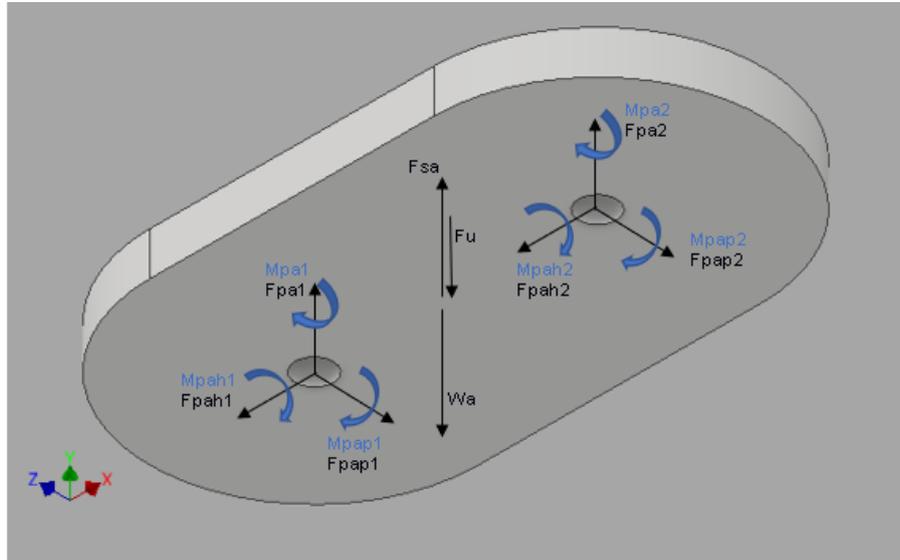


Figura 3-7 DCL del asiento

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-10 Valores de entrada del asiento

Material	Volumen [mm ³]	Wa [N]	Fu [N]
MDF Fibraplac Chapa	768582	6,429	750

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.7.3, obteniendo un sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas.

Tabla 3-11 Fuerzas internas en el asiento

Fsa [N]	Fpa [N]	Fpah [N]	Fpsdap [N]	Mpa [Nm]	Mpah [Nm]	Mpsdap [Nm]
364,8	195,8	0	0	0	0	-2,42E-25

El FEA que se aplicó en el asiento muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

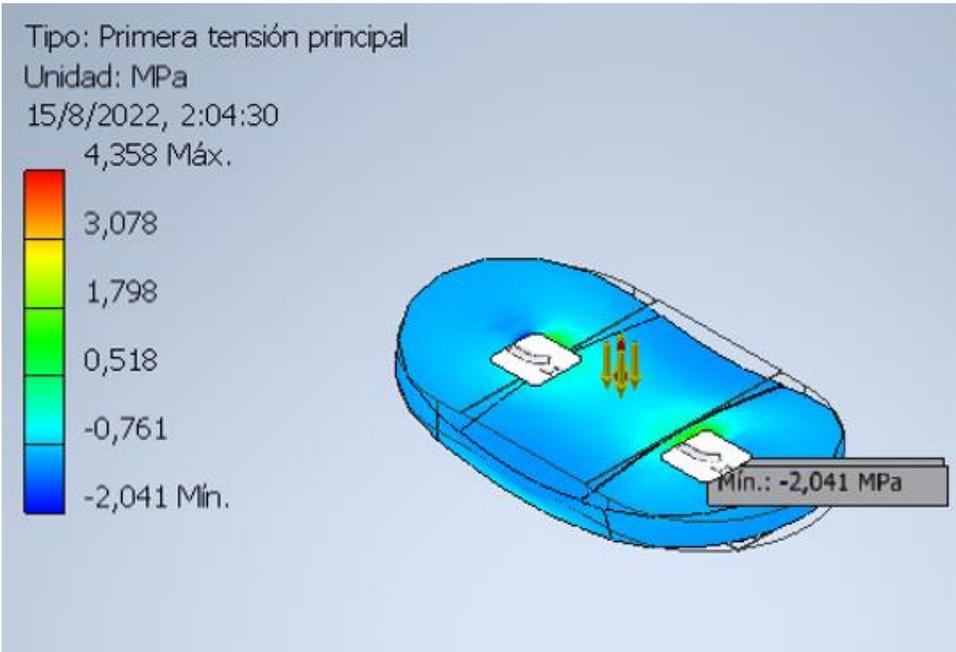


Figura 3-8 Distribución de esfuerzos en el asiento

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-12 Resumen de resultados en el asiento

Tensión de Von Mises	2,55226 MPa
Primera tensión principal	4,35769 MPa
Tercera tensión principal	-4,19472 MPa
Coefficiente de seguridad	6,91152 su

3.1.5 Soporte de asiento

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

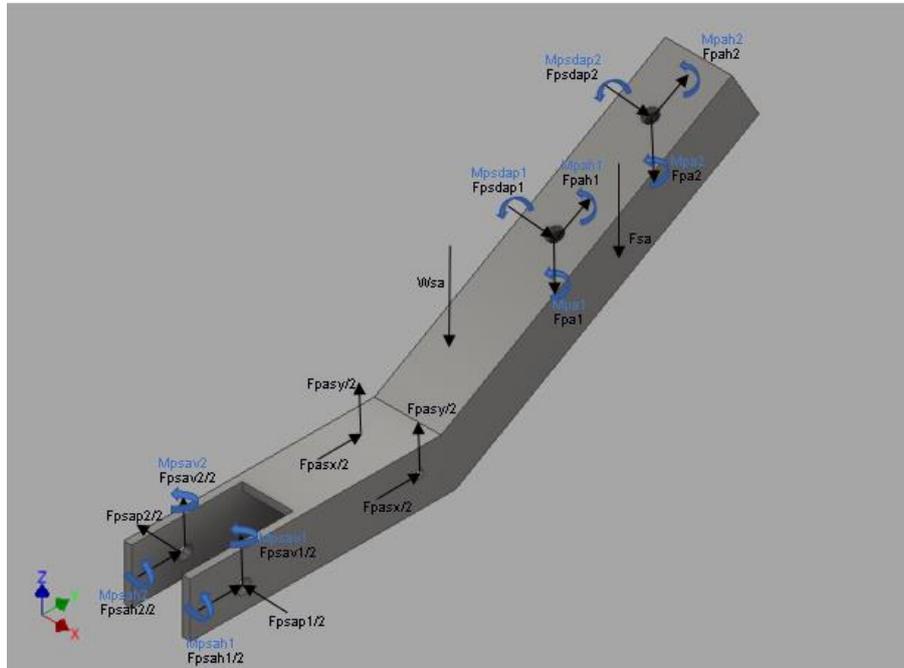


Figura 3-9 DCL del soporte de asiento

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-13 Valores de entrada del soporte de asiento

Material	Volumen [mm ³]	Wsa [N]
Acero galvanizado	1106530	85,12

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.7.1, obteniendo un sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas.

Tabla 3-14 Fuerzas internas del soporte de asiento

Fpasx [N]	Fpasy [N]	Fpsah [N]	Fpsap [N]	Fpsav [N]	Mpsah [Nm]	Mpsav [Nm]
290,1	1832	-290,1	0	-990	2,78E-15	-3,91E-16

El FEA que se aplicó en el soporte de asiento muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

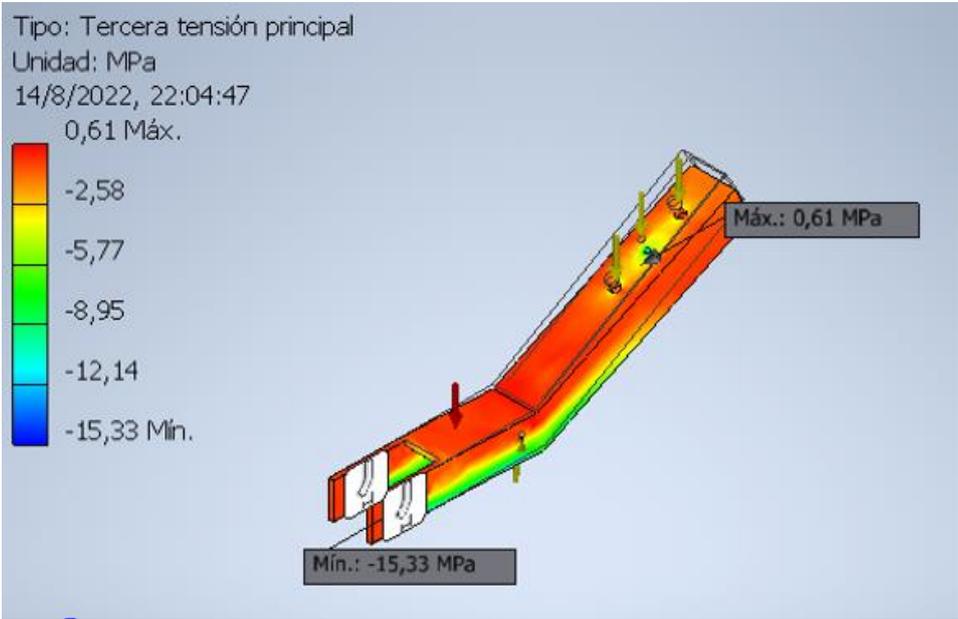


Figura 3-10 Distribución de esfuerzos en el soporte de asiento

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-15 Resumen de resultados del soporte de asiento

Tensión de Von Mises	19,7925 MPa
Primera tensión principal	16,376 MPa
Tercera tensión principal	-15,327 MPa
Desplazamiento	0,227397 mm
Coefficiente de seguridad	10,4585 su

3.1.6 Actuador eléctrico

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

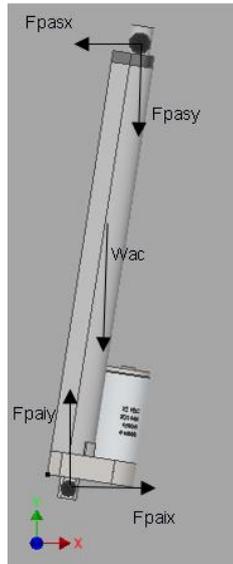


Figura 3-11 DCL del actuador eléctrico

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-16 Valores de entrada del actuador eléctrico

Material	W_{ac} [N]	α [°]
Aleación de aluminio	9,8588	81

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.6, obteniendo un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas.

Tabla 3-17 Fuerzas internas del actuador eléctrico

F_{paix} [N]	F_{paiy} [N]
290,1	1841,8588

Mediante los resultados obtenidos por las fuerzas internas que intervienen en el actuador, se procedió a realizar la selección del sistema de elevación, procurando que cumpla con las características mínimas que exige el bipedestador:

- Carga de elevación máxima = 1850 [N]
- Recorrido o barrido del actuador = 175 [mm]
- Retracción máxima del actuador = 397 [mm]
- Tamaño del actuador extendido = 572 [mm]

Por lo tanto, para la selección final del actuador se utilizaron catálogos.

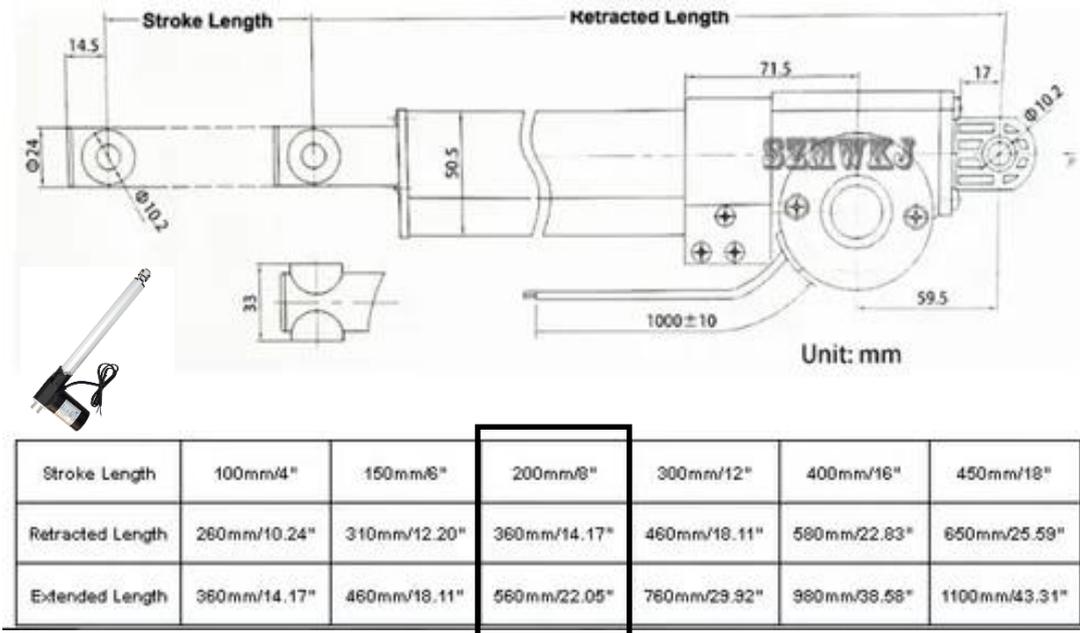


Figura 3-12 Catálogo de dimensiones del actuador lineal

Finalmente, se muestran las características del actuador seleccionado.

Tabla 3-18 Especificaciones del actuador lineal

Material	Aleación de aluminio
Capacidad de carga	3000 N
Voltaje de entrada	12V DC
Velocidad	14 mm/s
Recorrido	200 mm/8"
Temperatura	-20°C a 75°C
Potencia	20W a 30W

3.1.7 Rodillera

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

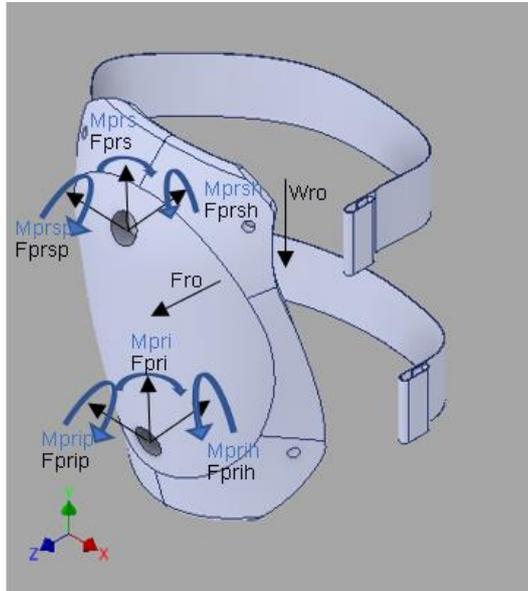


Figura 3-13 DCL de la rodillera

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-19 Valores de entrada de las rodilleras

Material	Volumen [mm ³]	Wro [N]	Fro [N]
Plástico PET	370630	5,5958	10

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.5, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas tanto para la rodillera derecha como para la izquierda.

Tabla 3-20 Fuerzas internas de las rodilleras

Fprs [N]	Fprsh [N]	Fprsp [N]	Mprs [N]	Mprsh [N]	Mprsp [N]
2,798	5	0	0	0	0,01034

El FEA que se aplicó en las rodilleras muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

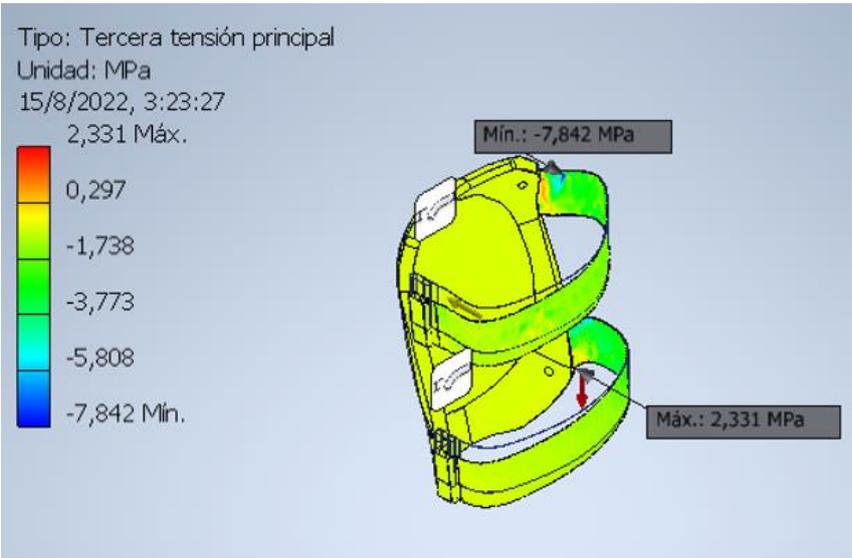


Figura 3-14 Distribución de esfuerzos en las rodilleras

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-21 Resumen de resultados de las rodilleras

Tensión de Von Mises	5,20586 MPa
Primera tensión principal	7,39463 MPa
Tercera tensión principal	-7,84232 MPa
Desplazamiento	4,88435 mm
Coefficiente de seguridad	10,4498 su

3.1.8 Soportes de rodillera

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

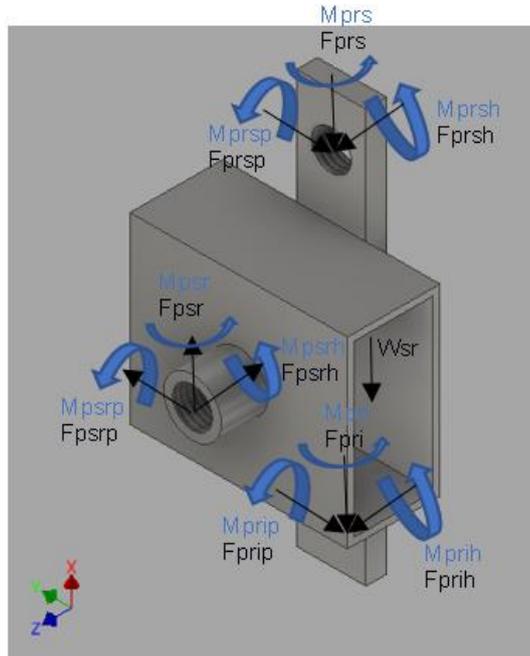


Figura 3-15 DCL de soportes de rodillera

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-22 Valores de entrada de soportes de rodillera

Material	Volumen [mm ³]	Wsr [N]
Acero galvanizado	113083	8,702

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.5, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas tanto para el soporte derecho como para el izquierdo.

Tabla 3-23 Fuerzas internas de soportes de rodillera

Fpsr [N]	Fpsrh [N]	Fpsrp [N]	Mpsr [Nm]	Mpsrh [Nm]	Mpsrp [Nm]
14,3	10	0	0	0	0,5678

El FEA que se aplicó en los soportes de rodillera muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

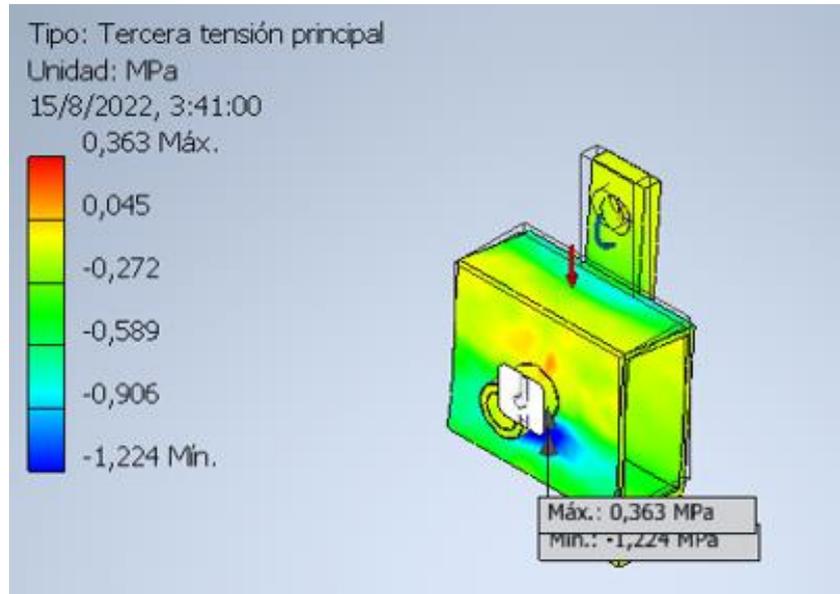


Figura 3-16 Distribución de esfuerzos en los soportes de rodillera

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-24 Resumen de resultados de soportes de rodillera

Tensión de Von Mises	1,27367 MPa
Primera tensión principal	1,49123 MPa
Tercera tensión principal	-1,22375 MPa
Desplazamiento	0,00384895 mm
Coefficiente de seguridad	15 su

3.1.9 Placa deslizador

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

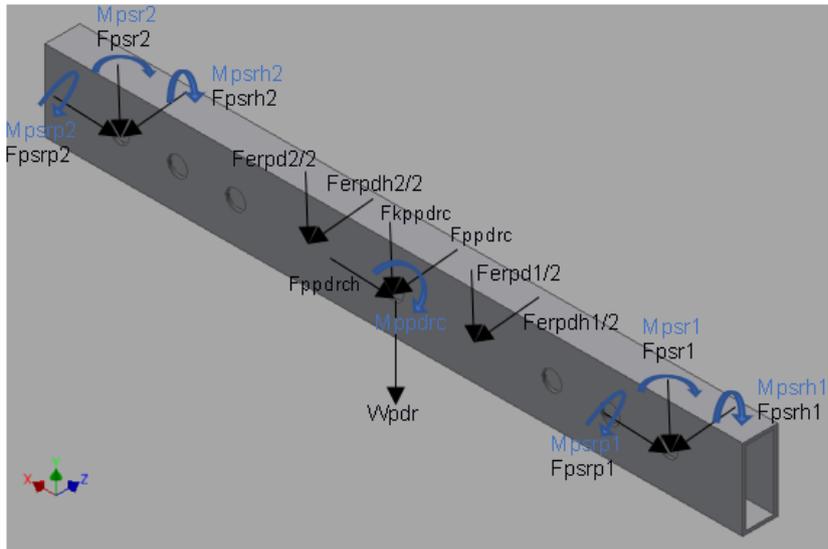


Figura 3-17 DCL de placa deslizador

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-25 Valores de entrada de placa deslizador

Material	Volumen [mm ³]	W_{pdr} [N]
Acero galvanizado	332762	25,6

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.5, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-26 Fuerzas internas de placa deslizador

F_{kppdrc} [N]	F_{ppdrc} [N]	F_{ppdrch} [N]	F_{erpd} [N]	F_{erpdh} [N]	M_{ppdrc} [Nm]
-18,53	-12,9	0	-35,67	7,102	-1,136

El FEA que se aplicó en la placa deslizadora muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

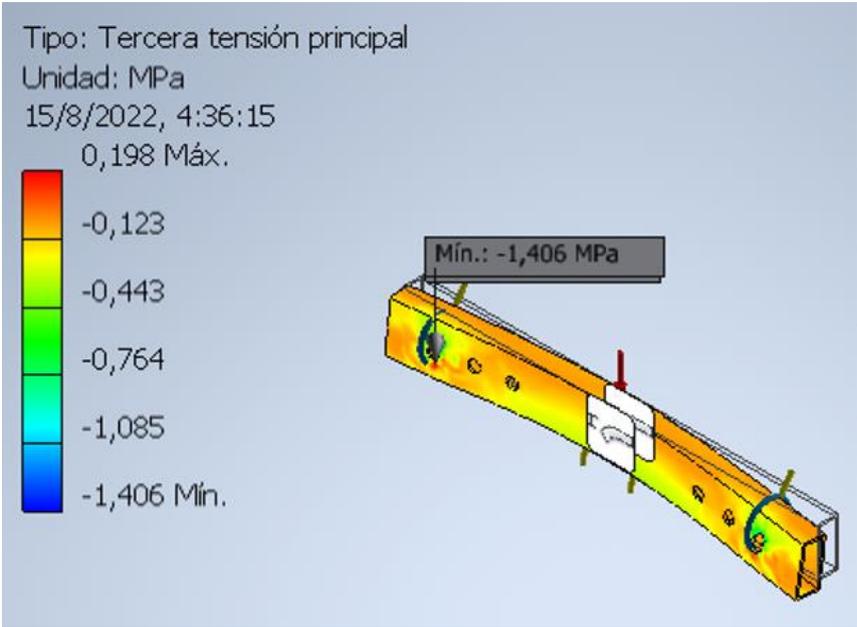


Figura 3-18 Distribución de esfuerzos en la placa deslizadora

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-27 Resumen de resultados de la placa deslizadora

Tensión de Von Mises	1,36832 MPa
Primera tensión principal	1,33373 MPa
Tercera tensión principal	-1,40572 MPa
Desplazamiento	0,00154942 mm
Coficiente de seguridad	15 su

3.1.10 Elevador de rodilleras

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

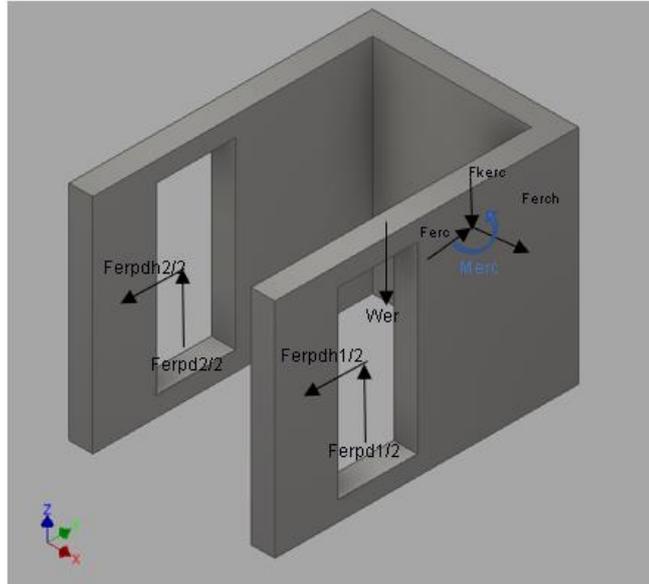


Figura 3-19 DCL del elevador de rodilleras

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-28 Valores de entrada del elevador de rodilleras

Material	Volumen [mm ³]	Wer [N]
Acero galvanizado	184050	15

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.5, obteniendo un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas.

Tabla 3-29 Fuerzas internas del elevador de rodilleras

Fkerc [N]	Ferc [N]	Ferch [N]	Merc [Nm]
-18,53	-12,9	0	-1,136

El FEA que se aplicó en el elevador de rodilleras muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

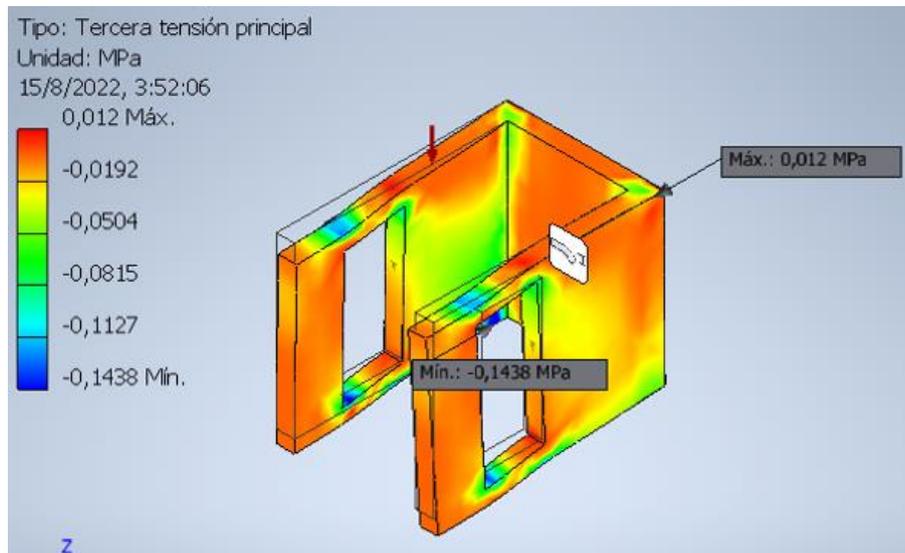


Figura 3-20 Distribución de esfuerzos del elevador de rodilleras

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-30 Resumen de resultados del elevador de rodilleras

Tensión de Von Mises	0,141644 MPa
Primera tensión principal	0,150878 MPa
Tercera tensión principal	-0,143846 MPa
Desplazamiento	0,000119947 mm
Coefficiente de seguridad	15 su

3.1.11 Ajusta pie

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

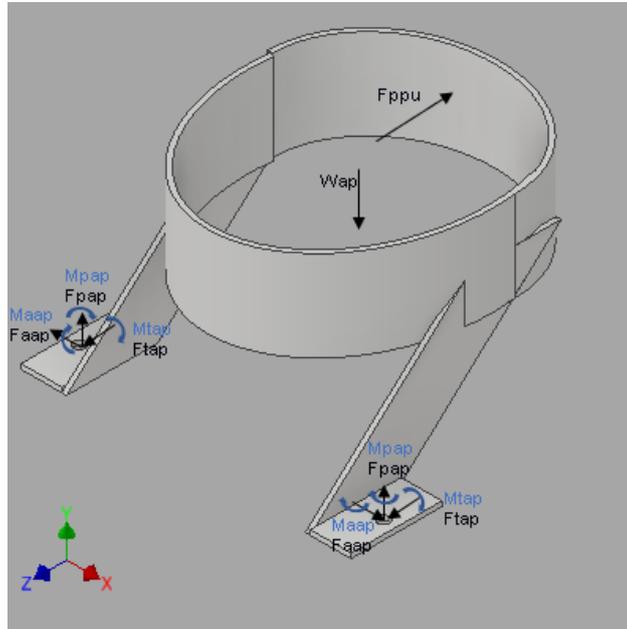


Figura 3-21 DCL del ajusta pie

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-31 Valores de entrada del ajusta pie

Material	Volumen [mm ³]	Wvap [N]	Fppu [N]
Plástico PET	36022,7	0,5488	20

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.1.3, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas tanto para el ajuste derecho como para el izquierdo.

Tabla 3-32 Fuerzas internas del ajusta pie

Faap [N]	Fpap [N]	Ftap [N]	Maap [Nm]	Mpap [Nm]	Mtap [Nm]
1	0,2744	10	-0,6068	0,00048	-1,32E-05

El FEA que se aplicó en el ajusta pie muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

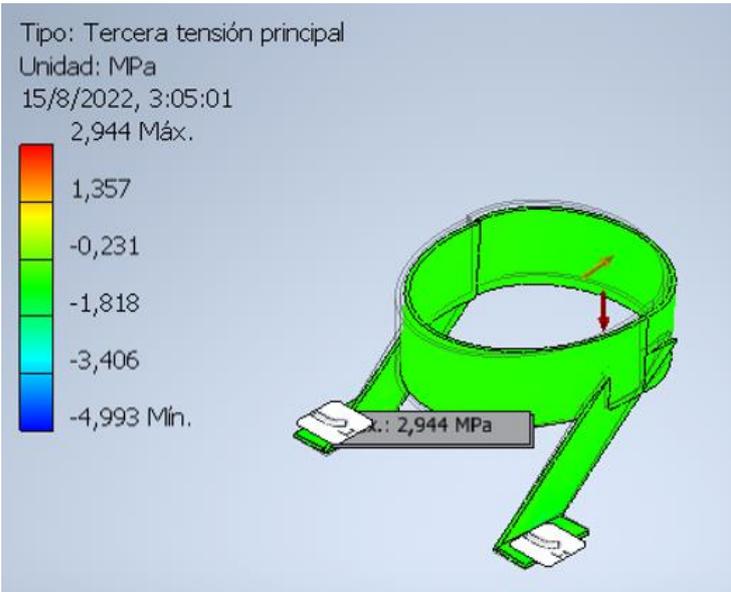


Figura 3-22 Distribución de esfuerzos del ajusta pie

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-33 Resumen de resultados del ajusta pie

Tensión de Von Mises	2,57147 MPa
Primera tensión principal	4,82234 MPa
Tercera tensión principal	-4,99344 MPa
Desplazamiento	0,0469954 mm
Coficiente de seguridad	15 su

3.1.12 Reposapiés

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

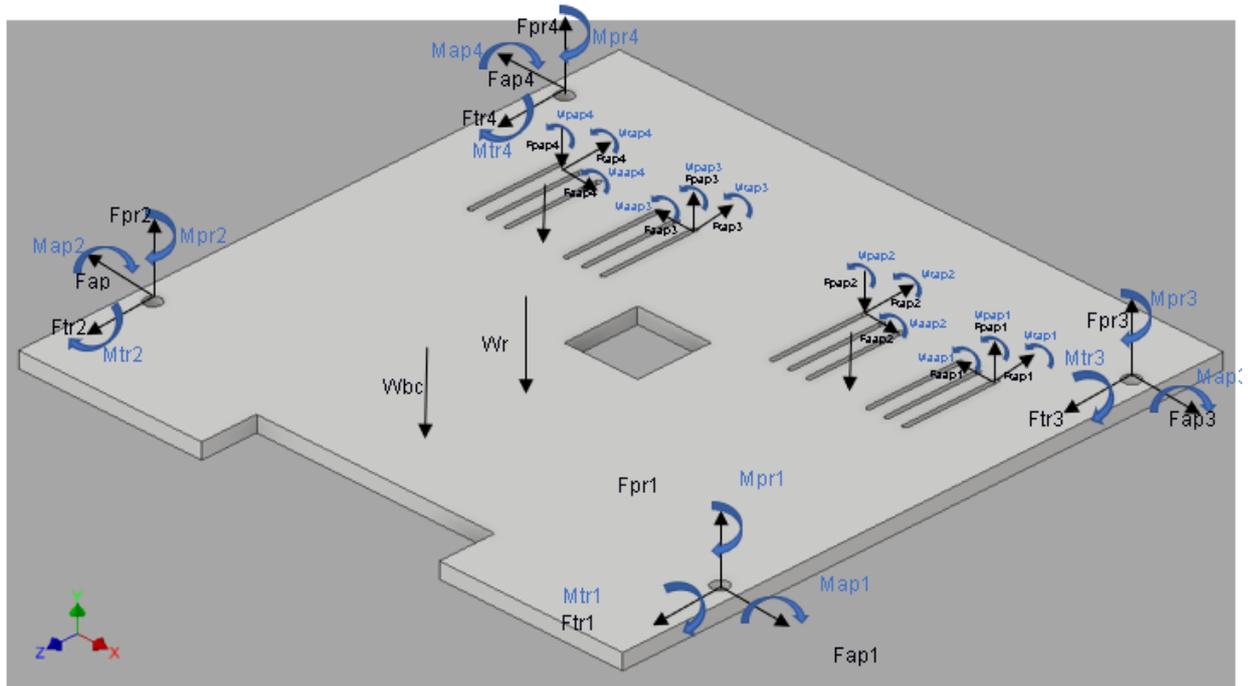


Figura 3-23 DCL del reposapiés

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-34 Valores de entrada del reposapiés

Material	Volumen [mm ³]	Wb [N]	Wce [N]	Wr [N]	Fpu [N]
MDF Fibraplac Chapa	8190650	21	20	70,81	750

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.1.1, obteniendo un sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas.

Tabla 3-35 Fuerzas internas del reposapiés

Wbce [N]	Fpr [N]	Fap [N]	Ftr [N]	Map [Nm]	Mpr [Nm]	Mtr [Nm]
240	265,5	1	10	-9,046	0,00048	-1,32E-05

El FEA que se aplicó en el reposapiés muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

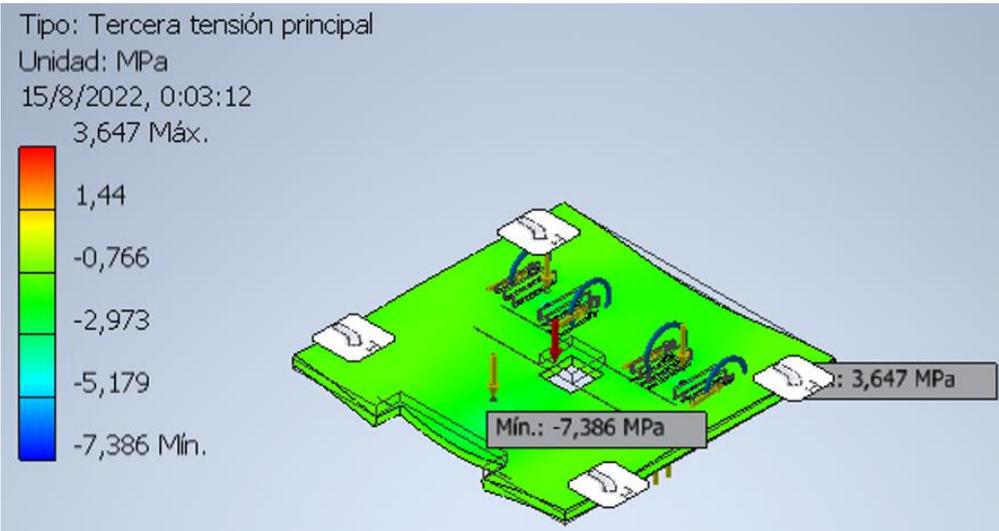


Figura 3-24 Distribución de esfuerzos del reposapiés

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-36 Resumen de resultados del reposapiés

Tensión de Von Mises	1,49664 MPa
Primera tensión principal	2,9846 MPa
Tercera tensión principal	-1,852 MPa
Coficiente de seguridad	11,78641 su

Tabla 3-38 Fuerzas internas de la plataforma reposapiés standing

Facmr [N]	Fcmr [N]	Ffrc [N]	Farg [N]	Ffrgpr [N]	Frg [N]	Macmr [Nm]	Mfrc [Nm]	Mfrgpr [Nm]
26,91	773,2	8,13E-09	13,46	78,8	430,4	-4164	-1046	528,1
Marg [N]	Mrg [N]							
2062	11,18							

Tabla 3-39 Fuerzas internas de la plataforma reposapiés no standing

Facmr [N]	Fcmr [N]	Ffrc [N]	Farg [N]	Ffrgpr [N]	Frg [N]	Macmr [Nm]	Mfrc [Nm]	Mfrgpr [Nm]
43,03	687,9	1,51E-08	21,52	78,8	472,9	2255	-4711	2364
Marg [N]	Mrg [N]							
-1245	18.01							

El FEA que se aplicó en la plataforma reposapiés muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos, este proceso se realizó tanto en modo standing como no standing.

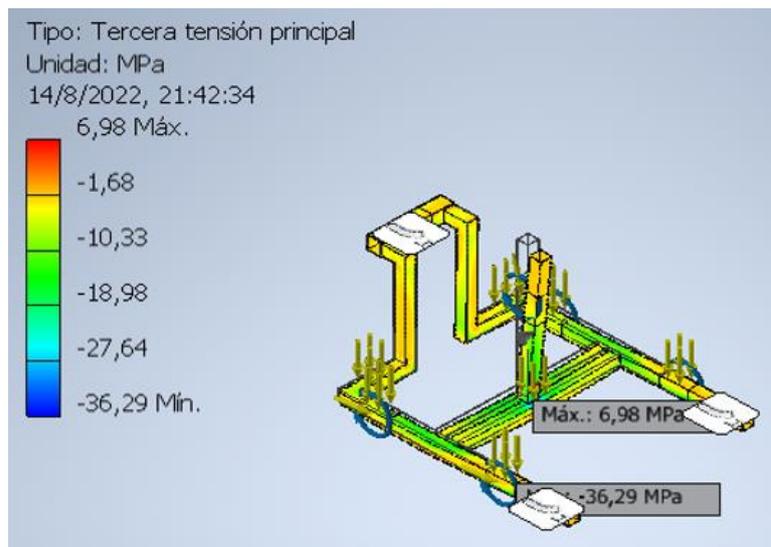


Figura 3-26 Distribución de esfuerzos de la plataforma reposapiés modo standing

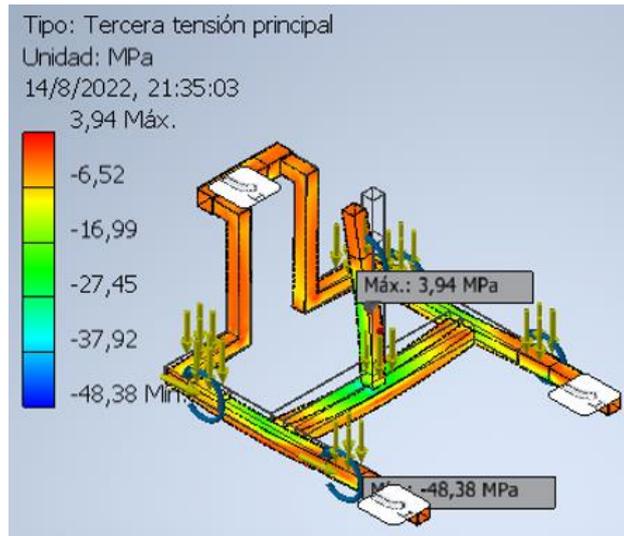


Figura 3-27 Distribución de esfuerzos en modo no-standing

Mediante la simulación se analizan los esfuerzos y se determinó qué modo de uso es el más crítico, conforme a ello se detallan los valores específicos del elemento.

Tabla 3-40 Resumen de resultados de la plataforma reposapiés standing

Tensión de Von Mises	29,2724 MPa
Primera tensión principal	24,3407 MPa
Tercera tensión principal	-36,292 MPa
Desplazamiento	0,548912 mm
Coefficiente de seguridad	7,08376 su

Tabla 3-41 Resumen de resultados de la plataforma reposapiés no standing

Tensión de Von Mises	39,2581 MPa
Primera tensión principal	27,0622 MPa
Tercera tensión principal	-48,3846 MPa
Desplazamiento	0,441319 mm
Coefficiente de seguridad	5,27279 su

3.1.14 Ruedas giratorias

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

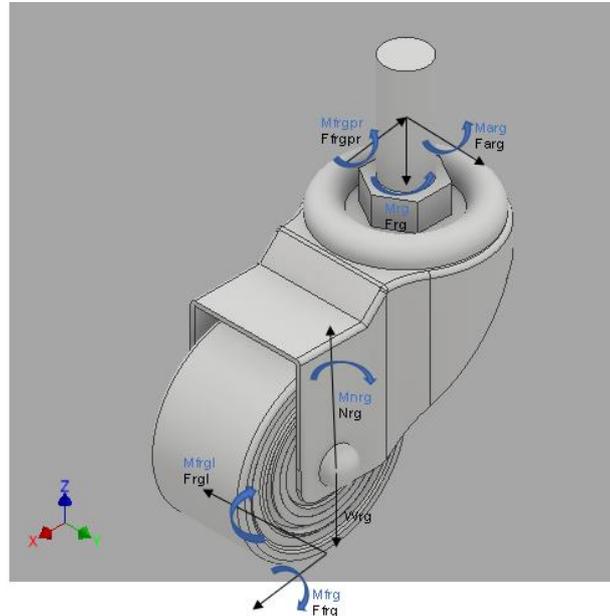


Figura 3-28 DCL de la rueda giratoria

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-42 Valores de entrada de la rueda giratoria

Material	W_{rg} [N]
Acero y Nylon	7

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.3.2, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-43 Fuerzas internas de las ruedas giratorias

F _{frg} [N]	F _{rgl} [N]	N _{rg} [N]	M _{frg} [N]	M _{frgl} [N]	M _{nrg} [N]
78,8	13,46	437,4	528,1	-18,25	-15,09

Mediante los resultados obtenidos por las fuerzas internas que intervienen en las ruedas giratorias, se procedió a realizar la selección del sistema de movimiento posterior del

bipedestador, procurando que cumpla con las características mínimas que se exigen en el diseño, tales como:

- Carga de soporte mínima = 470 [N]
- Altura máxima del suelo a la plataforma = 120 [mm]
- Diámetro mínimo de rueda = 40 [mm]
- Peso mínimo del conjunto = 6 [N]

Por lo tanto, para la selección final de las ruedas giratorias, donde sus características cumplieron con el rango establecido por el bipedestador.

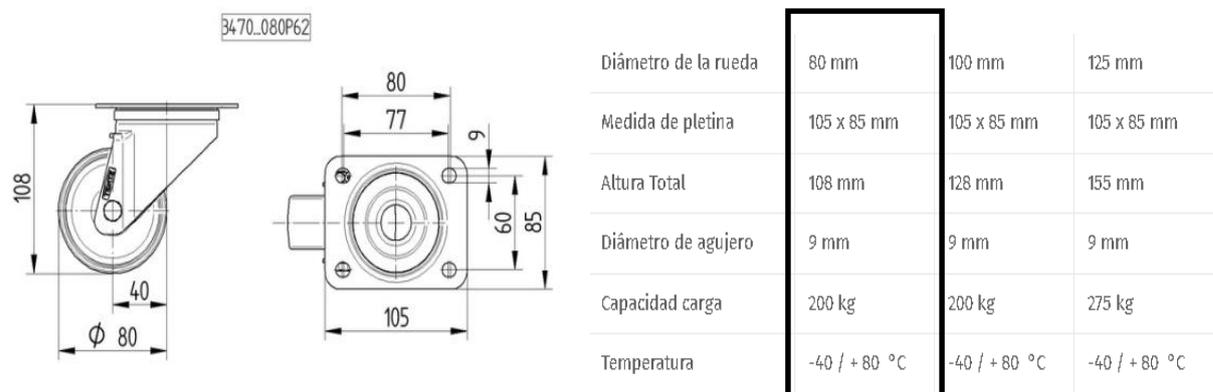


Figura 3-29 Catálogo de dimensiones de las ruedas giratorias

Finalmente, se detallan las características de las ruedas giratorias seleccionados dentro de una tabla representativa.

Tabla 3-44 Especificaciones de las ruedas giratorias

Material	Nylon
Capacidad de carga	2000 N
Peso de la rueda	0.672 kg
Ancho de rueda	34 mm

3.1.15 Conexión manubrio y rueda

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

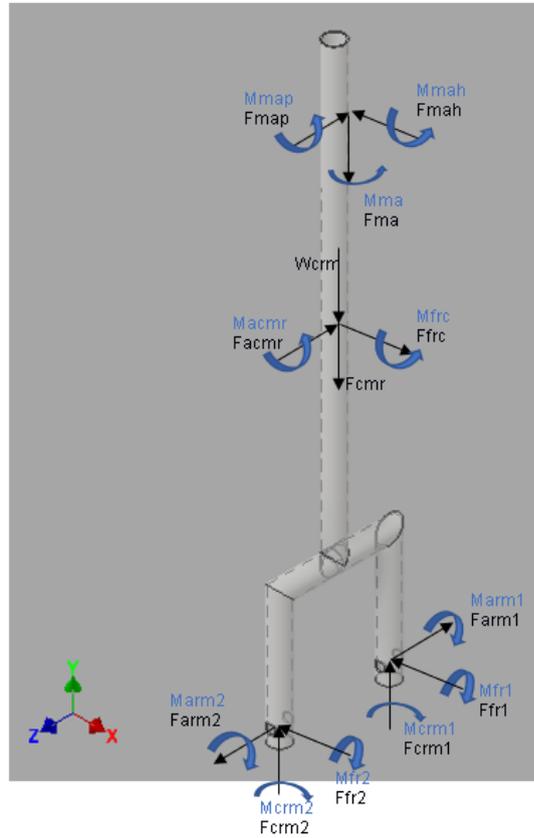


Figura 3-30 DCL de la conexión manubrio y rueda

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-45 Valores de entrada de la conexión manubrio y rueda

Material	Volumen [mm ³]	Wcrm [N]
Acero galvanizado	235782	17,95

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.2.1, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-46 Fuerzas internas de la conexión manubrio y rueda

Farm [N]	Fcrm [N]	Ffr [N]	Mfr [Nm]	Marm [Nm]	Mcrm [Nm]
101	427,7	4,065E-9	-528,2	-2087	0

El FEA que se aplicó en la conexión manubrio y rueda muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

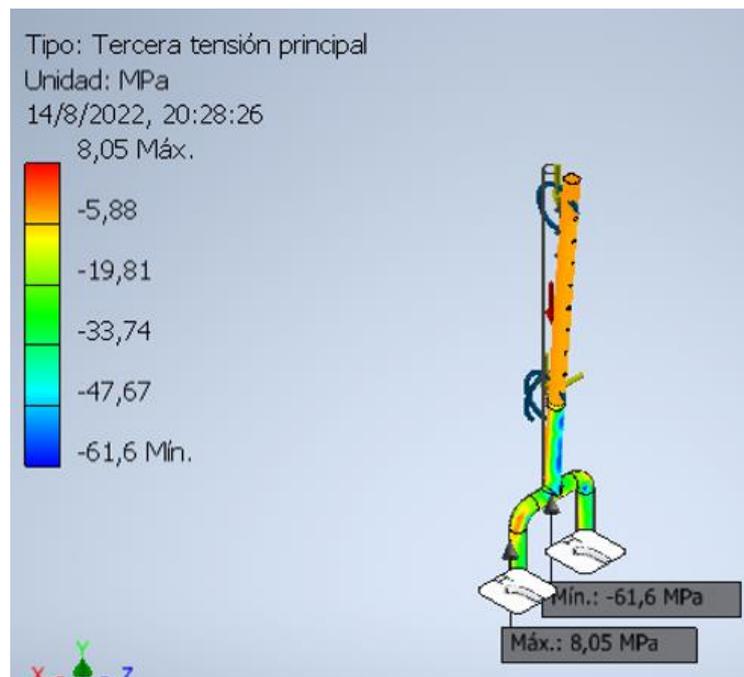


Figura 3-31 Distribución de esfuerzos de la conexión manubrio y rueda

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-47 Resumen de resultados de la conexión manubrio y rueda

Tensión de Von Mises	48,9167 MPa
Primera tensión principal	41,9157 MPa
Tercera tensión principal	-61,5959 MPa
Desplazamiento	2,68847 mm
Coefficiente de seguridad	4,23168 su

3.1.16 Manubrio

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

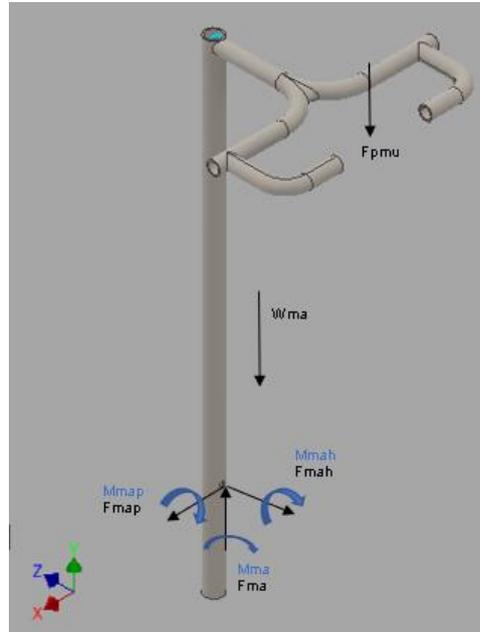


Figura 3-32 DCL del manubrio

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-48 Valores de entrada del manubrio

Material	Volumen [mm ³]	Wma [N]	Fpmu [N]
Acero galvanizado	409963	34,82	29,4

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.2.2, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-49 Fuerzas internas del manubrio

Fma [N]	Fmah [N]	Fmap [N]	Mma [Nm]	Mmap [Nm]	Mmah [Nm]
64,22	0	0	0	-9,834	0

El FEA que se aplicó en el manubrio muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos.

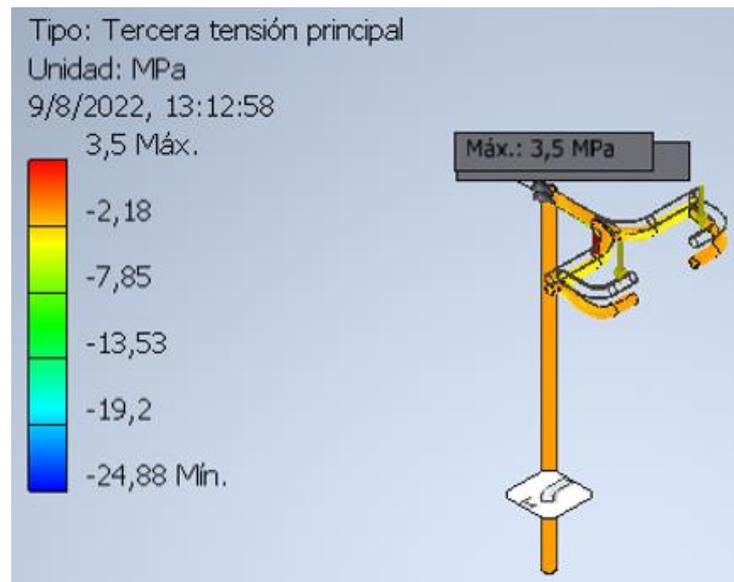


Figura 3-33 Distribución de esfuerzos del manubrio

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-50 Resumen de resultados del manubrio

Tensión de Von Mises	22,4109 MPa
Primera tensión principal	23,5578 MPa
Tercera tensión principal	-24,8773 MPa
Desplazamiento	0,226323 mm
Coficiente de seguridad	9,23659 su

3.1.17 Batería y rueda motorizada

Este sistema se maneja mediante una batería definida en la sección 2.12, la cual debe contar con las siguientes especificaciones:

Tabla 3-51 Especificaciones de la batería

Voltaje	24V
Corriente	10A
Peso	2.1 kg
Batería recargable	

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

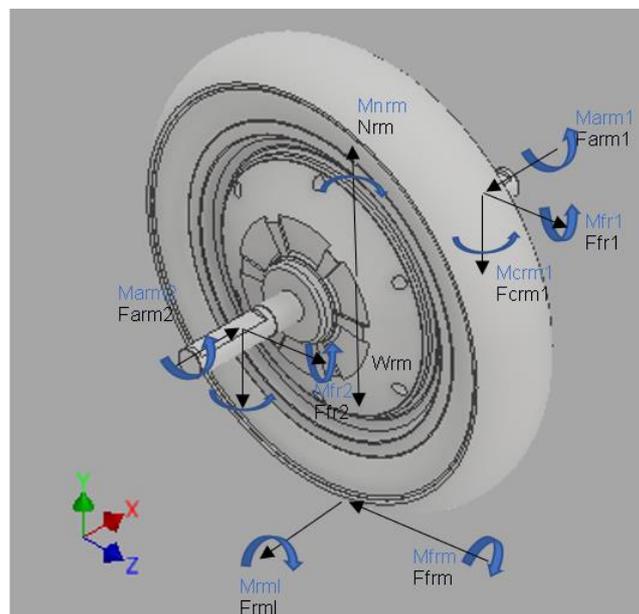


Figura 3-34 DCL de la rueda motorizada

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-52 Valores de entrada de la rueda motorizada

Material	Wrm [N]
Acero y caucho	46

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.3.1, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-53 Fuerzas internas de la rueda motorizada

Ffrm [N]	Frml [N]	Nrm [N]	Mfrm [Nm]	Mrml [Nm]	Mnrm [Nm]
8,13E-9	13,45	905,4	-1059	-4175	0

Mediante los resultados obtenidos por las fuerzas internas que intervienen en la rueda motorizada, se procedió a realizar la selección del sistema de movimiento delantero del bipedestador, procurando que cumpla con las características mínimas que se exigen en el diseño, tales como:

- Carga de soporte mínima = 885 [N]
- Diámetro del motor = 190 [mm]
- Diámetro de la rueda = 350 [mm]

Por lo tanto, para la selección final de la batería y la rueda motorizada se aplicó un proceso de importación de los elementos, ya que cumplieron con las especificaciones del bipedestador.

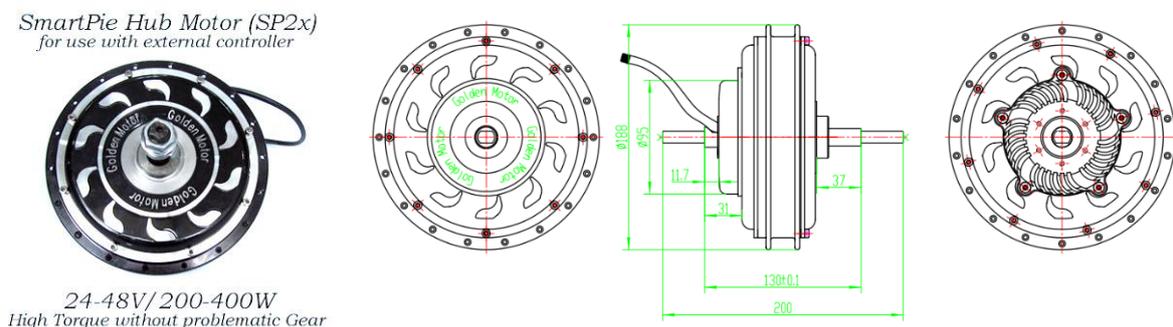


Figura 3-35 Catálogo de dimensiones de la rueda motorizada

Finalmente, se detallan las características de la rueda motorizada seleccionada, cabe destacar que lo que se adquiere es el motor de la rueda, el caucho que rodea el motor es producto nacional.

Tabla 3-54 Especificaciones de la rueda motorizada

Voltaje de entrada	24V
Diámetro del motor	190 mm
Peso de la rueda	4,6 kg
Ancho de rueda	62 mm
Controlador integrado	
Acelerador integrado	
Bocina Integrado	
Frenos integrados	

Para el cálculo de la velocidad del bipedestador, se procedió a seleccionar el voltaje y la corriente que suministra la batería, y mediante tablas entregadas por el fabricante se tenía lo siguiente:

型号: MagicPie 编号: F0001160001 日期: 2009年11月21日

说明	转矩 (N.m)	转速 (r/min)	输出功率 (W)	电压 (V)	电流 (A)	输入功率 (W)	效率 (%)
43	2.61	172	47.05	24.05	3.04	73.21	64.3
44	2.88	172	51.74	24.05	3.26	78.43	66.0
45	2.98	171	53.48	24.05	3.34	80.36	66.5
46	3.18	171	56.93	24.04	3.50	84.23	67.6
47	3.45	170	61.56	24.04	3.72	89.45	68.8
48	3.58	170	63.77	24.04	3.83	91.97	69.3
49	3.74	170	66.49	24.04	3.95	95.06	69.9
50	4.04	169	71.56	24.04	4.20	100.86	71.0
51	4.41	168	77.76	24.03	4.49	108.01	72.0
52	4.35	168	76.76	24.03	4.45	106.85	71.8

Figura 3-36 Tabla de valores asociados al uso de la rueda motorizada

Finalmente, se pudo observar en la figura 3-36 el valor de la velocidad en RPM de la rueda motorizada, y mediante ella se obtuvo como resultado que el bipedestador genera en condiciones ideales una velocidad máxima de 11[km/h], la cual puede ser controlada.

3.1.18 Soporte de columna con empuñadura

Se muestran las fuerzas y momentos externos asociados al elemento.

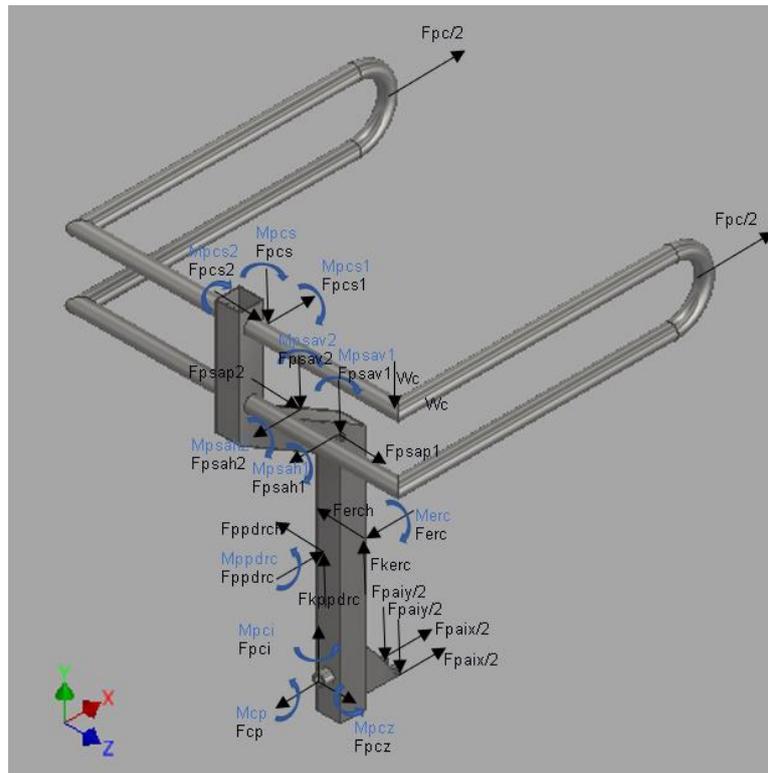


Figura 3-37 DCL del soporte columna

Se detallan las variables iniciales definidas en metodología:

Tabla 3-55 Valores de entrada del soporte columna

Material	Volumen [mm ³]	Wc [N]	Fpc [N]
Acero galvanizado	1225830	90,06	117,6

Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de la sección 2.10.7.2, obteniendo un sistema de 6 ecuaciones con 6 incógnitas.

Tabla 3-56 Fuerzas internas del soporte columna con usuario de pie

Fpci [N]	Fcp [N]	Fpcz [N]	Mcp [Nm]	Mpci [Nm]	Mpcz [Nm]
471,3	117,6	0	-0,07412	-0,02149	-2,549

El cálculo de fuerzas también se realizó para el punto donde el usuario está en posición sentada, justo antes de iniciar la elevación del actuador.

Tabla 3-57 Fuerzas internas del soporte columna con usuario sentado

Fpci [N]	Fcp [N]	Fpcz [N]	Mcp [Nm]	Mpci [Nm]	Mpcz [Nm]
1221	117,6	0	-0,07412	-0,2901	341,8

El FEA que se aplicó en el soporte de columna muestra cómo se distribuyeron los esfuerzos aplicados alrededor de la pieza.

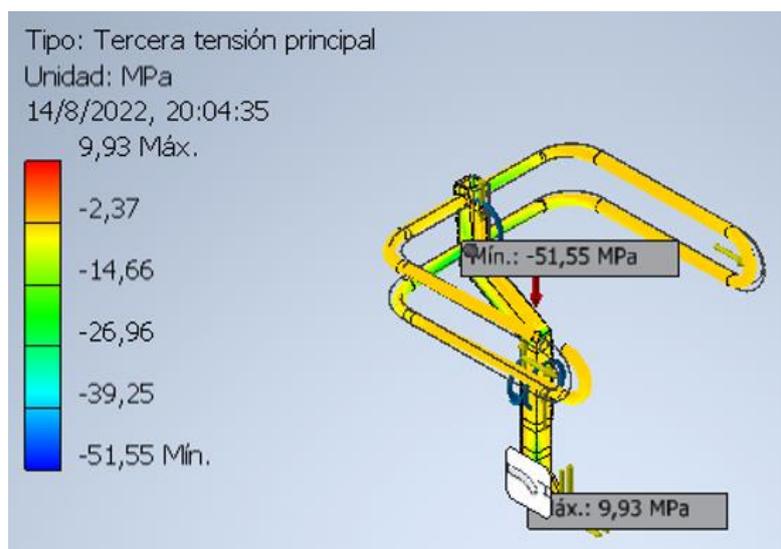


Figura 3-38 Distribución de esfuerzos en el soporte columna cuando está sentado

Mediante la simulación de esfuerzos se obtuvieron los valores más críticos del elemento.

Tabla 3-58 Resumen de resultados del soporte columna

Tensión de Von Mises	39,7967 MPa
Primera tensión principal	35,905 MPa
Tercera tensión principal	-51,5492 MPa
Desplazamiento	1,11462 mm
Coefficiente de seguridad	5,20143 su

3.1.19 Elementos del sistema mecánico

Para la elaboración de los elementos del bipedestador se procedió a enumerar los materiales que se emplearon en la estructura mecánica, para después acoplar cada componente al sistema, mientras que en la impresión en 3D del ajusta-pie y rodillera se utilizó 1,25 kg de plástico PET.

Tabla 3-59 Lista de materiales de la estructura mecánica

Descripción	Dimensiones	Espesor [mm]	Material	Cantidad [m]	
Tubo redondo negro	1/2"	0,9	Acero Galvanizado	0,15	
Tubo estructural cuadrado	40 mm	2		5	
	50 mm			2	
Tubo estructural redondo	1"			2	
	1 1/4"	6			
Tubo estructural rectangular	70 x 30 mm	3		1	
	80 x 40 mm			0,2	
Perfil Omega	75 x 50 mm			1	
Plancha	224 x 448	8		Acero negro	1 u
	624 x 1240	20		Madera MDF Fibraplac Chapa	1 u

3.1.20 Pernería

Para el cálculo del diámetro mínimo del bipedestador, se procedió a utilizar la ecuación 2.43, dónde se trabajó con AS 1110 e ISO 2341 en pernos y pasadores respectivamente, en el cual la máxima fuerza del perno era ejercida por la presión del elevador de rodillera con el soporte de columna para su estabilidad obteniendo un diámetro mínimo de 6 mm, mientras que la máxima fuerza del pasador se presentó en el soporte de asiento interactuando con el actuador eléctrico resultando un diámetro mínimo de 9 mm, en la siguiente tabla se observa la selección de pernería que se utilizaron en las diferentes conexiones del bipedestador.

Tabla 3-60 Lista de elementos para pernería

Descripción	Diámetro nominal [mm]	Longitud nominal [mm]	Designación	Cantidad
Perno de cabeza hexagonal AS 1110 - Métrico	10	20	M10 x 20	2
		35	M10 x 35	3
		50	M10 x 50	2
		60	M10 x 60	1
		70	M10 x 70	4
Pasador ISO 2341	10	60	A A - 10 x 50	4
		45	B B - 10 x 45	1
		85	B B - 10 x 85	2
Tornillo de cabeza avellanada ranurada IS 8911	10	45	M10 x 45	6
Arandelas planas AS 1237	10	1,6	M10	12
Arandelas helicoidales AS 1968		2,35		
Tuercas ISO 4032	10	8,4	M4	16
		3,2		
Tornillo de cabeza avellanada con hexágono interior IS 6761	4	35	M4 x 35	4

3.1.21 Circuito eléctrico

En el sistema eléctrico se procedió a colocar las siguientes conexiones eléctricas para el suministro de voltaje correspondiente de la rueda motorizada, actuador y Arduino, asimismo la interacción del interruptor en el actuador.

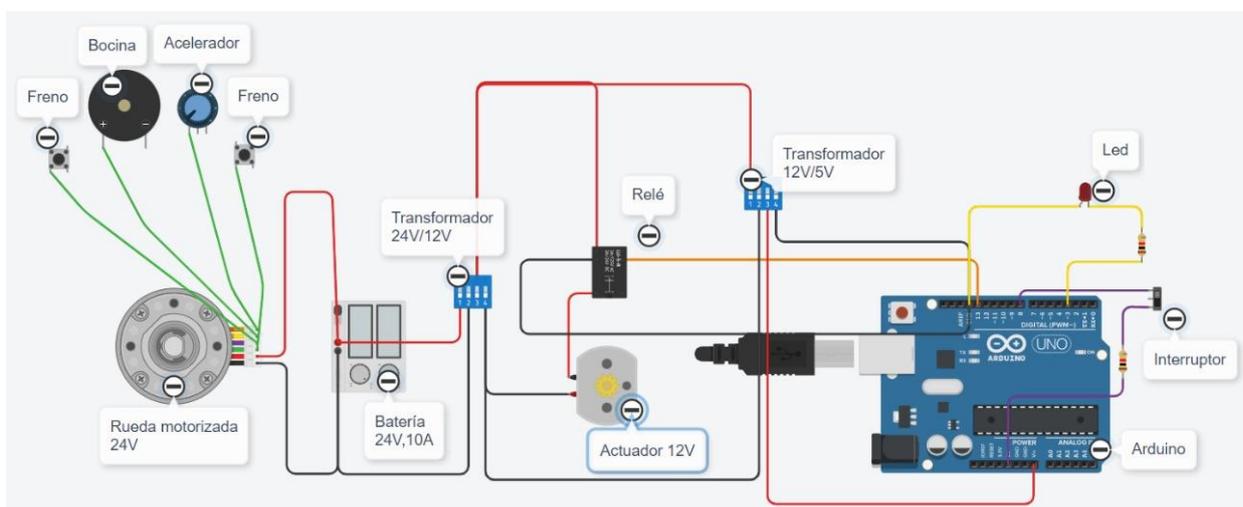
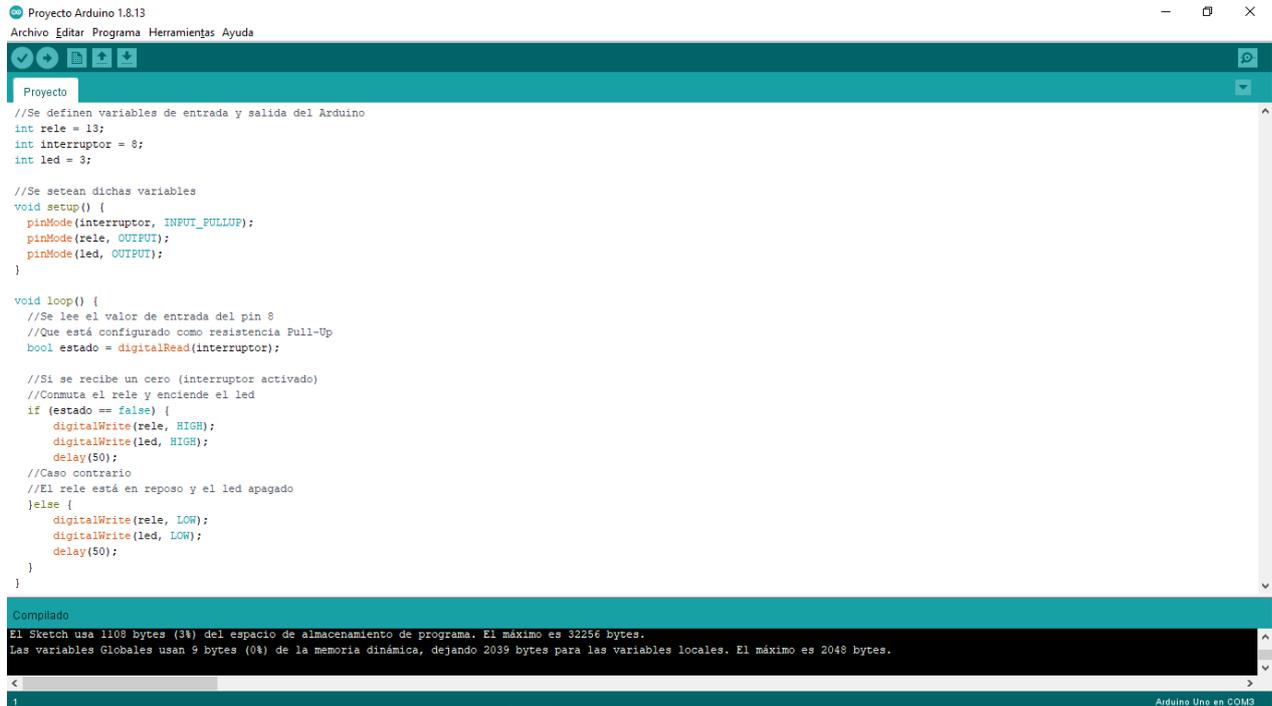


Figura 3-39 Representación del circuito eléctrico

Luego, se realizó un código Arduino para el controlador, donde toma la señal del interruptor para activar el actuador.



```
Proyecto Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Proyecto
//Se definen variables de entrada y salida del Arduino
int rele = 13;
int interruptor = 8;
int led = 3;

//Se setean dichas variables
void setup() {
  pinMode(interruptor, INPUT_PULLUP);
  pinMode(rele, OUTPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop() {
  //Se lee el valor de entrada del pin 8
  //Que está configurado como resistencia Pull-Up
  bool estado = digitalRead(interruptor);

  //Si se recibe un cero (interruptor activado)
  //Commuta el rele y enciende el led
  if (estado == false) {
    digitalWrite(rele, HIGH);
    digitalWrite(led, HIGH);
    delay(50);
  }
  //Caso contrario
  //El rele está en reposo y el led apagado
  else {
    digitalWrite(rele, LOW);
    digitalWrite(led, LOW);
    delay(50);
  }
}

Compilado
El Sketch usa 1108 bytes (3%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 9 bytes (0%) de la memoria dinámica, dejando 2039 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

1
Arduino Uno en COM3
```

Figura 3-40 Código Arduino para el actuador

3.1.22 Costos generales

En base a los precios antes descritos por parte mecánica, eléctrica, servicios, y demás costos asociados requeridos para la construcción del bipedestador se obtuvo:

Tabla 3-61 Costos globales

Descripción	Cantidad [und]	Precio
Tubería estructural	1	\$337,02
Tubo redondo negro	1	\$3,57
Plancha Acero negro	2	\$35,18
Perfil Omega	1	\$29,96
Pernería	1	\$50,00
Velcro 50 mm	2	\$1,70
Plancha MDF Roble Marfil	1	\$112,88
Rueda giratoria	2	\$29,12
Relé Arduino	1	\$3,25
Arduino UNO	1	\$5,60
Interruptor	1	\$1,68
Led	1	\$0,23
Resistencia de 330Ω	2	\$3,92
Transformador de 24V/12V	1	\$11,19
Transformador de 12V/5V	1	\$17,36
Cable 1m	1	\$3,36
Filamento PET 1kg	2	\$44,51
Actuador lineal	1	\$134,39
Servicio de soldadura	1	\$100,00
Servicio de curvado	1	\$71,68
Asistente en construcción	1	\$50,00
Rueda motorizada y componentes	1	\$125,00
Batería	1	\$198,00
Importación rueda motorizada y batería	1	\$118,00
Servicio de transporte	1	\$50,00
	Total	\$1.537,60

3.2 Proyección de ventas general

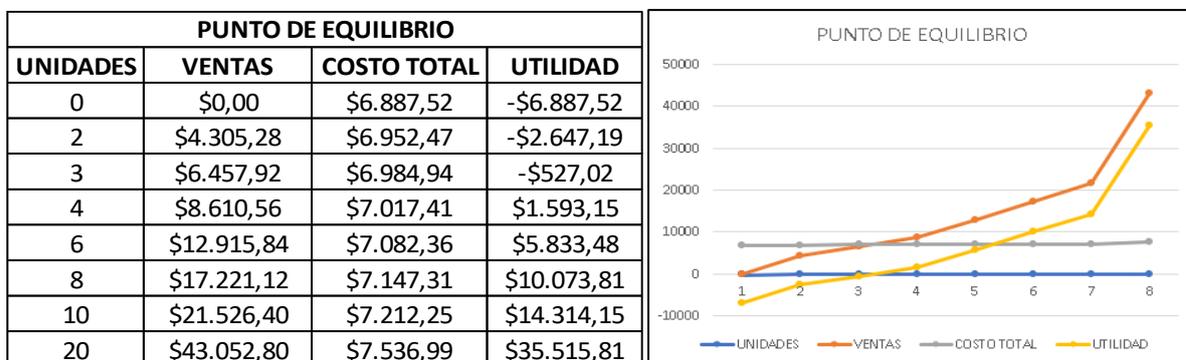
En conjunto con el cliente, se estableció tener un margen de ganancia por venta de bipedestador del 40%, lo que instauró un valor de venta en el dispositivo de \$2.152,64 y mediante ello se aplicó una proyección de venta a 5 años, donde se consideró una meta de venta de 6 bipedestadores al año con una tasa de incremento de 10% anual.

Tabla 3-62 Proyección de venta

PROYECCIÓN DE VENTA								
	PRECIO	UNIDADES	MENSUAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
BIPEDESTADOR ELECTRICO	\$2.152,64	1	\$2.152,64	\$12.915,84	\$14.207,42	\$15.628,17	\$17.190,98	\$18.910,08

Se estableció el precio de costos fijos y variables por cada venta, el cual definió el punto de equilibrio del proyecto conforme a la venta unitaria de los bipedestadores.

Tabla 3-63 Punto de equilibrio por unidades vendidas



Para el caso de vender la idea como derecho de autor se establece la siguiente proyección de ventas para la persona beneficiaria:

Tabla 3-64 Análisis de inversión

TASA INCREMENTO ANUAL	10%						
ANÁLISIS DE INVERSIÓN							
TASA DSCTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5		
TOTAL DE ENTRADA DEL EFECTIVO	\$12.915,84	\$14.207,42	\$15.628,17	\$17.190,98	\$18.910,08		
TOTAL DE SALIDA DEL EFECTIVO	\$4.152,64	\$1.691,36	\$1.860,50	\$2.046,55	\$2.251,20		
FLUJO NETO	\$8.763,20	\$12.516,06	\$13.767,67	\$15.144,44	\$16.658,88		
AÑOS	INVERS. INICIAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	TASA DCTO
FLUJOS	-\$25.000,00	\$8.763,20	\$12.516,06	\$13.767,67	\$15.144,44	\$16.658,88	25,00%
TIR	39%						
VAN	\$8.731,83						

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente trabajo, se describe de manera detallada el estudio de un diseño de bipedestador de accionamiento eléctrico para adultos, donde inicialmente se estableció el peso y las medidas antropométricas de la persona promedio en Ecuador con el fin de dimensionar el dispositivo y la fuerza a soportar, mediante ello se diseñó cada elemento constituyente del bipedestador y se calcularon las fuerzas asociadas a estos, posteriormente, con la ayuda de un programa de simulación se determinaron los materiales a utilizar y el FOS. Finalmente, se estimó el costo de la elaboración de un bipedestador y su proyección de ventas a 5 años con el propósito de dar a conocer a partir de cuantas ventas se obtiene la rentabilidad del proyecto.

Para el cálculo de los resultados se aplicó un estudio de análisis estático en cada elemento del bipedestador, justo en el instante donde su cuerpo se encuentra sometido a los mayores esfuerzos posibles ya que es el caso que más fallo puede presentar en nuestro dispositivo. Por ello, mediante DCL tridimensional se representó las fuerzas externas que se aplicaron en las piezas y se ejecutó un SEL que permitía resolverse de manera secuencial, ya que existen piezas que dependen de las fuerzas de otras. Consecuentemente, como base de la primera iteración se establecieron los parámetros de peso y dimensionamiento de los elementos estructurales, teniendo en consideración las propiedades de uso común en el mercado nacional como el acero galvanizado.

Por medio de Inventor 2021 se determinaron las propiedades de los elementos, donde en futuros cálculos, serán los valores de entrada para hallar las fuerzas internas que interactúan en el bipedestador, además, mediante FEA se establecen los valores de esfuerzos, deformación y FOS de cada elemento metálico y poliestireno, sin embargo, existe una limitación para los elementos realizados en madera ya que no se considera un estudio de deformación debido a sus propiedades de ruptura y baja elasticidad. Para determinar el valor de las fuerzas internas se utilizó un programa de uso libre denominado IHT junto con las fuerzas de la primera iteración, con ello se resolvió el SEL de forma semiautomatizada hasta llegar al elemento de columna con empuñadura, el cual es el núcleo del bipedestador.

Los valores obtenidos por la simulación cumplieron con un FOS de 4, el cual se usa para materiales confiables en condiciones ambientales severas, este valor se dejó estandarizado para cada elemento. Del mismo modo, para el caso de los pernos y pasadores se tiene establecido un FOS de 8.5, que es un valor limitante para todo tipo de servicio, mediante la simulación de los esfuerzos cortantes se determinó el valor del diámetro máximo asociado al bipedestador generado a partir de fuerza máxima en el sistema, para estandarizar este valor se seleccionó este diámetro en todas las conexiones del dispositivo.

El análisis de los puntos críticos se limitó a realizarse por cada elemento y no del diseño completo debido a que el esfuerzo crítico se formaba en diferentes posiciones, afectando de distinta manera a un solo componente. Simulando que el usuario esté sentado la fuerza total de la persona se coloca en el asiento y esta se transmite al soporte de asiento, por lo que al activar el actuador lineal se provoca que el componente que soporte mayor esfuerzo sea la columna del bipedestador justo en la sección de la unión con el pasador, por otro lado, cuando el usuario ya está de pie, toda esa fuerza del asiento se distribuye hacia las rodilleras, el ajusta pies y el reposapiés provocando que su esfuerzo máximo cambie hacia los elementos de los pies. Por otro lado, el elevador de mesa tiene el mayor esfuerzo en todo el bipedestador y esto se debe a que soporta por sí misma, el peso de la mesa de madera y el soporte de la mesa, además de que al tener pequeñas dimensiones debe realizar mayores esfuerzos para desempeñar bien su función.

En un inicio se trató de realizar la mesa, el asiento, los ajusta pies y las rodilleras mediante plástico PET, ya que en la actualidad se utiliza mucho la impresión 3D en los accesorios terapéuticos, sin embargo, debido a su masa y dimensionamiento esto no favorecía a la cotización del bipedestador puesto que la aumentaba en aproximadamente \$300 su costo, por este motivo se estableció a la madera MDF como el material más adecuado para estos componentes a excepción del ajusta pies y rodilleras que si se fijó como plástico PET. Donde, estos últimos cuentan con un ajuste mediante velcro que permitan mantener fija a la persona para realizar el proceso de bipedestación.

La función principal del manubrio y su conexión es permitir que el bipedestador pueda girar, sin embargo, el giro de la rueda está limitado por la plataforma reposapiés con el fin de restringir algún movimiento brusco no previsto, ya que al ser un diseño para uso de rehabilitación se debe tener en consideración un giro suave. Estos elementos se encuentran conectados por medio de un pulsador resorte, mientras que la unión de la conexión manubrio con el soporte reposapiés por medio de anillos planos, lo que permite evitar el deslizamiento vertical entre ellos. Del mismo modo, para el funcionamiento del actuador se realizó una simulación de un control por medio de Arduino, este se enciende con un interruptor que provoca que el Arduino emita una señal a un relé y emita la orden de subir el actuador, de modo que cuando se apague el interruptor se emita la orden de bajarlo. Además, el sistema del actuador va a suministrarse de la energía de la batería de 24V, por lo que se instalaron dos transformadores de corriente, uno para que el actuador reciba 12V y otro para que el Arduino reciba 5V.

Se tenía la idea de un diseño de bipedestador con elementos totalmente ecuatorianos, sin embargo, para mantener la estética del diseño y evitar el análisis electromecánico que se requiere en la elaboración del diseño de una rueda motorizada, se estableció con el cliente la importación de la misma junto con una batería recargable, estos elementos en conjunto favorecen el estudio del análisis de propulsión del bipedestador, puesto que el proveedor nos brinda los resultados de velocidad de la rueda, los controladores, las conexiones de las entradas y el control de velocidad, haciendo que los costes preparativos, tiempo de búsqueda de personal calificado y pruebas de funcionamiento no se tengan que considerar en el diseño del bipedestador, cosa que si se realizaba un diseño propio debía llevarse a cabo eventualmente, por lo tanto, con su selección solo es necesario realizar la conexión de estos componentes para que la batería suministre energía directamente a la rueda, ya que ambas cuentan con 24V. Por otro lado, el bipedestador con todos sus elementos cuenta con un peso total de 71 kg.

En la tabla 3-61 se establecieron los valores globales de los costos asociados al bipedestador, donde se estandarizaron los materiales, este trámite se realizó de manera virtual con varios proveedores ecuatorianos. Finalmente, se determinó un costo estimado de \$1.537,60 por la elaboración del bipedestador.

En conjunto con el cliente se precisó un margen de ganancia del 40% por cada bipedestador, por lo que el precio final a la venta quedó en \$2.152,64, para poder realizar

un mejor análisis se elaboró una proyección de ventas durante los próximos 5 años teniendo un incremento de 10% de ventas cada año y vendiendo como máximo 6 bipedestadores en el primer año, esto se observa en la tabla 3-64, la cual nos muestra la representación de la viabilidad del proyecto obteniendo un TIR del 39% y un VAN de \$8.731,83 superando los niveles de rentabilidad. Por consiguiente, se midió la solvencia del negocio por medio del punto de equilibrio del bipedestador brindándonos un marco de ganancia a partir de la cuarta unidad vendida con una utilidad de \$1.593,15 que iría creciendo a partir de la siguiente venta. Es importante mencionar que, si se desea tener un diseño de bipedestador nacional, se puede evitar la importación de la rueda y cambiarla por una rueda mecánica, lo que reduciría costos tanto de la rueda como de importación de la batería.

Dentro del país no existe como tal una empresa enfocada en la elaboración de bipedestadores, sin embargo, existen proyectos de titulación que se interesaron en este tema, como el caso de la figura 1-4, el cual fue un proyecto realizado en la universidad técnica del norte en Ibarra, este dispositivo contó con un diseño de tabla supino el cual promueve el movimiento total del cuerpo acostado sobre una tabla, su funcionamiento fue completamente manual y se diseñó para niños, la principal diferencia con nuestro diseño es que nuestro diseño es tipo standing y permite ser utilizado por adultos que midan entre 1.50 [m] hasta 2 [m] con hasta 75 [kg] de peso. Por otro lado, (Paredes Torres & Toapanta Quimbita, 2018) realizaron un proyecto de un bipedestador eléctrico tipo silla, este contaba con materiales nacionales e importados y se enfocaba en los adultos mayores que residían en una casa de hogar, el costeo de elaboración del dispositivo fue de \$2.946, a diferencia del nuestro, donde el costo estimado de la fabricación fue de \$1.537 teniendo un margen de diferencia en costo de \$1.409, haciendo que nuestro diseño tenga la ventaja económica y un mayor nivel de ganancia en menor tiempo, la movilidad y el funcionamiento es particularmente igual, sin embargo, una de las diferencias es que nuestro bipedestador cuenta con solo un motor de propulsión y el antes mencionado tiene dos motores para realizar el traslado.

Internacionalmente también se conocen empresas que se enfocan en la ayuda terapéutica hacia este tipo de personas, donde en España cuenta con variedad de modelos y catálogos, sus precios para bipedestadores tipo standing rondan los \$3.572,00, por otro lado, en México muestran un diferente estilo de bipedestadores,

enfocándose a un diseño agradable, ligero y vistoso a un costo de \$3.338,00, consecuentemente, en diferentes países el precio se asocia a estos valores. Por ello, destacamos que el valor de venta de nuestro dispositivo \$2.152,64, puede llegar a competir cómodamente en el mercado internacional, sin embargo, existen mucho otros diseños el mercado extranjero que cuentan con mejores características, de todas maneras, nuestro diseño puede ir evolucionando para acoplarse a nuevas condiciones requeridas por los usuarios.

4.1 Conclusiones

Se diseñó un dispositivo de bipedestación que cumple con la función de colocar a los adultos en una postura bípeda a 81° y trasladarlo dentro de un espacio ideal mediante el control del actuador lineal y la rueda motorizada.

Los materiales seleccionados para el diseño del bipedestador facilitan la producción local, ya que son comercialmente asequibles en el mercado nacional y su diseño permite un fácil desmontaje de los componentes para su implementación, mejoras o mantenimiento correspondientes.

El diseño práctico de la regulación de tamaño, sistema de control para movilización y elevación permiten que este dispositivo sea un potencial diseño de apoyo para la fisioterapia, no obstante, el diseño puede ir mejorando para el uso de aquellas personas que presentan patologías más delicadas.

Para una producción comercial del bipedestador se realizó un análisis de inversión a lo largo de 5 años, obteniendo un retorno positivo a partir del primer año, en el cual el punto de equilibrio determina una rentabilidad desde la cuarta venta, demostrando la viabilidad económica del proyecto.

4.2 Recomendaciones

Antes de su uso, es necesario realizar los ajustes del tamaño del bipedestador dependiendo de la proporción antropométrica del usuario, para brindar un servicio personalizado.

En trabajos en una línea de producción en serie se puede reducir los costos, seleccionando un material más accesible de algunas piezas, disminuyendo el FOS hasta el límite permitido.

Para una mayor comodidad y protección del dispositivo se debe acolchonar el asiento y las rodilleras sin perder su forma, la empuñadura de la columna y la superficie de la mesa para los brazos, y la parte semicircular de la mesa para el abdomen del usuario.

En el caso que el circuito eléctrico presente una emisión de calor considerable, es recomendable el uso de disipadores de calor, además para asegurar la dirección de la corriente se puede colocar diodos en la entrada y salida de los transformadores.

BIBLIOGRAFÍA

- Aros Oñate, N., & Aros Beltran, M. (2010). Equipamiento para la discapacidad: Propuesta de un bipedestador eléctrico infantil. *XIV International congress on project engineering*, 2473-2483.
- Aros Oñate, N., & Aros Beltran, M. (2011). Mejora continua de un bipedestador móvil infantil: como elemento clave en la calidad del producto. *Iberoamerican Journal of Project Management - Vol. 2*, 79-91.
- Bermejo Franco, A. (2012). Ayudas para la marcha en la parálisis cerebral infantil. *Revista Internacional de Ciencias Podológicas - Vol.6*, 9-24.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. New York: McGraw-Hill.
- CONADIS. (Enero de 2022). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Obtenido de <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- CONAFE. (2010). Guía didáctica para la inclusión. *Secretaría de educación pública*, 18.
- Conejo, D. J. (20 de Octubre de 2021). *Bipedestador automatizado para rehabilitación de niños y preadolescentes*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11658/2/04%20MEC%20398%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Cruz, I. J. (2009). *Análisis de esfuerzo mediante el método de elementos finitos utilizando Autodesk Inventor*. Laboratorio Especializado en Análisis, Diseño y Simulación. Obtenido de <https://silo.tips/download/analisis-de-esfuerzo-mediante-el-metodo-de-elementos-finitos-utilizando-autodesk>
- Daza, S. & Fernandez, G. (2011). Efecto de los programas de bipedestación en el desarrollo acetabular y prevención de las displasias de cadera, en población neurológica, una revisión sistemática. *Umbral Científico*, 66-73.
- Engineering ToolBox. (2010). *Factors of Safety*. Obtenido de https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html
- Gabinete técnico de patronaje y antropometría aplicada . (25 de Junio de 2014). Obtenido de *Cómo cubrir un cuerpo*: <https://www.comocubriruncuerpo.org/medidas-verticales-a-partir-de-la-estatura/>

- Gutiérrez, M., & Sadi, I. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*. Península de Santa Elena: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Instituto Politécnico Nacional. (2008). *Procesos de Soldadura*. México. Obtenido de <https://www.ipn.mx/assets/files/cecyt4/docs/estudiantes/aulas/guias/cuarto/vesperino/procesos/procesos-de-soldadura.pdf>
- Moreno, A., & Córcoles, S. (s.f.). *Aprende Arduino en un fin de semana*. Time of Software.
- Mosquera, L. (2002). (U. P. Cataluña, Ed.) Obtenido de Prevención Integral: <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2002/calculo-esfuerzos-biomecanicos-mediante-analisis-imagenes-digitales-aplicacion-en-redisenio-puestos>
- Paredes Torres, E., & Toapanta Quimbata, J. (2018). *Diseño e implementación de un bipedestador automático para la movilidad de adultos mayores del hogar de vida "Luis Maldonado Tamayo" ubicado en el cantón Pujilí*. Latacunga: ESPE.
- Pinheiro, D. P. (25 de Mayo de 2022). Obtenido de MD. SAÚDE: <https://www.mdsaude.com/es/obesidad/peso-ideal-y-imc/>
- Quiñones, K., Robayo, A., & García, A. (2013). Diseño de un prototipo de bipedestador para pacientes pediátricos con espina bífida. *SciELO*, 423-429.
- Saavedra, García & San Antonio . (2013). Diseño de un equipo de bipedestación. *Redalyc.org*, 25-33.
- Vertiv. (2017). *El surgimiento de las baterías de iones de litio en los centros de datos*. Estados Unidos de América. Obtenido de https://www.vertiv.com/4965b5/globalassets/documents/white-papers/vertiv-lithium-ion-battery-wp-en-na-sl-24692-sp_154560_0.pdf

APÉNDICES

```
//-----Plataforma de reposapios-----

Farg1=Farg2
Frg1=Frg2
Ffrgr1=Ffrgr2
Mfrgr1 =Mfrgr2
Marg1=Marg2
Mrg1=Mrg2

//Sumatoria Fy
Fcmr - Fpr1 - Fpr2 -Fpr3 -Fpr4 - Fpci - Wpr +Frg1 + Frg2 = 0

//Sumatoria Fx
Ftr1 + Ftr2 + Ftr3 + Ftr4 -Ffrc-Ffrgr1-Ffrgr2+Fcp = 0

//Sumatoria Fz
Fap1+Fap3-Fap2-Fap4+Fpcz-Facmr+Farg1+Farg2=0

//Plano xy Momento en Frg1
Ftr3*(0.02)+Ftr2*(0.02)+Ftr1*(0.02)+Ftr4*(0.02)-Fpr3*(0.183) -Fpr4*(0.183) - Fpr1*(0.633) -Fpr2*(0.633) + Fcmr*(0.830193) - Wpr*(0.501946) - Fpci*(0.413) - Ffrc*(0.370) + Fcp*(0.360)
+Mpcz-Map1-Map2-Map3-Map4+ Macmr+Marg1+Marg2 = 0

-Frg2*(0.501946)-Frg1*(0.501946)+Ffrgr1*(0.105585)+Ffrgr2*(0.105585)+Fpr3*(0.318946)+Fpr4*(0.318946)-Ftr3*(0.085585)-Ftr4*(0.085585)+Fpci*(0.088946)+Fcp*(0.254415)-Fpr1*(0.131054)-
Fpr2*(0.131054)-Ftr1*(0.085585)-Ftr2*(0.085585)+Fcmr*(0.328247)-Ffrc*(0.264415) +Mpcz-Map1-Map2-Map3-Map4+Macmr+Marg1+Marg2 = 0

-Frg2*(0.830193)-Frg1*(0.830193)+Ffrgr1*(0.37)+Ffrgr2*(0.37)+Fpr3*(0.647193)+Fpr4*(0.647193)-Ftr3*(0.35)-
Ftr4*(0.35)+Fpci*(0.417193)-Fcp*(0.01)+Fpr1*(0.197193)+Fpr2*(0.197193)-Ftr1*(0.35)-Ftr2*(0.35)+Wpr*(0.328247) +Mpcz-Map1-Map2-Map3-Map4+Macmr+Marg1+Marg2 = 0

//Plano zy Momento en Frg1
(0.619873)*Fpr4+(0.619873)*Fpr2-(0.619873)*Fpr4*(0.02)-Fap2*(0.02)+Fap1*(0.02)+Fap3*(0.02)+Fpci*(0.31)+Wpr*(0.309936)+Fpcz*(0.360)-(0.309936)*Fcmr-Facmr*(0.370)+Mcp-Mtr1-Mtr
2-Mtr3-Mtr4+Mfrc+Mfrgr1+Mfrgr2=0

Frg1*(0.309936)-Farg1*(0.105585)-Frg2*(0.309937)-Farg2*(0.105585)-Fpr3*(0.309936)-Fpr1*(0.309936)-Fap3*(0.085585)-Fap1*(0.085585)+Fpr4*(0.309937)+Fpr2*(0.309937)+Fap4*(0.085585)+F
ap2*(0.085585)+Fpcz*(0.254415)+ Fpci*(0.000064)-Facmr*(0.264415) +Mcp-Mtr1-Mtr2-Mtr3-Mtr4+Mfrc+Mfrgr1+Mfrgr2=0

Frg1*(0.309936)-Farg1*(0.37)-Frg2*(0.309937)-Farg2*(0.37)-Fpr3*(0.309936)-Fpr1*(0.309936)-Fap3*(0.35)

Line: 336 Col: 1
```

Variable	Value
Faap1	1
Faap2	1
Faap3	1
Faap4	1
Facmr	43.03
Fap1	1
Fap2	1
Fap3	1
Fap4	1
Farg1	21.52
Farg2	21.52
Fcmr	687.9
Ffrc	1.511E-8
Ffrgr1	78.8
Ffrgr2	78.8
Ffap1	0.2744
Ffap2	0.2744
Ffap3	0.2744
Ffap4	0.2744
Fpr1	77.98
Fpr2	77.98
Fpr3	77.98
Fpr4	77.98
Frg1	472.9

Equation set successfully solved.

Figura A-1 Resolución de ecuaciones mediante el programa IHT

R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK				
38			Soporte de mesa										Ajusta pie										
39																							
40			Wsm [N]								Wap [N]		Fppu [N]										
41			40,55								0,5488		20										
42																							
43	[Nm]		Rsmh [N]		Rsmv [N]	Rsmw [N]	Mrsmh [Nm]	Mrsmv [Nm]	Mrsmw [Nm]		Faap [N]		Fpap [N]	Ftap [N]	Maap [Nm]	Mpap [Nm]	Mtap [Nm]						
44			0		0	-233,6	0	59,44	0		1		0,2744	10	-0,6068	0,00048	-1,32E-05						
45																							
46																							
47			Placa deslizadora										Elevador de rodilla								ojo peso		Sop
48																							
49			Wpdr [N]								Wer [N]									Wsa			
50			25,6								15												
51																							
52			Fkppdr [N]		Fppdr [N]	Fppdr [N]	Ferpd [N]	Ferpd [N]	Mppdr [Nm]		Fker [N]		Ferc [N]	Ferch [N]	Merc [Nm]				Fpas				
53	[n]		-18,53		-12,9	0	-35,67	7,102	-1,136		-18,53		-12,9	0	-1,136								
54																							
55																							
56											Marg [Nm]		Mrg [Nm]										
57											2062		11,18										
58			Plataforma reposapios										Soporte L										
59										nuevo 2													
60			Wpr [N]			Facmr [N]	Fcmr [N]	Ffrc [N]	Farg [N]	Ffrgr [N]	Frg [N]	Macmr [N]	Mfrc [Nm]	Mfrgr [Nm]				Wl [N]					
61			100,8			26,91	773,2	8,13E-09	13,46	78,8	430,4	-4164	-1046	528,1				9,241					

Figura A-2 Fuerzas internas para cada elemento

Tabla A-1 Costo de la tubería estructural

Descripción	Cantidad [und]	Precio
Tubo estructural cuadrado 40 x 2 mm	5	\$105,34
Tubo estructural cuadrado 50 x 2 mm	2	\$55,02
Tubo estructural redondo 1'' x 2 mm	2	\$21,13
Tubo estructural redondo 1 1/4'' x 2mm	6	\$81,05
Tubo estructural rectangular 70 x 30 x 2 mm	1	\$26,85
Tubo estructural rectangular 80 x 40 x 2 mm	1	\$47,63
	Total	\$337,02

Tabla A-2 Lista de materiales del sistema eléctrico

Descripción	Cantidad
Relé Arduino	1
Arduino UNO	1
Interruptor	1
Led	1
Resistencia de 330 Ω	2
Transformador de 24V/12V	1
Transformador de 12V/5V	1
Cable 1m	1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
8					Perfil Omega	1	\$29.96																			
9					Perneria	1	\$50.00	Imporpernos																		
10					Velcro 50 mm	2	\$1.70	Din																		
11					Plancha MDF Roda Marfil	1	\$112.88	Edmca																		
12					Rueda giratoria	2	\$29.12	Rodaseros																		
13					Relé Arduino	1	\$3.25																			
14					Arduino UNO	1	\$5.60																			
15					Interruptor	1	\$1.88																			
16					Led	1	\$0.23	Electronica																		
17					Resistencia de 330Ω	2	\$3.32	Castro																		
18					Transformador de	1	\$11.19																			
19					Transformador de 12V/5V	1	\$17.36																			
20					Cable 1m	1	\$3.36																			
21					Filamento PET 1kg	2	\$44.51	OSMEX																		
22					Actuador lineal	1	\$134.39	Robotosec																		
23					Servicio de soldadura	1	\$100.00																			
24					Servicio de curvado	1	\$71.68	SERMET SA																		
25					Asistencia en construcción	1	\$50.00	Independiente																		
26					Rueda motorizada y componentes	1	\$125.00	Golden motor																		
27					Bateria	1	\$198.00																			
28					Importacion rueda mot. y bateria	1	\$118.00	Laarbox	IVA		12%															
29					Servicio de transporte	1	\$50.00	Servientrega																		
30					Total		\$1537.60																			
32								GANANCIA																		
34					COSTO		40%	\$615.04	TOTAL																	
35									\$2.152.64																	
37					Costo fijo		1.147.92		12																	
38					Costo Variable		389.68																			

Figura A-3 Cálculos para los costos generales

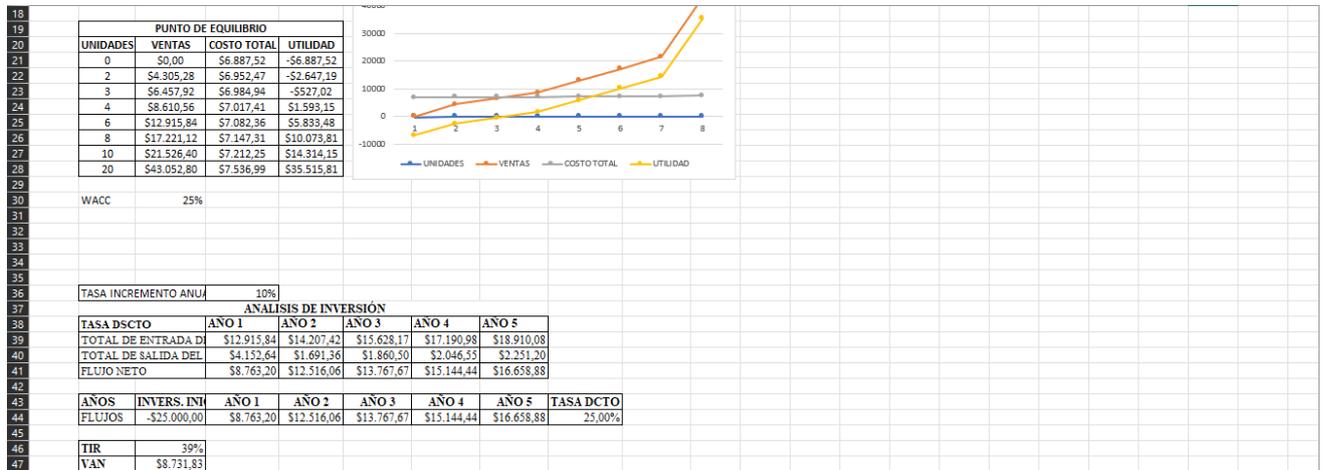


Figura A-4 Cálculos para la proyección de ventas

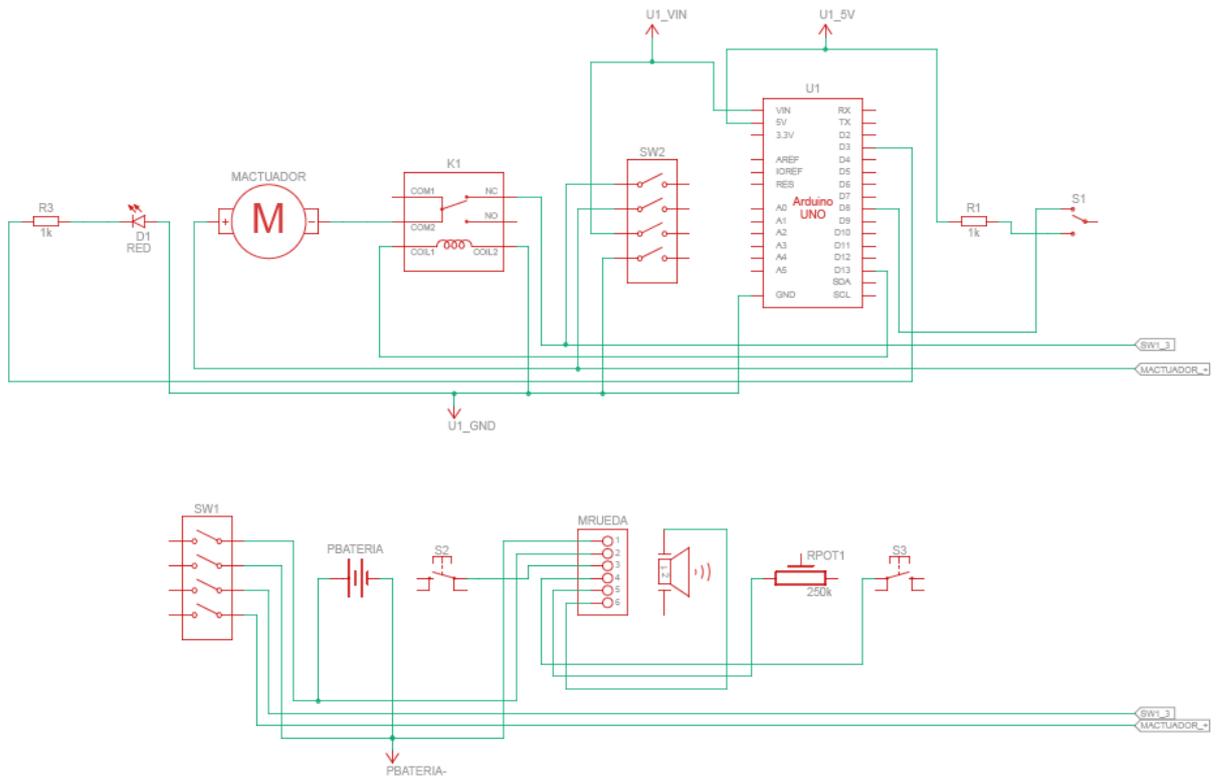


Figura A-5 Circuito eléctrico

Administrador de licencias

Las licencias en uso en esta aplicación

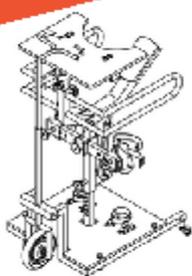

Inventor Professional
 Licencia de usuario : desconocido [Cambiar tipo de licencia](#)

Detalles de licencia ⓘ ID de Autodesk msgaibor	Fecha de caducidad de la licencia jueves, 24 de agosto de 2023
Comportamiento de licencia Desconocido	

Módulos de extensión, complementos y extensiones de Autodesk

Aparecen licencias adicionales al utilizar un módulo de extensión, un complemento o una extensión.

Figura A-6 Licencia estudiantil de Autodesk Inventor



BIPEDESTADOR ELÉCTRICO

MANUAL DE OPERACIÓN

PREPARACIÓN DEL USUARIO

- Vestir atuendos que permitan la buena sujeción del pie y la rodilla.
- Realizar los pre ajustes con la ayuda de un especialista con respecto a sus características físicas.
- Proteger la piel del paciente que se ponga en contacto con el dispositivo metálico.



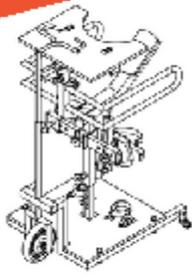
CÓMO USAR EL DISPOSITIVO

- Colocar el dispositivo en una superficie ideal.
- Asegurarse del uso del freno durante la entrada y salida al bipeedador.
- Realizar la debida sujeción de la rodillera y ajusta pies en el usuario.
- Ejercer el cambio de postura mediante el accionamiento del interruptor.

REGLAS DE SEGURIDAD

- Asegurarse que los elementos se encuentren funcionando de manera correcta.
- Comprobar la sujeciones de la pernera en el dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del sistema de accionamiento y movilidad.
- No emplear el dispositivo si presenta alguna falla mecánica.





BIPEDESTADOR ELÉCTRICO

MANUAL DE OPERACIÓN

RECOMENDACIONES

- Determinar si la persona cumple con las condiciones físicas mínimas para su utilización.
- Se puede utilizar para la buena interacción social.
- El lugar debe permitir un espacio libre para maniobrar el bipedestador de manera eficiente.
- La decisión sobre el tiempo de uso depende del fisioterapeuta a cargo.



CONTRAINDICACIONES

No se recomienda bajo las siguientes condiciones:

- Incomodidad a la bipedestación.
- Fracturas o falta de extremidades inferiores para posicionarse en el reposapiés.
- Personas con trastornos de movimiento involuntario.
- Personas con problemas visuales y auditivos.

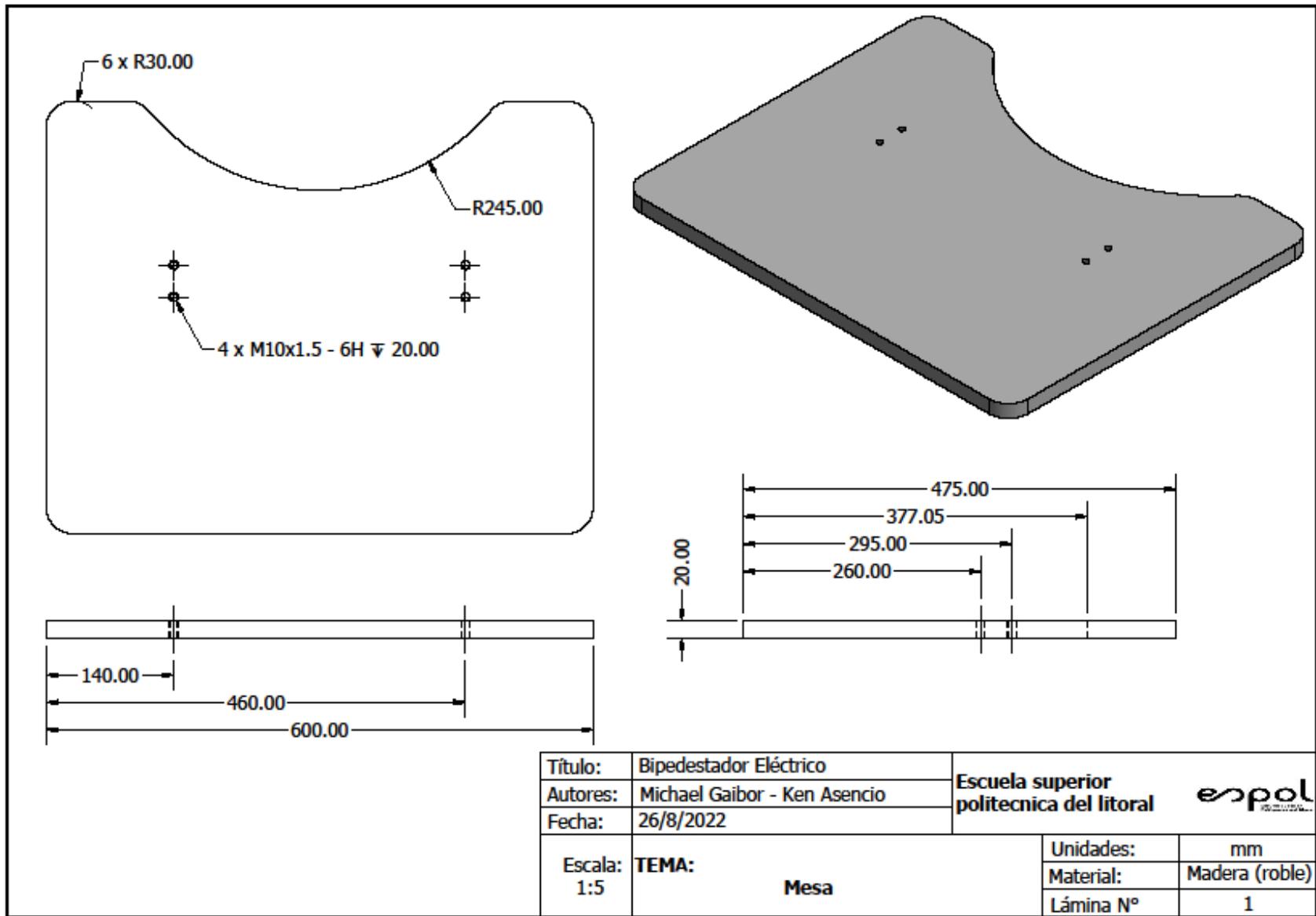
CUIDADOS

- No usar el dispositivo sobre superficies rugosas y desiguales.
- Limitar la velocidad de movimiento.
- Revisar la carga de la batería previo a su uso.
- Realizar el mantenimiento apropiado cuando sea requerido.

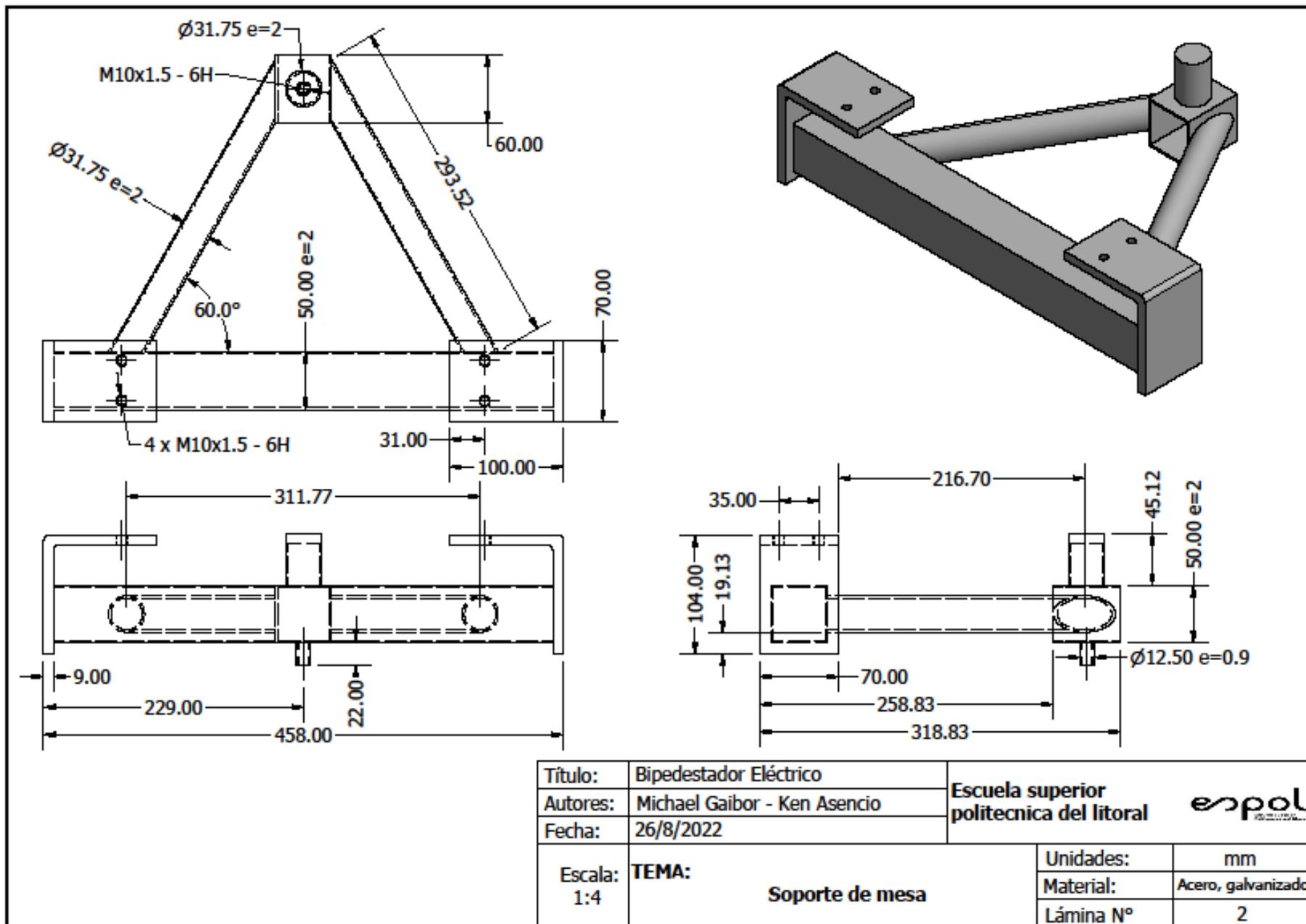


02

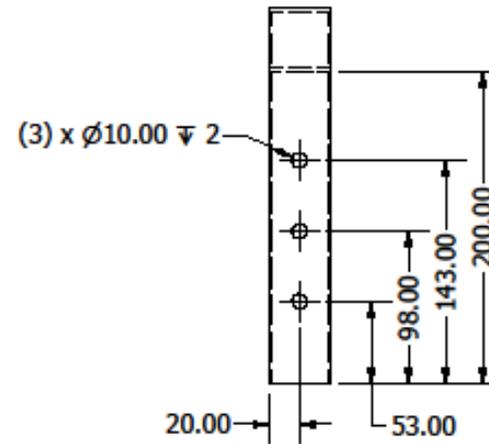
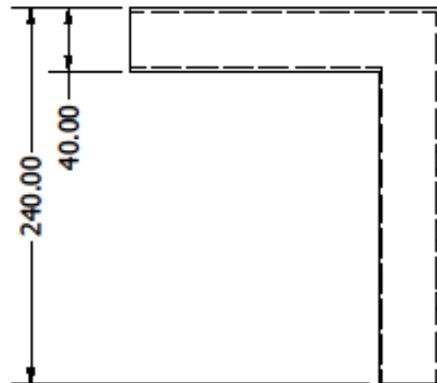
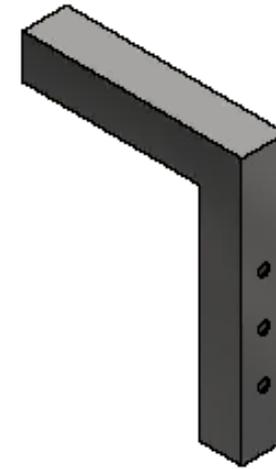
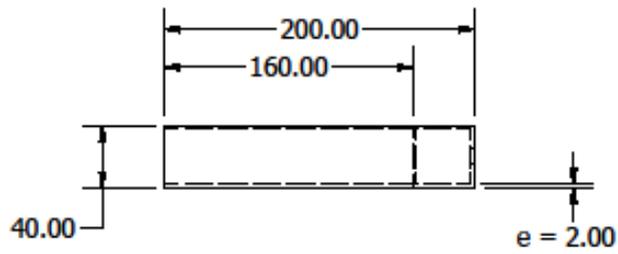
Figura A-7 Manual de Operación



Plano A-1 Mesa

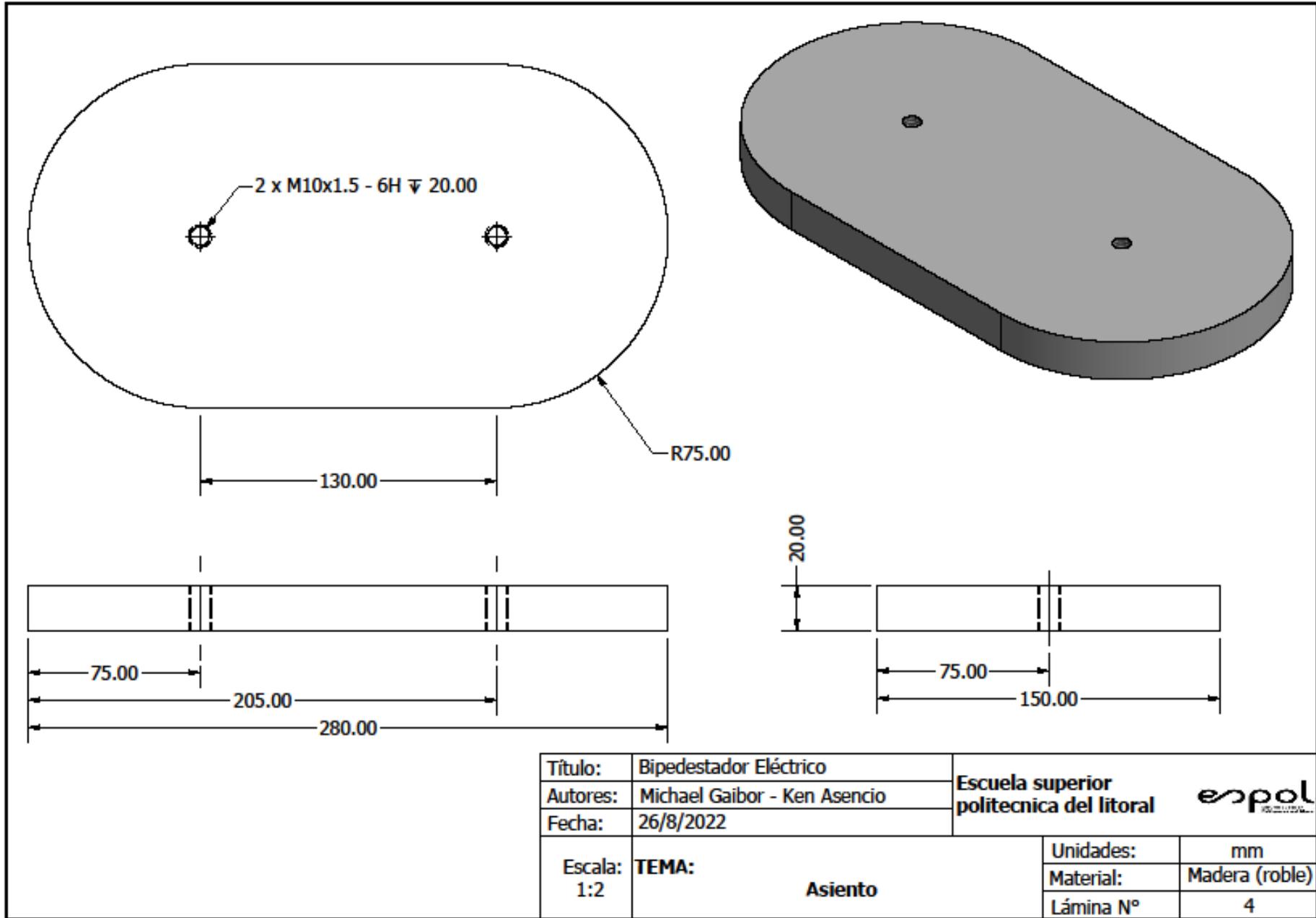


Plano A-2 Soporte de mesa



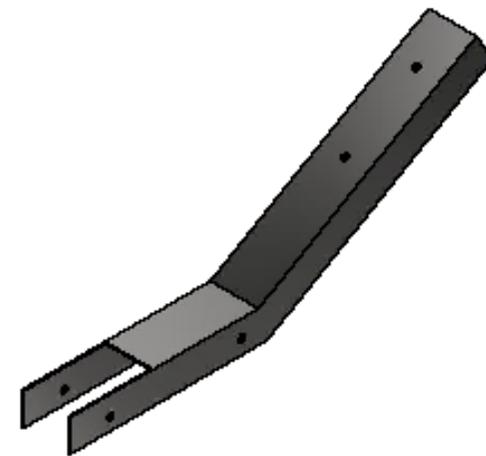
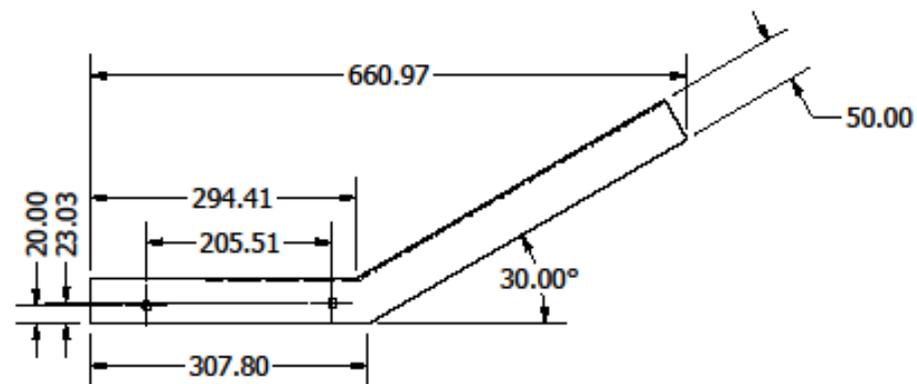
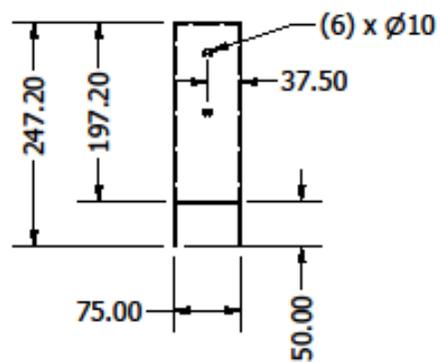
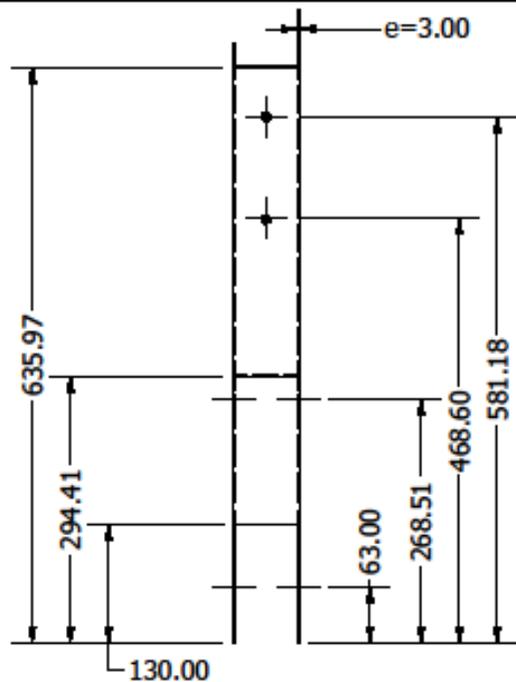
Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	TEMA:	Unidades:	mm
1 / 4	Elevador de mesa	Material:	Acero, galvanizado
		Lámina N°	3

Plano A-3 Elevador de mesa



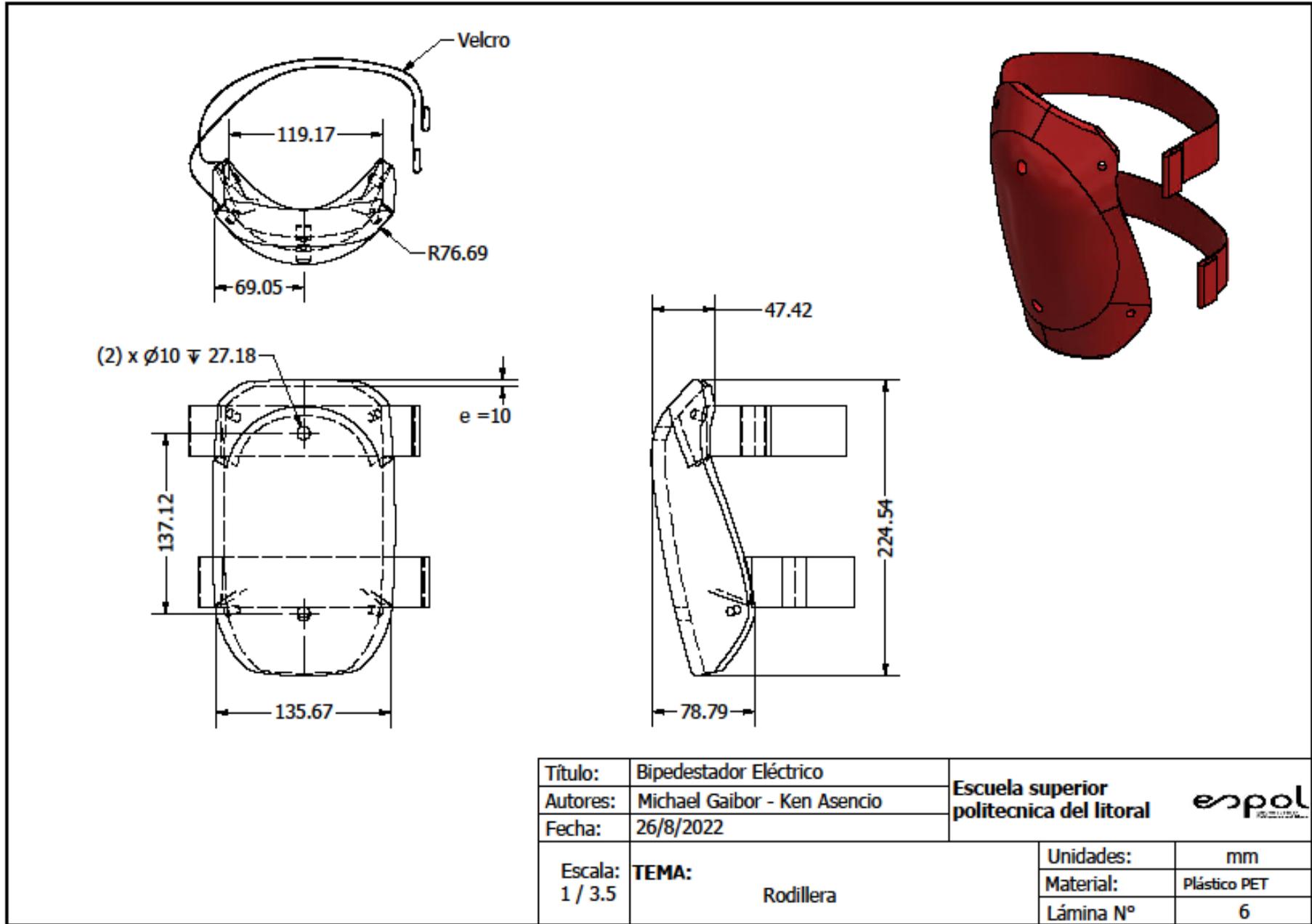
Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral			
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio				
Fecha:	26/8/2022				
Escala:	1:2	TEMA:	Asiento	Unidades:	mm
				Material:	Madera (roble)
				Lámina N°	4

Plano A-4 Asiento

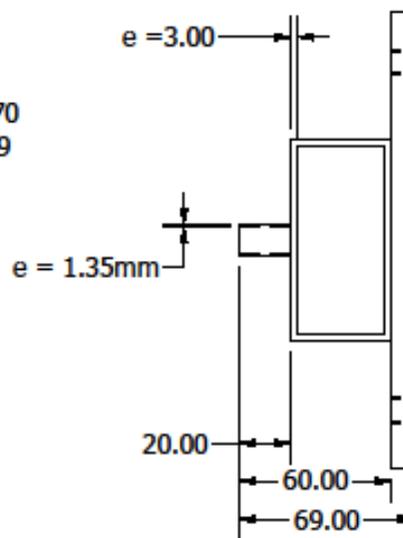
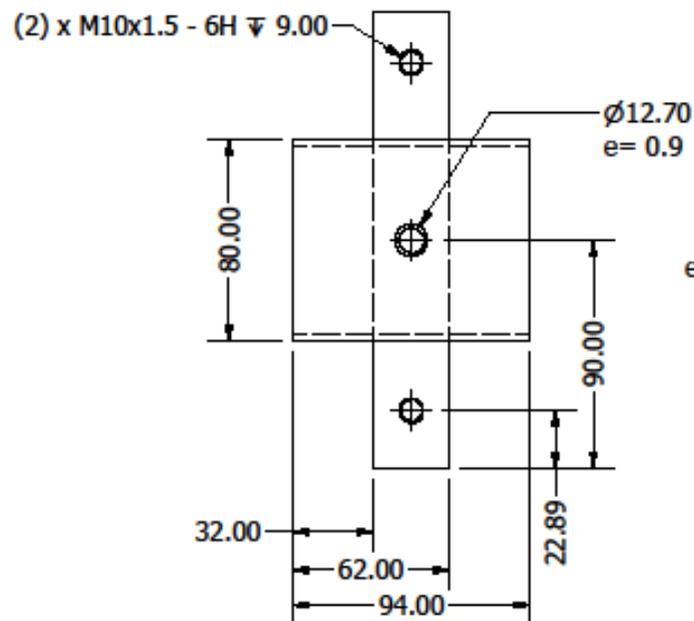
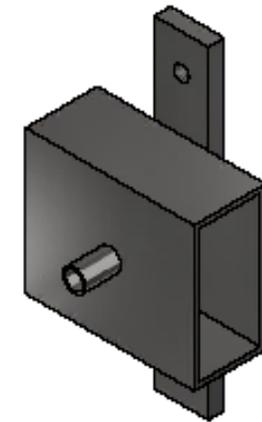
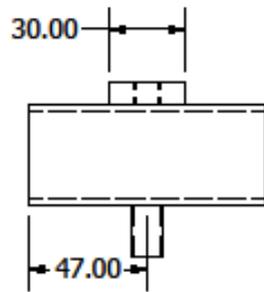


Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral espol			
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio				
Fecha:	26/8/2022				
Escala:	1:7	TEMA:	Soporte de asiento	Unidades:	mm
				Material:	Acero, galvanizado
				Lámina N°	5

Plano A-5 Soporte de asiento

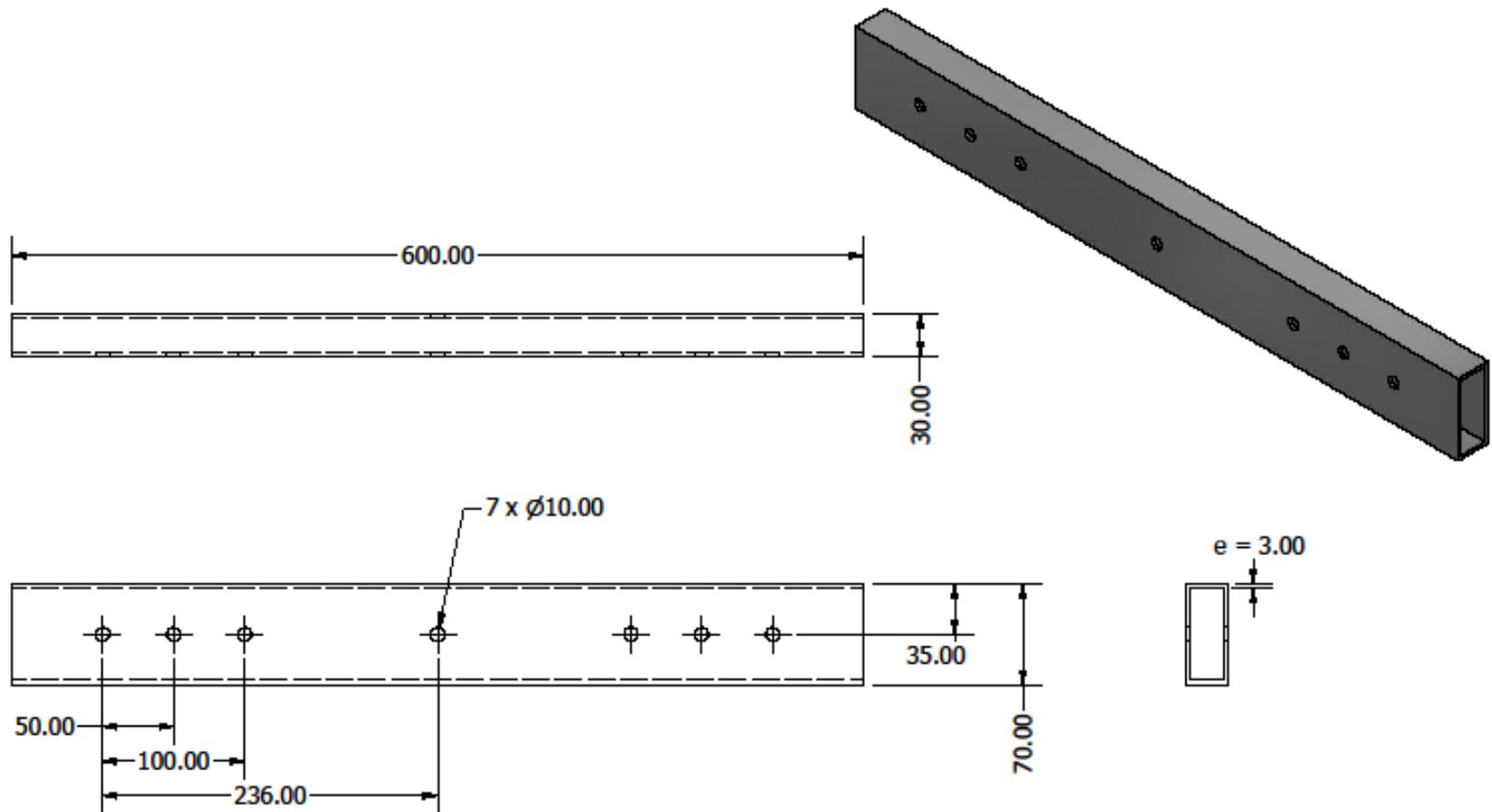


Plano A-6 Rodillera



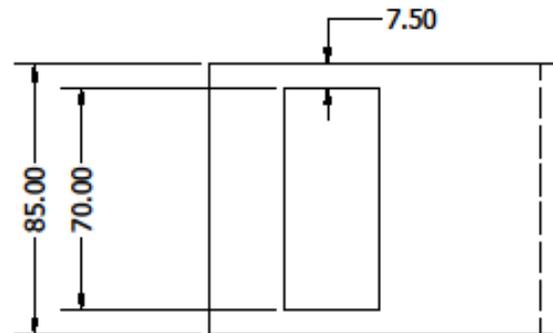
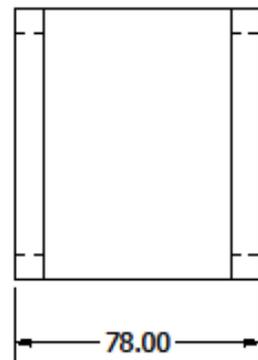
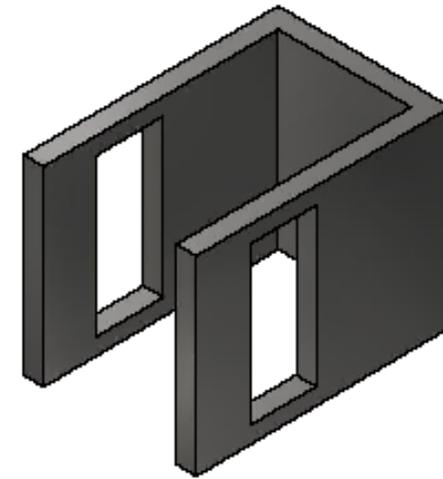
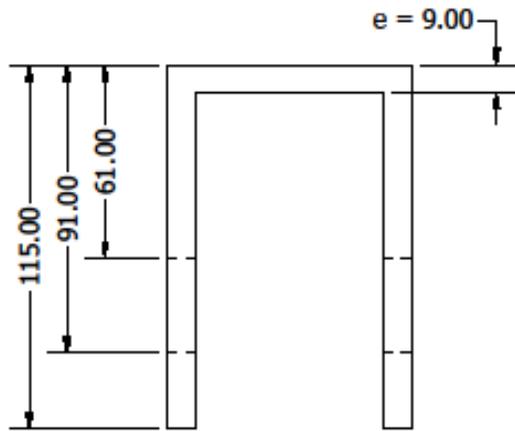
Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	1:2.5	TEMA:	Soporte de rodilla
		Unidades:	mm
		Material:	Acero, galvanizado
		Lámina N°	7

Plano A-7 Soporte de rodilla



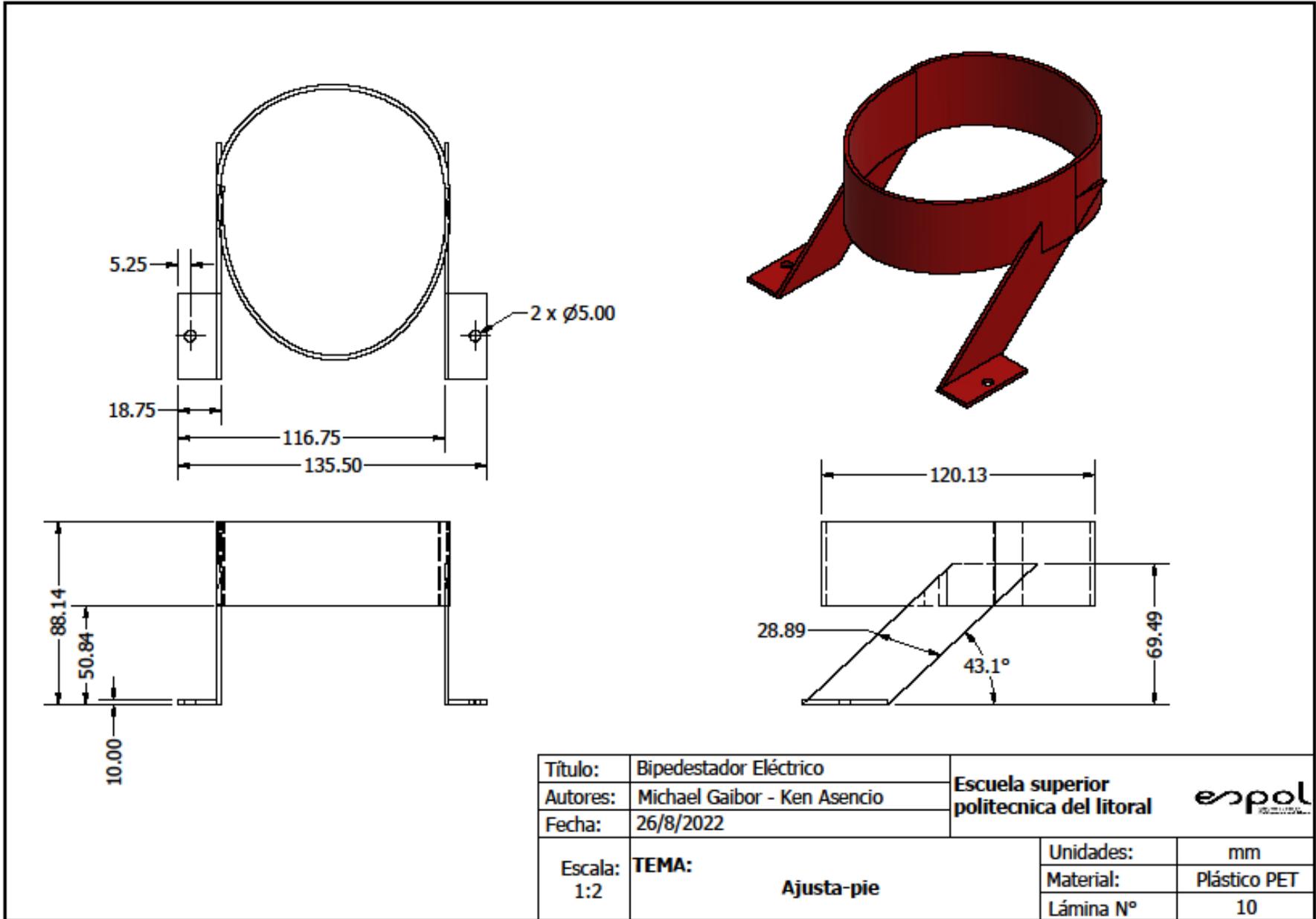
Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	1 : 4	Unidades:	mm
TEMA:	Placa deslizadora	Material:	Acero, galvanizado
		Lámina N°	8

Plano A-8 Placa deslizadora

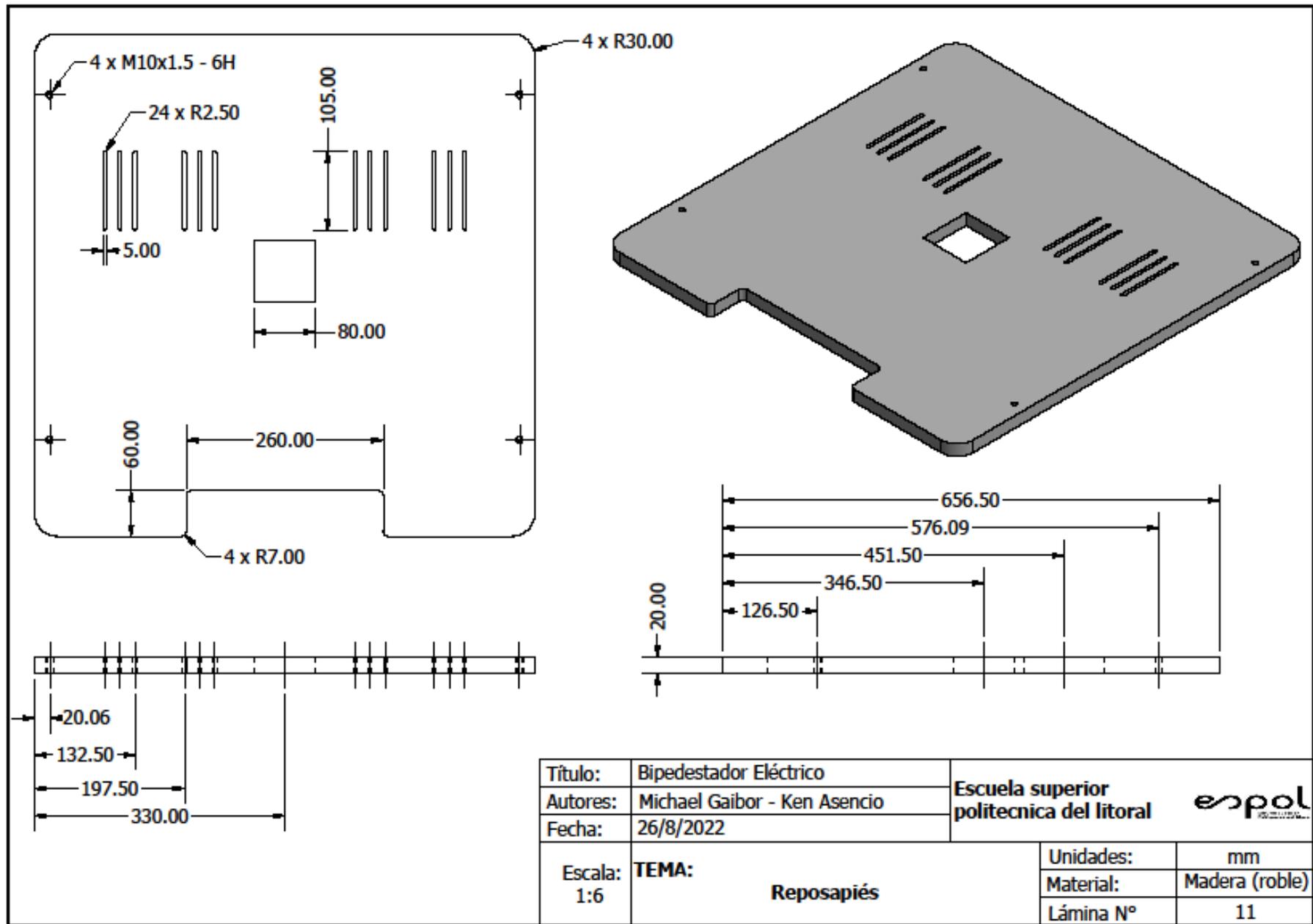


Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	TEMA: Elevador de rodilleras	Unidades:	mm
1 / 2		Material:	Acero, galvanizado
		Lámina N°	9

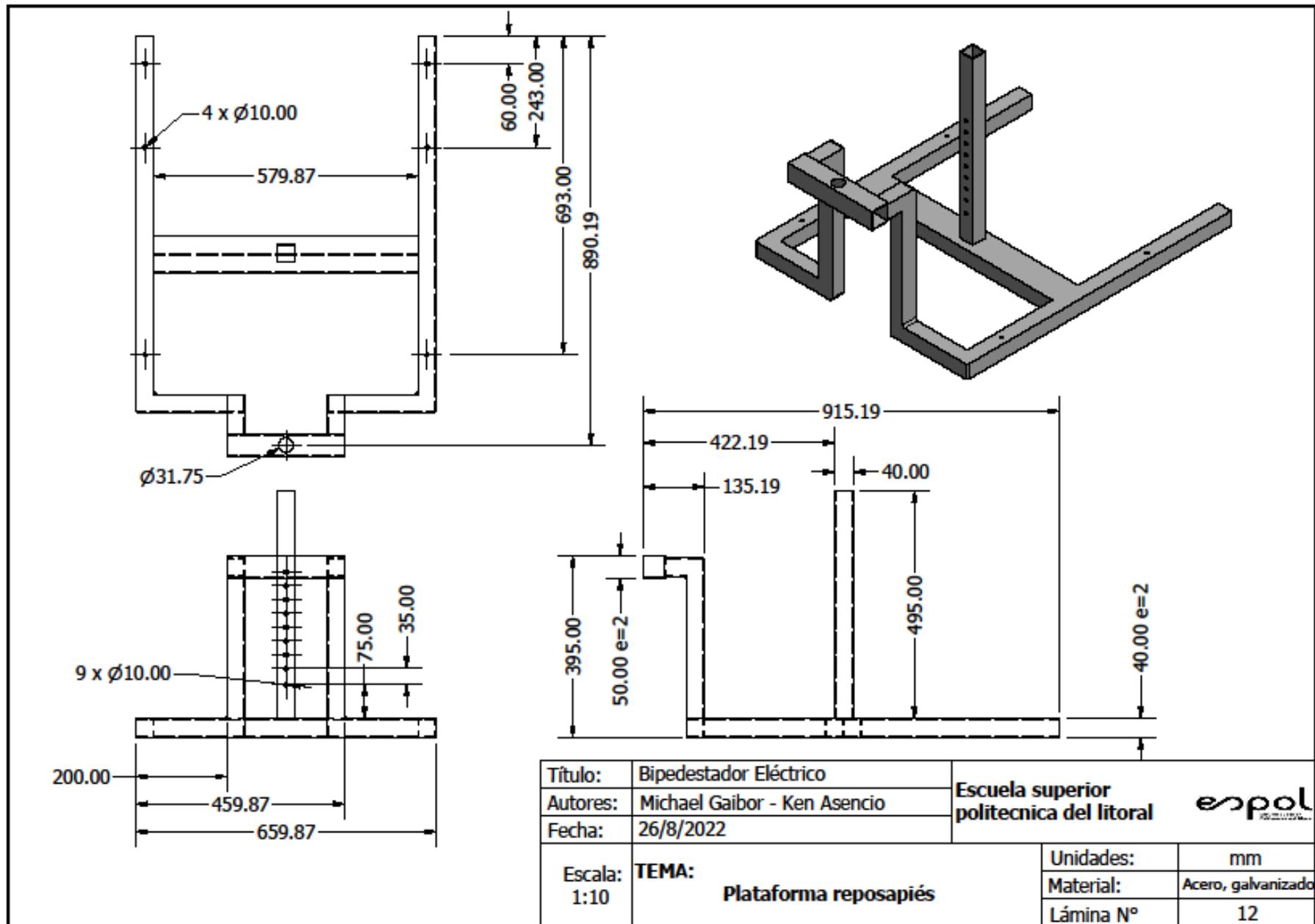
Plano A-9 Elevador de rodilleras



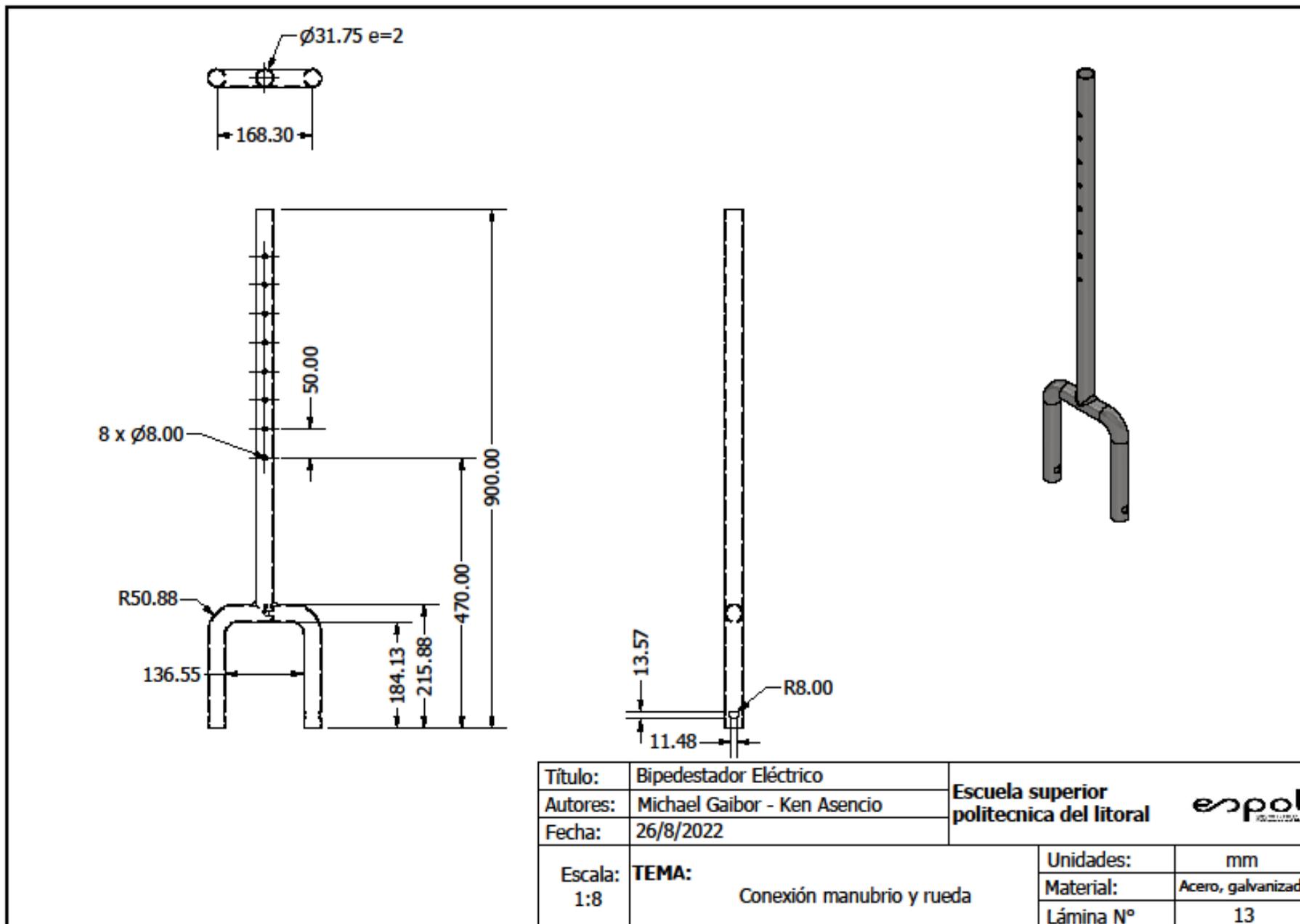
Plano A-10 Ajusta-pie



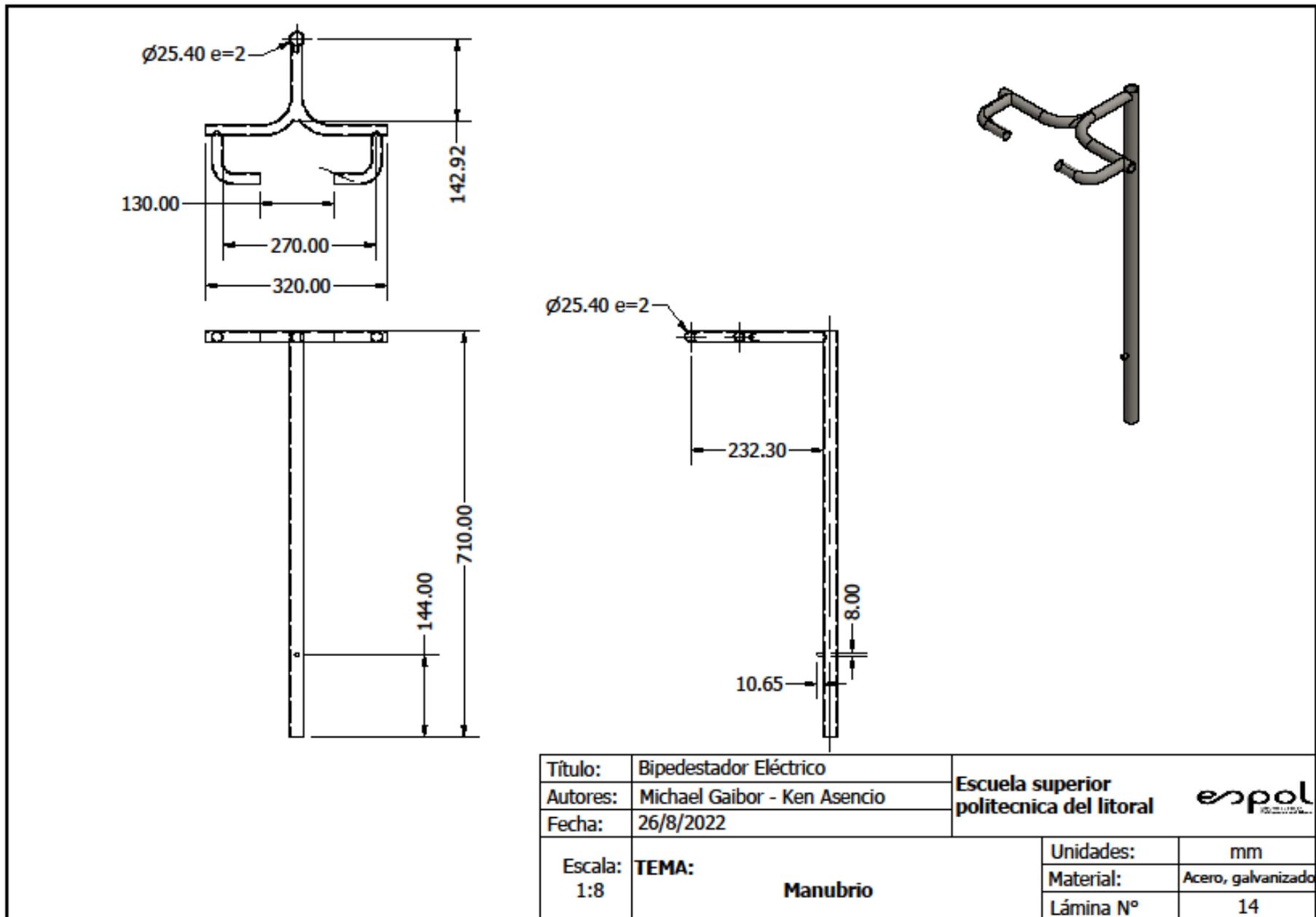
Plano A-11 Reposapiés



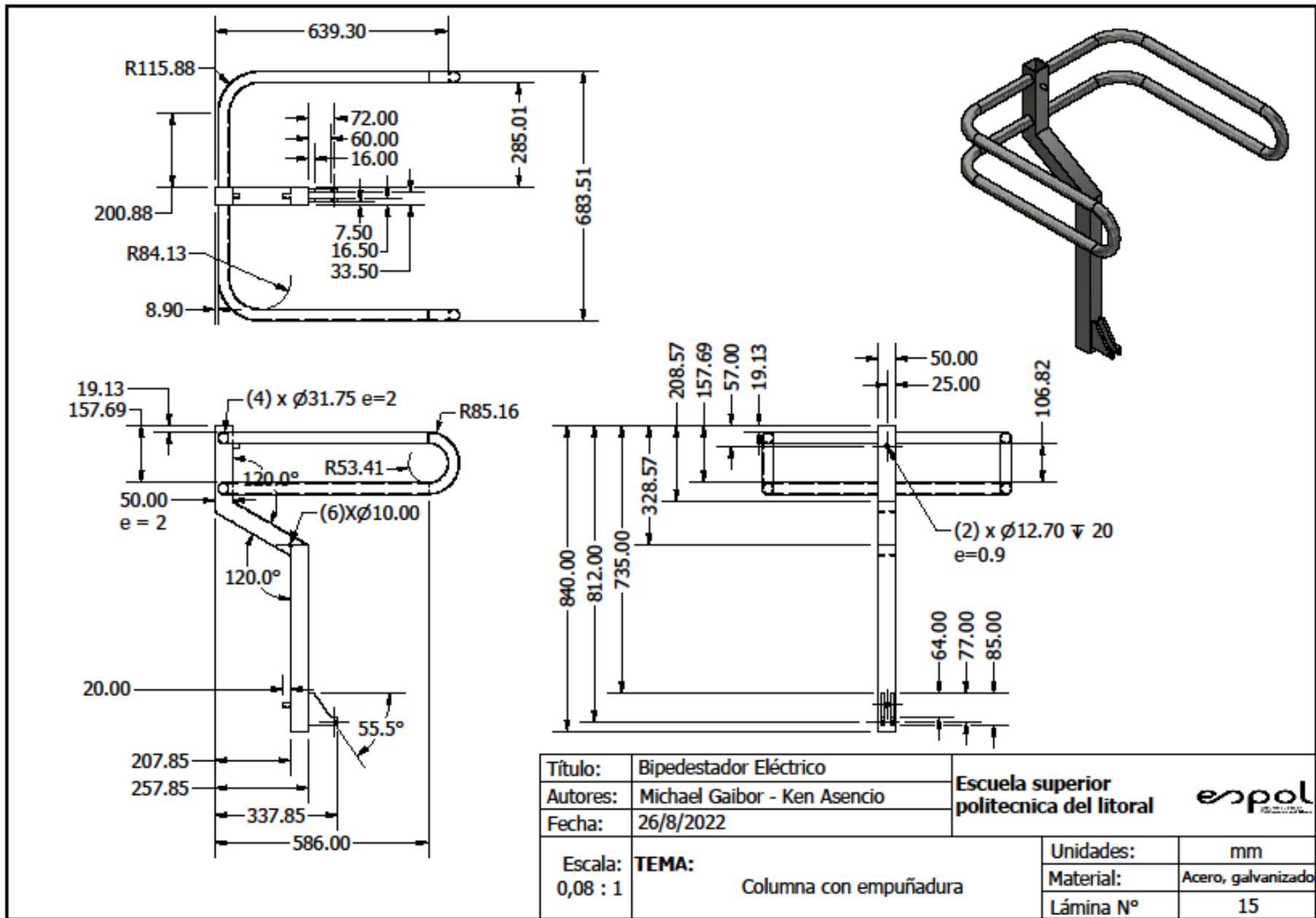
Plano A-12 Plataforma reposapiés



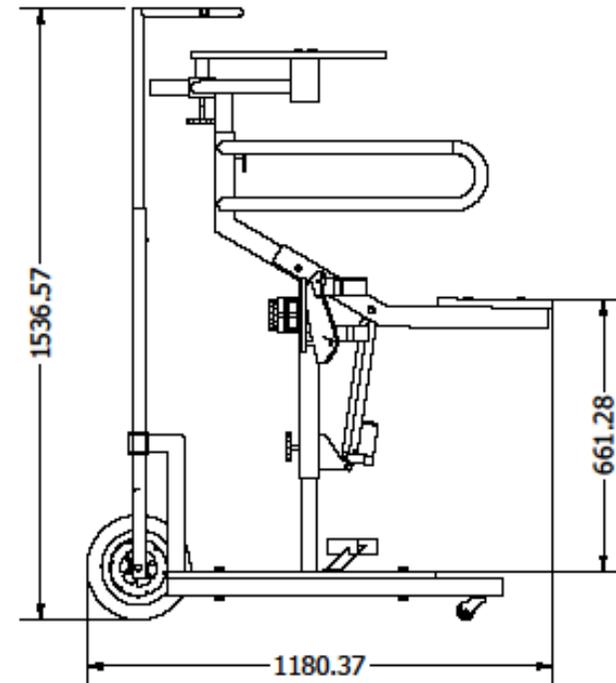
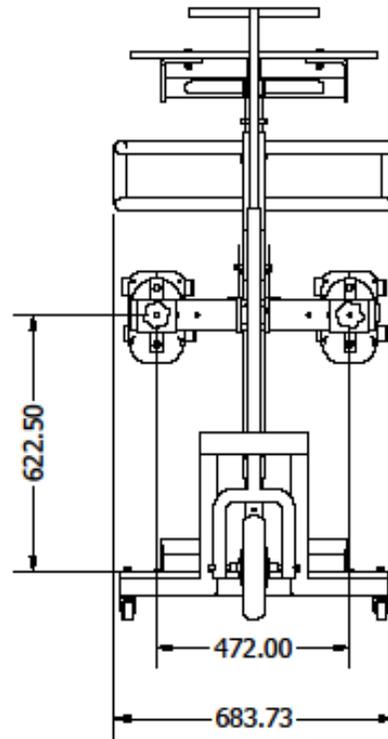
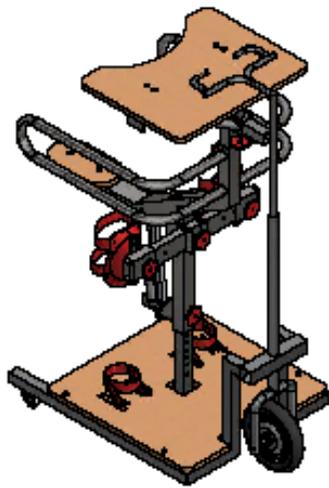
Plano A-13 Conexión manubrio y rueda



Plano A-14 Manubrio

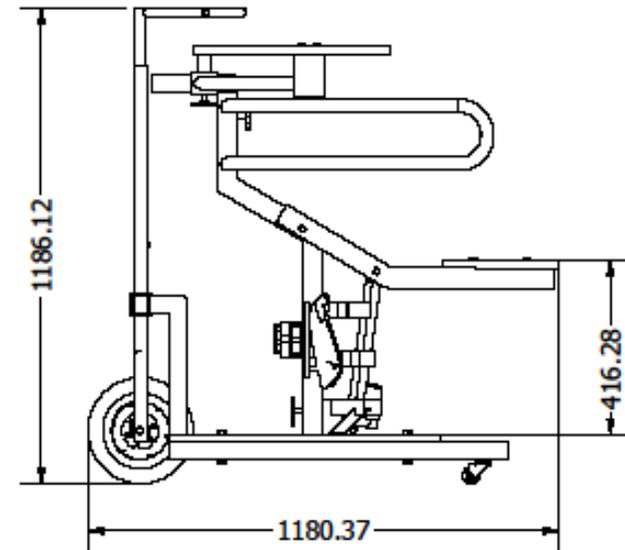
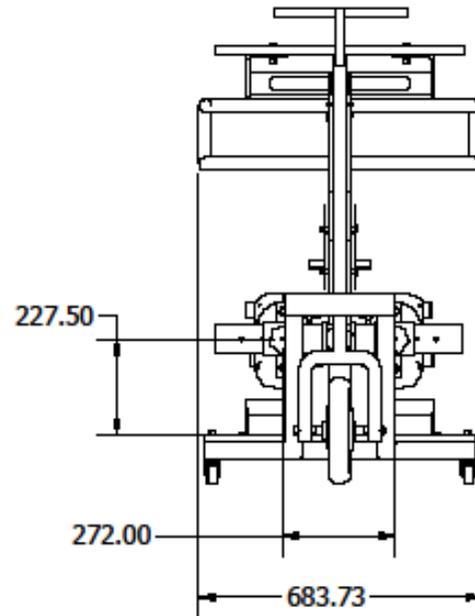
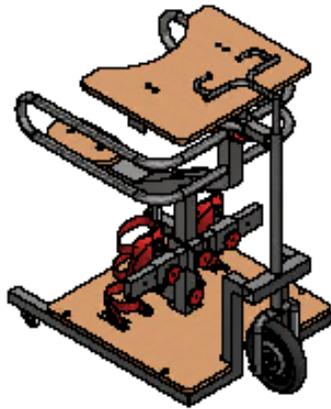


Plano A-15 Columna con empuñadura



Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	1 / 15	Unidades:	mm
	TEMA: Máxima dimensión del bipedestador	Material:	Varios
		Lámina N°	16

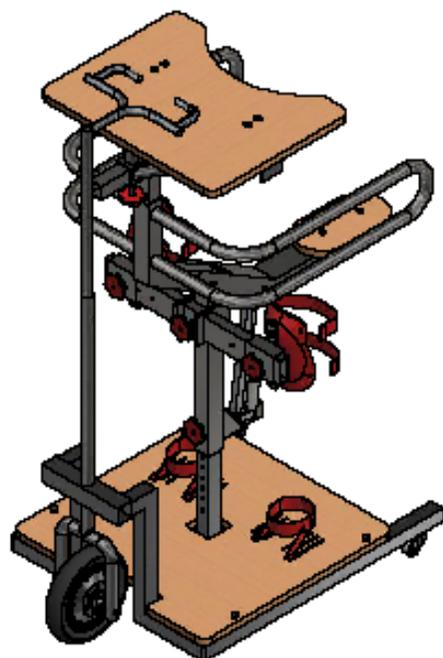
Plano A-16 Máxima dimensión del bipedestador



Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	TEMA: Mínima dimensión del bipedestador	Unidades:	mm
1 / 15		Material:	Varios
		Lámina N°	17

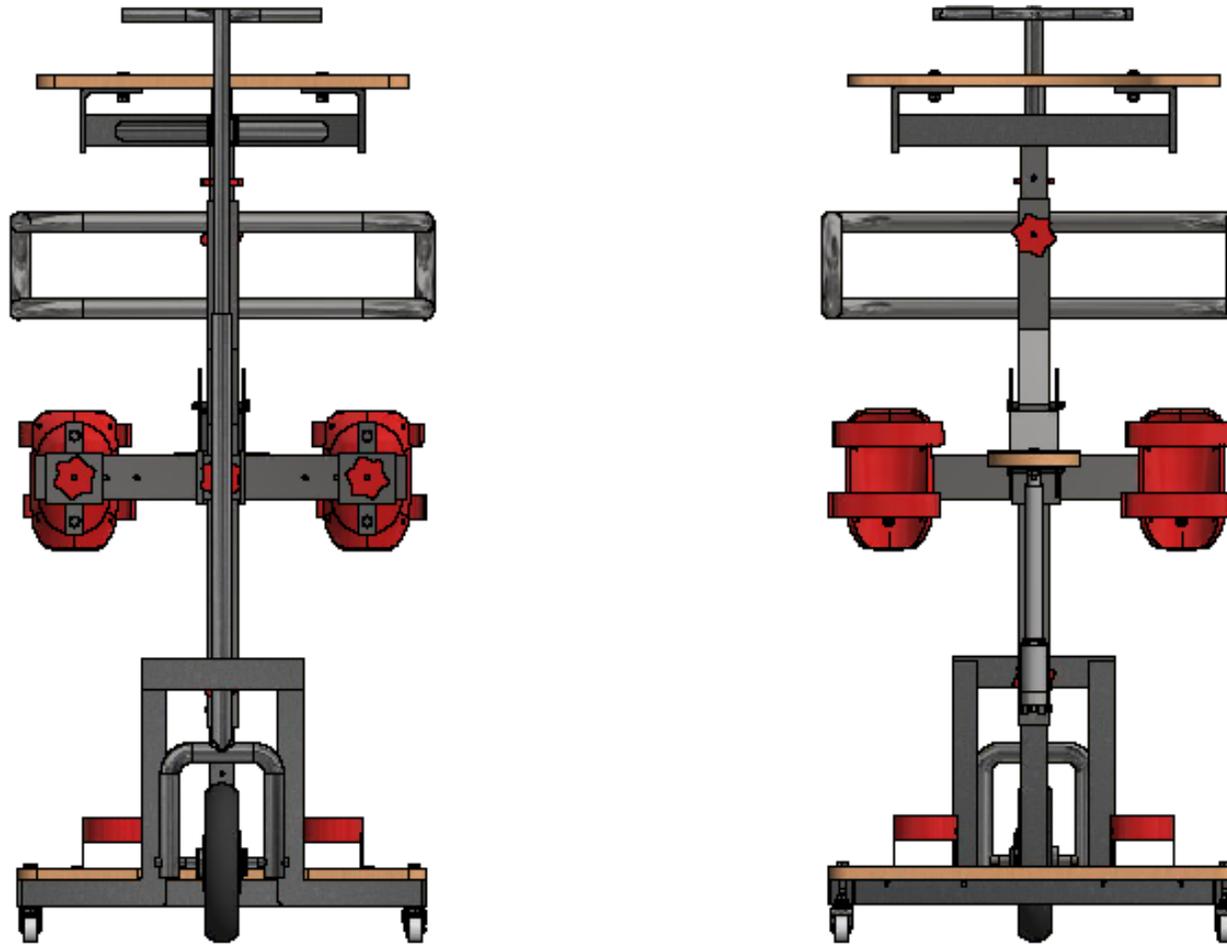
Plano A-17 Mínima dimensión del bipedestador

LISTA DE ELEMENTOS		
QTY	ELEMENTO	MATERIAL
2	Ajusta-pie	Plástico PET
1	Asiento	Madera (roble)
1	Columna con empuñadura	Acero, galvanizado
1	Conexión manubrio y rueda	Acero, galvanizado
1	Elevador de mesa	Acero, galvanizado
1	Elevador de rodillera	Acero, galvanizado
1	Manubrio	Acero, galvanizado
1	Mesa	Madera (roble)
6	Perilla	Plástico PET
1	Placa deslizadora	Acero, galvanizado



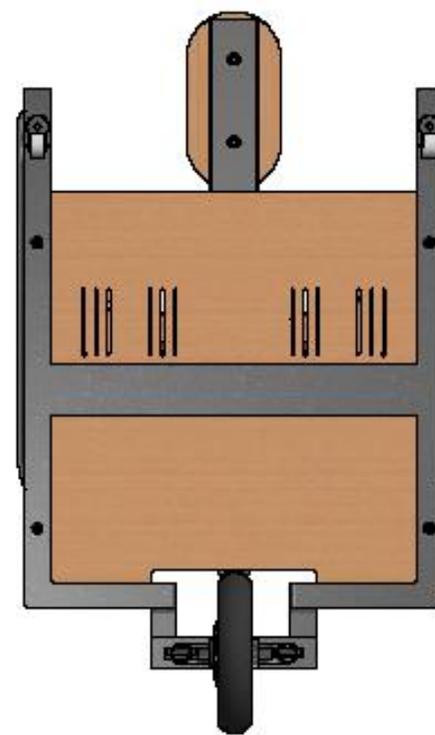
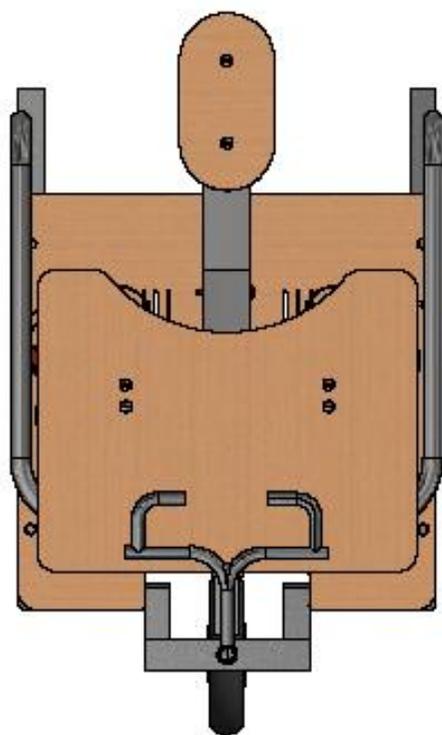
LISTA DE ELEMENTOS		
QTY	ELEMENTO	MATERIAL
1	Plataforma reposapiés	Acero, galvanizado
1	Reposapiés	Madera (roble)
2	Rodillera	PET Plastic
2	Rueda giratoria	Nylon y Acero
1	Rueda motorizada	Caucho y Acero
1	Soporte de asiento	Acero, galvanizado
1	Soporte de mesa	Acero, galvanizado
2	Soporte de rodillera	Acero, galvanizado
1	Actuador pequeño(cuerpo)	Aluminio
1	Actuador pequeño(eje 350)	Aluminio
4	AS 1110 - M10 x 70	Steel, Mild
16	ISO 4032 - M10	Stainless Steel, 440C
12	AS 1968 - 1976 - 10	Steel, Mild
12	AS 1237 - 10	Steel, Mild
4	IS 6761 - M4 x 35	Steel, Mild
4	ISO 4032 - M4	Stainless Steel, 440C
6	IS 8911 - M10 x 45	Steel, Mild
2	ISO 2341 - B - 10 x 85	Steel
2	AS 1110 - M10 x 50	Steel, Mild
3	AS 1110 - M10 x 35	Steel, Mild
1	ISO 2341 - B - 10 x 45	Steel
4	ISO 2341 - A - 10 x 50	Steel
2	AS 1110 - M10 x 20	Steel, Mild
1	AS 1110 - M10 x 60	Steel, Mild

Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	TEMA: Lista de materiales del bipedestador eléctrico	Unidades:	mm
1 / 15		Material:	Varios
		Lámina N°	18



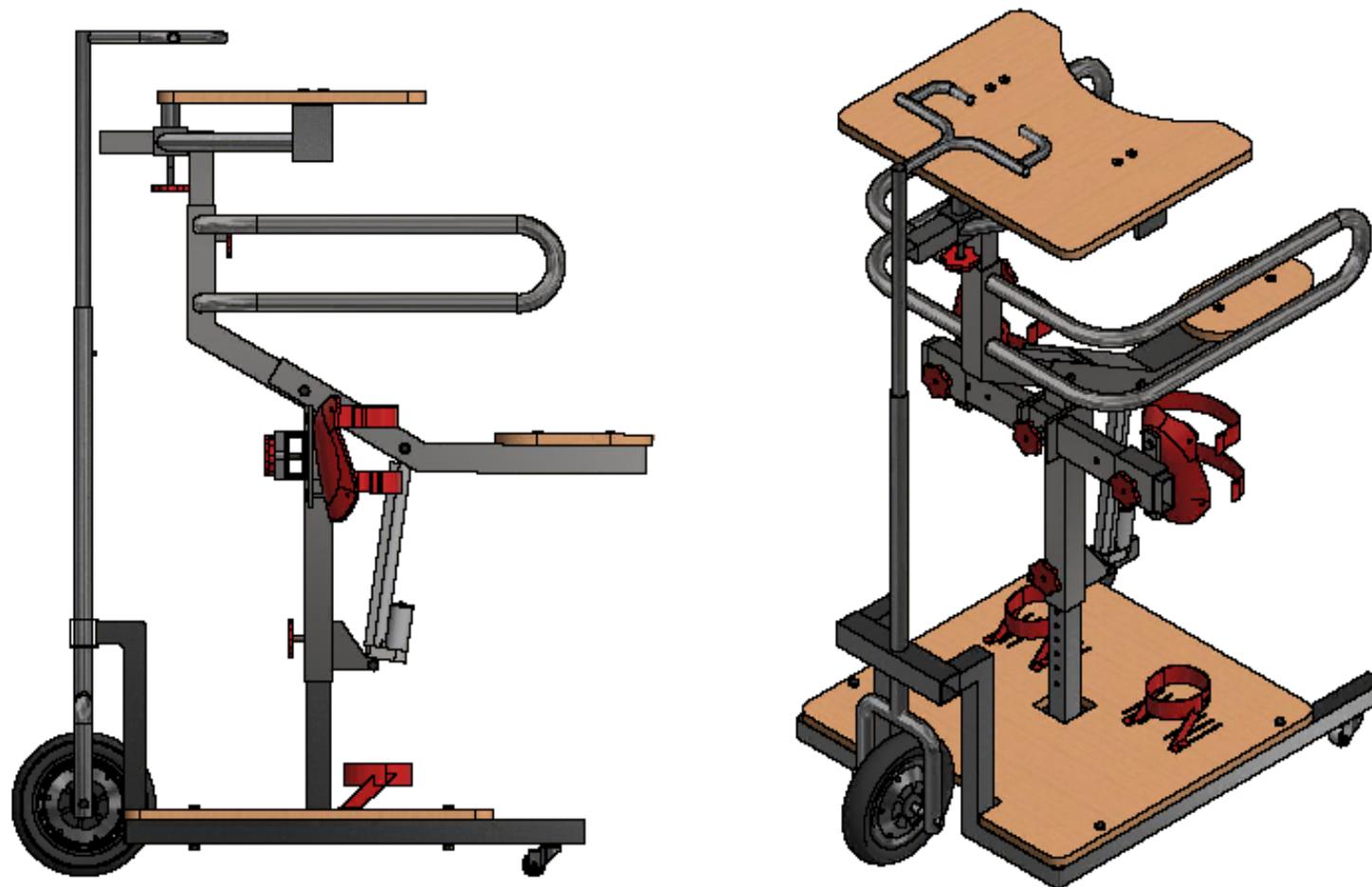
Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	TEMA: Vista frontal y posterior del bipedestador	Unidades:	mm
1 / 10		Material:	Varios
		Lámina N°	19

Plano A-19 Vista frontal y posterior del bipedestador



Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	TEMA: Vista superior e inferior del bipedestador	Unidades:	mm
1 / 10		Material:	Varios
		Lámina N°	20

Plano A-20 Vista superior e inferior del bipedestador



Título:	Bipedestador Eléctrico	Escuela superior politecnica del litoral	
Autores:	Michael Gaibor - Ken Asencio		
Fecha:	26/8/2022		
Escala:	TEMA: Vista lateral e isométrica del bipedestador	Unidades:	mm
1 / 10		Material:	Varios
		Lámina N°	21

Plano A-21 Vista lateral e isométrica del bipedestador