



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“MANUFACTURA Y PRUEBAS DE UNA SILLA DE RUEDAS
BIPEDESTADORA DESTINADA A PERSONAS ADULTAS CON
DISCAPACIDAD FÍSICA A NIVEL DE PARAPLEJIA O CON
PROBLEMAS DE MOVILIDAD DE USO EN INTERIORES PARA EL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE BIOINGENIERÍA
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

MILTON JHOEL VILLACRÉS VEGA

JEAN PIERRE ZAMBRANO ZAMBRANO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**“MANUFACTURA Y PRUEBAS DE UNA SILLA DE RUEDAS
BIPEDESTADORA DESTINADA A PERSONAS ADULTAS CON
DISCAPACIDAD FÍSICA A NIVEL DE PARAPLEJIA O CON
PROBLEMAS DE MOVILIDAD DE USO EN INTERIORES PARA EL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE BIOINGENIERÍA
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: MILTON JHOEL VILLACRÉS VEGA

JEAN PIERRE ZAMBRANO ZAMBRANO

DIRECTOR: Ing. MSc. MIGUEL ANGEL ESCOBAR GUACHAMBALA

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Milton Jhoel Villacrés Vega, Jean Pierre Zambrano Zambrano

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

Nosotros, Milton Jhoel Villacrés Vega y Jean Pierre Zambrano Zambrano, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 28 de noviembre de 2022



Milton Jhoel Villacrés Vega

020256182-5



Jean Pierre Zambrano Zambrano

060431965-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**MANUFACTURA Y PRUEBAS DE UNA SILLA DE RUEDAS BIPEDESTADORA DESTINADA A PERSONAS ADULTAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA A NIVEL DE PARAPLEJÍA O CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD DE USO EN INTERIORES PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE BIOINGENIERÍA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA ESPOCH**”, realizado por los señores: **MILTON JHOEL VILLACRÉS VEGA** y **JEAN PIERRE ZAMBRANO ZAMBRANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. MSc. Edwin Fernando Viteri Nuñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-28
Ing. MSc. Miguel Angel Escobar Guachambala DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-28
Ing. MSc. Luis Santiago Choto Chariguaman MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-11-28

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo incondicional y su incesable dedicación para que pueda constituir mis estudios universitarios en esta prestigiosa carrera e institución. A mi padre y madre, por su apoyo y motivación que día a día fortalecieron mi ímpetu y ganas de sobrellevar el proceso de formación ingenieril. A mi hermano, David, por fortalecer las bases y prestarme su ayuda siempre que la necesité. Y finalmente, a todos mis amigos y allegados que, en lugar de enfocarse en sus beneficios personales, permitieron un crecimiento profesional basado en el compañerismo.

Milton Jhoel Villacrés Vega

Dedico el presente trabajo a mi familia. Principalmente, a mis padres por su apoyo incondicional durante cada una de las etapas de mi formación universitaria, por enseñarme a afrontar las dificultades con perseverancia, esfuerzo, voluntad y paciencia. A mi hermano Robyn, que, con su ejemplo, me motivo a esforzarme cada día para alcanzar mis metas. Y finalmente, a todos mis amigos, docentes y personas que de una u otra forma, se vieron involucrados en este proceso hasta convertirme en profesional.

Jean Pierre Zambrano Zambrano

AGRADECIMIENTO

Inicialmente agradezco a Dios, porque sin su consentimiento y su voluntad, ningún logro sería posible. A mis padres, Cecilia y Milton, por su apoyo, por su constancia, por su dedicación y esmero. Por haberme inculcado ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A mis hermanos, sobrinos, cuñados que de alguna manera apoyaron y fueron parte del proceso y por lo tanto de este logro alcanzado.

Milton Jhoel Villacrés Vega

Agradezco a Dios por su bendición y guía a lo largo de mi vida, por ser fortaleza en aquellos momentos de debilidad. A mis padres, Aurelio y María, por su esfuerzo, ímpetu y perseverancia, por haberme dado todo sin esperar nada a cambio, ya que gracias a ellos aprendí la importancia del trabajo, la humildad y el respeto. A mi hermano, sobrino y demás familiares que siempre estuvieron presentes y sé que lo seguirán estando en cada meta alcanzada.

Jean Pierre Zambrano Zambrano

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVII
RESUMEN.....	XVIII
SUMMARY	XIX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Delimitación.....	3
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3. Formulación del problema	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
CAPÍTULO II	
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1. <i>Anatomía humana</i>	4
2.1.1. <i>Posiciones anatómicas</i>	4
2.1.2. <i>Direcciones anatómicas</i>	6
2.1.3. <i>El esqueleto humano</i>	7
2.2. <i>Cineantropometría</i>	8
2.2.1. <i>Antropometría estática</i>	9
2.2.2. <i>Antropometría dinámica</i>	10
2.3. <i>Ergonomía</i>	10
2.3.1. <i>Objetivo de la ergonomía</i>	12
2.3.2. <i>Clasificación de la ergonomía</i>	12
2.4. <i>Asistencia robótica</i>	12
2.5. <i>Bipedestación</i>	13

2.5.1.	<i>Origen del bipedalismo.....</i>	13
2.5.2.	<i>Características de la bipedestación.....</i>	13
2.5.2.1.	<i>Postura.....</i>	13
2.5.2.2.	<i>Equilibrio.....</i>	14
2.5.3.	<i>Bipedestación estática.....</i>	14
2.5.4.	<i>Bipedestación dinámica.....</i>	14
2.6.	<i>Biomecánica de la bipedestación.....</i>	15
2.6.1.	<i>Tipos de bipedismos.....</i>	15
2.6.1.1.	<i>Bipedismo facultativo.....</i>	15
2.6.1.2.	<i>Bipedismo permanente.....</i>	15
2.7.	<i>Trayectoria de elevación.....</i>	15
2.8.	<i>Análisis de sedestación y bipedestación.....</i>	16
2.8.1.	<i>Fases de postura sentada a bipedestación.....</i>	16
2.8.1.1.	<i>Fase I.....</i>	16
2.8.1.2.	<i>Fase II.....</i>	16
2.8.1.3.	<i>Fase II.....</i>	17
2.9.	<i>Materiales.....</i>	17
2.9.1.	<i>Selección de materiales.....</i>	17
2.9.2.	<i>Materiales para la construcción.....</i>	17
2.9.2.1.	<i>Método Ashby.....</i>	17
2.9.2.2.	<i>Acero estructural.....</i>	18
2.9.2.3.	<i>Aluminio.....</i>	18
2.9.2.4.	<i>Electrodo.....</i>	19
2.9.3.	<i>Materiales utilizados en impresión 3D.....</i>	19
2.9.3.1.	<i>ABS (Acrilo Butadieno Estireno).....</i>	19
2.9.3.2.	<i>PLA (Poliácido Láctico).....</i>	19
2.9.3.3.	<i>PETG (Tereftalato de Polietileno Glicol).....</i>	20
2.9.4.	<i>Materiales utilizados en equipos de rehabilitación y movilidad asistida.....</i>	20
2.9.4.1.	<i>ASTM A36.....</i>	20
2.9.4.2.	<i>Polímeros y textiles.....</i>	20
2.10.	<i>Métodos de fabricación.....</i>	21
2.10.1.	<i>Maquinado.....</i>	21
2.10.2.	<i>Impresión 3D.....</i>	21
2.11.	<i>Manufactura utilizada en equipos de rehabilitación y movilidad asistida.....</i>	22
2.12.	<i>Modelación y programación CNC.....</i>	22
2.12.1.	<i>CAD/CAM.....</i>	22

2.12.2.	<i>Control numérico computarizado CNC</i>	22
2.12.3.	<i>Máquinas con sistema CNC</i>	22
2.12.4.	<i>Herramientas de una máquina CNC</i>	23
2.13.	Características técnicas en el traslado del discapacitado	23
2.13.1.	<i>Análisis de movilidad</i>	23
2.13.1.1.	<i>Movilidad espontánea</i>	23
2.13.2.	<i>Parámetros generales de diseño</i>	23
2.13.3.	<i>Parámetros dimensionales del prototipo</i>	24
2.14.	Metodología Kano	25

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	26
3.1.	Metodología del diseño	26
3.1.1.	<i>Definición del producto</i>	27
3.1.2.	<i>Análisis de matriz de calidad QFD</i>	27
3.1.2.1.	<i>Voz de usuario</i>	27
3.1.2.2.	<i>Voz del ingeniero</i>	28
3.2.	Valoración de factibilidad constructiva	29
3.2.1.	<i>Selección de material</i>	29
3.2.1.1.	<i>Metodología de Michael Ashby</i>	30
3.2.1.2.	<i>Software CES EduPack</i>	35
3.2.1.3.	<i>Marco normativo relacionado a la selección del material</i>	37
3.2.1.4.	<i>Selección del material</i>	38
3.2.2.	Valoración del diseño mecánico del bipedestador	38
3.2.2.1.	<i>Redimensionamiento del prototipo</i>	38
3.2.3.	Diseño de junta soldada	44
3.2.3.1.	<i>Comprobación de diseño de junta soldada</i>	45
3.3.	Selección de elementos estandarizados	54
3.3.1.	<i>Motores</i>	54
3.3.2.	<i>Ruedas</i>	56
3.3.3.	<i>Batería</i>	57
3.3.4.	<i>PCB</i>	58
3.3.5.	<i>Sensores</i>	58
3.4.	Selección de los procesos de manufactura	59
3.4.1.	<i>Unión mediante juntas soldadas</i>	59
3.4.2.	<i>Doblado de platinas</i>	60

3.4.3.	<i>Corte y plegado de acero inoxidable</i>	61
3.5.	Fabricación	61
3.5.1.	<i>Descripción del proceso constructivo</i>	61
3.6.	Sistema eléctrico y electrónico	70
3.6.1.	<i>Ubicación y sujeción del actuador</i>	70
3.6.2.	<i>Ubicación y sujeción de baterías</i>	70
3.6.3.	<i>Código en Arduino</i>	70
3.6.4.	Fabricación de PCB	71
3.6.4.1.	<i>Pantalla OLED</i>	75
3.6.4.2.	<i>Fuente Buck LM2596</i>	76
3.6.4.3.	<i>Sensor de corriente ACS712</i>	77
3.6.4.4.	<i>Drive BTS7963</i>	77
3.6.4.5.	<i>Joystick</i>	78
3.6.4.6.	<i>Circuito de funcionamiento para el actuador</i>	79
3.6.4.7.	<i>Arduino nano</i>	79
3.7.	Costos	80
3.7.1.	Costos directos	81
3.7.1.1.	<i>Costos de materiales</i>	81
3.7.1.2.	<i>Costos de la mano de obra</i>	82
3.7.1.3.	<i>Costos de equipos y herramientas</i>	82
3.7.1.4.	<i>Costo de transporte</i>	83
3.7.1.5.	<i>Costo total directo</i>	83
3.7.2.	Costos indirectos	83
3.7.3.	Costos totales	84

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	85
4.1.	Parámetros para el diseño de un bipedestador	85
4.2.	Resultados metodología Kano	85
4.2.1.	<i>Requerimiento del producto</i>	85
4.2.2.	<i>Construcción del cuestionario Kano</i>	86
4.2.3.	<i>Aplicación de las encuestas</i>	86
4.2.4.	<i>Tabulación de encuestas</i>	89
4.2.5.	Resultados de encuestas	90
4.2.5.1.	<i>Análisis de característica 1</i>	92
4.2.5.2.	<i>Análisis de característica 2</i>	92

4.2.5.3. <i>Analisis de caracteristica 3</i>	93
4.2.5.4. <i>Analisis de caracteristica 4</i>	94
4.2.5.5. <i>Analisis de caracteristica 5</i>	94
4.2.5.1. <i>Analisis de caracteristica 6</i>	95
4.2.5.1. <i>Analisis de caracteristica 7</i>	95
4.2.5.1. <i>Analisis de caracteristica 8</i>	96
4.2.5.1. <i>Analisis de caracteristica 9</i>	97
4.2.5.1. <i>Analisis de caracteristica 10</i>	98
4.3. Fichas de datos	98
4.3.1. Resultado de las fichas	100
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: División de huesos según la zona de las extremidades superiores.	8
Tabla 2-2: División de huesos según la zona de las extremidades inferiores.	8
Tabla 3-2: Movilidad espontánea según edades.....	23
Tabla 4-2: Parámetros de diseño	24
Tabla 5-2: Parámetros de dimensionales del prototipo	24
Tabla 1-3: Requerimientos para la manufactura.	31
Tabla 2-3: Valores específicos de carga para la silla de ruedas.	32
Tabla 3-3: Requerimientos de diseño para la selección del material.	32
Tabla 4-3: Datos geométricos del tubo estructural.....	40
Tabla 5-3: Datos geométricos del tubo estructural.....	40
Tabla 6-3: Datos geométricos del tubo estructural.....	41
Tabla 7-3: Datos geométricos de la platina	42
Tabla 8-3: Características mínimas para el motor de la silla de ruedas.	54
Tabla 9-3: Características del motor MY1016Z2 (L-FASTER).	54
Tabla 10-3: Características del actuador <i>Happybuy</i>	56
Tabla 11-3: Descripción de construcción de la estructura de silla bipedestadora.	63
Tabla 12-3: Descripción de mecanizado de placas para silla bipedestadora.....	65
Tabla 13-3: Descripción del ensamble de la silla bipedestadora.....	66
Tabla 14-3: Descripción de ensamble de PCB.....	71
Tabla 15-3: Componentes electrónicos para PCB.....	75
Tabla 16-3: Características de pantalla OLED.....	76
Tabla 17-3: Características de LM2596.....	76
Tabla 18-3: Características de ACS712	77
Tabla 19-3: Características de BTS7963.....	78
Tabla 20-3: Características joystick	78
Tabla 21-3: Características de arduino nano.	80
Tabla 22-3: Tabla de costos de materiales.	81
Tabla 23-3: Tabla de costos de mano de obra.	82
Tabla 24-3: Tabla de costos de equipos y herramientas.....	82
Tabla 25-3: Tabla de transporte.	83
Tabla 26-3: Tabla de costos directos.....	83
Tabla 27-3: Tabla de costos indirectos.....	83
Tabla 28-3: Tabla de costos de imprevistos.	83
Tabla 29-3: Tabla de costos totales.....	84

Tabla 1-4: Características y requerimientos de la silla de rueda bipedestadora.....	85
Tabla 2-4: Encuesta de tabulación de preguntas positivas.....	89
Tabla 3-4: Encuesta de tabulación de preguntas negativas.....	90
Tabla 4-4: Proceso de selección del método Kano.....	90
Tabla 5-4: Resultados de encuestados en tabla de atributos.....	91
Tabla 6-4: Porcentaje de atributos según encuestas.....	91
Tabla 7-4: Ficha de pruebas.....	99
Tabla 8-4: Preguntas consideradas en las fichas de pruebas.....	100
Tabla 9-4: Datos de las fichas de pruebas.....	100

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Planos corporales	4
Ilustración 2-2: Los planos del cuerpo humano.....	6
Ilustración 3-2: Direcciones anatómicas en el cuerpo humano	7
Ilustración 4-2: Mediciones corporales más comunes en posición estática.....	9
Ilustración 5-2: Mediciones más comunes en posición dinámica	10
Ilustración 6-2: Dimensiones aceptables para una persona en silla de ruedas	11
Ilustración 7-2: Posiciones de equilibrio corporal.....	14
Ilustración 8-2: Trayectoria lineal	15
Ilustración 9-2: Trayectoria curva	16
Ilustración 10-2: Movimientos desde la postura sentada a la bípeda	16
Ilustración 11-2: Ciclo de la vida de un producto o elemento.....	17
Ilustración 12-2: Gráfico o mapa de Ashby.....	18
Ilustración 13-2: Prototipo de bipedestador diseñado en CAD	24
Ilustración 14-2: Tabla de evaluación del método Kano	25
Ilustración 15-2: Tabla de ponderación del método Kano.....	25
Ilustración 1-3: Metodología de diseño de la silla de ruedas bipedestadora	26
Ilustración 2-3: Matriz QFD.....	28
Ilustración 3-3: Cuadro comparativo de materiales de las principales familias.	30
Ilustración 4-3: Dirección de cargas principales	32
Ilustración 5-3: Parámetros geométricos del tubo cuadrado.....	33
Ilustración 6-3: Mapa de materiales de Ashby (esfuerzo vs densidad)	35
Ilustración 7-3: Gráfica de materiales seleccionables (esfuerzo vs densidad).....	36
Ilustración 8-3: Fuerza de levantamiento	39
Ilustración 9-3: Fuerzas en la sección	39
Ilustración 10-3: Diagrama de fuerzas	41
Ilustración 11-3: Diagrama de fuerzas	43
Ilustración 12-3: Características electrodo E6011.....	44
Ilustración 13-3: Tamaño mínimo de soldadura de filete.....	45
Ilustración 14-3: Tubo estructural	46
Ilustración 15-3: Section Properties	46
Ilustración 16-3: Propiedades de material	47
Ilustración 17-3: Sistema de referencia	47
Ilustración 18-3: Esquema de fuerza desplazada.....	48
Ilustración 19-3: Cargas asignadas	49

Ilustración 20-3: Restricciones de desplazamiento	50
Ilustración 21-3: Restricciones en SAP2000 lado articulado	50
Ilustración 22-3: Restricciones en SAP2000 lado flotante	51
Ilustración 23-3: Ubicación de punto crítico de corte 2	51
Ilustración 24-3: Ubicación de punto crítico de corte 2	52
Ilustración 25-3: Lectura de valores en SAP2000	52
Ilustración 26-3: Diagrama de motor MY1016Z2 (L-FASTER)	55
Ilustración 27-3: Motor MY1016Z2 (L-FASTER)	55
Ilustración 28-3: Actuador Happybuy	56
Ilustración 29-3: Rueda 16T	57
Ilustración 30-3: Batería de 12 V.	57
Ilustración 31-3: Placa PCB	58
Ilustración 32-3: Chasis	59
Ilustración 33-3: Brazos del mecanismo	60
Ilustración 34-3: Elementos para conformarse mediante doblado en frío	60
Ilustración 35-3: Elementos para conformarse mediante doblado en frío	61
Ilustración 36-3: Diagrama de procesos	63
Ilustración 37-3: Flujograma de procesos fabricación de silla de rueda bipedestadora	70
Ilustración 38-3: PCB para la silla bipedestadora (diagrama del circuito)	72
Ilustración 39-3: PCB para la silla bipedestadora (diagrama de conexiones)	73
Ilustración 40-3: PCB para la silla bipedestadora	74
Ilustración 41-3: Simulación 3D de PCB ensamblada para la silla bipedestadora	74
Ilustración 42-3: Pantalla OLED	75
Ilustración 43-3: Fuente Buck LM2596	76
Ilustración 44-3: Sensor de corriente ACS712	77
Ilustración 45-3: Drive BTS7963	77
Ilustración 46-3: Joystick	78
Ilustración 47-3: Diagrama de control para el actuador	79
Ilustración 48-3: Arduino nano	80
Ilustración 1-4: Atributos negativos y positivos de la pregunta	86
Ilustración 2-4: Encuesta del modelo Kano para el usuario	89
Ilustración 3-4: Importancia de la silla	92
Ilustración 4-4: Cambiar el mecanismo	93
Ilustración 5-4: Necesidad de sujetador	93
Ilustración 6-4: Peso del prototipo	94
Ilustración 7-4: Mayor velocidad de traslación	95

Ilustración 8-4: Confort	95
Ilustración 9-4: Dimensionamiento de la silla.....	96
Ilustración 10-4: Acabado en acero inoxidable	97
Ilustración 11-4: Velocidad de ascenso.....	97
Ilustración 12-4: Duración de la batería	98

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO ARDUINO

ANEXO B: ENCUESTAS MÉTODO KANO

ANEXO C: FICHAS TÉCNICAS

ANEXO D: HOJAS DE PROCESOS DE MANUFACTURA

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue construir y probar una silla de ruedas bipedestadora destinada a personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejia, o problemas de movilidad de uso en interiores. La manufactura se llevó a cabo teniendo en cuenta el estudio teórico previo realizado por Mario Herrera en el cual se destaca el diseño mecánico y su respectiva simulación para la validación de los resultados obtenidos. A posterior, se evaluó la factibilidad constructiva por medio del análisis del diseño para la manufactura, se reestructuró algunos elementos del bipedestador buscando optimizar el peso y reducir el sobredimensionamiento, se justificó la selección del material desde el punto de vista técnico-financiero y ergonómico. Además, aplicando el código AISC-360-16, se dimensionó las juntas soldadas. También se seleccionaron los elementos estándar como: actuadores, ruedas y elementos del sistema de control electrónico. A posterior, se planificó el proceso constructivo por medio de: tablas, flujogramas y se elaboraron hojas de proceso de manufactura. En esta última, se destacan importantes factores como: maquinaria, herramientas de control, características de soldadura y plegado de chapa metálica. Finalmente, se obtuvo el prototipo y se evaluó su funcionalidad por medio de la experimentación directa con usuarios. Se evaluaron aspectos funcionales como: respuesta eléctrica, tiempos de ascenso y traslación, además de aspectos ergonómicos como: adaptabilidad, confort y calidad. Se concluyó finalmente que el prototipo funciona adecuadamente para la finalidad por el cual fue diseñado y provee las características suficientes para satisfacer las necesidades del usuario. Se recomienda analizar posibles mejoras en factores tales como: materiales, reducción de actuadores y facilitación del transporte y almacenamiento del mecanismo.

Palabras clave: <MANUFACTURA>, <SILLA DE RUEDAS>, <BIPEDESTACIÓN>, <PROTOTIPO>, <DISEÑO MECÁNICO>

2300-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The objective of this work was to build and test a standing wheelchair for adults with physical disabilities at the level of paraplegia, or mobility problems for indoor use. The manufacture was carried out considering the previous theoretical study carried out by Mario Herrera in which the mechanical design and its respective simulation for the validation of the results obtained stand out. Subsequently, the constructive feasibility was evaluated through the analysis of the design for manufacturing, some elements of the stander were restructured seeking to optimize the weight and reduce oversizing, the selection of the material was justified from the technical-financial and ergonomic point of view. In addition, applying the AISC-360-16 code, the welded joints were sized. Standard elements such as: actuators, wheels and elements of the electronic control system were also selected. Subsequently, the construction process was planned through tables, flowcharts and manufacturing process sheets were prepared. In the latter, important factors such as: machinery, control tools, welding characteristics and sheet metal folding stand out. Finally, the prototype was obtained, and its functionality was evaluated through direct experimentation with users. Functional aspects such as: electrical response, ascent and translation times were evaluated, as well as ergonomic aspects such as: adaptability, comfort, and quality. It was finally concluded that the prototype works adequately for the purpose for which it was designed and provides sufficient characteristics to satisfy the user's needs. It is recommended to analyze possible improvements in factors such as: materials, reduction of actuators and facilitation of transport and storage of the mechanism.

Keywords: <MANUFACTURE>, <WHEELCHAIR>, <STANDING>, <PROTOTIPE>, <MECHANICAL DESIGN>



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

CI:0603747809

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se orienta a la manufactura y pruebas de una silla bipedestadora para personas con discapacidad a nivel de paraplejia o con problemas de movilidad de uso en interiores, la misma que se define como un trabajo de tipo proyecto técnico. Su finalidad consiste en el desarrollo de un análisis de tipo ingenieril de materiales, procesos de manufactura, ensamble y pruebas de una silla que constituya una herramienta para facilitar su movilidad. La característica principal del proyecto es contribuir mecánicamente a un individuo o paciente para que pueda moverse con mayor facilidad y realizar actividades del diario vivir como: aseo, movilización, etc.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Si bien en muchas ocasiones la limitada movilidad inferior es causada por discapacidades natas de un paciente, en otros casos es producto de un accidente o suceso que involucro el daño total o parcial del movimiento. Cualquiera que sea el caso, el requerimiento de un instrumento que pueda facilitar el desplazamiento del paciente es preciso. Cabe destacar que como tal el equipo no se usará como rehabilitador sino en su lugar como medio facilitador de movimiento.

A lo largo de la historia han ido apareciendo diferentes modelos de sillas como es el caso de patentes alemanas, cuya estructura y funcionalidad se define por eslabones y un mecanismo que sirve para la actividad principal: la bipedestación. A nivel local existen diferentes variantes logradas a través de estudio en trabajos de titulación, todas ellas con diferente estructura y análisis ingenieril dependiendo la ubicación.

En el ámbito académico, profesional y social, el interés de esta investigación es reforzar los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación ingenieril, proporcionando un sistema que en este caso cumpla con un objetivo comunitario el cual es: mejorar el estilo de vida de personas con discapacidad a nivel de paraplejia. La metodología para lograr el objetivo principal concurre en estos aspectos: optimización, fabricación y pruebas.

En el capítulo I se analiza la problemática y se proponen los objetivos tanto generales como específicos para plasmar las metas futuras que se pretenden lograr con el estudio realizado. Seguidamente, el capítulo II comprende un compendio teórico enfocado en recabar información y respaldar las acciones a realizar en el desarrollo de la construcción del prototipo. Se analizan aspectos antropométricos, mecánicos y de manufactura de equipos similares. A continuación, el capítulo III corresponde al desarrollo metodológico del proceso constructivo por medio de: valoración del diseño propuesto, redimensionamiento, diseño de juntas soldadas y planificación del proceso constructivo. Se logra por medio de este estructurar los costos finales de construcción. Finalmente, el capítulo IV corresponde a las pruebas funcionales realizadas y su respectivo análisis y valoración. Se llega por lo tanto a las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En la actualidad, el nivel de desarrollo científico y tecnológico se encuentra en el auge de transformación, donde la mayoría de las ciencias se enfocan en la complementación de sus áreas con una finalidad en común, la facilitación de tareas o procesos al ser humano. En este contexto, la ingeniería y la medicina se complementan con fines de terapia o asistencia a personas que por distintas circunstancias necesitan de sistemas de apoyo. Tal es el caso de aquellas personas que sufren de discapacidad física a nivel de paraplejia o dificultad para desplazarse en interiores. Como solución a este inconveniente, a lo largo de la historia se han desarrollado sillas cuya finalidad recae en asistir a dichos pacientes para que puedan adoptar una postura erguida y por lo tanto puedan movilizarse a realizar actividades comunes y necesarias dentro del diario vivir.

“Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en Ecuador existen 196.758 personas con discapacidad física, de los cuales un 25% posee inmovilidad motriz a nivel de extremidades inferiores.” (Echeverría et al., 2017) Como se aprecia, un porcentaje considerable de personas que padecen discapacidad física en general, pertenecen al grupo que posee paraplejia, es decir, pérdida total o parcial del movimiento de las extremidades inferiores. Este es un antecedente importante debido a que marca la importancia de esta investigación y del mismo modo los beneficios de encontrar una solución práctica y económica a este problema.

Las patentes y diseños provistos hasta la actualidad parten de alrededor de 20 años de evolución y desarrollo, uno de estos fue publicado en el año de 1999 bajo el nombre de “Dispositivo de asistencia, provisto para ayudar a una persona con discapacidad a levantarse.” (Saavedra, García, San Antonio, 2013) Análogamente han surgido más diseños como por ejemplo en el año 2009, Hunzikier Kurt desarrolló un prototipo capaz de levantar a una persona sentada y ponerla de pie con fines de facilitación de movilidad. (Saavedra, García y San Antonio 2013)

Actualmente las universidades y cedes técnicas se han visto en la obligación de crear diseños mejorados y exponencialmente innovadores que cumplan con la finalidad antes mencionada. Siguiendo este criterio se puede mencionar algunos trabajos planteados por tesis como el propuesto por Barbero y Ortega en su trabajo que lleva por título “Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg” (Palacios, Israel y Ortega, 2015) entre otros.

1.2. Delimitación

1.2.1. Delimitación espacial

El presente proyecto está delimitado a nivel provincial, ubicado en la provincia de Chimborazo, considerando los datos de discapacidad física otorgado por el CONADIS.

1.2.2. Delimitación sectorial

Con este proyecto se influye en el cumplimiento del Objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir, mejorando la equidad y el desarrollo integral para cada persona con discapacidad física en miembros inferiores.

1.3. Formulación del problema

Según los datos expuestos por el CONADIS, un porcentaje considerable de la población con discapacidad es constituido por personas con lesión medular. Esto no solo es un problema médico, sino que produce un conjunto de efectos en el paciente, debido a su condición y a la calidad de vida que están obligados a sobrellevar. Se ha demostrado que el tiempo de permanencia sin movimiento ocasiona inconvenientes digestivos, fatiga, obesidad y producto del aislamiento social, también se generan problemas de tipo psicológico.

Ofrecer una mejor calidad de vida, facilitando tareas que comúnmente son indispensables en el diario vivir, mejorará significativamente el desenvolvimiento social de aquellas personas con discapacidad a nivel de paraplejía o con problemas de movilidad en interiores. Tareas como: moverse, cambio de prendas de vestir, aseo, uso de servicios higiénicos, entre otros, generalmente conllevan un desafío para los encargados del cuidado de personas con esta discapacidad. Bajo este contexto una silla bipedestadora, cuyo diseño sea ergonómico y funcional, permitirá solucionar esta problemática.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Manufacturar y probar un prototipo de silla de ruedas bipedestadora destinada a personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejía o con problemas de movilidad de uso en interiores, para el grupo de investigación y estudios de bioingeniería de la facultad de mecánica ESPOCH

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el estudio del arte sobre los materiales y métodos de manufactura disponibles para la fabricación del prototipo.
- Valorar el diseño y la factibilidad constructiva del prototipo.
- Seleccionar los métodos de manufactura y planificar el proceso constructivo. (Flujogramas, tablas y hojas de procesos de manufactura)
- Diseñar un sistema eléctrico y electrónico que facilite el funcionamiento de la silla.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se desarrolla una explicación sobre los diversos puntos y temas analizados para la manufactura del proyecto, obteniendo de esta manera un amplio panorama sobre la construcción de este. Se analizará los materiales, herramientas y maquinarias a usar para la fabricación del proyecto, ubicando elementos que cumplan con la función específica presentada en el diseño de la silla.

2.1. *Anatomía humana.*

El cuerpo humano ha sido investigado con el paso del tiempo, dejando muchas incógnitas resueltas mediante varios estudios científicos, permitiendo entenderlo de manera correcta, pudiendo considerarlo como una maquinaria, por ende la anatomía al ser una ciencia dedicada netamente al estudio y formación de la estructura del cuerpo humano, es también, una base para otros campos relacionados con el mismo, pues la tecnología actual ya no solo es un apoyo para el ser humano, sino también, un complemento y ayuda para la misma.

2.1.1. *Posiciones anatómicas*

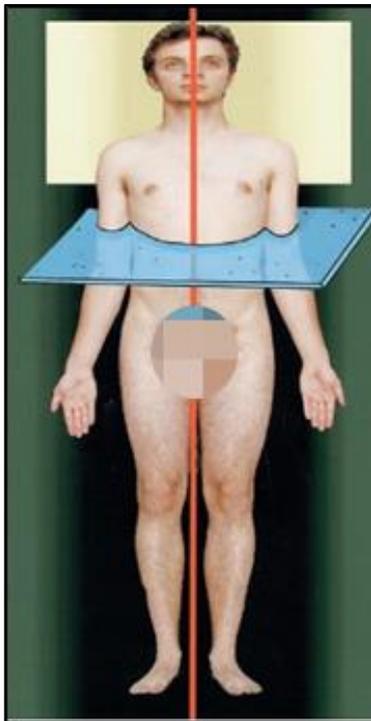


Ilustración 1-2: Planos corporales

Fuente: Porrero y Hurlé, 2005

La palabra anatomía es uno de los conceptos más antiguos conocidos por el ser humano, el cual se deriva del griego *anatémnein*, lo que significa: “cortar a través de”, dando a entender que es una forma en que se puede observar al cuerpo humano dividido en zonas o planos para una mejor comprensión de este (ver ilustración 1-2), esto en los principios de la anatomía se realizaba en especímenes sin vida con la finalidad del análisis interno y externo del mismo, con el paso del tiempo se fue estudiando especímenes con vida, esto facilitado por la tecnología, la cual permitía observar el interior del cuerpo humano sin la necesidad de abrirlo, logrando así ampliar el objetivo de la anatomía, y ya no solo ser un estudio necrológico, sino un estudio basado en la mejora y entendimiento del ser humano en vida (Porrero y Hurlé, 2005).

Al estudiar al cuerpo humano se hace uso de los conocimientos y términos utilizados en el ámbito anatómico, para poder dar una referencia entre las diversas partes del cuerpo, esto permitirá obtener una mejor relación morfológica del cuerpo humano según sus diversos movimientos, facilitando de esta manera la comprensión tridimensional de nuestro ser al momento de proyectarlo en un papel o escrito, logrando así disponer de mayor precisión al momento de comprender, estudiar o investigar algún suceso de nuestro cuerpo (Norton y Olds, 1996, p.7).

Norton y Olds, (1996) recomiendan tener en cuenta que para cualquier estructura anatómica estudiada y analizada, esta deberá constar con la terminología o consideración universal y fija denominada posición anatómica, la cual constará de un individuo erguido con los brazos ubicados en los costados y las palmas de las manos posicionadas hacia adelante para una correcta representación en un plano tridimensional, dicha representación se puede observar en la ilustración 2-2, junto a la clasificación de dichos planos los cuales son los siguientes:

- Plano sagital o medio, es un plano perpendicular al suelo y anteroposterior, el cual secciona el cuerpo en dos partes, la cuales son izquierda y derecha considerando que cualquier plano que sea paralelo a este, se lo denomina parasagital (Porrero, Hurlé 2005).
- Plano transversal u horizontal, se ubica un plano paralelo al suelo y perpendicular al plano sagital, el cual divide al cuerpo humano en dos partes, la parte superior y la parte inferior del mismo (Porrero y Hurlé, 2005).
- Plano coronal o frontal, este plano corta al cuerpo humano de derecha a izquierda, seccionando el mismo en parte frontal y posterior, también son planos verticales y perpendiculares a los planos transversal y sagital (Porrero y Hurlé, 2005).

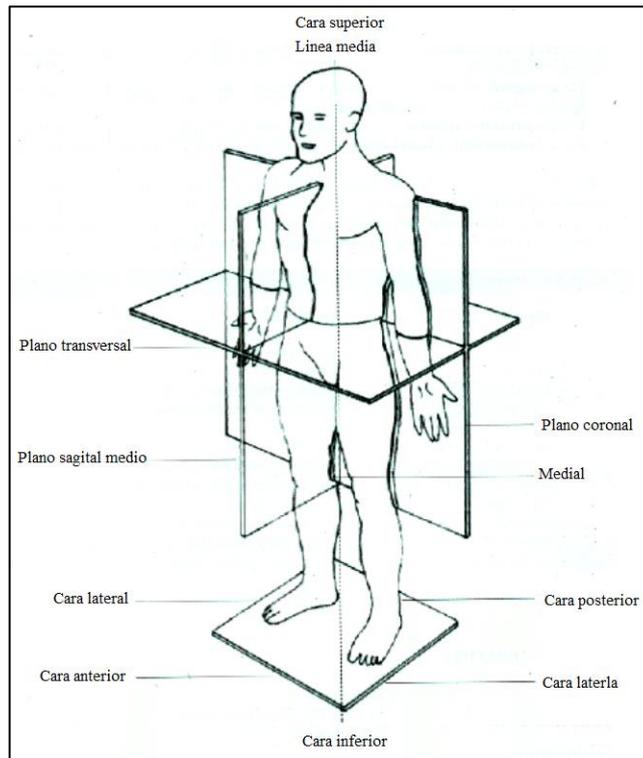


Ilustración 2-2: Los planos del cuerpo humano.

Fuente: Norton, 1996

2.1.2. *Direcciones anatómicas*

Cuando se habla de direcciones se hace relación a vectores tomados de referencia a un punto de origen. Para el ámbito anatómico, las direcciones no son más que relaciones entre los planos, permitiendo orientarnos de mejor manera al momento de realizar un estudio de los diversos planos ya antes mencionados, Porrero y Hurlé, (2005) comentan que existen los siguientes términos respecto a las direcciones tomadas en el cuerpo humano:

- Internos (medial) y externos (lateral), la medial es una línea que se direcciona hacia la línea media, en otras palabras, hacia el plano sagital, mientras que el lateral se alejaría de la misma, teniendo dirección hacia los lados del plano medio.
- Superior (craneal) e inferior (caudal), el direccionamiento de la superior esta dado hacia los extremos.
- Superficial y profunda, es una dirección tendencial hacia el exterior del cuerpo (hacia la piel), mientras que su contraparte profunda indica lo contrario hacia el interior del cuerpo.
- Plantar y palmar, como su nombre lo menciona, son términos que relacionan direcciones o superficies de relación con la planta del pie y la palma de la mano.
- Proximal y distal, al comentar de las extremidades aparecen dichos términos lo cual indica una dirección hacia la raíz del miembro (proximal) y hacia afuera del mismo (distal).

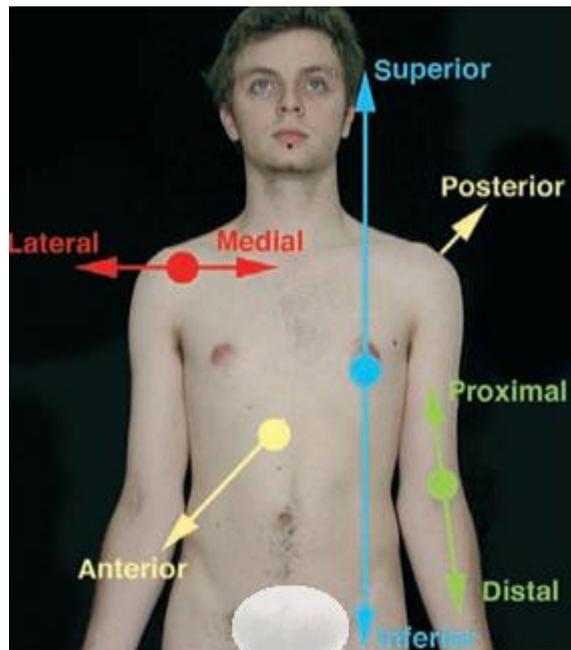


Ilustración 3-2. Direcciones anatómicas en el cuerpo humano

Fuente: Porrero y Hurlé, 2005

2.1.3. *El esqueleto humano*

El esqueleto humano es el eje central del cuerpo, pues es el que sostiene o mantiene el resto de músculos y órganos en una sola estructura, considerándolo como el mecanismo central del funcionamiento humano, pues este al igual que el resto de órganos o elementos en el interior del cuerpo, dispone de clasificaciones o secciones para una mejor comprensión, pues Norton y Olds, (1996) comentan que el esqueleto está dividido en dos regiones, y a su vez se menciona que los huesos constituidos dentro de la columna central del cuerpo son elementos del esqueleto axial, dichos elementos son los siguientes:

- Los huesos del cráneo
- Maxilar inferior
- Vertebras
- Costillas
- Esternón

Los huesos del cráneo y del maxilar inferior, conjunto con las primeras siete vértebras (cervicales) constituyen la zona de la cabeza y parte del cuello del cuerpo. Las siguientes doce vértebras (dorsales), a la par con las costillas y el esternón, constituyen la zona denominada como el tórax. A continuación, por debajo de esta región está el abdomen, cuyos componentes óseos son las cinco

vértebras lumbares. Las vértebras restantes se fusionan en dos grupos, las cinco vértebras sacras forman el sacro, y las cuatro vértebras coxígeas forman el coxis (Norton y Olds, 1996).

Al considerar un clasificación de las extremidades, se debe tener en cuenta los diversos huesos existentes en las mismas, por ende Norton y Olds, (1996) explican en su literatura la cantidad de huesos por sección clasificada, los cuales son los siguientes:

- Para las extremidades superiores:

Tabla 1-2: División de huesos según la zona de las extremidades superiores.

Sección	Cantidad de huesos
Clavícula y escápula	Forma casi la mitad del area pectoral
Humero	1 hueso
Radio y cúbito	2 huesos
Carpo o muñeca	8 huesos
Palma de mano o metacarpo	5 huesos
Falanges	14 huesos

Fuente: Norton y Olds, 1996

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

- Para las inferiores superiores:

Tabla 2-2: División de huesos según la zona de las extremidades inferiores.

Sección	Cantidad de huesos
Zona pelvica o cadera	1 hueso
Fémur	1 hueso
Rótula	1 hueso
Tibia y peroné	2 huesos
Tarso	7 huesos
Metatarsianos	14 huesos
Falanges	14 falanges

Fuente: Norton y Olds, 1996

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J,2022

2.2. Cineantropometría

La cineantropometría es un estudio de las formas y tamaños de diversas partes del cuerpo, con la finalidad de obtener medidas corporales y sus composiciones, permitiendo entender la manera del crecimiento mediante edad, ejercicio físico o deporte, siendo este último el impulsor de dicha ciencia, pues su estudio en el área deportiva es una de las más esenciales para conocer el rendimiento y

características de mejora en cada uno de sus participantes en las diversas materias deportivas (E.U.S.E.S. 2018).

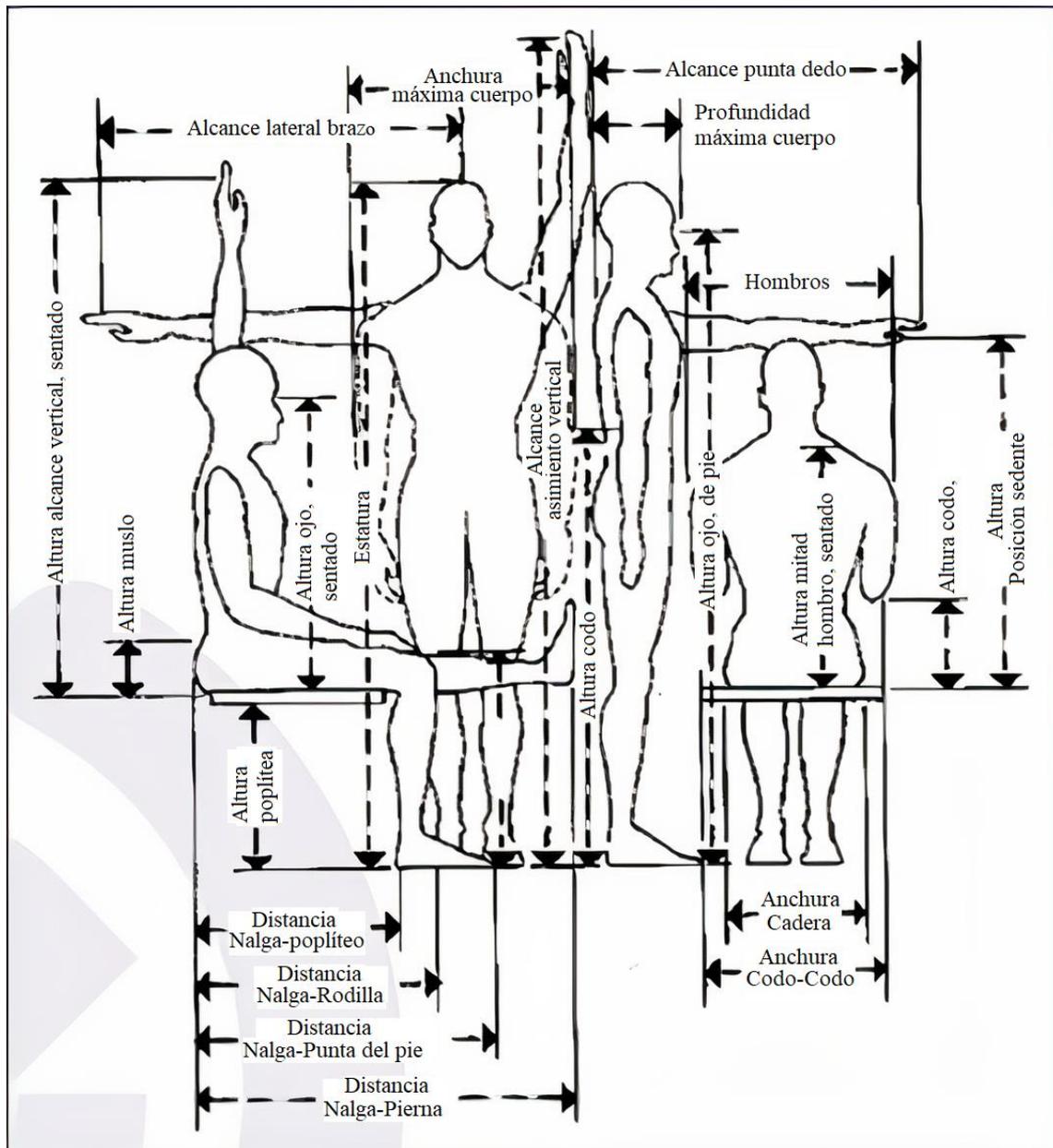


Ilustración 4-2: Mediciones corporales más comunes en posición estática

Fuente: Cabello, 2016

2.2.1. Antropometría estática

Un sistema estático (también conocido como estructural) es un análisis del dimensionamiento del cuerpo humano en estado de reposo, sin existencia de movimiento ni algún diferencial relativo a los ejes corporales (Cabello, 2016). Este estudio es uno de los más básicos, pues su antropometría es mucho más exacta y relativamente fácil de obtener, esta misma se puede realizar con una toma de los siguientes aspectos antropométricos:

- Peso del cuerpo
- Estatura
- Altura hasta el nivel de los ojos
- Altura hasta el nivel de los hombros
- Ancho de codos con las manos al centro del pecho
- Diámetro de agarre interior
- Altura del asiento a la cabeza

2.2.2. *Antropometría dinámica*

Antropometría dinámica o funcional, es la forma en la cual se estudia el dimensionamiento del cuerpo humano, pero con función a un movimiento o desplazamiento, logrando de esta manera conocer sus diferentes extensiones y contracciones musculares, a lo largo de un movimiento en función del tiempo, se conoce que el análisis biométrico se basa en características de peso, volumen, movimiento, entre otros (Cabello, 2016).

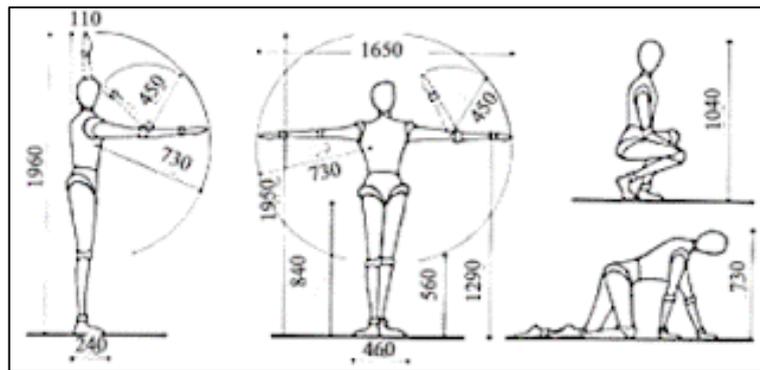


Ilustración 5-2: Mediciones más comunes en posición dinámica

Fuente: Xoni, 2011

2.3. **Ergonomía**

La ergonomía en los primeros años de la humanidad se la consideraba como un término de seguridad, pues el humano neandertal conocía que existía actividades, objetos, animales o plantas que podían atender contra su vida por lo cual ellos optaron por tomar medidas de prevención y corrección ante dichos sucesos posiblemente peligrosos, es en ese punto donde la ergonomía toma su base, pero aún no su concepto y nombre. Su concepción en sí fue al momento de que el ser humano se dio cuenta del crecimiento exponencial de la tecnología, siendo este un indicador de que se debería crear sistemas de seguridad y estandarización, logrando en sí que se facilite el cuidado integro de la salud en el personal o sujeto que ocupe algún aparato.

Torada et al., (1994) comenta lo siguiente:

La ergonomía plantea la recuperación, para el análisis del subsistema máquina, de las limitaciones perceptivas, motrices, de capacidad decisional, y de respuesta que le impone la persona, y las limitaciones que suponen para el potencial de acciones humanas las características –prestaciones físicas y/o tecnológicas– que aporta la máquina (p.14).

En la actualidad la ergonomía dispone de diversas técnicas, métodos y características ya formadas para una ocupación según la maquinaria, el tipo de persona y a que sección se va a enfocar, pues no se puede generalizar sobre todo hablando de maquinaria usada para recuperación médica. (Asociación española de instaladores de sistemas de construcción seca, falsos techos, aislamiento y revestimiento [ADIP-AS], 2016).

ADI define en dos secciones:

- Individual: Se busca la mayor cantidad de características favorables para el sujeto, las cuales estarán destinadas a la conformidad de la silla de ruedas.
- Colectivo: Como su nombre lo dice, busca en prestar un mejor servicio y características a los usuarios de un producto entregado a diversas manos.

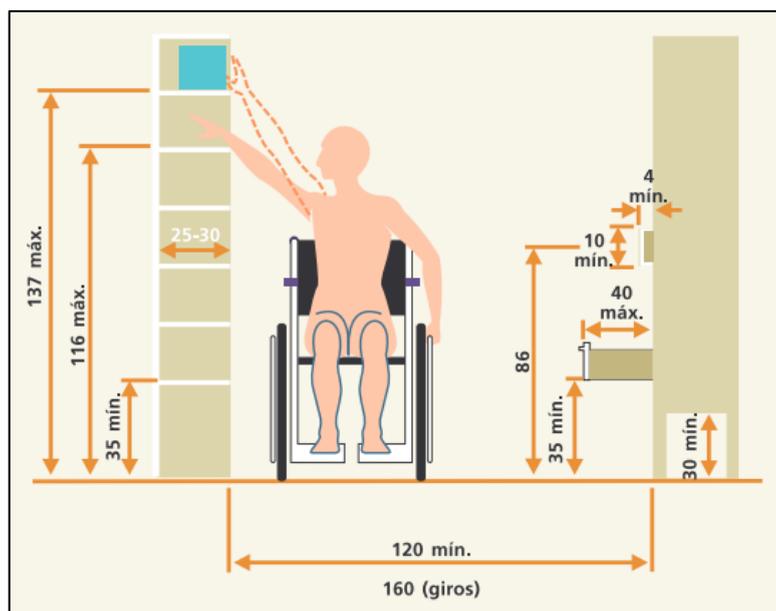


Ilustración 6-2: Dimensiones aceptables para una persona en silla de ruedas

Fuente: I.B.V., 2004

La discapacidad se lo puede considerar como la ausencia o limitación de alguna capacidad específica o general de un individuo, en el cual se involucra el manejo normal del mismo, pues la discapacidad de una persona logra limitar diversas acciones u oportunidades en la vida de un ser humano que sufra de alguna ausencia de capacidad, es ahí donde la ergonomía vela por ellos, pues la tecnología se ha vuelto un recurso sumamente importante para lograr recuperar la capacidad perdida, ya sea de manera

parcial o en su totalidad, por ende se debe tomar medidas específicas para que dicho aparato disponga del mejor confort posible en su diseño (Instituto Biomecánica de Valencia [I.B.V], 2004).

2.3.1. *Objetivo de la ergonomía*

Los autores Belloví et al. (2008), definen en su libro titulado “Ergonomía”, varios objetivos planteados, los cuales son los siguientes:

- Seleccionar la tecnología más adecuada al personal disponible
- Controlar los riesgos de fatiga física y mental
- Analizar los puestos de trabajo para definir los objetivos de la información
- Optimizar la interrelación de las personas disponibles y la tecnología utilizada (p.12).

2.3.2. *Clasificación de la ergonomía*

Sánchez, (2016) en su libro titulado como “Fundamentos de la ergonomía” nos menciona lo siguiente: [...] es posible clasificar la ergonomía desde la temática o especialización que se estudia. Con base en lo anterior, esta disciplina se divide de la siguiente forma:

- Ergonomía de puestos.
- Ergonomía de sistemas.
- Ergonomía física, o geométrica, la cual estudia la relación entre las personas y las condiciones geométricas del puesto de trabajo, requiriendo para el correcto diseño del puesto, del aporte de datos antropométricos y de las dimensiones esenciales del puesto (zonas de alcance óptimas, altura del plano de trabajo y espacios Acrlv AD o: reservados a las piernas, entre otros). Se subdivide en comodidad posicional, comodidad cinética y seguridad.
- Ergonomía ambiental, se subdivide en factores físicos tales como ruido, iluminación, temperatura, ventilación, vibraciones, radiaciones y agentes químicos y biológicos.
- Ergonomía temporal, estudia los turnos y ritmos circadianos del individuo, la ergonomía. Sean creativos horarios, las pausas y los ritmos de trabajo (p. 14).

2.4. *Asistencia robótica*

En la actualidad la ergonomía se ha ido expandiendo hasta poder decir que abarca de manera principal o secundaria cualquier ciencia moderna, pues el desarrollo que logró en el campo medico fue enorme en los últimos años, siendo más específicos en el área de características especiales, logrando un avance en la recuperación total o parcial de su capacidad perdida, pues la tecnología nos permite sin problema alguno sustituir ciertos órganos o funciones que el cuerpo humano ya no puede realizar, otorgando una mejora en su cuerpo, lo cual también conlleva el velar por la comodidad y seguridad al momento de usar dicho aparato, es en ese punto donde la ergonomía a alcanzado un análisis mucho

más fuerte ante su retrospectiva en la historia, pues permite conocer medidas, modelos e incluso materiales necesarios y justos para una experiencia de calidad y confort con el dispositivo (I.B.V, 2004).

2.5. Bipedestación

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

2.5.1. Origen del bipedalismo

Mediante el estudio y comportamiento teórico analizado por científicos en las diversas etapas del homínido, se llega a una conclusión promedio de que el origen de este se debe a la necesidad del ser humano al asentarse en zonas altas o boscosas, en la cual los grupo de homínidos debían movilizarse en diversas direcciones para recolectar recursos, a su vez los recursos también se encontraban en niveles más altos a los que ellos disponían en su posición, forzando continuamente a ellos que dispongan de una postura erguida para aumentar su estatura y lograr alcanzar los mismos (Monroy y Álvaro, 2013)

Por otro Monroy y Álvaro (2013), menciona en su artículo que los científicos Hablonski y Chaplin consideran que el origen del bipedalismo se produjo como una respuesta a la morbilidad y mortalidad entre la agresión derivada dentro de los grupos humanos neandertales, o también ante otros asentamientos de primitivos, pues los mismos consideraban la postura levantada o semi-erguida como un signo de autoridad.

2.5.2. Características de la bipedestación

2.5.2.1. Postura

Viseux (2020) define a la postura como la manera correcta y adecuada del cuerpo humano en un momento dado, pues el autor considera que se representa mediante dos funciones principales las cuales involucran de manera primordial la realización de movimientos, los cuales son los siguientes:

- **Función antigravitatoria:** Dicha función permite al cuerpo humano lograr contrarrestar las fuerzas gravitatorias intervinientes en el cuerpo, pues estas proponen mantener de manera eficiente y sin mucho esfuerzo una adecuada postura ergonómica.

- **Función de interfaz:** Al hablar de la función de interfaz, es nada mas, que la manera en la cual nuestro cuerpo logra interactuar con el entorno, permitiendo ser conciente de la orientación correcta hacia el mismo.

2.5.2.2. *Equilibrio*

Viseux (2020) comenta que el equilibrio dispone de diversos conceptos según la perspectiva o campo analizado, pues en una vista biomecánica no es nada mas que la nulidad de las fuerzas y momentos producidos por nuestro cuerpo junto a las cargas exteriores, el cero en la sumatoria total se considera punto de equilibrio o equilibrio estable, mientras que en la vista postural, se lo define como una forma en la cual se mantiene una proyección de sus cuadros corporales.

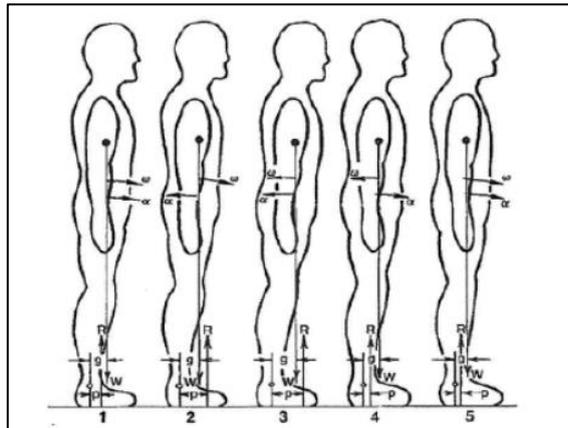


Ilustración 7-2: Posiciones de equilibrio corporal

Fuente: Viseux, 2020

2.5.3. *Bipedestación estática*

Se conoce como bipedestación estática a la forma en la cual el cuerpo humano logra mantenerse en una posición erguida con respecto a su centro de gravedad, pues en este se distribuye una línea imaginaria (pasando por el orificio occipital) donde afectan diversas fuerzas como la gravedad o reacción del piso, las cuales se cancelan o anulan en el centro de gravedad, permitiendo mantener dicha posición, Esta se encuentra a 0.6 centímetros atrás de la articulación de la cadera, por la parte delantera de la articulación de la rodilla y culmina entre los 1.5 y 5 cm por delante de la articulación del tobillo (Contreras et al., 2013).

2.5.4. *Bipedestación dinámica*

La bipedestación dinámica se puede comprender como un movimiento más profundo del análisis antropométrico o estabilidad de este, pues al comentar anteriormente de la bipedestación estática, se pudo decir que es la forma en la cual el cuerpo se mantiene erguido y controlado mediante el centro de gravedad, pues en la dinámica entendemos que nuestro cuerpo constantemente se encuentra en un balanceo (Contreras et al., 2013).

2.6. Biomecánica de la bipedestación

La bipedestación considerada como posición llega a ser una convergencia evolutiva, pues su postura erguida tomada por la especie humana conlleva varias ventajas a su forma de vida e incluso su manera de ser, ya que la locomoción, digestión, estructura ósea, entre otros, alcanzan a ser un determinante beneficiario en los puntos mencionados mediante la modificación bípeda (González y Geranrd, 2019).

2.6.1. Tipos de bipedismos

2.6.1.1. Bipedismo facultativo

Se considera al bipedismo facultativo como la forma en la cual un ser vivo pueda en ocasiones disponer de una posición erguida sobre sus dos extremidades inferiores, pues el común de este tipo de animales sería su desplazamiento en cuatro extremidades. Dichos casos se encuentran en animales como por ejemplo el perro: el cual dispone su movimiento en base a sus cuatro patas, pero con la posibilidad de lograr un movimiento en dos (González y Geranrd, 2019).

2.6.1.2. Bipedismo permanente

Logramos entender al bipedismo permanente como la forma en la cual el animal ha logrado adaptar su desplazamiento en base a la función de su patas trasera, disponiendo el movimiento en dos patas, otorgando una funcionalidad diferente a sus otras dos extremidades (delanteras) (González y Geranrd, 2019).

2.7. Trayectoria de elevación

Trayectoria lineal: Esta trayectoria está dada por un movimiento en línea recta inclinada desde la posición en la que se encuentra sentada el paciente hasta mantener una posición vertical, pues esta es causada por una fuerza producida en la parte de la pelvis y fémur del paciente (Olmos et al., 2017).

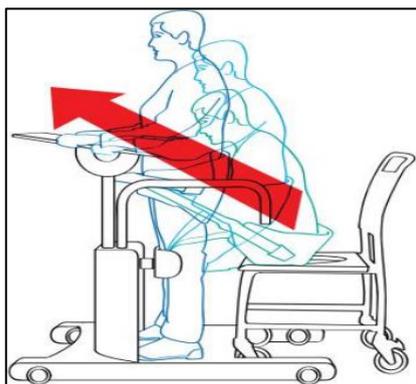


Ilustración 8-2: Trayectoria lineal

Fuente: Olmos et al., 2017

Trayectoria curva: Mediante lo antes explicado, la trayectoria curva viene a ser la forma en la cual la compresión en las articulaciones de la rodilla y cadera son relevantemente normales, por la forma curvilínea que se dispone a levantarse el paciente (Olmos et al., 2017).

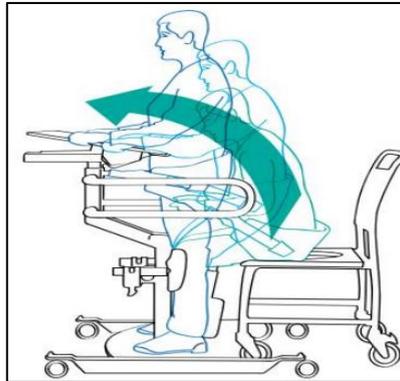


Ilustración 9-2: Trayectoria curva

Fuente: Olmos et al., 2017

2.8. Análisis de sedestación y bipedestación

2.8.1. Fases de postura sentada a bipedestación

El logro de un humano en conseguir la bipedestación desde el estado en reposo o sentado, es un acto el cual dispone de diversos momentos como se puede observar en la ilustración 10-2, dichos movimientos lo explican Marrero et al. (1998) en el cual nos comentan que se pueden clasificar en 3 fases los varios movimientos hacia la bipedestación, los cuales son los siguientes:

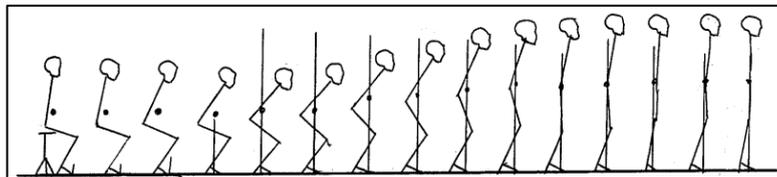


Ilustración 10-2: Movimientos desde la postura sentada a la bipeda

Fuente: Marrero et al., 1998

2.8.1.1. Fase I

En la primera fase se realiza una aceleración del cuerpo de manera horizontal, llegando a tener una máxima velocidad en dicho eje, pues la inercia usada para mover el centro de gravedad permite al individuo conseguir un impulso máximo hacia delante.

2.8.1.2. Fase II

Para la segunda fase se logra aplicar mayor cantidad de velocidad en el eje horizontal y a su vez otorgando una aceleración mayor en el eje vertical, permitiendo que el centro de gravedad se empiece acomodar en un punto mayor y a su vez el cuerpo se desprege de la silla o superficie en la cual se encontraba sentado el individuo.

2.8.1.3. Fase II

Como última fase, el cuerpo humano es afectado por una velocidad máxima en el eje horizontal, permitiendo levantar el cuerpo y acomodar el centro de gravedad hacia un punto de equilibrio general, logrando estabilizar el cuerpo para movimientos futuros, todo este esfuerzo puede depender de un apoyo o solo con la inercia del cuerpo.

2.9. Materiales

2.9.1. Selección de materiales

El seleccionamiento de materiales destinados para la fabricación de piezas necesarias en una maquinaria con un objetivo específico o varios de funcionamiento, se basa en el proceso de diseño de maquinaria, esto se ve reflejada en el ciclo de vida de un producto (ilustración 11-2).



Ilustración 11-2: Ciclo de la vida de un producto o elemento

Fuente: Riba, 2008

2.9.2. Materiales para la construcción

Riba, (2008) nos menciona que en la selección de un elemento se presenta y detalla los materiales que usualmente son empleados en la construcción de este tipo de mecanismos. Considerando que generalmente estos materiales son seleccionados empíricamente, es decir, en función de la experiencia de construcciones previas, factores económicos y disponibilidad en el mercado.

2.9.2.1. Método Ashby

En 1992 Michael Ashby propuso la selección de elementos de manera más cuidadosa, teniendo una base deductiva y a la vez formada por el método científico, generando así el método Ashby para selección de elementos, en el cual consiste en el conocimiento empírico y deductivo la selección de

elementos asequibles y funcionales para el objetivo del proyecto, siendo esta metodología conformada por la función de parametrización (Riba, 2008).

$$P = [(Funciones Requeridas, F)(Parametros Geometricos, G)(Propiedad materiales, M)]$$

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

También diseñó un mapa de elementos para seleccionar, el cual lo nombró gráfica de Ashby vista en la ilustración 12-2 (Riba 2008).

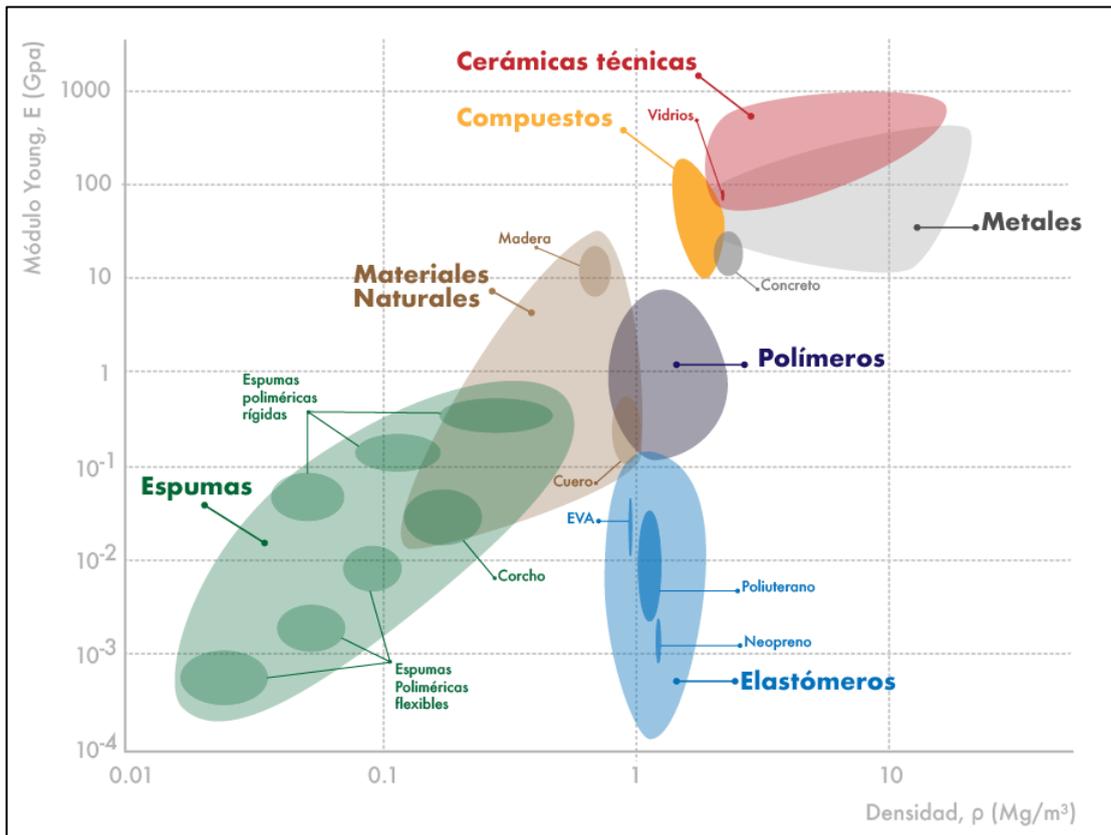


Ilustración 12-2: Gráfico o mapa de Ashby

Fuente: Lugae, 2020

2.9.2.2. Acero estructural

El acero es un material ampliamente utilizado en la fabricación de estructuras y elementos de máquinas. Está conformado por la combinación de hierro y carbono en pequeñas cantidades, generalmente inferiores al 1%. También posee pequeños porcentajes de otros elementos aleantes los cuales en la mayoría de los casos mejoran sus propiedades mecánicas. Entre las ventajas del acero esta su alta resistencia, elasticidad, ductilidad y tenacidad (McConmac y Csernak, 2013).

2.9.2.3. Aluminio

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra, aunque no se encuentre de forma libre sino distribuido en plantas y rocas. Este material en su estado puro es blando y posee poca

resistencia mecánica, sin embargo, al formar aleaciones con otros elementos puede mejorar notablemente sus propiedades mecánicas. Las características principales de estas aleaciones son: ligeras, resistentes y fáciles de fundir o maquinar. Por lo que el aluminio se ha convertido en el material no ferroso más utilizado actualmente y es empleado ampliamente en diversas aplicaciones industriales (Hufnagel, 1992).

2.9.2.4. *Electrodo*

El electrodo es un elemento primordial al momento de hablar de soldadura, pues este es el que nos permite realizar la unión entre dos elementos metálicos, dando así la fabricación de un elemento más grande como una estructura. Este elemento consta con un sistema deductivo de selección, los cuales constan de las siguientes características:

- Identificación del metal base
- Tipo de corriente disponible para la soldadura (corriente alterna o continua)
- Posición en la cual debe efectuarse la soldadura.
- Espesor y forma del metal base
- Diseño de la junta
- Especificaciones o condiciones de servicio requeridas para el trabajo
- Eficiencia y rapidez requerida en la operación

Al tener en consideración cada uno de esos parámetros y estar adecuadamente guiados en lo que necesitamos realizar, podremos dirigirnos a un catálogo y obtener específicamente la selección adecuada para nuestro trabajo, permitiendo como paso final la regulación del amperaje para la ejecución de la soldadura (ESAB, 2019).

2.9.3. ***Materiales utilizados en impresión 3D***

2.9.3.1. *ABS (Acrilo Butadieno Estireno)*

Es un material obtenido a partir del petróleo, utilizado ampliamente en el sector industrial por sus propiedades físicas. Entre sus principales ventajas está la estabilidad y tenacidad a altas temperaturas, facilidad de mecanizado y alta resistencia a ataques químicos e impacto (Sicre, 2020).

2.9.3.2. *PLA (Poliácido Láctico)*

Es un material biodegradable ampliamente utilizado en la impresión 3D, se obtiene a partir de materia orgánica por lo que posee gran capacidad de biodegradación y es reciclable. Sus principales ventajas son la facilidad de impresión, estabilidad y velocidad de impresión, sin embargo, posee menor resistencia térmica que otros materiales y es más frágil. Se utiliza mayormente en aplicaciones donde la estética del objeto tiene mayor importancia (Sicre, 2020).

2.9.3.3. *PETG (Tereftalato de Polietileno Glicol)*

Es un poliéster generalmente utilizado para imprimir envases de alimentos y botellas. Sus características principales son; resistencia al desgaste, corrosión e impacto, flexibilidad y baja absorción de humedad, sin embargo, es levemente tóxico y no es biodegradable. Otras aplicaciones es la fabricación de piezas resistentes al impacto y objetos de decoración (Sicre, 2020).

2.9.4. *Materiales utilizados en equipos de rehabilitación y movilidad asistida*

La rehabilitación física ha sido a lo largo de la historia un factor influyente dentro de la medicina clásica donde: equipos, máquinas, colchonetas, pesas, entre otras herramientas, permiten al individuo con discapacidad mejorar en un cierto porcentaje la movilidad en sus extremidades. Dependiendo del tipo de rehabilitación que se quiera dar, se utilizan diversos materiales que van desde polímeros y textiles hasta ciertos materiales estructurales como el acero, el aluminio, entre otros.

Dado el caso de personas que han sufrido accidentes y han perdido de manera parcial o total la movilidad de sus extremidades, la rehabilitación física puede aplicarse de distintas formas y métodos. Debido al enfoque de esta investigación, el estudio de los materiales se verá relacionado con aquellas máquinas destinadas a asistir en el desplazamiento de mas no de su recuperación. Bajo este contexto, la denominada “sillas bipedestadora” se han construido de acero estructural, es decir ASTM A36, sin embargo, la selección del material será dependiente de algunas variables como: disponibilidad, costo, facilidad de manufactura, resistencia mecánica y resistencia a ambientes corrosivos, etc.

2.9.4.1. *ASTM A36*

Según Barbero y otros, las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, el límite de fluencia y la soldabilidad del acero ASTM A36 hacen que este material sea el propicio para la manufactura de la denominadas silla bipedestadora (Barbero, y Ortega, 2015). “A pesar de ser susceptible a la corrosión nos permite hacer el uso de recubrimientos de pintura para mejorar su aspecto y resistencia a diversas condiciones ambientales y finalmente su costo es más conveniente” (Palacios, Israel y Ortega, 2015).

2.9.4.2. *Polímeros y textiles*

El uso de este tipo de material está orientado completamente en fines de comodidad para el usuario, su selección se basa prácticamente en permitir un uso cómodo para el individuo en cuestión y por lo general se construyen con cuerinas impermeables de tipo textil. “Material sintético, resistente y rígido de fácil aseo y económico que es muy común en la fabricación de las sillas de ruedas” (Palacios, Israel y Ortega, 2015).

2.10. Métodos de fabricación

2.10.1. Maquinado

Dentro de los procesos de manufactura, el maquinado es uno de los procesos más utilizados. Este consiste en remover el exceso de material por medio de una herramienta de corte hasta lograr la pieza deseada. Al deformar el material se crea una viruta, la cual es removida para obtener una nueva superficie. Este proceso se ha ido perfeccionando con el desarrollo tecnológico (Levinson, 2021).

Durante el proceso de mecanizado, se añaden productos como aceites, tintas o lubricantes, con la finalidad de reducir la fricción durante el corte evitando el desgaste del material y logrando un corte más exacto. El mecanizado se realiza mediante una máquina herramienta, ya sea manual, semiautomática o automática. Según el sitio web Aceros Levinson (Levinson, 2021). Las máquinas herramienta más utilizadas son:

- Taladro: La pieza reposa fija y la herramienta llamada broca realiza el corte mediante un movimiento giratorio y avance lineal. Logrando un agujero del mismo diámetro de la broca y de profundidad deseada.
- Limadora: Esta máquina herramienta realiza el mecanizado mediante una cuchilla montada sobre el portaherramientas de carnero, realiza un movimiento lineal de corte sobre una pieza fijada a la mesa con movimiento de avance perpendicular al movimiento de corte.
- Mortajadora: Es una máquina que arranca el material linealmente del interior de un agujero. El movimiento de corte lo realiza la herramienta y el avance la mesa donde se monta la pieza a mecanizar.
- Cepilladora: Posee mayor tamaño que la limadora, tiene una mesa deslizante donde se fija la pieza y realiza el movimiento de corte deslizándose longitudinalmente, la cuchilla montada sobre un puente se desplaza transversalmente en el movimiento del avance.
- Torno: Es la máquina herramienta más utilizada en la industria, la pieza se fija en el plato del torno, que realiza el movimiento de corte girando sobre su eje, la cuchilla realiza el movimiento de avance eliminando material en los lugares deseados.
- Fresadora: En esta máquina herramienta el movimiento de corte lo tiene la herramienta, denominada fresa, la misma que gira sobre su eje y el movimiento de avance lo tiene la pieza fijada sobre la mesa.

2.10.2. Impresión 3D

La impresión 3D es el grupo de tecnologías utilizadas para fabricación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas sucesivas de un determinado material. Por lo tanto, se trata de un proceso en que se crean objetos físicos en tres dimensiones a través de modelos digitales mediante

una impresora 3D que puede usar diferentes tecnologías y materiales para ir superponiendo capas hasta crear una réplica perfecta (Leal, 2015).

2.11. Manufactura utilizada en equipos de rehabilitación y movilidad asistida

Existen varios procesos de manufactura empleados para la construcción de equipos de rehabilitación y de movilidad asistida. En la selección del proceso de fabricación más adecuado intervienen varios factores como la geometría del equipo, los materiales y equipos de manufactura disponibles, factor económico, tolerancias de fabricación, volumen de producción entre otros.

2.12. Modelación y programación CNC

2.12.1. CAD/CAM

Este proceso se aplica para diseñar un producto y programar el proceso de manufactura correspondiente, especialmente el mecanizado por CNC. El software CAM utiliza los modelos y ensamblajes generados en el software CAD, para generar trayectorias que luego las herramientas de mecanizado utilizarán para convertir los diseños digitales en piezas físicas. Por lo tanto, el software CAD/CAM se utiliza para diseñar y manufacturar prototipos y piezas terminadas (Mexicana, 2019).

2.12.2. Control numérico computarizado CNC

Este término se deriva de la definición de Control Numérico (CN) de maquinaria, esto hace referencia al uso de la lógica programable como puede ser letras, números, símbolos o sus combinaciones para realizar un control automatizado de una máquina. Antes de la creación de esta tecnología, cualquier máquina era simplemente manipulada manualmente por operadores humanos (Vurcon, 2012).

2.12.3. Máquinas con sistema CNC

Existen diversas máquinas de mecanizado que emplean el sistema CNC, cada una de ellas realiza un trabajo específico. Son ampliamente utilizadas para el desarrollo de prototipos como es el caso de la silla bipedestadora. En el sitio web Cuida tu dinero detallado por Acosta, (2020) se detallan algunas de ellas:

- Tornos CNC: Son capaces de realizar cortes y perforaciones de precisión de forma instantánea. Utiliza herramientas y brocas macizas bajo órdenes de algoritmos, para producir partes que no se pueden cortar manualmente. Estos equipos pueden leer el código G, así como el lenguaje de programación del fabricante.
- Fresadoras CNC: Realiza un trabajo similar a los tornos, la diferencia radica en que en estos equipos la pieza a mecanizar permanece fija y la herramienta efectúa el arranque de viruta. La tecnología de control numérico permite diversas funciones como: fresado frontal, fresado de resalte, roscado, taladrado y torneado.

- Impresoras 3D CNC: Estos dispositivos operan bajo la funcionalidad del control numérico. Estas inyectan pequeñas cantidades de material mediante una o varias boquillas extrusoras depositando el material capa por capa hasta formar una pieza completa.

2.12.4. Herramientas de una máquina CNC

Uno de los factores más importantes en una máquina CNC corresponde a las herramientas de corte utilizadas, pues de ellas depende en gran parte que el mecanizado genere la geometría deseada.

2.13. Características técnicas en el traslado del discapacitado

El sistema técnico y mecánico deberá estar establecido en base a la ISO 10535:2006 “Grúas para el traslado de personas con discapacidad. Requisitos y métodos de ensayo.”, la cual nos permite conocer parámetros establecidos para una mejor adaptación las necesidades de movilidad o discapacidad.

2.13.1. Análisis de movilidad

2.13.1.1. Movilidad espontánea

La movilidad espontánea se conoce como la velocidad estándar o más baja del ser humano, siendo esta un parámetro en la cual el individuo puede movilizarse sin realizar un sobreesfuerzo en el cuerpo, logrando de esta manera tomar dichos datos para la consideración de un prototipo en bipedestadores (Echeverría et al., 2017).

Tabla 3-2: Movilidad espontánea según edades

Edad	Velocidad (m/s)
13-14	0,95-1,67
15-17	1,03-1,75
18-49	1,10-1,82
50-64	0,96-1,68

Fuente: Mejía, y Morrillo, 2017

Realizado por: Herrera, 2021

2.13.2. Parámetros generales de diseño

La normativa ISO 10535:2006 establece un parámetro de carga viva para los prototipos de bipedestadores, en la cual indica que los bipedestadores deberían soportar hasta 120 kg, considerando que el peso promedio de la población humana a nivel global es de 62kg (Téran et al., 2019).

Tabla 4-2: Parámetros de diseño

Parámetros	Valores
Velocidad lineal	0,25 m/s
Carga viva	120 kg
Fuerza máxima del cilindro de elevación	1500 N

Fuente: Téran et al., 2019

Realizado por: Herrera, 2021

2.13.3. Parámetros dimensionales del prototipo

Téran, et al., (2019) nos comenta en su trabajo de investigación sobre un prototipo diseñado en CAD, el cual se permite visualizar junto a medidas aproximadas en la figura 11.2, conociendo también la norma ISO 21542:2012 nos ofrece información sobre el ancho de algunas ajustables, correas las cuales son de entre 800 mm a 1500 mm, permitiendo de esta manera soportar el peso y obtener una movilidad para el equipo adecuadamente.

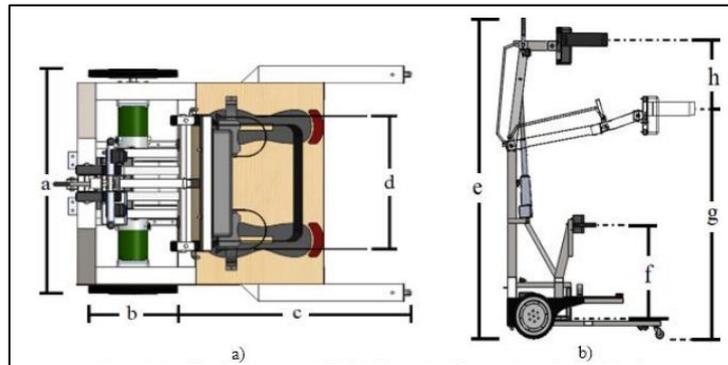


Ilustración 13-2: Prototipo de bipedestador diseñado en CAD

Fuente: Téran et al., 2019

Tabla 5-2: Parámetros de dimensionales del prototipo

Ítem	Dimensión (mm)
a	≈ 700
b	≈ 246
c	≈ 700
d	≈ 450
e	≈ 1445
f	≈ 400
g	≈ 900
h	≈ 1200

Fuente: Téran et al., 2019

Realizado por: Herrera, 2021

2.14. Metodología Kano

La metodología Kano permite conocer referencias de calidad dadas por el usuario hacia el producto, mediante un análisis basado en preguntas con dos direcciones (SI tuviera y si NO tuviera), respecto a calidad, confort y gusto del usuario. Mediante el cálculo respectivo se conocerá el grado de satisfacción con el producto para verificar la necesidad de un rediseño o si se ha cumplido con las expectativas del usuario.

La base del modelo Kano es poder cuantificar las atribuciones del cliente con el producto, permitiendo medir la experiencia durante el uso del producto, por lo cual mediante cálculos y tablas se verifica si alguna incorporación, manejo o característica del producto llega a ser de importancia positiva o negativa para el usuario, permitiendo el enfoque en una mejora de dicho punto. En las siguientes ilustraciones se observa el modelo del método Kano.

ATRIBUTOS			Requerimientos Disfuncionales (Negativas)				
			Me gustaria	Es algo basico	Me da igual	No me gusta	No me gusta y no lo tolero
			1	2	3	4	5
Requerimientos Funcionales (Positivas)	Me gustaria	1	Q	A	A	A	O
	Es algo basico	2	R	I	I	I	M
	Me da igual	3	R	I	I	I	M
	No me gusta	4	R	I	I	I	M
	No me gusta y no lo tolero	5	R	R	R	R	Q

El atributo para el cliente es:		
A:	Atractivo	O: Unidimensional
M:	Obligatorio	Q: Cuestionable
R:	Opuesto	I: Indiferenta

Ilustración 14-2: Tabla de evaluación del método Kano

Fuente: Téran et al., 2019

	SUMATORIA DE CRITERIOS							TOTAL	CALIFICACION
	A	O	M	R	Q	I			
Incorporan una pantalla al DVD	50%	10%	0%	0%	0%	40%	100%	A	
Agregar puertos lectores de memoria al DVD	50%	10%	30%	0%	0%	10%	100%	A	
Integrar puerto conexión a internet para ver películas online	60%	20%	0%	0%	0%	20%	100%	A	
Instalar lector de procesadores de texto	50%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	A	
Agregar disco duro al DVD, para almacenar música y videos	80%	0%	10%	0%	0%	10%	100%	A	
Instalar sistemas para convertir VHS a DVD	60%	0%	0%	0%	0%	40%	100%	A	

Ilustración 15-2: Tabla de ponderación del método Kano

Fuente: Téran et al., 2019

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se considera la información desarrollada en los capítulos previos del proyecto de integración curricular, esto también involucra los resultados y análisis ofrecidos en el trabajo titulado: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS BIPEDESTADORA PARA PERSONAS ADULTAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA A NIVEL DE PARAPLEJIA O CON PROBLEMAS DE MOBILIDAD DE USO EN INTERIORES”. A partir de este punto, y para evitar la redundancia, se menciona este trabajo como “estudio previo”.

3.1. Metodología del diseño

En el análisis del marco metodológico, se desea conocer todos los detalles para la elaboración correcta del mecanismo. Dado que en el estudio previo realizado por Herrera (2021), se detalló la construcción y simulación para el bipedestador, en este capítulo se muestra de manera consecuyente los datos obtenidos del diseño del producto, la valoración de factibilidad constructiva, la verificación de cálculos y por lo tanto la consecuente manufactura de la silla. En la ilustración 1-3 se esquematiza el proceso que se debe llevar a cabo para el adecuado diseño y construcción de un producto destinado a solventar alguna necesidad.

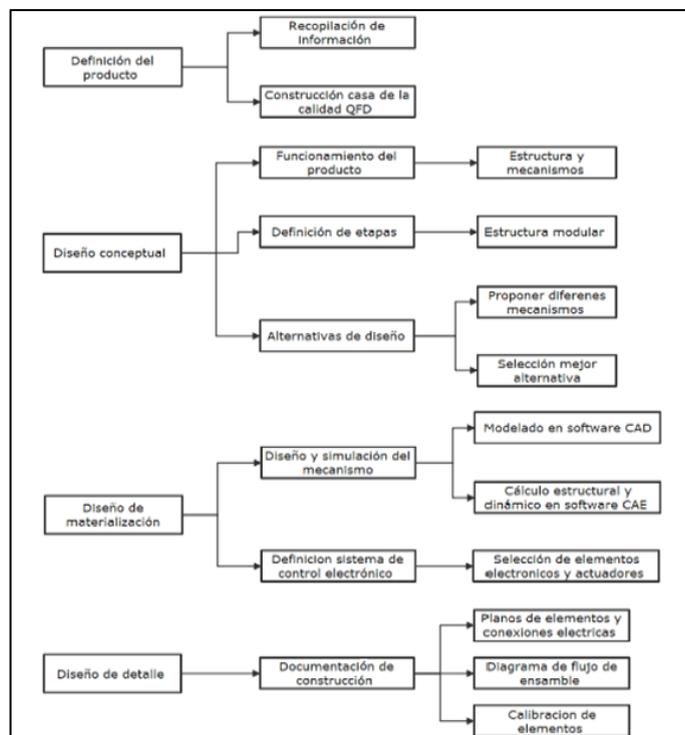


Ilustración 1-3: Metodología de diseño de la silla de ruedas bipedestadora

Fuente: Herrera, 2021

3.1.1. Definición del producto

El producto debe cumplir los parámetros mencionados, siendo el principal objetivo lograr la postura bípeda, constando con los datos analizados en el capítulo 2, junto a los resultados obtenidos en el estudio previo realizado por Herrera (2021). Dicho documento es la base sobre la cual se trabaja y por lo tanto consta como previo avance del diseño y simulación de comportamiento de fuerzas a la cual estará regida la silla de ruedas.

La silla consta con una referencia a la normativa UNE-EN ISO 10535:2006 “Grúas para el traslado de personas con discapacidad, requerimiento y método de ensayo”, permitiendo estandarizar la silla y cumplir a su vez necesidades generalizadas por el sector a la cual va dirigido el proyecto.

3.1.2. Análisis de matriz de calidad QFD

El análisis QFD (*Quality Function Deployment*), también conocido como casa de la calidad, es considerado una herramienta que permite indagar sobre los diversos parámetros de calidad pertinentes para que el producto satisfaga las necesidades del usuario. Esta estructura sirve de guía para identificar puntos de distinto nivel de relevancia, necesarios para obtener una calidad aceptable en términos ergonómicos. Además, sirve también para tener una idea del tipo de características que se necesitan para el proceso constructivo.

Herrera (2021) en el trabajo previo realizó un análisis respectivo de la matriz QFD (observar ilustración 2-3), en la cual se enfoca diversos puntos que relacionan necesidades del usuario y las traduce en términos técnicos asimilables en diseño mecánico y procesos de manufactura para la materialización.

3.1.2.1. Voz de usuario

Herrera (2021) se enfocó en poder complementar los puntos necesarios y exigidos por el consumidor o usuario del producto, basándose en los siguientes puntos:

- Demanda básica:
 - Economía
 - Segura
 - Fácil manejo
 - Fácil mantenimiento
- Demanda de diseño:
 - Liviana
 - Resistente
 - Estable
 - Ajustable
 - Fácil movilidad

3.1.2.2. Voz del ingeniero

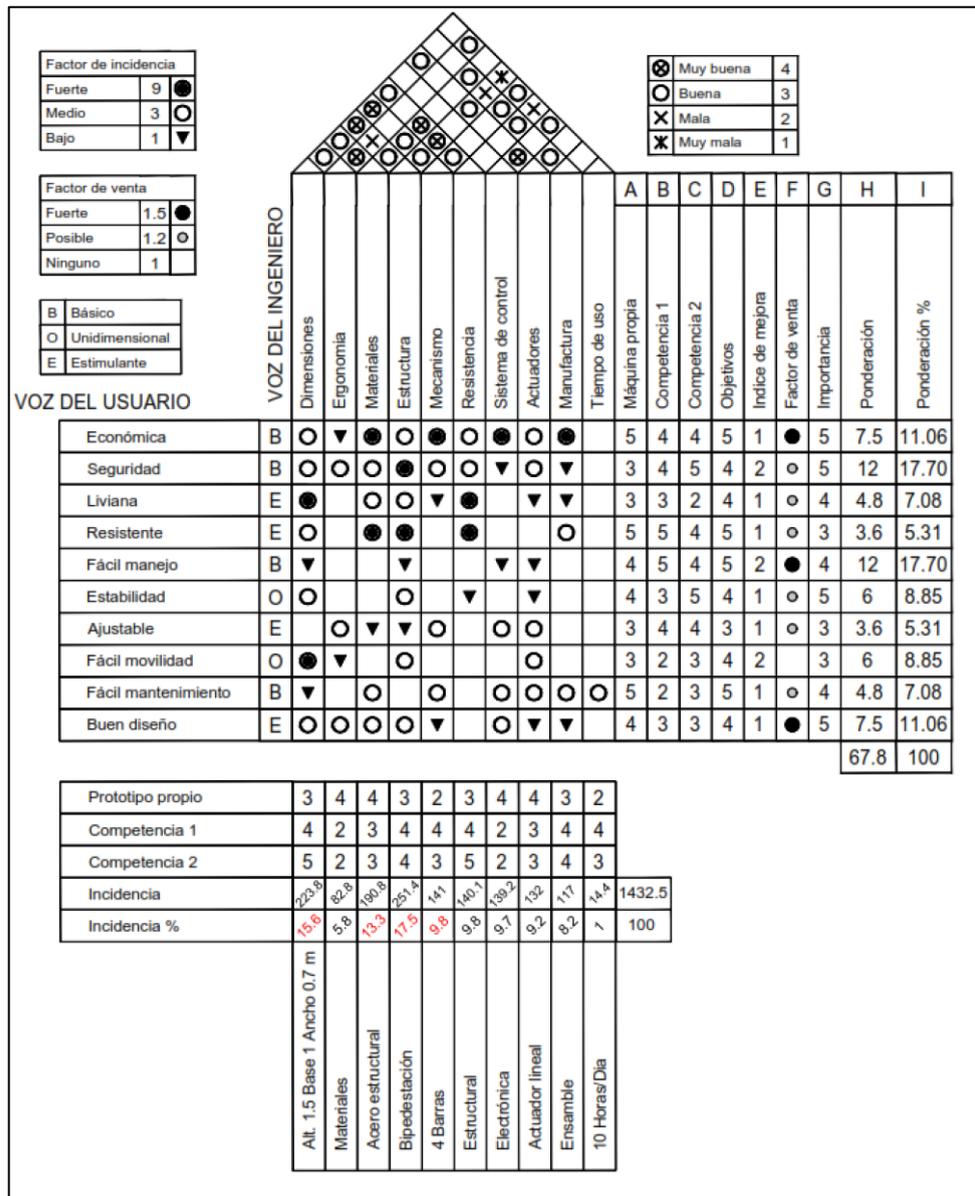


Ilustración 2-3: Matriz QFD.

Fuente: Herrera, 2021

Herrera (2021) analizó diversos puntos por parte del ingeniero, los cuales estarán concentradas en mejorar la calidad y definir las metas del autor del proyecto, se consideró las siguientes cualidades:

- Ergonomía: Cumplir con el confort y seguridad necesario para el usuario.
- Material: Disponer de material resistente y de un costo asequible.
- Estructura: Resistir las diversas cargas a las cuales estará expuesto la silla.
- Actuadores: Mecanismos facilitadores del movimiento para el cumplimiento del bipedestador.
- Tiempo de uso: Cantidad de uso en medida de tiempo a la cual estará establecida el producto.
- Resistencia: Soporte ante adversidades fuera a las normales establecidas por el fabricante, sean estos choques, terreno en el cual se ubicará, entre otros.

- Sistema de control: Sistema permitido para un control adecuado de las partes móviles del bipedestador.
- Manufactura: Proceso de fabricación del proyecto.
- Mecanismos: Conjunto de sistemas que permiten el movimiento del usuario.

Siendo cada uno de ellos una clave específica para concretar la idea del diseñador, corroborando de esta manera que el equipo sea apto para el usuario mediante la perspectiva del autor.

3.2. Valoración de factibilidad constructiva

Teniendo en cuenta que el proceso de diseño mecánico es un ente primordial para la materialización de un determinado producto, hay que mencionar que el personal encargado de la manufactura tiene la obligación de revisar los cálculos realizados, verificar la facilidad de construcción y asegurar que el producto final ensamblado cumplirá con el objetivo por el cual fue diseñado. Por lo cual, es necesario fundamentar adecuadamente parámetros como: selección del material, diseño estructural y diseño de juntas soldadas. A continuación, se analizan los puntos antes descritos.

3.2.1. Selección de material

La selección del material es un proceso fundamental en el desarrollo del proyecto, puesto que de esta dependerá la posterior selección de los procesos de manufactura adecuados. Respecto a la construcción, dicho proceso afecta a la capacidad de garantizar la funcionalidad del equipo, satisfacer los requerimientos necesarios y cumplir con los objetivos propuestos en el capítulo 1.

La estructura del prototipo de silla bipedestadora es el principal componente de este, puesto que este será el encargado de soportar el peso del usuario junto a las distintas fuerzas que se pueden generar de forma externa, por ende, se debe considerar el diseño mecánico teniendo en cuenta la resistencia del material necesaria para soportar las cargas generadas.

En el mundo existen más de 50.000 materiales para diversos trabajos, necesidades y objetivos, con variedad de formas, texturas, tamaños, colores, resistencia, entre otras características. Todos estos puntos son esenciales en la selección correcta del material para manufactura. Sin embargo, considerando que el presente proyecto corresponde a un trabajo de integración curricular los principales parámetros a considerar son la disponibilidad, el costo de adquisición, la viabilidad y tiempo de construcción y la resistencia mecánica.

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

		Materiales metálicos			Materiales basados en polímeros	
		Acero	Aluminio	Latón	Termoplástico	Elastómero
		C45E	AlMg0,7Si T6	CuZn30 R480	PE-HD	NR
Composición química	Unidades					
Aluminio	%	-	Resto	≤0,02	-	-
Carbono	C %	0,42±0,50	-	-	-	-
Cobre	Cu %	-	≤0,10	Resto	-	-
Hierro	Fe %	Resto	≤0,35	-	-	-
Magnesio	Mg %	-	0,45±0,90	-	-	-
Silicio	Si %	-	0,20±0,60	-	-	-
Cinc	Zn %	-	≤0,10	29,0±31,0	-	-
Propiedades físicas	Unidades					
Densidad	Mg/m ³	7,85	2,70	8,53	0,94±0,96	0,93
Coefficiente dilatación	µm/m-K	12,0	23,5	19,9	200	216
Calor específico	J/kg-K	440	898	375	2100±2700	2500
Conductividad térmica	W/m-K	50	201	120	0,38±0,51	0,165
Resistividad eléctrica	Ω-m	150·10 ⁻⁹	33,2·10 ⁻⁹	62·10 ⁻⁹	>10 ¹⁵	10 ¹³ ±10 ¹⁵
Propiedades mecánicas	Unidades					
Resistencia tracción	MPa	≥620/560	≥245	≥480	18±35	20±28
Límite elástico	MPa	≥340/275	≥170	≥430	-	-
Alargamiento rotura	%	≥14/16	≥10	≥2	100±1000	300±900
Módulo de elasticidad	GPa	210	69,5	110	0,7±1,4	0,001±0,010
Dureza	HB	207	75	150	40±65 ⁽¹⁾	30±95 ⁽²⁾
Propiedad. tecnológicas	Unidades					
Coste	€/kg	0,87	4,20	3,80	1,15	1,60
Temperatura de fusión	°C	1520	615±655	915±955	160±200	-
Temp. máxima de uso	°C	450	100±150	300	70±80	70±90

Ilustración 3-3: Cuadro comparativo de materiales de las principales familias.

Fuente: Riba, 2008

3.2.1.1. Metodología de Michael Ashby

Actualmente el desarrollo científico y tecnológico ha permitido que existan más materiales que en el pasado y aunque esto ha contribuido positivamente a las características y propiedades de los materiales, también dificulta el proceso de selección, al tener más alternativas. Debido a esto surge la necesidad de utilizar una metodología para seleccionar el material óptimo para esta aplicación.

La metodología de Michael Ashby busca optimizar el proceso de selección de materiales considerando un parámetro de rendimiento (P), este a su vez depende de otros parámetros como son las funciones requeridas (F), los parámetros geométricos (G) y las propiedades del material (M).

Para comprender de mejor manera esta metodología se tiene la siguiente fórmula:

$$P = [(Funciones\ Requeridas, F)(Parámetros\ Geométricos, G)(Propiedad\ Materiales, M)]$$

$$P = f(F, G, M)$$

Los parámetros por considerar dentro de la función P, son establecidos o clasificados en 3 etapas, presentadas a continuación:

a) Conceptualización de requerimientos necesarios

En esta sección se toma en cuenta los requerimientos necesarios para que la silla de ruedas bipedestadora cumpla con la finalidad para la cual fue diseñada, por ende, se analizó tres aspectos. El primero corresponde a los requerimientos técnicos donde se considera todos los aspectos referentes a las propiedades mecánicas del material. El segundo hace referencia a los requerimientos económicos, este aspecto es fundamental puesto que, si el producto posee un precio elevado debido a la calidad o estética, se tendrá inconvenientes en la manufactura o al realizar posibles replicas en el futuro, por lo que se debe lograr un equilibrio en costo-calidad. El tercer punto corresponde a los requerimientos sociales, donde el equipo debe cumplir las normativas vigentes y a su vez garantizar la seguridad mínima del producto para el mejor confort y conservación del usuario (ver tabla 1-3).

Tabla 1-3: Requerimientos para la manufactura.

Requerimientos técnicos	Correcto funcionamiento Cumplir dimensiones de diseño Resistencia a fuerzas generadas Soportar condiciones de trabajo
Requerimientos económicos	Buena estética Calidad esperada Facilidad de producción Facilidad de transporte Minimizar costos
Requerimientos sociales	Cumplir la normativa Ergonómico Garantizar la seguridad

Fuente: Herrera, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

b) Análisis de condiciones de funcionamiento

Para obtener los valores que describen las condiciones de funcionamiento de la silla de ruedas bipedestadora, se tiene en cuenta los datos presentados en el estudio previo realizado por Herrera, (2021), en el cual se indican las principales condiciones a las que va a estar sometido el prototipo (ver ilustración 4-3), siendo el peso para soportar uno de los parámetros más importantes a tomar en cuenta, estableciendo el rango de entre 100 kg a 120 kg (ver tabla 2-3).

Tabla 2-3: Valores específicos de carga para la silla de ruedas.

Parte del cuerpo	Peso total (kg)	Porcentaje en peso (%)	Peso (N)
Tronco	120	50	588,6
Muslo		10,1	118,9

Fuente: Herrera, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

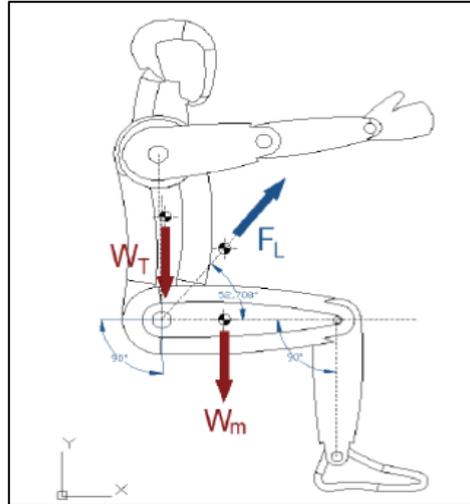


Ilustración 4-3: Dirección de cargas principales

Fuente: Herrera, 2021

En la tabla 3-3 se muestra los requerimientos de diseño para la estructura de la silla bipedestadora. Estos aspectos serán considerados para realizar la selección del material según la metodología de Ashby.

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

Función	Soportar la carga generada
Objetivo	Minimizar la masa Maximizar la resistencia
Restricciones	Dimensiones establecidas Soportar las cargas generadas sin fallos
Variables libres	Selección de material para fabricación Área de sección transversal

Fuente: Ashby, 2010

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

c) *Desarrollo de la ecuación de desempeño*

Para la selección del material de la estructura se considera como variable libre, es decir, que puede ser modificada, a la sección transversal de los elementos, siempre y cuando cumplan con la resistencia mínima necesaria, pero cuyas dimensiones están restringidas al diseño mecánico realizado por Herrera (2021), con la finalidad de garantizar la funcionalidad del equipo.

Teniendo en cuenta que la variable a minimizar es la masa, la cual se encuentra en función del peso, puesto que la estructura a ser construida debe disponer de un buen soporte y a su vez de un peso moderado que facilite el transporte del mecanismo de bipedestación, se considera la ecuación de la densidad presentada a continuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho * V$$

Donde:

- ρ = densidad
- m = masa
- V = volumen

Los variables establecidos serán analizadas en una sección tubular cuadrada, puesto que es el tipo de elemento de mayor accesibilidad, además que el poseer una sección hueca contribuye a disminuir el peso de los elementos. El elemento en cuestión posee parámetros geométricos como son: ancho (a), espesor (e) y longitud (L).

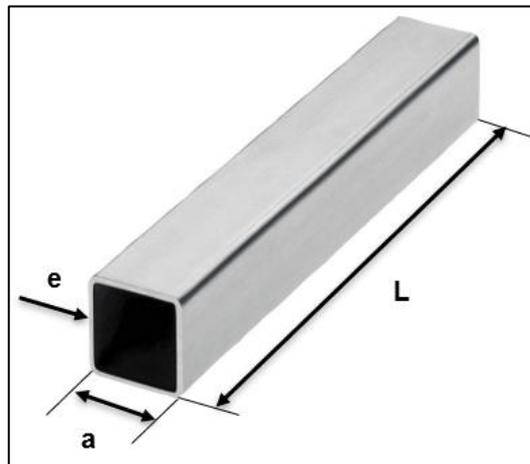


Ilustración 5-3: Parámetros geométricos del tubo cuadrado

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

La variable establecida como libre por parte del diseñador, es el espesor (e) y el ancho (a) siendo estos datos disponibles en el catálogo del fabricante. La longitud (L) es un valor establecido por el diseño antropométrico realizado por Herrera (2021).

El peso del elemento puede ser minimizado reduciendo el área de sección transversal, sin embargo, hay que considerar la restricción que el área (A) debe ser capaz de soportar la carga (F). Por tanto, se también se considera la ecuación del esfuerzo (σ) generado en un elemento.

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

En la cual el área está en función de ancho y el espesor del elemento.

$$\sigma = \frac{F}{4a * e} \rightarrow e = \frac{F}{4a * \sigma}$$

Sustituyendo en la ecuación inicial de la masa, obtenemos la siguiente expresión:

$$m = \rho * 4a * e * L$$

$$m = \rho * 4a * \left(\frac{F}{4a * \sigma}\right) * L$$

$$m = \rho * L * \left(\frac{F}{\sigma}\right)$$

$$m = F * L * \left(\frac{1}{\sigma/\rho}\right)$$

Finalmente se obtiene una expresión análoga a la ecuación de desempeño de Ashby, en donde el término σ/ρ corresponde al índice del material. Además, se establecen los siguientes índices:

- F (Requerimiento funcional) = Variable F (fuerza)
- G (Parámetro geométrico) = Variable L (longitud)
- M (Propiedad del material) = Variable ρ (densidad)

Teniendo en cuenta la proporcionalidad de la ecuación se concluye que para minimizar el peso del elemento se debe incrementar el índice del material.

$$\downarrow m = \left(\frac{\sigma}{\rho}\right) \uparrow$$

Herrera (2021) en su trabajo de titulación analiza el esfuerzo máximo en el cual teóricamente, estaría operando la máquina, siendo este valor igual 289 MPa. Por tanto, en la ilustración 3-6, se realiza una línea horizontal correspondiente al esfuerzo mínimo necesario del eje “Y”. Además, se realiza una línea paralela al índice (σ/ρ), buscando maximizar este parámetro. Finalmente considerando la intersección de las líneas se establece que los materiales seleccionables para esta aplicación son los que se encuentran en la parte superior a la intersección.

gráfico estableciendo la densidad del material en el eje “X” y es el esfuerzo permisible a tensión en el eje “Y”.

b. Límites de variables en el gráfico

Se establecen límites para las características del material con la finalidad de reducir el número de materiales seleccionables y ajustarlos a los requerimientos del proyecto. Para ello se considera el esfuerzo mínimo a tensión requerido igual a 289 MPa, se establece el precio máximo de adquisición del material igual 3\$/kg y se traza la línea del índice del material (σ/ρ) con la finalidad de minimizar la masa como en el apartado correspondiente a la metodología de Ashby.

c. Familias de materiales seleccionables

Considerando el grupo de materiales recomendados en el mapa de Ashby, se configura las familias de materiales a considerar en el gráfico para su selección. Por tanto, solamente los materiales metálicos, materiales cerámicos y materiales compuestos se visualizan en el gráfico de materiales seleccionables.

d. Gráfica de materiales seleccionables

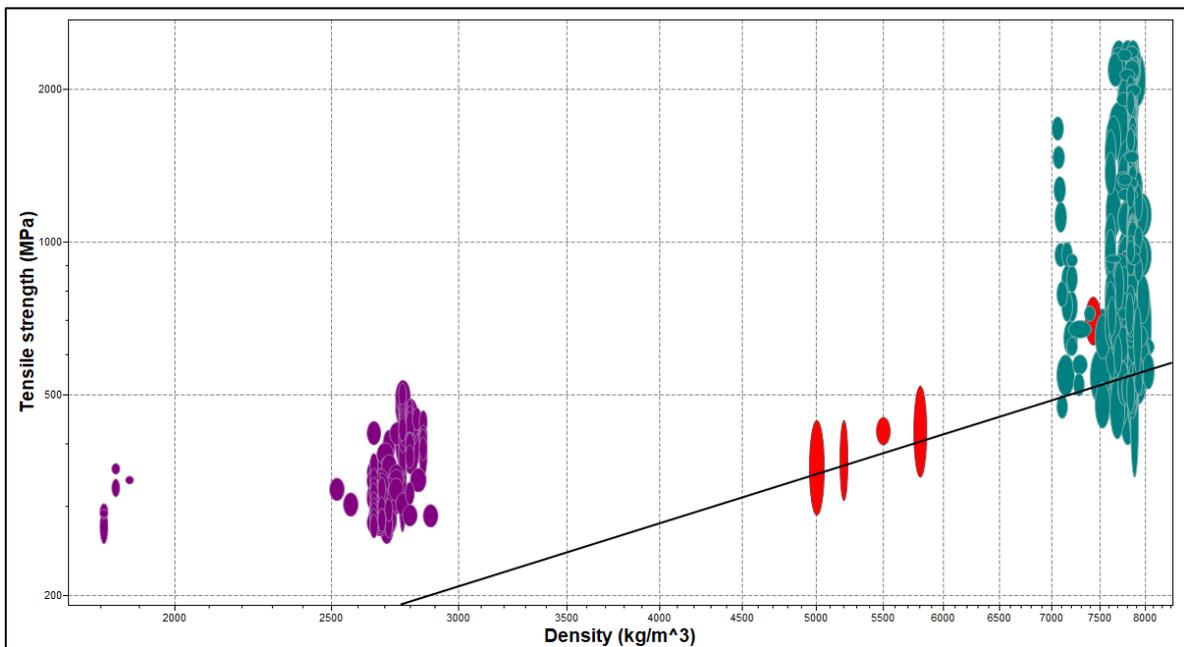


Ilustración 7-3: Gráfica de materiales seleccionables (esfuerzo vs densidad)

Fuente: CES EduPack 2019

De la gráfica obtenida se visualiza un grupo de materiales seleccionables entre los que destacan: aleaciones de magnesio, aleaciones de aluminio, aleaciones de zinc y distintos tipos de acero. Por lo que la selección del material se va a realizar considerando otros factores como la disponibilidad del mercado y las recomendaciones presentadas en las normativas vigentes.

3.2.1.3. Marco normativo relacionado a la selección del material

a. Normativa internacional

La directiva 98/79/ CE del Parlamento Europeo del 27 de octubre de 1998, menciona que un producto sanitario es cualquier dispositivo o equipo destinado por el fabricante a ser utilizado en seres humanos con fines de compensación de una lesión o deficiencia. Por tanto, se define a la silla de ruedas bipedestadora como un producto sanitario.

El anexo I del documento en mención referente a los requisitos esenciales que deben cumplir los productos, en el apartado 7 “Propiedades químicas, físicas y biológicas” indica que la selección de materiales utilizados debe considerar aspectos como la toxicidad, inflamabilidad, la compatibilidad con tejidos biológicos y líquidos corporales y minimizar el riesgo de residuos contaminantes. En el apartado 8 “Infección y contaminación microbiana” indica que los productos y sus procesos de fabricación deben diseñarse en forma que se elimine o reduzca en medida de lo posible el riesgo de infección para el paciente, usuario o para terceros (93/42/ CEE).

El anexo X del mismo documento referente a los criterios de clasificación indica que los productos se clasifican en clase I, IIa, IIb y III en función de los riesgos y precauciones que se debe tener respecto a estos. Considerando la clase I como la de menor riesgo cuyos criterios de diseño y construcción queda en manos del fabricante siempre y cuando se garantice la seguridad del usuario (93/42/ CEE). Considerando la regla 1 de productos no invasivos presentada en este anexo, se define a la silla de ruedas bipedestadora como un producto de la clase I.

b. Normativa nacional

Como se indica en la norma NTE INEN-ISO 21542 primera edición 2014-01, no existe un documento normativo nacional referente a la selección de materiales para equipos sanitarios. Sin embargo, la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) en su documento “Normativa Sanitaria para Control de Dispositivos Médicos” emitido el 12 de enero del 2017, indica un grupo de consideraciones para la obtención del registro sanitario, entre las que menciona que el criterio de clasificación de dispositivos médicos de uso humano se realiza según los criterios establecidos en la *Global Harmonization Task Force* (GHTF). En donde se puede inferir que la silla de ruedas bipedestadora pertenece a la Clase 1 considerada un producto de bajo riesgo.

Respecto al acabado superficial que debe poseer un equipo sanitario o de uso médico tampoco existe una normativa vigente en el país, sin embargo, el Ministerio de Salud Pública emitió en agosto del 2013 la “Guía de Acabados Interiores para Hospitales (GAIH)”. Si bien dicho documento está destinado a materiales y recubrimientos de pisos, paredes, techos, entre otros, de distintas zonas de un hospital, cabe destacar que los elementos fabricados en acero como el marco las puertas poseen un recubrimiento de pintura electroestática.

3.2.1.4. Selección del material

Teniendo en cuenta el grupo de materiales recomendados en las secciones 3.2.1.1. y 3.2.1.2. y considerando los criterios de disponibilidad, facilidad de manufactura y reducción de costos, se selecciona el acero estructural ASTM A36 como material para la manufactura de la estructura de la silla de ruedas bipedestadora. Desde el punto de vista sanitario se va a realizar un recubrimiento con pintura electroestática para reducir los riesgos de contaminación microbiana, incrementar la resistencia a la corrosión y reducir la inflamabilidad.

3.2.2. Valoración del diseño mecánico del bipedestador

En el trabajo realizado por Herrera (2021) se pueden identificar y analizar varias secciones concurrentes con el dimensionamiento, uno de ellos es el factor de seguridad utilizado. Cabe recalcar que este valor numérico representa el grado de seguridad que posee el diseño para las cargas y condiciones analizadas. En lo que corresponde a la parte estructural, hablando específicamente de los denominados brazos principales y telescópicos, se maneja un valor mínimo de 3,5. Adicionalmente, en la platina encargada de acoplar los brazos antes mencionados, se obtiene un factor correspondiente a 2,3.

Hablando de la ergonomía de la silla de ruedas, no es viable que el peso de esta sea elevado, por el contrario, se busca optimizar esta variable de modo que sea fácilmente manejable por el individuo para el cual está destinado su uso. Por este motivo, se propone un redimensionamiento de los brazos y del acople y así llegar a optimizar adecuadamente el factor de seguridad y con ello el peso y precio final del producto.

3.2.2.1. Redimensionamiento del prototipo

Citando el trabajo realizado por Herrera (2021), se llega a determinar que la fuerza de levantamiento correspondiente a un ángulo con el plano horizontal de 52,708° es:

$$F_L = 889,309 N$$

Considerando el sistema de referencia propuesto en la ilustración se puede descomponer esta fuerza en sus componentes cartesianas y, mediante las ecuaciones de diseño mecánico, recalculamos el mecanismo para un factor de seguridad que no conlleve a un sobredimensionamiento y por lo tanto peso innecesario de la silla bipedestadora. A continuación, el proceso detallado:

a. Rediseño de brazos principales

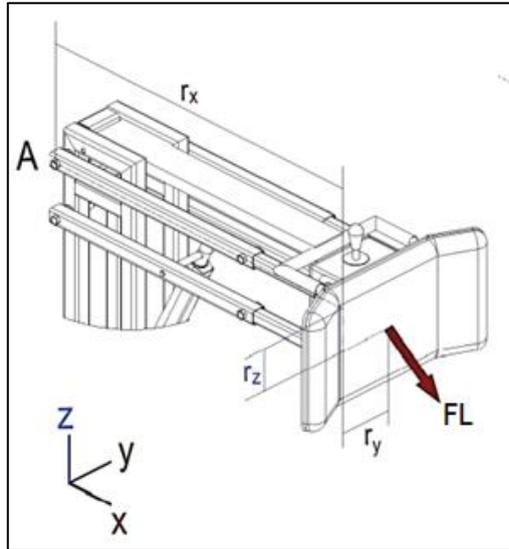


Ilustración 8-3: Fuerza de levantamiento

Fuente: Herrera, 2021

La ilustración 8-3 describe la geometría y el sistema de referencia a considerar para el diseño de la sección transversal cuadrada de los brazos principales y telescópicos. Al descomponer la fuerza y trasladarla hacia los puntos de análisis, Herrera obtiene los siguientes valores:

$$\vec{F} = (135,408\vec{i} - 179,693\vec{k})N$$

$$\vec{M} = (-13387,128\vec{i} - 98754,987\vec{j} - 10087,924\vec{k})N * mm$$

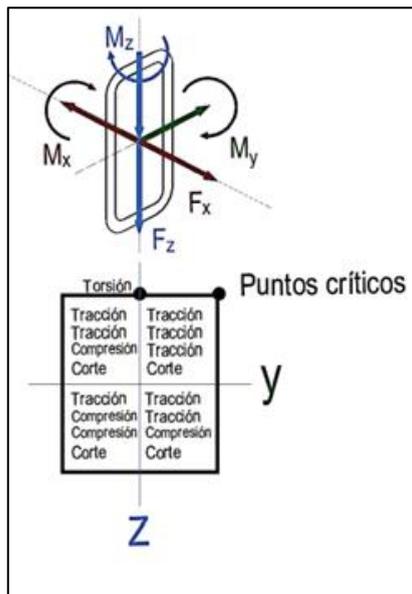


Ilustración 9-3: Fuerzas en la sección

Fuente: Herrera, 2021

Se selecciona una sección de menor longitud y espesor, en este caso se usa el catálogo de DIPAC teniendo en cuenta su disponibilidad permanente en el mercado:

Tabla 4-3: Datos geométricos del tubo estructural

Tubo estructural cuadrado 25x1.2 mm	
Área (cm ²):	1,14
Inercia (cm ⁴):	1,08

Fuente: Dipac, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Se calculan los esfuerzos normales en la sección:

$$\sigma_{Axial} = \frac{F_x}{A} = \frac{135,408 \text{ N}}{(1,14 \text{ cm}^2) * \left(\frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}}\right)^2} = 1,188 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{Flexión-Y} = \frac{M_Y * I}{I} = \frac{98754,987 \text{ N} * \text{mm} * (12,5)\text{mm}}{(1,08 \text{ cm}^4) * \left(\frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}}\right)^4} = 114,3 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{Flexión-Z} = \frac{M_Z * I}{I} = \frac{10087,924 \text{ N} * \text{mm} * (12,5)\text{mm}}{(1,08 \text{ cm}^4) * \left(\frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}}\right)^4} = 11,676 \text{ Mpa}$$

Se calcula el esfuerzo cortante producto de la torsión, teniendo en cuenta que se desprecia el efecto del esfuerzo cortante producido por el corte. Considerando que, para secciones de tipo rectangular o cuadrada, se considera el valor adimensional α , se tiene que:

$$\tau_{Torsión} = \frac{T}{\alpha * a^3} = \frac{13387,128 \text{ N} * \text{mm}}{0,208 * (12\text{mm})^3} = 4,199 \text{ Mpa}$$

Considerando que el material a utilizar corresponde a acero estructural ASTM A-36, sus características mecánicas son:

Tabla 5-3: Datos geométricos del tubo estructural

Acero ASTM-A36	
Sy (Mpa):	250
Sut (Mpa):	400

Fuente: Dipac, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Utilizando el criterio de Von Mises y aplicándolo en el punto crítico (extremo superior derecho) para obtener el esfuerzo equivalente se tiene que:

$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * (\tau)^2} = \sqrt{(114,3 + 11,676)^2 + 3 * (0)^2} = 125,976 \text{ Mpa}$$

Calculando el factor de seguridad:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{Eq}} = \frac{250 \text{ Mpa}}{125,976 \text{ Mpa}} = 1,984$$

Se destaca una reducción del factor de seguridad equivalente al 43%, es decir se ha pasado de 3,5 a 1,984, interpretándose como una reducción de sección, peso y costo constructivo.

b. Redimensionamiento de brazos telescópicos

Bajo la misma metodología, se recalcula la sección transversal correspondiente. Al ser dos tubos cuadrados concéntricos, se deberá tener en cuenta que no existan interferencias que puedan causar dificultades constructivas. Dado que la sección anterior ha sido reducida a 25 mm, se restringe la nueva sección a 20 mm según el catálogo utilizado. El nuevo perfil posee las siguientes propiedades:

Tabla 6-3: Datos geométricos del tubo estructural

Tubo estructural cuadrado 2x1.2 mm	
Área (cm ²):	0,9
Inercia (cm ⁴):	0,53

Fuente: Dipac, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Se tiene un nuevo punto de análisis:

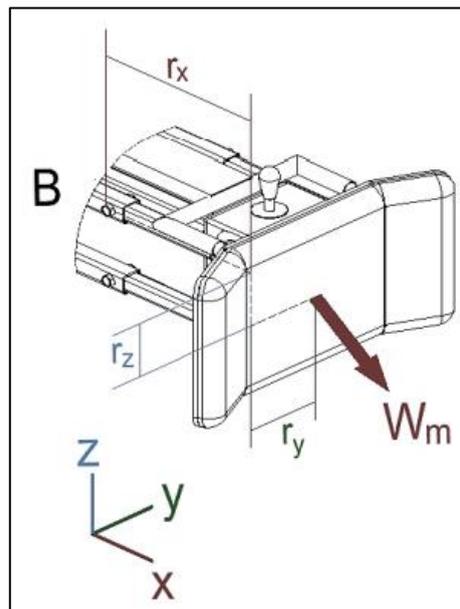


Ilustración 10-3: Diagrama de fuerzas

Fuente: Herrera, 2021

Al trasladar la fuerza de levantamiento a la sección en análisis se tiene que:

$$\vec{F} = (135,408\vec{i} - 179,693\vec{k})N$$

$$\vec{M} = (-13387,128\vec{i} + 40640,053\vec{j} - 10087,924\vec{k})N * m$$

Se calculan los esfuerzos normales en la sección:

$$\sigma_{Axial} = \frac{F_x}{A} = \frac{135,408 N}{(0,9 cm^2) * (\frac{10 mm}{1 cm})^2} = 1,504 Mpa$$

$$\sigma_{Flexión-Y} = \frac{M_Y * I}{I} = \frac{40640,053 N * mm * (10)mm}{(0,53 cm^4) * (\frac{10 mm}{1 cm})^4} = 76,679 Mpa$$

$$\sigma_{Flexión-Z} = \frac{M_Z * I}{I} = \frac{10087,924 N * mm * (10)mm}{(0,53 cm^4) * (\frac{10 mm}{1 cm})^4} = 19,033 Mpa$$

Así mismo el esfuerzo cortante:

$$\tau_{Torsión} = \frac{T}{\alpha * a^3} = \frac{13387,128 N * mm}{0,208 * (12mm)^3} = 8,045 Mpa$$

Con los valores obtenidos se calcula el esfuerzo equivalente en un extremo:

$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * (\tau)^2} = \sqrt{(76,679 + 19,033)^2 + 3 * (0)^2} = 95,712 Mpa$$

El factor de seguridad corresponde a:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{Eq}} = \frac{250 Mpa}{95,712 Mpa} = 2,612$$

De la misma manera, se destaca una reducción del factor de seguridad equivalente al 42%, es decir se ha pasado de 4,5 a 2,612, interpretándose como una reducción de sección, peso y costo constructivo.

c. Redimensionamiento de acople

El acople para los brazos que conforman el mecanismo estará conformado mediante una platina y un proceso de doblado. Para redimensionar esta sección, hay que considerar que estaremos trabajando sobre una sección rectangular, cuyas dimensiones dependen de la disponibilidad en el mercado. Bajo esta premisa, y mediante un proceso iterativo, se llega a determinar que la sección adecuada es:

Tabla 7-3: Datos geométricos de la platina

PTL 19x6 mm	
Área (cm ²):	1,14
Inercia Y (mm ⁴):	3429,5
Inercia Z (mm ⁴)	342

Fuente: Dipac, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Se tiene el siguiente diagrama:

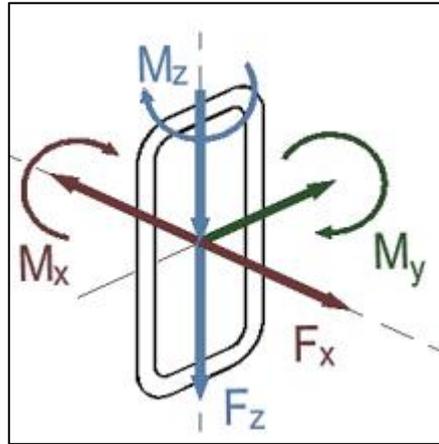


Ilustración 11-3: Diagrama de fuerzas

Fuente: Herrera, 2021

Los valores correspondientes a fuerza y momento resultante son:

$$\vec{F} = (135,408\vec{i} - 179,693\vec{k})N$$

$$\vec{M} = (-13387,128\vec{i} + 11889,174\vec{j} - 10087,924\vec{k})N * m$$

Se calculan los esfuerzos normales en la sección:

$$\sigma_{Axial} = \frac{F_x}{A} = \frac{135,408 N}{(19 \times 6) mm^2} = 1,188 Mpa$$

$$\sigma_{Flexión-Y} = \frac{M_Y * I}{I} = \frac{11889,174 N * mm * (9,5)mm}{3429,5 mm^4} = 32,934 Mpa$$

$$\sigma_{Flexión-Z} = \frac{M_Z * I}{I} = \frac{10087,924 N * mm * (3)mm}{342 mm^4} = 88,941 Mpa$$

Así mismo el esfuerzo cortante:

$$\tau_{Torsión} = \frac{T}{\alpha * a^3} = \frac{13387,128 N * mm}{19 \times (6)^2 (0,299) mm^3} = 65,457 Mpa$$

Con los valores obtenidos se calcula el esfuerzo equivalente en un punto central derecho:

$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * (\tau)^2} = \sqrt{(1,188 + 88,941)^2 + 3 * (65,457)^2} = 144,835 Mpa$$

El factor de seguridad corresponde a:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{Eq}} = \frac{250 Mpa}{144,834 Mpa} = 1,726$$

Se ha reducido de 2,3 a 1,726 el factor de seguridad, asegurando que el mecanismo no fallará, reduciendo el peso y por lo tanto optimizando el costo.

3.2.3. Diseño de junta soldada

Particularmente el proceso de soldadura es la manera por la cual los diversos elementos estructurales empieza a tomar forma para el prototipo. En el estudio previo no existe una justificación normada del diseño de la junta por lo que este procedimiento será debidamente desarrollado en este apartado. Dado el diseño preliminar realizado por Herrera (2021) se propone la utilización del electrodo E6011 mediante soldadura de filete por todo el alrededor y una pierna de equivalente a 3 mm. Se presenta en la ilustración 12-3 las características del electrodo previamente seleccionado.

Especificación																													
AWS A5.1					AWS A5.1M																								
E6011					E4311																								
Campo de aplicación																													
Electrodo para propósitos generales, fabricación de recipientes a presión, fabricación de embarcaciones, equipo agrícola, tubería de alta y baja presión, soldadura de aceros galvanizados, etc.																													
Características																													
Electrodo de revestimiento celulósico potásico de arco estable y alta penetración cuyos depósitos tienen características mecánicas muy superiores a los electrodos de su tipo, buena tenacidad a temperaturas bajo cero. La fórmula especial del revestimiento produce un arco de gran fuerza de penetración con una rápida solidificación, lo que facilita la operación en posición vertical ascendente y sobre cabeza. Aplicaciones similares al electrodo E6010.																													
Análisis estándar del depósito (% en peso)																													
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Mn+Ni+Cr+Mo+V																				
< 0.20	< 1.00	< 1.20	N/E	N/E	< 0.30	< 0.20	< 0.30	< 0.08	N/E																				
Propiedades mecánicas del depósito																													
Resistencia a la tracción		Limite de Cedencia (0.2%)		Alargamiento (l = 4d)		Tenacidad Charpy en V Joules Joules																							
MPa		MPa		%																									
> 430		> 330		> 22		> 27 J (-30°C)																							
Instrucciones para soldar																													
Limpiar la zona por soldar. Manejar el electrodo ligeramente inclinado en la dirección del avance con arco corto. La escoria se quita fácilmente y se debe eliminar entre cada pasada.																													
Posiciones de soldadura					Tipos de corriente																								
					Corriente Directa / Electrodo Negativo (CD/EP) (= -) Corriente Alterna (-)																								
Parámetros recomendados																													
Electrodo	Ø x L (mm)	2.4 x 350		3.2 x 350		4.0 x 350																							
Amperaje	(A)	40 - 80		75 - 125		110 - 170																							
Certificaciones																													
CWB (BÖHLER FOX 6011), ABS (BÖHLER FOX 6011 MX)																													
Presentación																													
<div style="display: flex; align-items: center;">   <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Electrodos en DryPack</th> </tr> <tr> <th>Código</th> <th>Diametro pulg / (mm)</th> <th>Longitud (mm)</th> <th>Peso del paquete</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BOH005</td> <td>3/32" (2.4mm)</td> <td>350</td> <td>5 kg /11 Lbs</td> </tr> <tr> <td>BOH006</td> <td>1/8" (3.2mm)</td> <td>350</td> <td>5 kg /11 Lbs</td> </tr> <tr> <td>BOH007</td> <td>5/32" (4.0mm)</td> <td>350</td> <td>5 kg /11 Lbs</td> </tr> </tbody> </table> </div>										Electrodos en DryPack				Código	Diametro pulg / (mm)	Longitud (mm)	Peso del paquete	BOH005	3/32" (2.4mm)	350	5 kg /11 Lbs	BOH006	1/8" (3.2mm)	350	5 kg /11 Lbs	BOH007	5/32" (4.0mm)	350	5 kg /11 Lbs
Electrodos en DryPack																													
Código	Diametro pulg / (mm)	Longitud (mm)	Peso del paquete																										
BOH005	3/32" (2.4mm)	350	5 kg /11 Lbs																										
BOH006	1/8" (3.2mm)	350	5 kg /11 Lbs																										
BOH007	5/32" (4.0mm)	350	5 kg /11 Lbs																										

Ilustración 12-3: Características electrodo E6011.

Fuente: Carbone, 2020

3.2.3.1. Comprobación de diseño de junta soldada

El diseño de la junta soldada se realiza según la norma AISC-360 sección J en la unión con valor de carga más crítica. Para obtener las fuerzas internas generadas en la estructura base se utiliza SAP 2000.

a. Dimensionamiento de la junta

El tamaño mínimo de la pierna de soldadura se obtiene en función del espesor del material. Según la tabla J2.4 del AISC-360 para valores de espesor menores a 6 mm el tamaño de la pierna corresponde a 3 mm (1/8 in).

TABLE J2.4 Minimum Size of Fillet Welds	
Material Thickness of Thinner Part Joined, in. (mm)	Minimum Size of Fillet Weld, [a] in. (mm)
To 1/4 (6) inclusive	1/8 (3)
Over 1/4 (6) to 1/2 (13)	3/16 (5)
Over 1/2 (13) to 3/4 (19)	1/4 (6)
Over 3/4 (19)	5/16 (8)

[a] Leg dimension of fillet welds. Single pass welds must be used.
Note: See Section J2.2b for maximum size of fillet welds.

Ilustración 13-3: Tamaño mínimo de soldadura de filete

Fuente: AISC 360-16

Por tanto, el tamaño de la garganta de soldadura se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\operatorname{sen}(45^\circ) &= \frac{\text{garganta}}{\text{pierna}} \\ \text{garganta} &= 3 \operatorname{sen}(45^\circ) \\ \text{garganta} &= 2,121 \text{ mm}\end{aligned}$$

b. Identificación del punto crítico

Para identificar la zona que presenta valores superiores de fuerza cortante se modela el chasis o base del bipedestador y por consiguiente sus condiciones de frontera para poder obtener resultados interpretables. A continuación, se detalla el procedimiento utilizado:

c. *Propiedades de sección:*

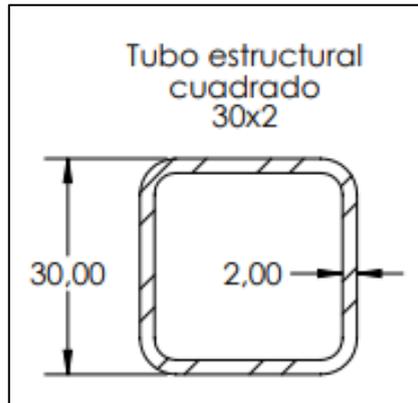


Ilustración 14-3: Tubo estructural

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Según el diseño mecánico se seleccionó el tubo estructural cuadrado 30x2 mm mostrado en la figura 14-3. Se trasladan estas dimensiones en el apartado denominado *Section Properties* de la interfaz de SAP2000.

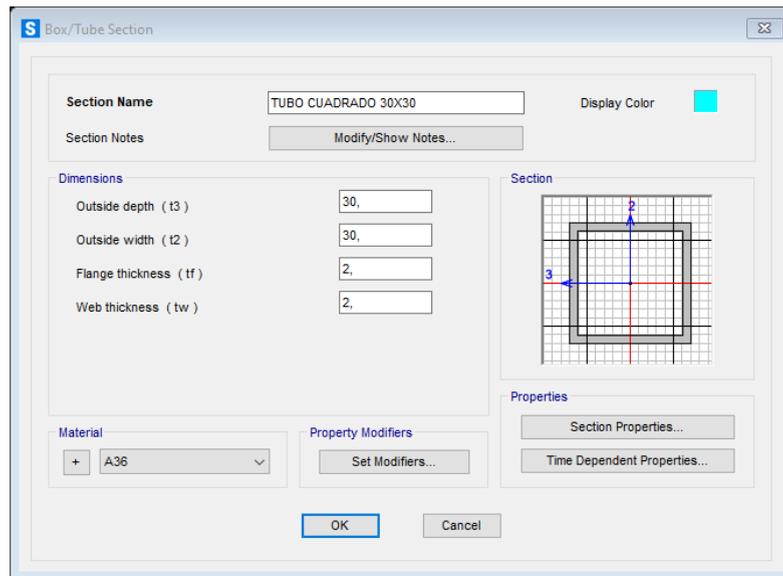


Ilustración 15-3: Section Properties

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Al tratarse de acero estructural ASTM A-36, el programa facilita las propiedades mecánicas de este y simplemente se procede a seleccionar del menú desplegable.

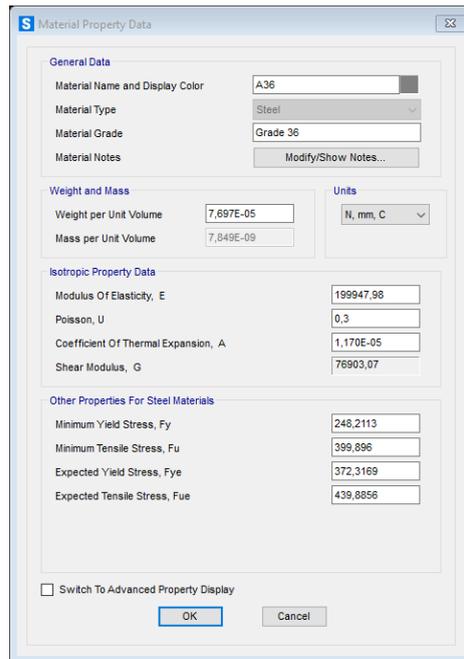


Ilustración 16-3: Propiedades de material

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Es destacable apreciar las principales variables influyentes en el cálculo que realiza el algoritmo interno del programa tales como: límite de tracción, límite de fluencia, módulo de Young, módulo de Poisson. Además, para el análisis actual se considerará el peso propio de la estructura para el cálculo de fuerza cortante.

En el diseño del bipedestador se evaluó la fuerza de levantamiento correspondiente a:

$$W_L = (-135,408 j - 179,693k) N$$

Siendo:

W_L . - Fuerza de levantamiento

Siguiendo las direcciones mostradas en la ilustración:

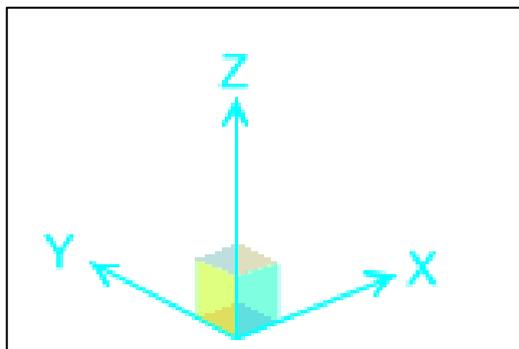


Ilustración 17-3: Sistema de referencia

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Siguiendo lo especificado en el trabajo de Herrera, se pueden calcular las fuerzas y momentos transmitidos a los pasadores que se nombran con las letras A y D respectivamente.

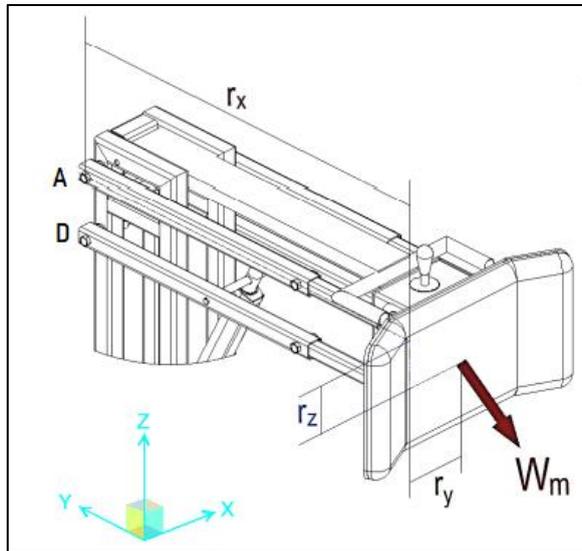


Ilustración 18-3: Esquema de fuerza desplazada

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Se utiliza el módulo de asignación de fuerzas en nodos dentro de la interfaz del software y se llenan los valores según lo especificado:

Punto A:

Para el lado izquierdo a la ilustración se tiene:

$$F_y = -67,704 \text{ N}$$

$$F_z = -89,847 \text{ N}$$

$$M_x = -49377,798 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_y = -6693,602 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_z = 5043,948 \text{ N} * \text{mm}$$

Para el lado derecho:

$$F_y = -67,704 \text{ N}$$

$$F_z = -89,847 \text{ N}$$

$$M_x = -49377,798 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_y = 6693,602 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_z = -5043,948 \text{ N} * \text{mm}$$

Punto D:

En este punto existe la influencia del actuador lineal ejerciendo una fuerza de levantamiento para desplazar al mecanismo por lo que los valores son distintos a los obtenidos en el punto anterior. Se tiene que:

Para el lado izquierdo:

$$F_y = -203,901 \text{ N}$$

$$F_z = 177,455 \text{ N}$$

$$M_x = 4333,549 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_y = 13220,432 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_z = 15190,65 \text{ N} * \text{mm}$$

Para el lado derecho:

$$F_y = -203,901 \text{ N}$$

$$F_z = 177,455 \text{ N}$$

$$M_x = 8780,966 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_y = -13220,432 \text{ N} * \text{mm}$$

$$M_z = -15190,65 \text{ N} * \text{mm}$$

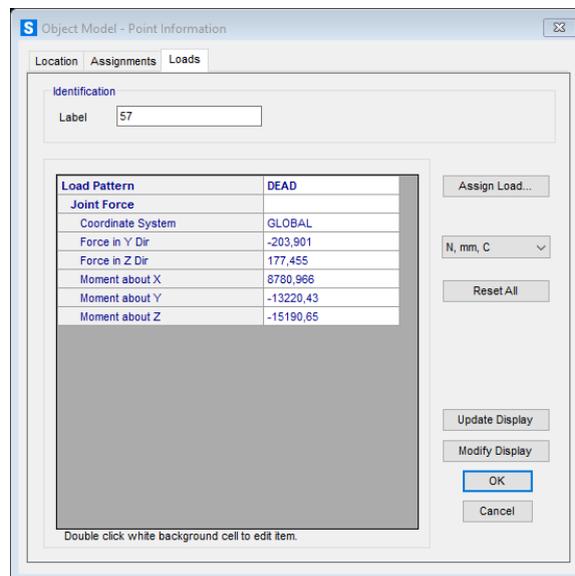


Ilustración 19-3: Cargas asignadas

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Las condiciones de frontera o restricciones nos permiten replicar o simular el comportamiento real del mecanismo. Al estar apoyado sobre un conjunto de ruedas, la manera correcta sería considerar el sistema como una viga simplemente apoyada siguiendo las características mostradas:

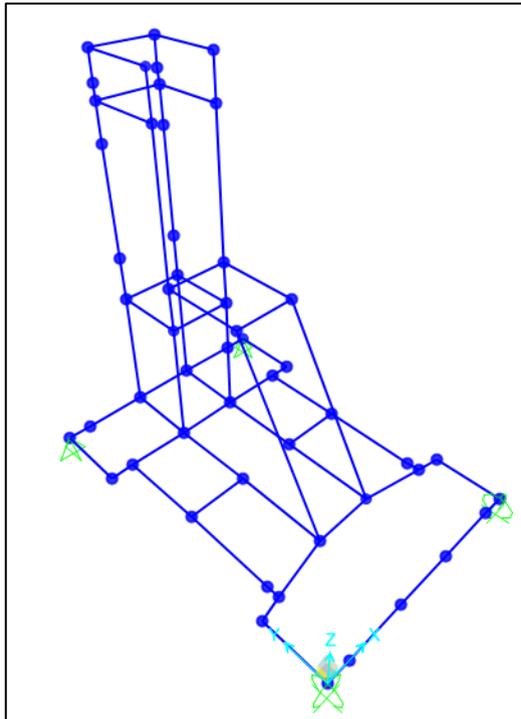


Ilustración 20-3: Restricciones de desplazamiento

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

En la parte posterior se restringe todos los desplazamientos, y se deja en libertad todas las rotaciones:

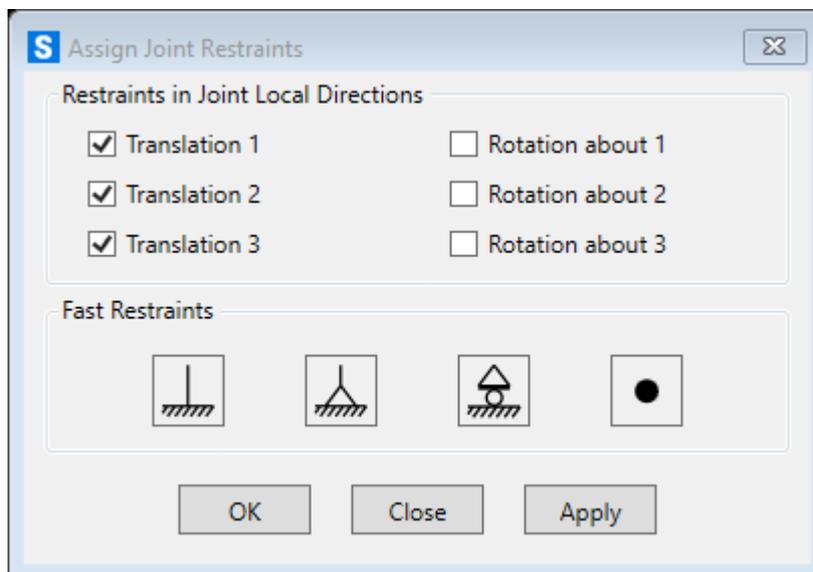


Ilustración 21-3: Restricciones en SAP2000 lado articulado

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

En la parte anterior o delantera, se restringe únicamente el desplazamiento en el eje gravitacional debido a la presencia de las ruedas, pero se deja en libertad la traslación 1, 2 y la rotación 1, 2 y 3.

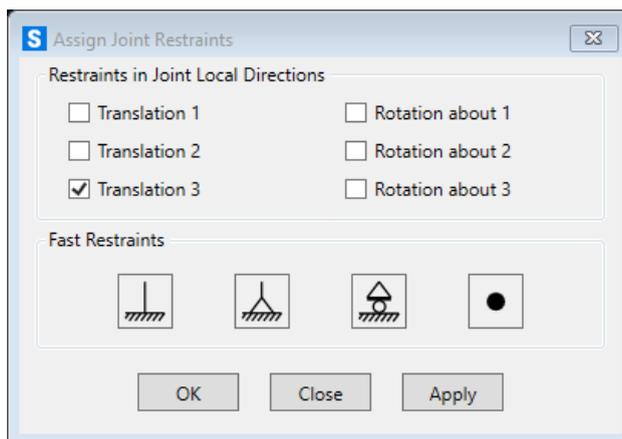


Ilustración 22-3: Restricciones en SAP2000 lado flotante

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Con la estructura, condiciones de frontera y cargas definidas, se procede a correr el análisis y se obtienen los resultados de fuerza cortante máximos en cada uno de los ejes globales. Se utiliza una exportación de datos desde SAP2000 hacia Excel de modo que se facilite la identificación de los puntos críticos para el diseño de la junta.

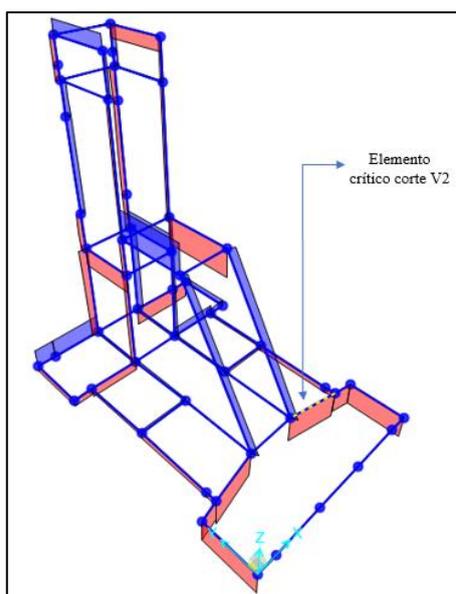


Ilustración 23-3: Ubicación de punto crítico de corte 2

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

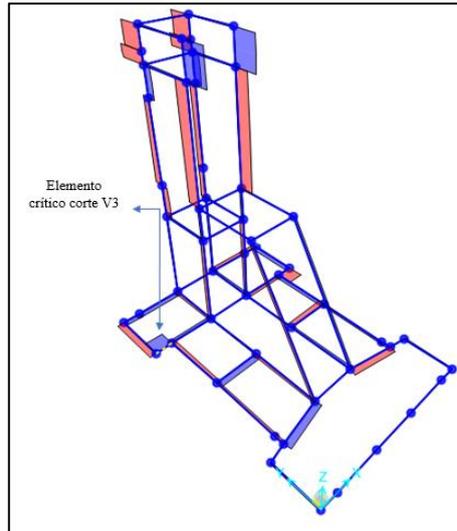


Ilustración 24-3: Ubicación de punto crítico de corte 2

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Se puede identificar al valor de la fuerza cortante máximos de la siguiente ilustración:

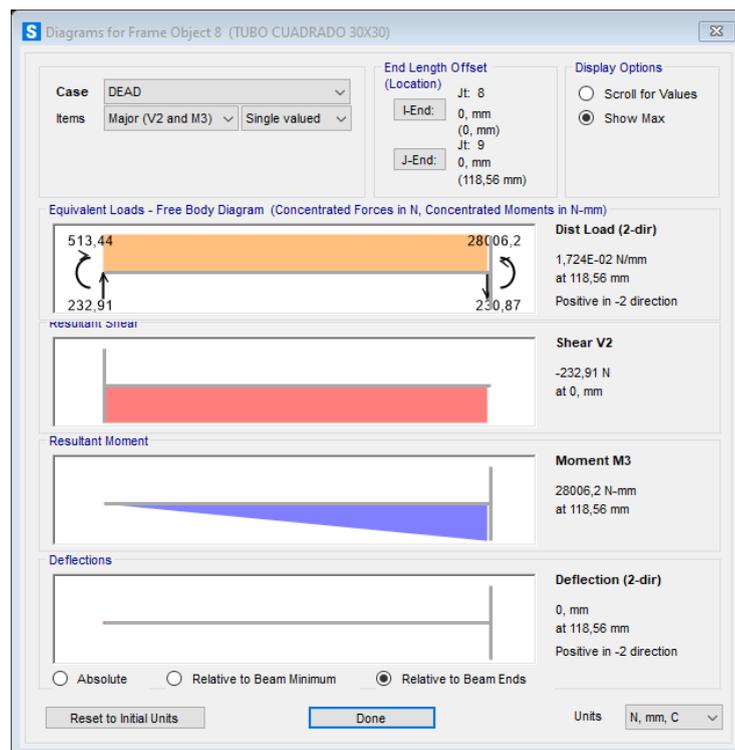


Ilustración 25-3: Lectura de valores en SAP2000

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

La norma AISC-360 establece que para el diseño de este tipo de uniones solo se considere las fuerzas cortantes. Mediante SAP 2000 se obtiene las siguientes fuerzas cortantes máximas en el plano 2-2 y 3-3 respectivamente.

$$V_2 = 232,91 N$$

$$V_3 = 208,36 N$$

d. Cálculo de resistencia de la junta

Según la norma AISC-360 la resistencia de diseño de la junta soldada utilizando el método LRFD se determina con la siguiente ecuación.

$$\phi R_n = F_{nw} A_{we}$$

Donde,

R_n : Resistencia de la junta soldada [N]

F_{nw} : Esfuerzo nominal del metal de soldadura [MPa]

A_{we} : Área efectiva de la soldadura [mm]

ϕ : Constante LRFD (0,75)

Para determinar el esfuerzo nominal del metal de soldadura se realiza el siguiente cálculo. Donde la resistencia del metal de aporte es $F_{EXX} = 60 KSI = 413,685 MPa$.

$$F_{nw} = 0,6 F_{EXX}$$

$$F_{nw} = 0,6 \times 413,685 MPa$$

$$F_{nw} = 248,211 MPa$$

El área efectiva de la soldadura corresponde al producto entre la longitud de soldadura y la garganta de soldadura.

$$A_{we} = 30 mm \times 2,121 mm$$

$$A_{we} = 63,63 mm^2$$

Por lo tanto, la resistencia de la junta es la siguiente:

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$

$$R_n = 248,211 MPa \times 63,63 mm^2$$

$$R_n = 15,793 KN$$

$$\phi R_n = 11,845 KN$$

e. Verificación de resistencia

Se procede a comparar la resistencia de diseño de la junta calculada con carga la máxima generada en el elemento más crítico.

$$R_n > V_2$$

$$11,845 KN > 232,36 N$$

Por tanto, se concluye que el cordón de soldadura es el adecuado para resistir las solicitaciones generadas en la estructura.

3.3. Selección de elementos estandarizados

3.3.1. Motores

En el estudio previo realizado por Herrera (2021), se establece parámetros necesarios para una adecuada selección en motor, siendo los datos mínimos requeridos por los autores del proyecto, estos se los podrá tomar como valores iniciales para la selección de un motor, siendo estos enfocados en base al cumplimiento de las características mostradas en la tabla 8-3 y el presupuesto disponible.

Tabla 8-3: Características mínimas para el motor de la silla de ruedas.

Torsión	30 Nm
Voltaje	24 V
Corriente	17 A
Velocidad nominal	70 RPM

Fuente: Herrera, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

a. Motor para traslado

Considerando que se habla de un peso de soporte máximo hasta 120 kg, por lo cual el análisis previamente realizado en el trabajo mencionado en el párrafo deberá cumplirse, para ellos, tomaremos en consideración la selección de un motor modelo MY1016Z2 (L-FASTER), cumpliendo con facilidades de manejo y aceptabilidad de las restricciones estipuladas, dando así una mejor adecuación a la estructura junto a la manufacturación del mismo, pues sus características se ven reflejadas en la siguiente tabla:

Tabla 9-3: Características del motor MY1016Z2 (L-FASTER).

Potencia nominal	250 W
Voltaje nominal	24 V DC
Velocidad nominal	3000 RPM
Velocidad sin carga	3850 RPM
Corriente en carga completa	≤ 13.4 A
Corriente sin carga	≤ 2.2 A
Par nominal	0.80 N.m
Eficiencia	$\geq 78\%$
Relación de transmisión	1:9.78

Fuente: Aliexpress 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

lo cual se optó por usar un actuador eléctrico “Happybuy (31251511)” que consta con las siguientes características:

Tabla 10-3: Características del actuador *Happybuy*.

Material	Aleación de aluminio
Voltaje	12V DC
Longitud de carrera	39.87 cm
Min. Longitud de retracción	57.40 cm
Max. Longitud extendida	97.54 cm
Max. Fuerza de empuje	6000 N
Max. Fuerza de tracción	4000 N
Velocidad de traslación	0.5 cm/s
Interruptor de límite	Integrado
Clase de protección	IP44
Nivel de ruido	48 dB

Fuente: Amazon 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Este dispositivo diseñado para soporte y levantamiento en camas de hospitales, elevadores, entre otros dispositivos de alto peso, permite soportar con facilidad el esfuerzo realizado para el bipedalismo siendo de esta manera un elemento preciso para el prototipo.



Ilustración 28-3: Actuador Happybuy.

Fuente: Amazon 2022

3.3.2. Ruedas

Para una adecuada selección de ruedas con funcionalidad en la bipedestadora, debemos tener en cuenta que dicho elemento deberá soportar principalmente el peso generado por la estructura, los componentes de funcionamiento y el usuario, sin ninguna complicación, lo cual permitirá que se

mantenga equilibrado, de pie y con una facilidad de manejo al momento de hablar de movilidad, pues al tener estas restricciones en cuenta, también será necesario disponer de un buen recubrimiento en goma para la resistencia en diversos terrenos, a pesar de no estar programado para algunos.

Se selecciona ruedas tipo 16T de 8 pulgadas construidas con material de espuma de poliuretano con aire y un eje central con sistema de engranaje de 10 mm como se muestra en la ilustración 29-3, para la facilidad del transporte, dicho material es permisible al soporte de carga a su vez duradero para diversos terrenos.



Ilustración 29-3: Rueda 16T.

Fuente: Aliexpress 2021

3.3.3. Batería

La batería seleccionada para la alimentación posee un voltaje de 12V de corriente continua, la cual nos permitirá energizar el sistema eléctrico y electrónico de la silla de ruedas. A su vez tendremos en cuenta que el sistema funcionará a 24V por parte de los actuadores, lo cual lleva a una conexión en serie entre dos baterías de 12V, dando el valor en voltaje necesario para la función establecida.



Ilustración 30-3: Batería de 12 V.

Realizado por:: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.3.4. PCB

Las placas de circuitos impresos o en inglés *Printed Circuit Board* (PCB), son elementos de cobre con material externo fácilmente imprimible para el diseño de circuitos electrónicos, pues estos elementos facilitaran la distribución de material electrónico en la placa, junto a las guías de corriente para su funcionamiento. Principalmente son elaborados mediante software que mejorara la distribución y colocación de los elementos. Estas placas pueden ser impresas de una sola cara o de ambas dependiendo el material que este hecho y su diseño.

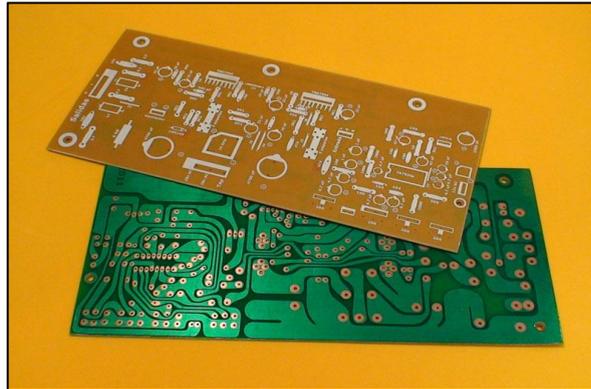


Ilustración 31-3: Placa PCB.

Fuente: Google

3.3.5. Sensores

Estos elementos disponen de un funcionamiento específico el cual es detectar el límite, dirección o característica para la cual fue diseñada, en el caso de la silla bipedestadora se implementará los siguientes sensores:

- Sensor de voltaje: Cumpliendo el objetivo de medir y controlar el paso de voltaje, este verificará y alertará mediante un *buzzer* la suficiencia de voltaje al equipo
- Sensor de corriente: Al igual que el caso anterior, cumplirá con el control de corriente, evitando una diferencia notable en los picos y valles de corriente hacia los circuitos electrónicos.
- Sensor de final de carrera: Usado para el actuador, medirá el límite máximo y mínimo en el cual el vástago se podrá desplazar según su diseño y funcionamiento para la silla de ruedas bipedestadora.
- Joystick: Se lo considera como un sensor de dirección, pues dispondrá de 6 ejes para su movimiento, los cuales generarán un pulso eléctrico hacia el arduino para su adecuada interpretación y funcionamiento según la programación.
- Porta fusibles: No necesariamente es un sensor, más bien es una protección, la cual constará para evitar daños en caso de ingreso excesivo tanto de corriente como de voltaje permitido, siendo la primera línea de protección ante el resto de los sensores.

3.4. Selección de los procesos de manufactura

Para poder realizar una manufactura adecuada de un determinado producto, se debe considerar que esta depende de una diversidad de variables, las cuales estén enfocadas a que dicho producto sea elaborado de manera correcta y eficiente, permitiendo mantener la calidad y a su vez no realizar sobrecostos en la producción, evitando malgastar el presupuesto. Se debe considerar el grado de precisión de cada elemento, la composición, el espacio de trabajo, etc. Relacionado a lo anterior el diseñador o fabricante detrás de la producción debe ser consciente de los pasos y metodología a usar, otorgando un orden adecuado al proceso.

Después de haber analizado la factibilidad constructiva, en este apartado se definirá el método de manufactura de cada uno de los elementos a construir. A continuación, se describen los procesos seleccionados para cada componente:

3.4.1. Unión mediante juntas soldadas

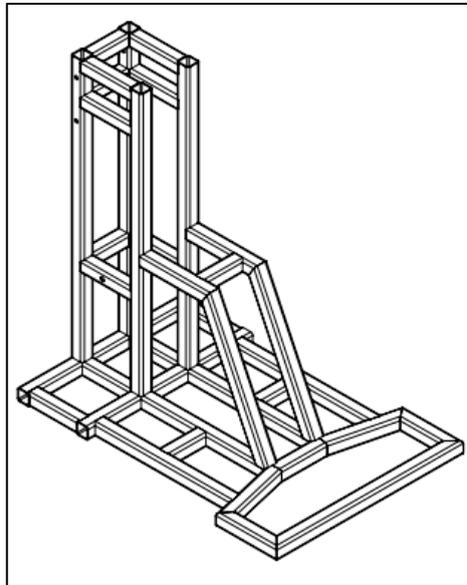


Ilustración 32-3: Chasis

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

El chasis, o base, es el elemento principal del mecanismo. Este será el encargado de transmitir las cargas generadas durante el proceso de bipedestación y por lo tanto asegurar la estabilidad del mecanismo. Como se detalló en las secciones anteriores, el material seleccionado para su construcción corresponde al acero estructural ASTM A-36. Se procederá por lo tanto al corte del tubo cuadrado en las dimensiones especificadas por el plano y siguiendo los lineamientos establecidos en la hoja de procesos de manufactura. (Revisar ANEXO D)

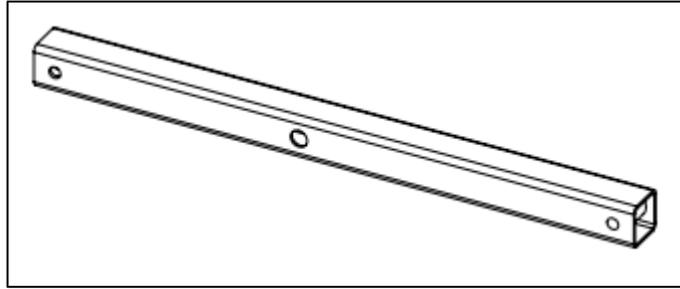


Ilustración 33-3: Brazos del mecanismo

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Siguiendo el diseño propuesto por Herrera, y en base a las modificaciones realizadas para la manufactura, los brazos que componen el mecanismo bipedestador se ensamblarán al chasis por medio de pernos y pasados estándar. (Revisar ANEXO D)

3.4.2. *Doblado de platinas*

Este proceso deberá ser llevado a cabo en frío y tiene por finalidad dar forma a componentes como: chasis de anclaje, chasis frontal y la platina de soporte de pie. Dada la geometría simple (rectangular) de los componentes antes mencionados, el corte se lo realiza mediante plasma y/o amoladora. A continuación, se muestran las ilustraciones de los componentes antes descritos:

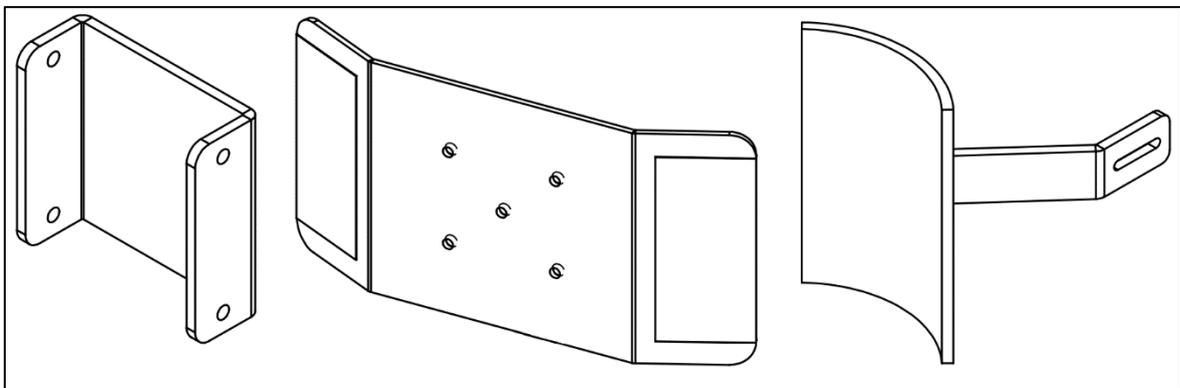


Ilustración 34-3: Elementos para conformarse mediante doblado en frío

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

El proceso se lo lleva a cabo mediante prensa hidráulica considerando las dimensiones de la chapa desplegada que se indican en los planos de detalle. Para observar mayores características y técnicas constructivas, dirigirse hacia la sección de anexos.

3.4.3. Corte y plegado de acero inoxidable

Como se mencionó en los apartados anteriores, la estructura del chasis y brazos del mecanismo estarán recubiertas por una capa de pintura electroestática para evitar los efectos corrosivos del acero ASTM A36, pero el exterior de la silla bipedestadora se deberá considerar que el material a utilizar corresponde a acero inoxidable.

Se utilizará herramientas de corte mediante láser (CO2) y plegado manual del acero inoxidable para dar forma a la chapa que recubre la estructura aportando ergonomía al diseño y manteniéndose dentro de la normativa reglamentaria para equipos de esta naturaleza. Se ilustra a continuación los elementos que serán construidos bajo estas características:

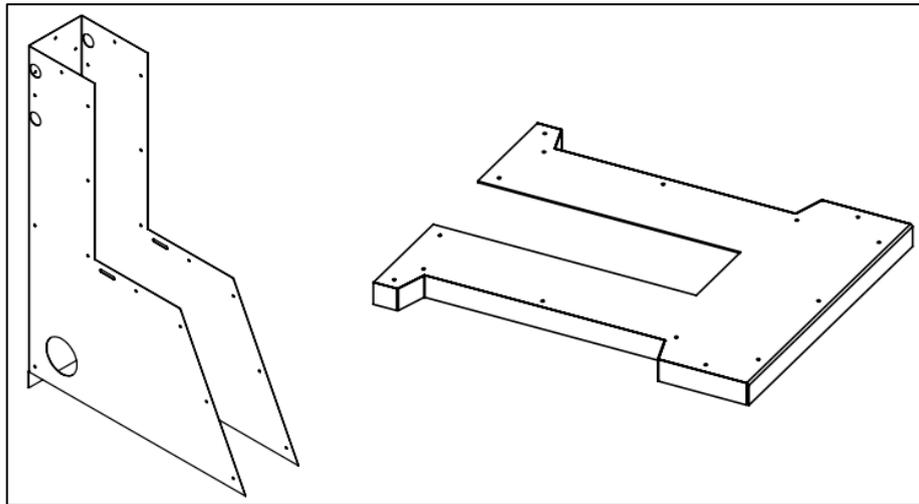


Ilustración 35-3: Elementos para conformarse mediante doblado en frío

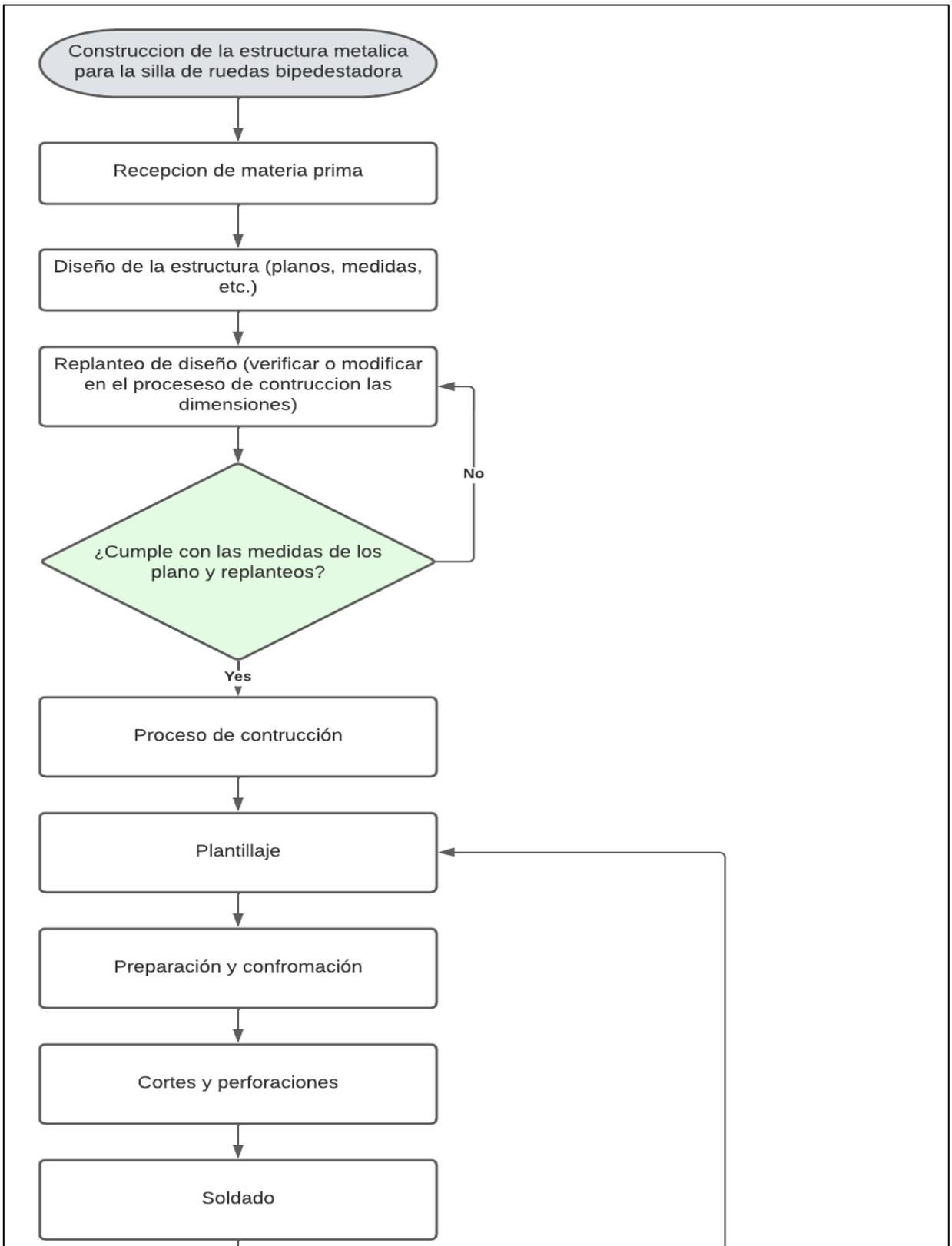
Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.5. Fabricación

Al haber seleccionado cada material y complementado con lo visto en el trabajo de Herrera (2021), se puede proceder a la construcción, la cual estará dispuesta con un proceso basado en clasificación de procesos de producción, siendo esta una guía para la fabricación, pues mantendrá un orden específico a cada una de las actividades a realizar.

3.5.1. Descripción del proceso constructivo

El diagrama se utiliza para poder entender y comprender la elaboración del proceso, en una perspectiva general, facilitando de esta manera una mayor comprensión el momento de replicar el procedimiento de fabricación para otros productos.



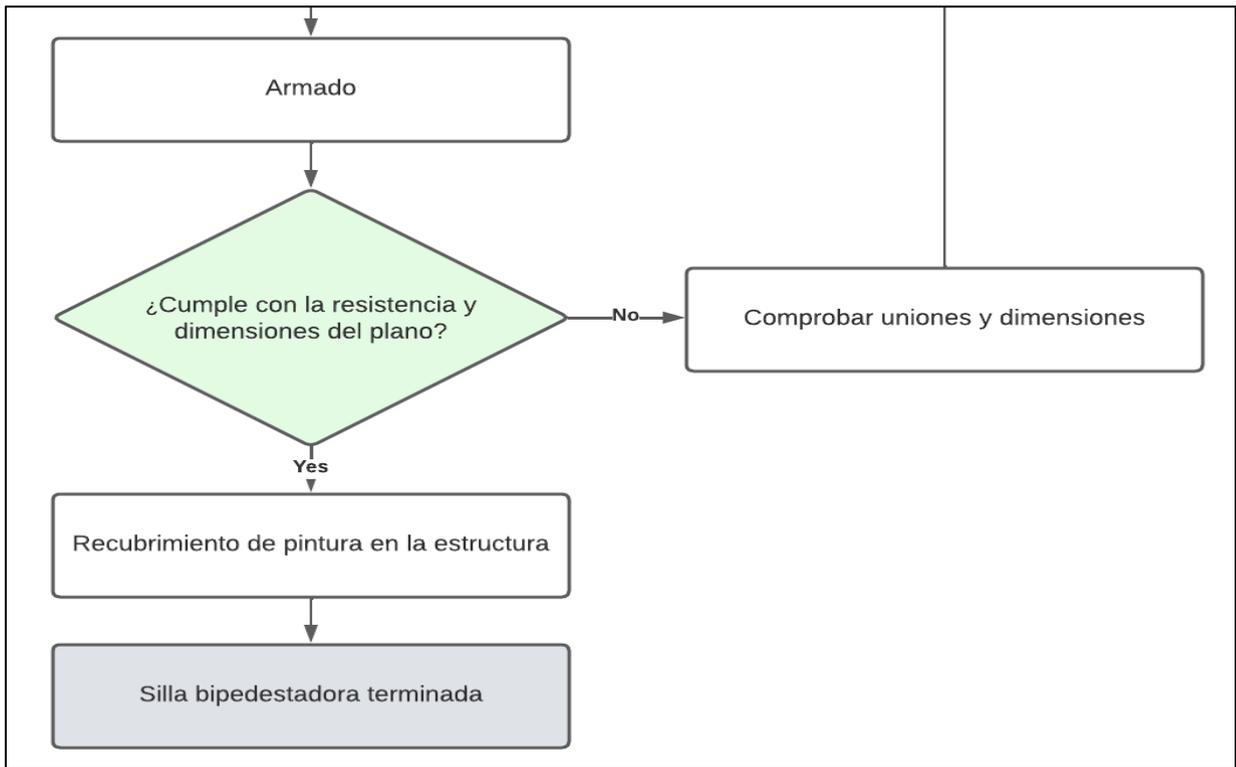


Ilustración 36-3: Diagrama de procesos

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 11-3: Descripción de construcción de la estructura de silla bipedestadora.

# Paso	Proceso	Herramientas	Maquinaria	Tiempo (h)
E1	Revisión de diseños			0,17
E2	Corte de tubos cuadrados	<ul style="list-style-type: none"> • Sierra con arco • Cinta métrica • Escuadras 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora 	1,03
E3	Corte y destaje de ángulos de inclinación en tubos rectangulares	<ul style="list-style-type: none"> • Sierra con arco • Cinta métrica • Escuadras 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora 	0,93
E4	Ubicar y acomodar las piezas cortadas de tubo cuadrado	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadra • Ángulos • Cinta métrica 		0,48
E5	Acomodar la porta electrodos y la pinza	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadora eléctrica 	0,13
E6	Soldar componentes para la base	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Elementos de protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadora eléctrica 	0,83
E7	Pulir las secciones soldadas	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillo con dientes metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora • Esmeril 	0,20

E8	Revisión de uniones y quitar escoria	<ul style="list-style-type: none"> • Piqueta 		0,13
E9	Acomodamos las pizas para el soporte de bipedestación	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadra • Ángulos • Cinta métrica 		0,07
E10	Soldamos las pizas para el soporte de bipedestación	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Elementos de protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadora eléctrica 	0,42
E11	Pulimos las secciones soldadas	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillo con dientes metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora • Esmeril 	0,15
E12	Revisión de uniones y quitar escoria	<ul style="list-style-type: none"> • Piqueta 		0,17
E13	Levantamos la estructura de soporte, y encajamos con la parte de la base	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadras • Cinta métrica 		0,08
E14	Soldamos ambas estructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Elementos de protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadora eléctrica 	0,33
E15	Pulimos las secciones soldadas	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillo con dientes metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora • Esmeril 	0,12
E16	Revisión de uniones y quitar escoria	<ul style="list-style-type: none"> • Piqueta 		0,20
E17	Doblamos el tubo redondo que dará forma a la agarradera para movilizar la silla de ruedas	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadras • Cinta métrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Dobladora 	0,33
E18	Doblamos las placas que tienen contacto con el usuario a bipedestación	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadras • Cinta métrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Dobladora 	0,53
E19	Ubicamos y acomodamos los elementos para la sección de empuje y movilidad de la silla de ruedas	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadras • Cinta métrica 		0,10
E20	Soldamos los elementos de la sección de empuje y de contacto con el usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Elementos de protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadora eléctrica 	0,25
E21	Pulimos las secciones soldadas	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillo con dientes metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora • Esmeril 	0,08
E22	Revisión de uniones y quitar escoria	<ul style="list-style-type: none"> • Piqueta 		0,08
E23	Ajustamos y acomodamos el elemento de empuje con la estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadras • Cinta métrica 		0,12
E24	Soldamos ambos elementos	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Elementos de protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadora eléctrica 	0,17

E25	Pulimos las secciones soldadas	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillo con dientes metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora • Esmeril 	0,08
E26	Revisión de uniones y quitar escoria	<ul style="list-style-type: none"> • Piquete 		0,08
E27	Realizamos la perforación para los pernos que permitirán el movimiento del brazo bipedestador	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadra • Cinta métrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Taladro 	0,37
E28	Unimos los elementos del brazo y la estructura mediante pernos	<ul style="list-style-type: none"> • Llaves 		0,33
E29	Verificamos el soporte de las soldaduras			0,08
E30	Limpieza de la estructura en zonas con corrosión y escorias por corte o soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Espátula • Limas 	<ul style="list-style-type: none"> • Compresor de aire 	0,60
E31	Lijar secciones donde existan fallas de soldadura o rebabas de corte	<ul style="list-style-type: none"> • Lija 	<ul style="list-style-type: none"> • Moladora 	0,75
E32	Preparar la estructura y laminas para las capas de pintura			0,17
E33	Preparar las placas y laminas para las capas de pintura			0,17
E34	Pintado de la estructura y laminas	<ul style="list-style-type: none"> • Pintura 	<ul style="list-style-type: none"> • Compresor de aire 	0,42
E35	Verificación de fallas en pintura			0,17
Tiempo en horas (estructura)				10,34

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 12-3: Descripción de mecanizado de placas para silla bipedestadora.

# Paso	Proceso	Herramientas	Maquinaria	Tiempo (h)
M1	Revisión de diseños			0,17
M2	Inspección de la maquinaria antes de encender		<ul style="list-style-type: none"> • Maquina CNC 	0,25
M3	Encender la maquinaria		<ul style="list-style-type: none"> • Maquina CNC 	0,9
M4	Colocar o verificar que estén las herramientas necesarias para el corte	<ul style="list-style-type: none"> • Puntas de cortes 	<ul style="list-style-type: none"> • Maquina CNC 	0,9
M5	Insertar y verificar la programación		<ul style="list-style-type: none"> • Maquina CNC 	0,25

M6	Cuadrar material a cortar y sujetar	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadras • Cinta métrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Maquina CNC 	0,15
M7	Encerar las coordenadas		<ul style="list-style-type: none"> • Maquina CNC 	0,8
M8	Corte del material		<ul style="list-style-type: none"> • Maquina CNC 	0,35
M9	Limpieza del material y maquinaria	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillos 		0,18
Tiempo en horas (CNC)				3,95

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

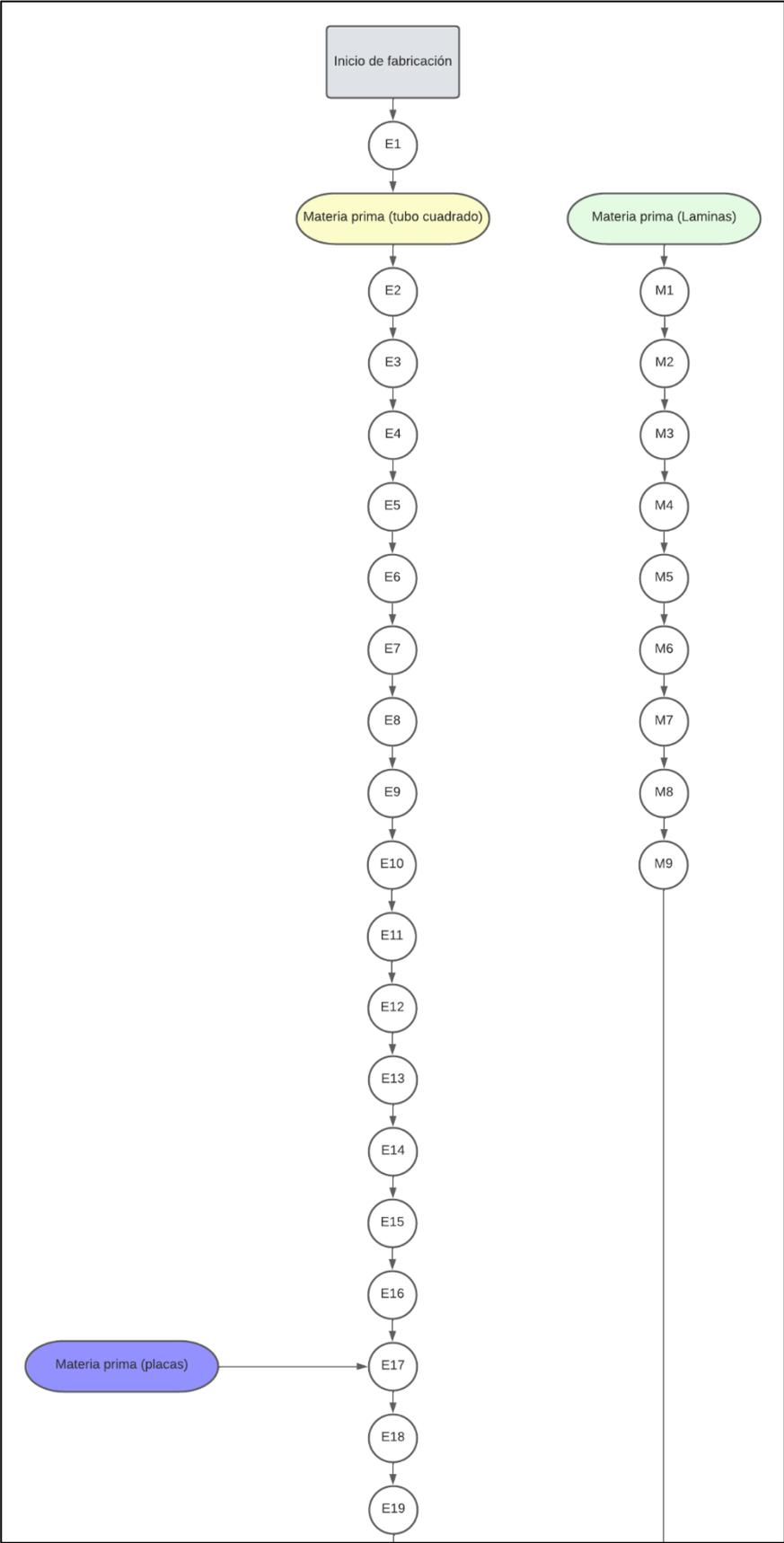
Tabla 13-3: Descripción del ensamble de la silla bipedestadora.

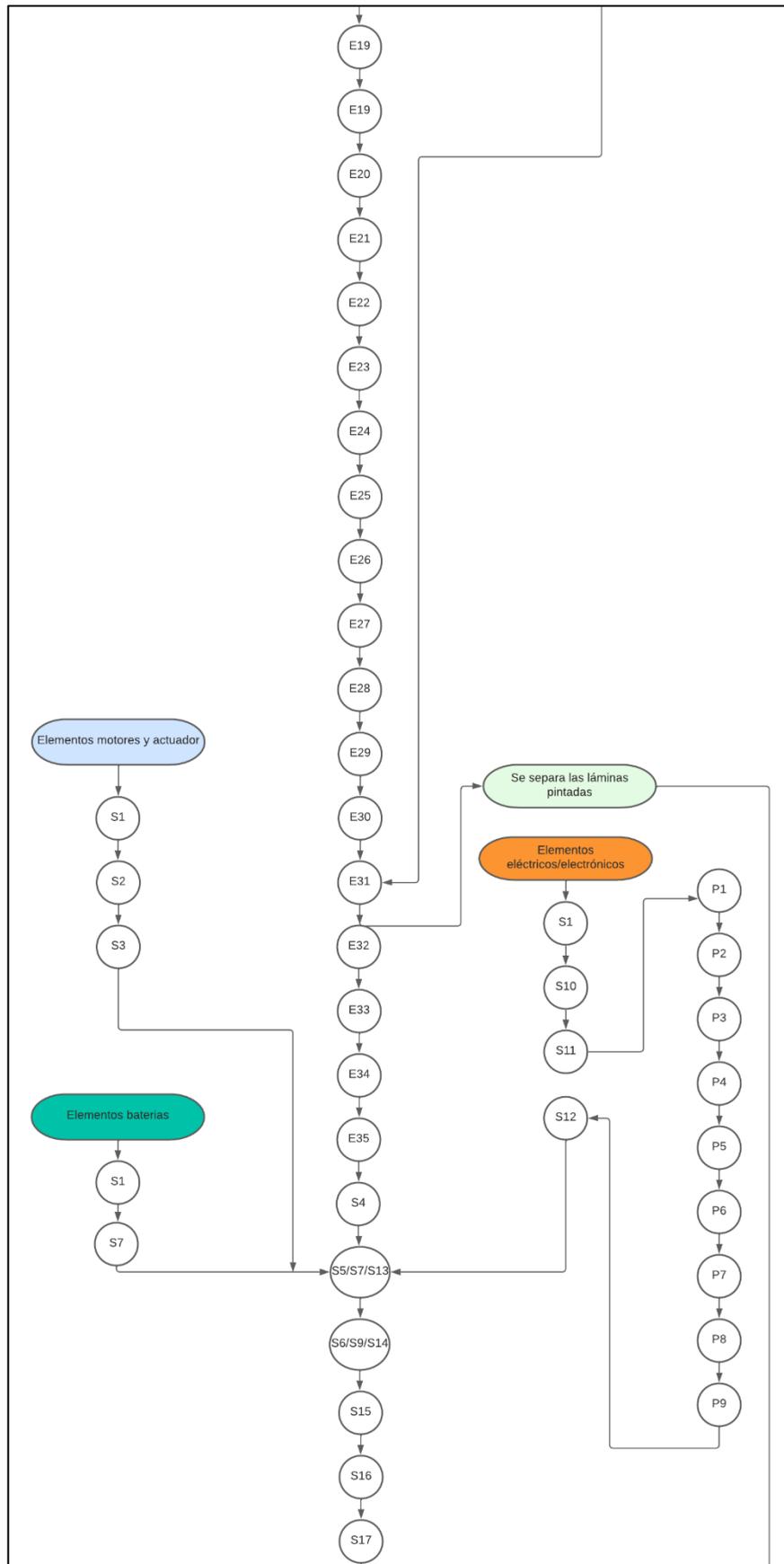
# Paso	Proceso	Herramientas	Maquinaria	Tiempo (h)
S1	Revisión de diseños			0,17
S2	Colocar llantas y sistema de transmisión en los motores	<ul style="list-style-type: none"> • Destornillador • Llaves 		0,85
S3	Verificar el funcionamiento de las llantas y sistema de transmisión			0,10
S4	Colocar motores y actuador	<ul style="list-style-type: none"> • Cinta métrica • Escuadras 		0,20
S5	Sujetar motores y actuador	<ul style="list-style-type: none"> • Destornillador • Llaves 		0,35
S6	Probar funcionamiento de cada elemento		<ul style="list-style-type: none"> • Multímetro 	0,35
S7	Ubicación de baterías	<ul style="list-style-type: none"> • Cinta métrica • Escuadras 		0,18
S8	Sujeción de baterías a la estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Destornillador • Llaves 		0,20
S9	Comprobación del funcionamiento de baterías		<ul style="list-style-type: none"> • Multímetro 	0,10
S10	Inserción de código en arduino	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino 		0,10
S11	Ensamblado de placa electrónica PCB	<ul style="list-style-type: none"> • Cautín • Destornillador • Alicata • Pinzas • Cables de corriente 		1,15
S12	Verificación del funcionamiento de la placa electrónica PCB		<ul style="list-style-type: none"> • Multímetro 	0,20

S13	Ubicación de sensores, elementos de interacción con el usuario y placa electrónica	<ul style="list-style-type: none"> • Cinta métrica • Escuadras 		0,36
S14	Sujeción de sensores, elementos de interacción con el usuario y placa electrónica	<ul style="list-style-type: none"> • Destornillador • Llaves 		0,45
S15	Unión eléctrica entre los componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Destornillador • Llaves • Alicata • Pinzas 		1,20
S16	Comprobación del funcionamiento correcto del sistema eléctrico/electrónico		<ul style="list-style-type: none"> • Multímetro 	0,5
S17	Protección y sellado de los circuitos	<ul style="list-style-type: none"> • Taípe • Destornillados • Llave • Estilete 		0,5
S18	Ubicación y colocación de placas exteriores	<ul style="list-style-type: none"> • Cinta métrica • Escuadras 		1
S19	Ensamble de placas con la estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Cinta métrica • Escuadras 		0,40
S20	Verificación de la estructura total			0,20
Tiempo en horas (ensamble)				8,56

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022





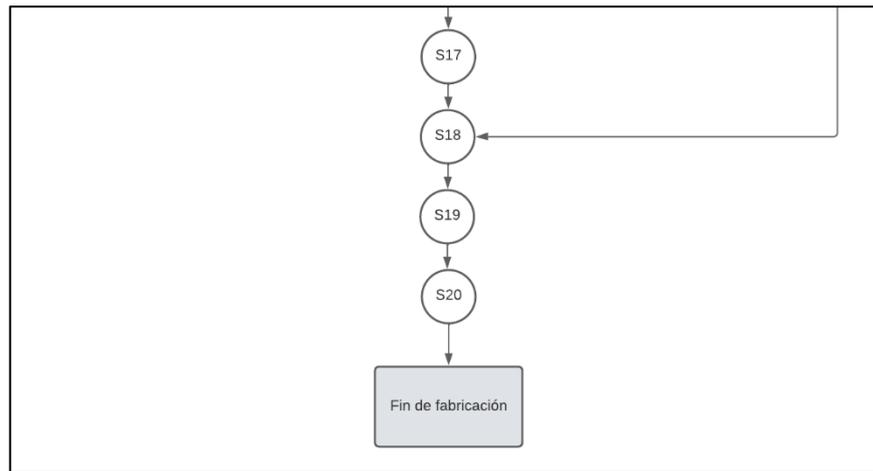


Ilustración 37-3: Flujograma de procesos fabricación de silla de rueda bipedestadora

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6. Sistema eléctrico y electrónico

3.6.1. Ubicación y sujeción del actuador

El actuador es la parte fundamental para la bipedestación, este se alinearán con la columna de la estructura para poder producir una fuerza pertinente tanto para el alza como la baja del brazo de bipedestación, el sistema funcionará con una conexión con relé para el control de la extensión y contracciones tubo incorporado en el actuador. El sistema funcionara a 12V, lo cual viene incorporado con la conexión directa de una sola batería.

3.6.2. Ubicación y sujeción de baterías

Las baterías de 12 voltios cada uno, dispondrán de dos conexiones, una directa para la obtención de 12 voltios, y otra en serie para los 24 voltios, permitiendo abastecer de los diversos voltajes a los actuadores y motores. Con un circuito regulador se logrará mantener una línea estable de suministro de energía, evitando picos elevados o bajos que puedan afectar principalmente a circuitos electrónicos.

3.6.3. Código en Arduino

El cerebro principal y funcional para el objetivo de la estructura bipedestadora, será el sistema de Arduino, más específico un modelo nano, este dispondrá de característica ya establecidas por el fabricante, el cual, mediante el lenguaje de programación expuesto a continuación, logrará comandar e interpretar las señales del usuario al momento del control.

3.6.4. Fabricación de PCB

La elaboración de placas PCB (*Printed Circuit Board*) diseñadas en software, permite imprimir de manera más exacta las conexiones hacia cada elemento electrónico, integrado con el funcionamiento del arduino nano, permitiendo generar el CPU del bipedestador para la interacción y correlación de los elementos de acción, como son los motores y el actuador.

El procedimiento nombrado ensamble de placa electrónica PCB (S11) del diagrama de proceso (ilustración 37-3), y la tabla 14-3, presenta un sistema de proceso aun mayor, el cual en su totalidad tendrá un tiempo estimado de fabricación de 1,15 horas, en la tabla a continuación se observa el proceso interno establecido para la elaboración y ensamble de la placa PCB funcional:

Tabla 14-3: Descripción de ensamble de PCB

# Paso	Proceso	Herramientas	Maquinaria	Tiempo (h)
P1	Limpieza de placa PCB	<ul style="list-style-type: none"> Lija 		0,07
P2	Impresión del diseño en placa PCB	<ul style="list-style-type: none"> Papel especial 	<ul style="list-style-type: none"> Impresora Sistema de transferencia de calor 	0,08
P3	Quemado del diseño en placa PCB	<ul style="list-style-type: none"> Cloruro férrico 		0,23
P4	Inspección			0,02
P5	Perforación de cada agujero relacionado a la ubicación para los elementos electrónicos		<ul style="list-style-type: none"> Taladro de mano 	0,22
P6	Inspección y limpieza de rebabas	<ul style="list-style-type: none"> Lija Cepillo 		0,02
P7	Ubicación de cada elemento electrónico	<ul style="list-style-type: none"> Pinzas 		0,17
P8	Soldadura de los elementos electrónicos a la placa PCB	<ul style="list-style-type: none"> Estaño Pasta para soldar 	<ul style="list-style-type: none"> Cautín 	0,33
P9	Inspección y limpieza de soldaduras	<ul style="list-style-type: none"> Cepillo Alcohol 		0,02
Tiempo en horas (ensamble)				1,15

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

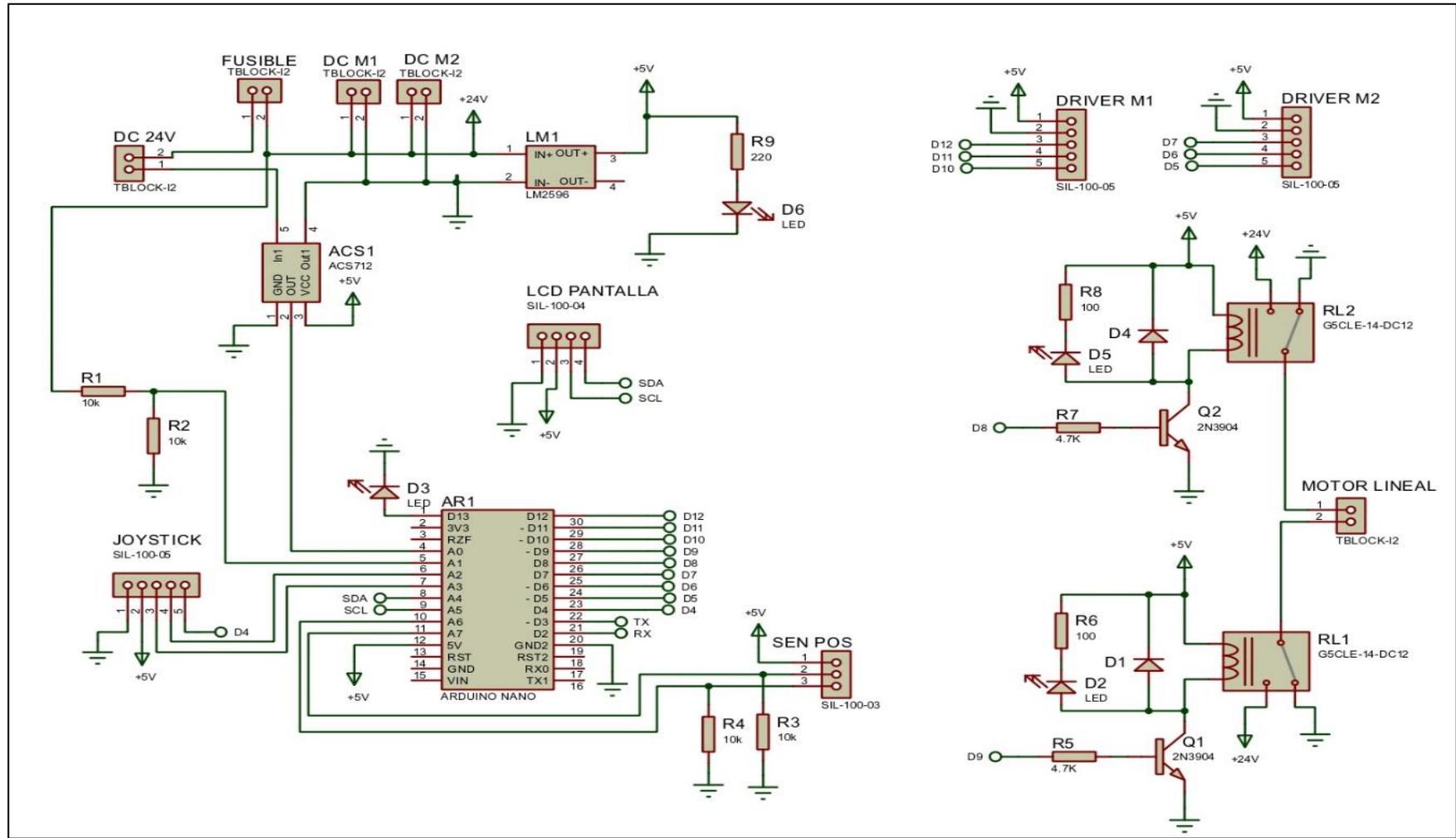


Ilustración 38-3: PCB para la silla bipedestadora (diagrama del circuito)

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

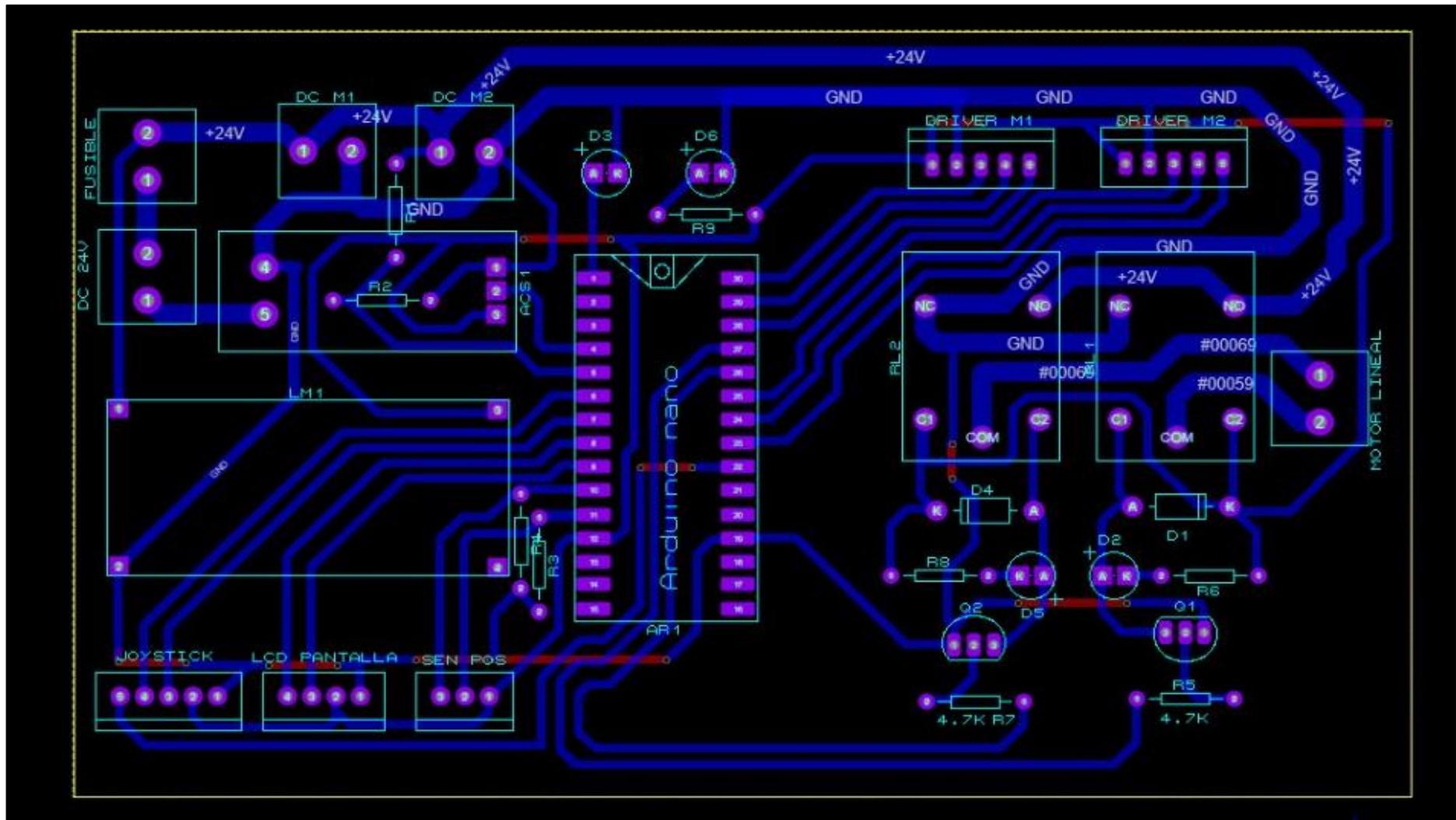


Ilustración 39-3: PCB para la silla bipedestadora (diagrama de conexiones)

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

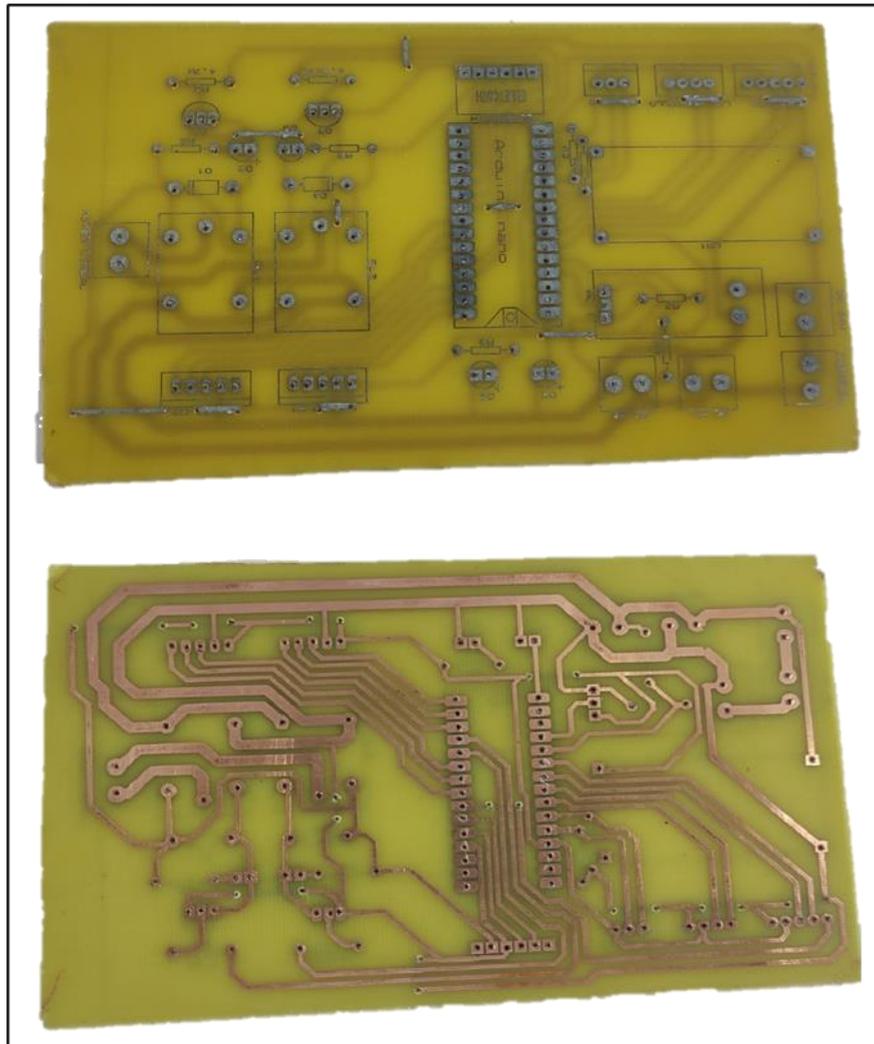


Ilustración 40-3: PCB para la silla bipedestadora

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

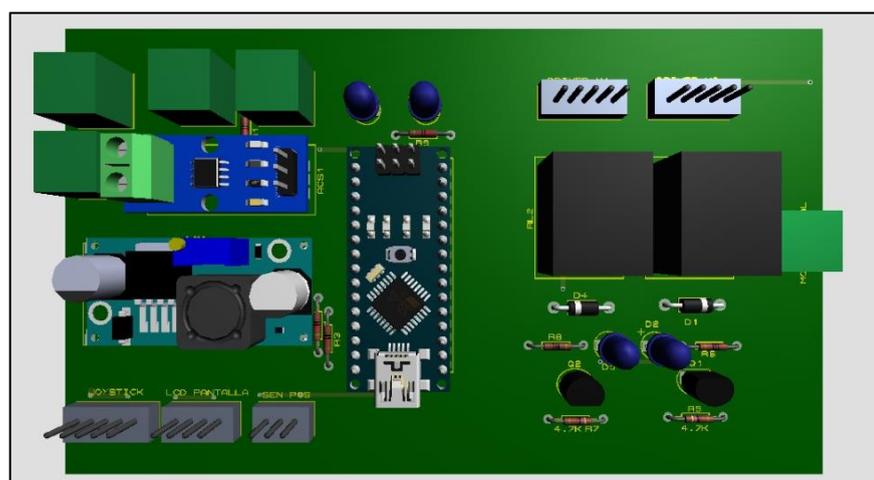


Ilustración 41-3: Simulación 3D de PCB ensamblada para la silla bipedestadora

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 15-3: Componentes electrónicos para PCB

Elementos	Cantidad
Pantalla OLED (0,69 in)	1
Fuente Buck LM2596	1
Sensor de corriente ACS712	1
Drive BTS7963	2
Joystick	1
Sensor fin de carrera	2
Arduino	1
Relés	2
Resistencia de 100 ohm	2
Resistencia de 220 ohm	1
Resistencia de 4,7 Kohm	2
Resistencia de 10 Kohm	4
Transistores 2N3904	2
Fusible	1
LEDS	4
Diodos	2
Borneras	10
Socket 30 pines	1

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6.4.1. Pantalla OLED

La pantalla OLED de 0.69 pulgadas, servirá como un indicador pertinente al consumo de voltaje y amperaje de la silla de ruedas, también mostrando el porcentaje de energía en las baterías, este dispositivo contara con una conexión tipo I2C el cual facilita el comando de control mediante los puertos SDA y SCL, siendo estos las medidas de protocolo que funcionaran para la representación visual de los datos.



Ilustración 42-3: Pantalla OLED

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 16-3: Características de pantalla OLED

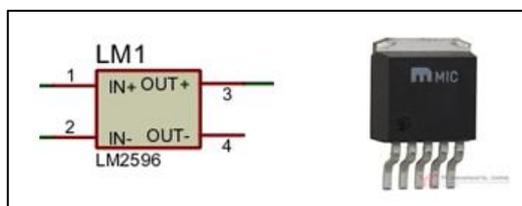
Características	
IC	SSD1306
Pantalla	OLED
Brillo	150 cd/m ²
Temperatura de operación	-40 °C a 70 °C
Relación de contraste	10000:1
Dimensión	0,69 in
Resolución	96:16
Voltaje	3.0 a 5.5 V
Interfaz	IIC
Protocolo	I2C
Color de luz de fondo	Azul

Fuente: Alldatasheet, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6.4.2. Fuente Buck LM2596

El elemento LM2596, es un integrado regulador de corriente, funcional como un puente H, permitiendo que la salida del voltaje sea directa y regulable según la numeración del elemento.

**Ilustración 43-3:** Fuente Buck LM2596

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 17-3: Características de LM2596

Características	
Serie	LM2596
Voltaje de entrada	4 V a 40 V
Voltaje salida	5 V
Tipo de voltaje	Continuo positivo
Temperatura de funcionamiento	-40 °C a 125 °C
Corriente salida	3 amperios

Fuente: Alldatasheet, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6.4.3. Sensor de corriente ACS712

La placa integrada conocida como ACS712 funcionará como un sensor que permita medir el flujo de corriente pertinente en el circuito, esta medición permitirá visualizarla en una pantalla configurable.

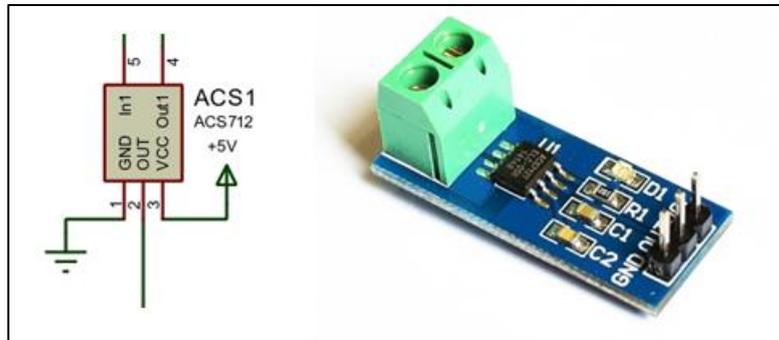


Ilustración 44-3: Sensor de corriente ACS712

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 18-3: Características de ACS712

Características	
Serie	ACS712
Voltaje de entrada	-5 a 5 V
Amperaje soportado	30 amperios
Temperatura de operación	-40 °C a 85 °C
Salida analógica	100 mV/A
Indicador	OLED

Fuente: Alldatasheet, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6.4.4. Drive BTS7963

Los drives BTS7963 permitirá controlar el giro de los motores ubicados para el desplazamiento de la silla de ruedas, a su vez controlaran la velocidad en la cual se moverá la silla.

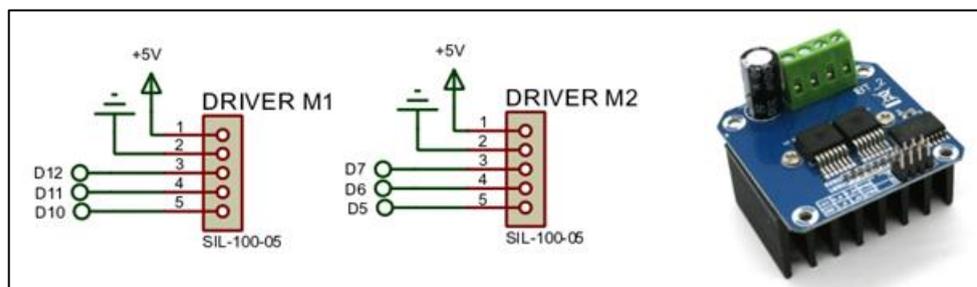


Ilustración 45-3: Drive BTS7963

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 19-3: Características de BTS7963

Características	
Serie	Puente H BTS7963
Voltaje de operación	5 a 27 V
Amperaje soportado	43 amperios
Temperatura de operación	-40 °C a 100 °C
Frecuencia de reloj	25 KHz

Fuente: Alldatasheet, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6.4.5. Joystick

El joystick dispondrá de la función para movilizar y dar indicaciones de dirección a los motores de la silla de bipedestadora, este dispondrá de una velocidad variable al momento de aumentar la coordenada en Y siendo más veloz o menos veloz, pero contrario a lo antes mencionado, la capacidad del eje X estará controlada a una velocidad más limitada, evitando así giros veloces que puedan desequilibrar la estructura y lastimar al usuario.

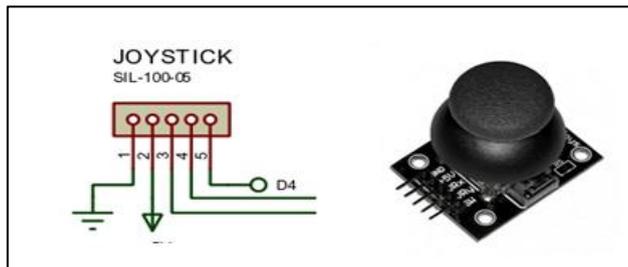


Ilustración 46-3: Joystick

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 20-3: Características joystick

Características	
Serie	Joystick para arduino
Voltaje de operación	5 V
Amperaje soportado	3 amperios
Temperatura de operación	-40 °C a 100 °C

Fuente: Alldatasheet, 2021

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6.4.6. Circuito de funcionamiento para el actuador

El circuito para hacer funcionar el actuador estará a cargo de una configuración en base a relés, que permitirán recoger la señal de fin de carrera e ir alternando la conexión para que este se eleve o se contrae según el comando de joystick.

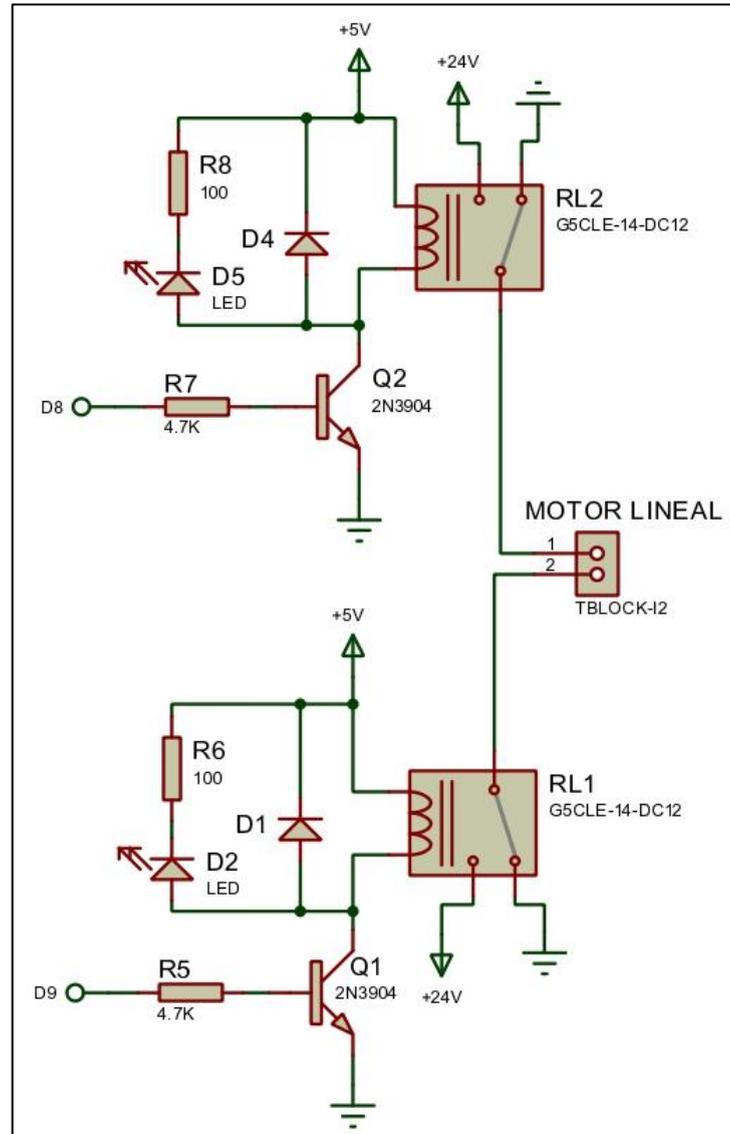


Ilustración 47-3: Diagrama de control para el actuador

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.6.4.7. Arduino nano

El sistema de placa Arduino es un elemento tipo CPU, conformado por un PIC de control, el cual mediante un lenguaje de programación permitirá la ubicación de comandos pertinentes para sus diversas entradas y salidas, este elemento funciona y dispone las siguientes características:

Tabla 21-3: Características de arduino nano.

Microcontrolador	ARmega328
Arquitectura	AVR
Voltaje de operación	5 voltios
Memoria	32 kb, ocupando 2kb por Bootloader
SRAM	2kb
Velocidad de reloj	16 MHz
Pines de E/S analógicos	8
EEPROM	1 kb
Corriente continua por pin E/S	40 mA
Voltaje de entrada	7-12 voltios
Pines de E/S digitales	22
Salida PWM	6
Consumo de energía	19 mA
Tamaño de la placa	18 x 45 mm
Peso	7 gramos

Fuente: Damián, 2020

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

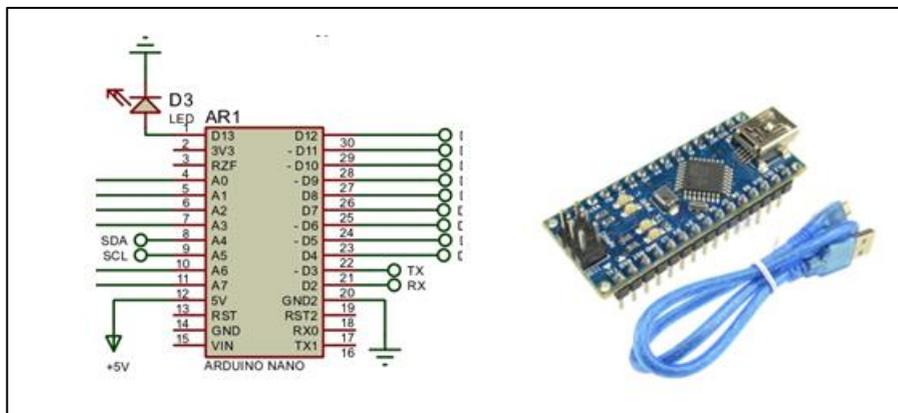


Ilustración 48-3: Arduino nano

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.7. Costos

Se debe tener en cuenta los diversos costos que se obtuvieron a lo largo de la fabricación con la finalidad de promediar o realizar presupuestos de manufacturación pertinentes para un proyecto en construcción a futuro.

3.7.1. Costos directos

3.7.1.1. Costos de materiales

Tabla 22-3: Tabla de costos de materiales.

N°	Descripción	Cantidad	Unidades	Costo unitario	Costo total
1	Tubo cuadrado estructural ASTM A36 (30x30x2 mm)	12	m	\$ 2,87	\$ 34,44
2	Tubo cuadrado estructural ASTM A36 (25x25x2 mm)	6	m	\$ 2,74	\$ 16,44
3	Suelda 6011*1/8	8	lb	\$ 1,60	\$ 12,80
5	Plancha acero inoxidable AISI 316 (espesor 1 mm)	0,5	plancha	\$ 190,00	\$ 95,00
6	Placa de AISI 1020 5 mm espesor	0,25	plancha	\$ 25,00	\$ 6,25
7	Platina AISI 1020	0,5	m	\$ 4,00	\$ 2,00
9	Perno AISI 316 - M8 x 1.25 x 70	4	unidad	\$ 2,89	\$ 11,56
10	Perno AISI 316- M8 x 1.25 x 50	8	unidad	\$ 2,54	\$ 20,32
11	Perno AISI 316- M12 x 1.25 x 70	2	unidad	\$ 2,34	\$ 4,68
13	Perno AISI 316- M6 x 1.0 x 70	2	unidad	\$ 2,29	\$ 4,58
14	Pantalla OLED (0,69 in)	1	unidad	\$ 5,50	\$ 5,50
15	Fuente Buck LM2596	1	unidad	\$ 3,50	\$ 3,50
16	Sensor de corriente ACS712	1	unidad	\$ 7,00	\$ 7,00
18	Drive BTS7963	2	unidad	\$ 19,25	\$ 38,50
19	Joystick	1	unidad	\$ 2,00	\$ 2,00
20	Sensor fin de carrera	2	unidad	\$ 4,25	\$ 8,50
22	Arduino nano	1	unidad	\$ 16,00	\$ 16,00
23	Relés	2	unidad	\$ 1,10	\$ 2,20
24	Resistencia de 100 ohm	2	unidad	\$ 0,03	\$ 0,06
26	Resistencia de 220 ohm	1	unidad	\$ 0,03	\$ 0,03
27	Resistencia de 4,7 Kohm	2	unidad	\$ 0,05	\$ 0,10
28	Resistencia de 10 Kohm	4	unidad	\$ 0,05	\$ 0,20
29	Transistores 2N3904	2	unidad	\$ 0,10	\$ 0,20
31	Porta fusibles	1	unidad	\$ 0,25	\$ 0,25
32	Fusible 5 A	1	unidad	\$ 0,50	\$ 0,50
33	LEDS	4	unidad	\$ 0,10	\$ 0,40
35	Diodos	2	unidad	\$ 0,05	\$ 0,10
36	Borneras	10	unidad	\$ 0,15	\$ 1,50
37	Placa PCB	1	unidad	\$ 4,55	\$ 4,55
39	Sockets 30 pines	1	unidad	\$ 0,50	\$ 0,50
40	Batería 12 v	2	unidad	\$ 27,00	\$ 54,00
41	Rueda 16T (8 in, con eje de 10 mm)	4	unidad	\$ 22,00	\$ 88,00
42	Actuador	1	unidad	\$ 96,00	\$ 96,00
44	Motor MY1016Z2 (24 V, 250 W)	2	unidad	\$ 105,27	\$ 210,54
45	Cadenas (300 mm)	2	unidad	\$ 18,22	\$ 36,44
46	Controlador de motor con cable fusible	2	unidad	\$ 24,02	\$ 48,04

48	Fusible 15 A	1	unidad	\$ 0,68	\$ 0,68
49	Pintura electroestática	5	kg	\$ 7,13	\$ 35,65
TOTAL					\$ 869,01

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.7.1.2. Costos de la mano de obra

Tabla 23-3: Tabla de costos de mano de obra.

N°	Descripción	Salario/hora	Horas hombre	Costo total
1	Diseñador CAD/CAM	\$ 5,00	8	\$ 40,00
2	Técnico en corte CNC	\$ 20,00	2,5	\$ 50,00
3	Soldador	\$ 4,00	9	\$ 36,00
4	Especialista en metalmecánico	\$ 10,00	25	\$ 250,00
5	Eléctrico/electrónico	\$ 14,00	5	\$ 70,00
6	Programador arduino	\$ 25,00	3	\$ 75,00
7	Pintor especializado en pintura electroestática)	\$ 33,47	3	\$ 100,40
TOTAL				\$ 621,40

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.7.1.3. Costos de equipos y herramientas

Tabla 24-3: Tabla de costos de equipos y herramientas.

N°	Descripción	Costo/hora	Horas maquina	Costo total
1	Soldadora eléctrica	\$ 2,50	9	\$ 22,50
2	Maquina CNC de corte laser	\$ 25,00	2,5	\$ 62,50
3	Dobladora de muelas	\$ 3,85	2	\$ 7,70
4	Torno	\$ 21,67	6	\$ 130,00
5	Taladro de mano	\$ 1,40	5	\$ 7,00
6	Taladro de pedestal	\$ 1,75	1	\$ 1,75
7	Flexómetro	\$ 0,82	5	\$ 4,10
8	Calibrador pie de rey	\$ 0,88	5	\$ 4,40
9	Escuadra	\$ 0,85	2	\$ 1,70
10	Pulidora	\$ 1,20	2	\$ 2,40
11	Amoladora	\$ 1,25	2	\$ 2,50
12	Esmeril	\$ 1,15	2	\$ 2,30
13	Compresor	\$ 1,60	3	\$ 4,80
14	Cautín	\$ 0,55	2	\$ 1,10
15	Pistola de pintura electroestática	\$ 4,65	3	\$ 13,95
16	Lijadora	\$ 0,66	1	\$ 0,66
17	Herramientas varias	\$ 1,27	5	\$ 6,35
TOTAL				\$ 275,71

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.7.1.4. Costo de transporte

Tabla 25-3: Tabla de transporte.

N°	Material	Costo de transporte/importación
1	Actuador	\$ 54,00
2	Motor MY1016Z2 (24 V, 250 W)	\$ 138,83
3	Cadenas	\$ 41,65
4	Controlador de motor con cable fusible	\$ 9,08
5	Rueda 16T (8 in, con eje de 10 mm)	\$ 77,42
6	Cortes en acero inoxidable AISI 316	\$ 15,00
TOTAL		\$ 335,98

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.7.1.5. Costo total directo

Tabla 26-3: Tabla de costos directos.

Costo material	\$ 869,01
Costo mano de obra	\$ 621,40
Costo maquinaria y herramientas	\$ 275,71
Costo transporte	\$ 335,98

TOTAL COSTOS DIRECTOS	\$ 2.102,10
------------------------------	--------------------

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.7.2. Costos indirectos

Tabla 27-3: Tabla de costos indirectos.

Elemento	Valor
Movilidad	\$ 35,00
Gastos varios	\$ 70,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	\$ 105,00

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 28-3: Tabla de costos de imprevistos.

Elemento	Porcentaje	Valor
Imprevistos	12%	\$ 200,00
TOTAL		\$ 200,00

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

3.7.3. *Costos totales*

Tabla 29-3: Tabla de costos totales.

Costos directos	\$ 2.102,10
Costos indirectos	\$ 105,00
Costos de imprevistos	\$ 200,00
COSTO TOTAL	\$ 2.407,10

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Parámetros para el diseño de un bipedestador

Para la fabricación de la silla de ruedas bipedestadora se tomó en cuenta diversas variables como lo son: aspectos mecánicos, médicos, ergonómicos, antropométricos, entre otros. Siendo esta una forma de canalizar adecuadamente los objetivos del proyecto en el elemento funcional permitiendo, no solo explicar en este capítulo los resultados conseguidos en la estructura, sino también los datos generales en el ámbito estadístico y de calidad establecidos para el proyecto y el usuario. Además, generar resultados útiles para futuros estudios o mejoras del diseño.

Se puede analizar que el mecanismo construido cumple con los parámetros de calidad establecidos en los capítulos anteriores, junto a la funcionalidad pertinente. Es decir, la facilitación de la postura bípeda por parte del usuario constituyó el enfoque central de la investigación, sin embargo, se necesita verificar las condiciones ergonómicas por parte de toma de datos experimentales del funcionamiento.

4.2. Resultados metodología Kano

La metodología Kano se utilizó como una herramienta de comprobación de la calidad para un grupo de usuarios, mediante un cuestionario previamente realizado. Esto pensado en conseguir mejoras futuras de los diversos componentes estructurales, electrónicos, y de confort de la silla bipedestadora.

4.2.1. *Requerimiento del producto*

Se consideró una diversidad de características directamente correlacionadas a las preguntas generadas para la metodología Kano, dado que estas describen una directriz de la silla bipedestadora, siendo observaciones del sistema estructural y funcional. Para un mejor entendimiento del usuario estas se muestran en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Características y requerimientos de la silla de rueda bipedestadora.

Características	Requerimientos
Capacidades	Capacidad para bipedestar Sistema mecánico de bipedestación Sistema electrónico y eléctrico de bipedestación
Material (construcción)	Soporte de la estructura Resistencia a la humedad y oxidación Resistencia mecánica
Elementos de movilidad	Carga de soporte en ruedas Velocidad de reacción eléctrica/electrónica Velocidad y fuerza en la movilidad

Seguridad	Equilibrio del sistema estructural Confort
Adaptabilidad	Estandarización a condiciones de usuario Facilidad de uso

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.2. Construcción del cuestionario Kano

Al momento de elaborar las preguntas, estas se centraron en los parámetros de la tabla mencionada en el punto anterior, permitiendo un enfoque en secciones u objetivos dirigidos tanto para un diseño mejorable a futuro en otros modelos, como para la adaptabilidad y el confort del usuario.

Se debe tener en cuenta que la metodología Kano, distribuye la selección de datos encuestados en una tabla de 5 elementos los cuales son:

- A: Atractivo
- M: Obligatorio
- R: Opuesto
- O: Unidimensional
- Q: Cuestionable
- I: Indiferente

Se mantiene las características de preguntas de un rango agradable a uno desagradable, siendo 1 el valor más favorable ante la pregunta (me gustaría) hasta el 5 siendo el valor menos favorable de esta (no lo necesito ni me gusta), permitiendo clasificar dicha interacción entre la pregunta positiva y negativa como se muestra en la siguiente ilustración.

ATRIBUTOS			Requerimientos Disfuncionales (Negativas)				
			Me gustaría	Seria bueno	Me es indiferente	No me gusta, pero lo acepto	No acepto que sea de esa manera
			1	2	3	4	5
Requerimientos Funcionales (Positivas)	Me gustaría	1	Q	A	A	A	O
	Seria bueno	2	R	I	I	I	M
	Me es indiferente	3	R	I	I	I	M
	No me gusta, pero lo acepto	4	R	I	I	I	M
	No acepto que sea de esa manera	5	R	R	R	R	Q

Ilustración 1-4: Atributos negativos y positivos de la pregunta

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.3. Aplicación de las encuestas

Los cuestionarios fueron direccionados hacia dos perspectivas, para el usuario y para el diseñador. Esto permitió que se mantenga un control sobre la calidad mencionada en el punto anterior, y a su

vez que el diseñador puede contemplar las funcionalidades expresadas en el documento, logrando que ambos resultados sean concisos y de cumplimiento para el producto, llevando a la larga a un mejoramiento del diseño.

En dicha encuesta se tomó como base el modelo Kano, el cual está enfocado a mantener y corroborar la calidad pertinente del producto en interacción con el usuario y verificar que el mismo cumpla con cada parámetro ante el confort y la seguridad de este. Siendo esta una forma de conocer la satisfacción del cliente, mientras el diseñador corrobora lo logrado en la construcción.

Este cuestionario se enfocó en 10 preguntas dirigidas a la estética y funcionamiento de la estructura, permitiendo conocer aquellas de mayor agrado y desagrado para el usuario, estas preguntas buscan recabar información sobre los siguientes aspectos:

- Utilidad de la silla de ruedas
- Versatilidad del mecanismo (adaptabilidad de uso)
- Posibles mejoras (cambios de material, aumento de acolchonamiento, duración de batería en horas de uso, velocidad y control)

Presentada la metodología a seguir, la estructuración de la encuesta se muestra en la siguiente ilustración:



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
SILLA DE RUEDAS BIPEDESTADORA**



DATOS DEL USUARIO	Encuesta N° _____ Código del usuario: S-00 _____	INFORMACIÓN	Por favor dedique unos minutos a realizar esta encuesta, la cual mantendrá privacidad ante las respuestas otorgadas por usted, usadas únicamente para medir la satisfacción del cliente.
	Nombres y apellidos: _____ Edad: _____ Fecha: _____		SELECCIONE UNA SOLA RESPUESTA POR PREGUNTA MAQUE CON X EN LOS RECUADROS

1,1	¿Cómo se sentiría si disponer una silla de ruedas bipedestadora?	1,2	¿Cómo se sentiría si NO disponer una silla de ruedas bipedestadora?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
2,1	¿Le gustaría un tipo de mecanismo diferente para lograr optar con la postura bípeda?	2,2	¿No le gustaría un tipo de mecanismo diferente para lograr optar con la postura bípeda?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
3,1	¿Si se ubican sujetadores para facilitar el transporte de la silla de ruedas bipedestadora, como se sentiría?	3,2	¿Si NO se ubican sujetadores para facilitar el transporte de la silla de ruedas bipedestadora, como se sentiría?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
4,1	¿Le gustaría que la silla de ruedas bipedestadora sea más ligera?	4,2	¿Le gustaría que la silla de ruedas bipedestadora NO sea más ligera?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
5,1	¿Cómo se sentiría si la silla de ruedas dispone de mayor velocidad al trasladarse de lo ya establecido?	5,2	¿Cómo se sentiría si la silla de ruedas NO dispone de mayor velocidad al trasladarse de lo ya establecido?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
6,1	Si la silla de ruedas tuviera asientos y espaldares sumamente acolchados ¿como se sentiría usted?	6,2	Si la silla de ruedas NO tuviera asientos y espaldares sumamente acolchados ¿como se sentiría usted?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
7,1	¿Le parece adecuado el dimensionamiento del mecanismo?	7,2	¿Le parece NO adecuado el dimensionamiento del mecanismo?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera

8,1	¿Le gustaría que la superficie externa de la silla de ruedas sea de acero inoxidable?	8,2	¿Le gustaría que la superficie externa de la silla de ruedas NO sea de acero inoxidable?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
9,1	¿Si la velocidad de ascenso fuera regulable, como se sentiría usted?	9,2	¿Si la velocidad de ascenso NO fuera regulable, como se sentiría usted?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera
10,1	¿Le gustaría que el tiempo de duración de la batería sea superior a 2h de uso continuo?	10,2	¿Le gustaría que el tiempo de duración de la batería NO sea superior a 2h de uso continuo?
<input type="checkbox"/>	Me gustaría	<input type="checkbox"/>	Me gustaría
<input type="checkbox"/>	Seria bueno	<input type="checkbox"/>	Seria bueno
<input type="checkbox"/>	Me es indiferente	<input type="checkbox"/>	Me es indiferente
<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto	<input type="checkbox"/>	No me gusta, pero lo acepto
<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera	<input type="checkbox"/>	No acepto que sea de esa manera

Ilustración 2-4: Encuesta del modelo Kano para el usuario

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.4. Tabulación de encuestas

Al haber realizado la encuesta al grupo de personas preestablecidas, se procedió a tabular la información. Esto permitió conocer los resultados de una manera general, otorgando al diseñador una clara idea de cómo la silla bipedestadora es percibida por parte del usuario. Permitiendo mejorar o establecer partes del diseño que darán un mayor confort y eficiencia a este por medio de las recomendaciones escritas al concluir el capítulo.

En la siguiente tabla se resumen las respuestas obtenidas en las encuestas (ver anexos), manteniendo la misma calificación del 1 al 5 mencionada anteriormente.

Tabla 2-4: Encuesta de tabulación de preguntas positivas.

		Clientes encuestados				
		1	2	3	4	5
Preguntas Funcionales (Positivas)	1	1	2	2	2	1
	2	3	3	1	3	1
	3	2	3	1	2	2
	4	1	3	3	3	2
	5	3	2	4	4	5
	6	1	2	3	2	1
	7	3	2	3	2	2
	8	1	2	1	3	3
	9	2	1	1	1	3
	10	1	1	3	1	2

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 3-4: Encuesta de tabulación de preguntas negativas.

Preguntas Disfuncionales (Negativas)	1	4	5	5	5	3
	2	3	4	3	4	3
	3	5	5	5	5	4
	4	2	3	2	4	3
	5	2	3	3	2	1
	6	3	3	5	5	5
	7	3	4	3	5	3
	8	3	3	4	3	5
	9	3	3	3	3	4
	10	4	4	5	4	3

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Disponiendo de una valoración por pregunta, se obtuvo la capacidad de implementar una nueva tabla con las características basadas en la tabla 4-4, consiguiendo una cualidad de los datos, siendo favorables o desfavorables para el diseñador del producto.

Tabla 4-4: Proceso de selección del método Kano.

		Cientes encuestados				
		1	2	3	4	5
Criterios Evaluados	1	A	M	M	M	A
	2	I	I	A	I	A
	3	M	M	O	M	I
	4	A	I	I	I	I
	5	I	I	I	I	R
	6	A	I	M	M	O
	7	I	I	I	M	I
	8	A	I	A	I	M
	9	I	A	A	A	I
	10	A	A	M	A	I

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5. Resultados de encuestas

Se verificó los valores de cada una de las encuestas, especificando principalmente a que fue dirigido la pregunta, para mantener una característica general, la cual se puede agregar o quitar en el proyecto, esto se observa en el siguiente gráfico, por el cual se tiene en cuenta que cada atributo tiene su respectivo significado como se lo ha mencionado en oraciones anteriores (A: Atractivo, M: Obligatorio, R: Opuesto, O: Unidimensional, Q: Cuestionable, I: Indiferente), del conteo de los atributos se realizó una inspección, considerando el número que disponga de mayor cantidad de puntos en su fila, dando dicho atributo a la característica del diseño.

Tabla 5-4: Resultados de encuestados en tabla de atributos.

		SUMATORIA DE CRITERIOS							CALIFICACIÓN
		A	O	M	R	Q	I	TOTAL	
1	Disponer de una silla de ruedas bipedestadora	2	0	3	0	0	0	5	M
2	Mecanismos nuevos para la bipedestación	2	0	0	0	0	3	5	I
3	Sujetadores para el transporte	0	1	3	0	0	1	5	M
4	Silla más ligera	1	0	0	0	0	4	5	I
5	Mayor velocidad de traslación	0	0	0	1	0	4	5	I
6	Disponer de asientos y espaldar acolchonado	1	1	2	0	0	1	5	M
7	Dimensionamiento de la silla bipedestadora	0	0	1	0	0	4	5	I
8	Exterior de acero inoxidable	2	0	1	0	0	2	5	A
9	Regulación de la velocidad de ascenso	3	0	0	0	0	2	5	A
10	Duración de la batería en uso continuo (2h base)	3	0	1	0	0	1	5	A

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 6-4: Porcentaje de atributos según encuestas.

		SUMATORIA DE CRITERIOS							CALIFICACIÓN
		A	O	M	R	Q	I	TOTAL	
1	Disponer de una silla de ruedas bipedestadora	40%	0%	60%	0%	0%	0%	100%	M
2	Mecanismos nuevos para la bipedestación	40%	0%	0%	0%	0%	60%	100%	I
3	Sujetadores para el transporte	0%	20%	60%	0%	0%	20%	100%	M
4	Silla más ligera	20%	0%	0%	0%	0%	80%	100%	I
5	Mayor velocidad de traslación	0%	0%	0%	20%	0%	80%	100%	I

6	Disponer de asientos y espaldar acolchonado	20%	20%	40%	0%	0%	20%	100%	M
7	Dimensionamiento de la silla bipedestadora	0%	0%	20%	0%	0%	80%	100%	I
8	Exterior de acero inoxidable	40%	0%	20%	0%	0%	40%	100%	A
9	Regulación de la velocidad de ascenso	60%	0%	0%	0%	0%	40%	100%	A
10	Duración de la batería en uso continuo (2h base)	60%	0%	20%	0%	0%	20%	100%	A

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.1. Analisis de característica 1

La característica 1, es el enfoque usado para la pregunta 1 tanto en positiva como negativa de: ¿Cómo se sentiría si dispone de una silla de ruedas bipedestadora?, permitiendo identificar el propósito central de esta investigación. Es decir, por medio de esta interrogante se identifica el porcentaje de personas que considera que los individuos que carecen de movilidad inferior puedan tener un mecanismo que asista a su necesidad y le permita desarrollar sus actividades de una manera más fluida, e involucrando menor esfuerzo. El 60% de los individuos encuestados considera “Obligatoria” a la propuesta de diseño, interpretándose como una herramienta necesaria y favorable para personas que están postradas en sillas o no pueden realizar una bipedestación adecuada por cualquier problema de salud.

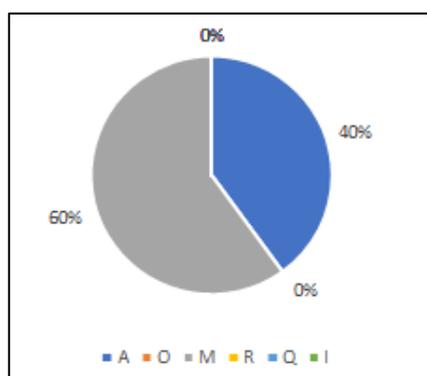


Ilustración 3-4: Importancia de la silla

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.2. Analisis de característica 2

La característica 2, es el enfoque usado para la pregunta 2 tanto en positiva como negativa de: ¿Le gustaría un tipo de mecanismo diferente para lograr optar con la postura bípeda? Esta pregunta va dirigida específicamente conocer sobre el modelo realizado para este proyecto, y a su vez entender si es aceptado por los usuarios, teniendo en cuenta para futuros rediseños del prototipo. Los resultados

de la encuesta corroboran que el 60% de los usuarios le es “indiferente” un nuevo mecanismo para la bipedestación, dejando a criterio de futuros resultados o de rediseños, el mantener o cambiar la funcionalidad del prototipo.

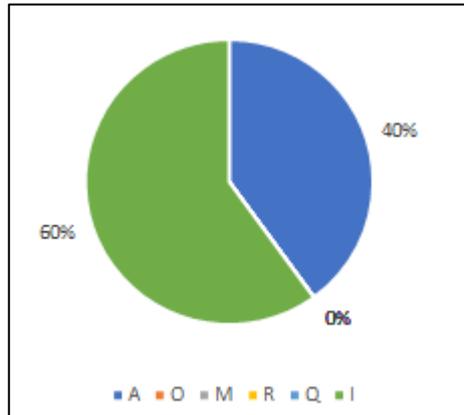


Ilustración 4-4: Cambiar el mecanismo

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.3. Analisis de característica 3

La característica 3, es el enfoque usado para la pregunta 3 tanto en positiva como negativa de: ¿Si se ubican sujetadores para facilitar el transporte de la silla de ruedas bipedestadora, como se sentiría?, dicha pregunta está dirigida para la factibilidad de uso del prototipo, sabiendo que un sujetador permitirá no solo ser dependiente al mecanismo eléctrico/electrónico de la silla, si no también contar con posibles formas de movilizar el prototipo en cualquier circunstancia. Esto se verifica con el 60% de” obligatoriedad” dada como resultado en la metodología Kano.

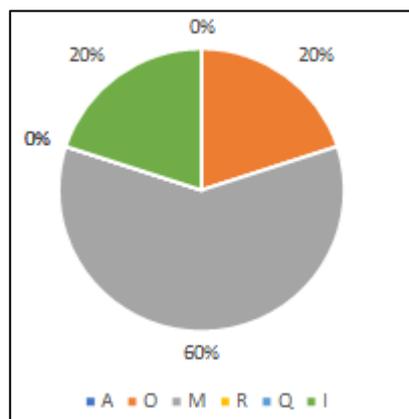


Ilustración 5-4: Necesidad de sujetador

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.4. Analisis de característica 4

La característica 4, es el enfoque usado para la pregunta 4 tanto en positiva como negativa de: ¿Le gustaría que la silla de ruedas bipedestadora sea más ligera? dicha pregunta tiene la finalidad de mencionar que el peso del material es un punto importante para tratar, al utilizar acero estructural acompañado de actuadores electromecánicos resulta complicado optimizar el peso del prototipo y el costo constructivo al mismo tiempo. Emplear materiales más ligeros elevaría el costo final de la silla y por ende saldría del alcance de la investigación, no obstante, es un criterio que con mayor presupuesto o financiamiento se lograría mejorar si los usuarios lo requieren. Observando la ilustración se puede notar que los datos indican un 80% que el atributo es “indiferente” para los usuarios, recaemos en el punto anterior, donde simplemente es importante el correcto funcionamiento.

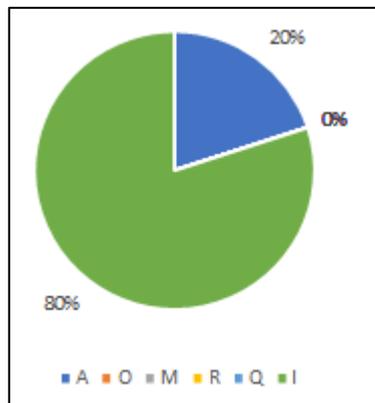


Ilustración 6-4: Peso del prototipo

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.5. Analisis de característica 5

La característica 5, es el enfoque usado para la pregunta 5 tanto en positiva como negativa de: ¿Cómo se sentiría si la silla de ruedas dispone de mayor velocidad al trasladarse de lo ya establecido? Esta pregunta busca recabar información sobre la movilidad de translación de la silla de ruedas para el usuario. En promedio la silla de ruedas está configurada para una movilidad de entre 1 a 8 m/s siendo una velocidad regulable para el usuario en dicho rango, no obstante, los motores están diseñados para rangos superiores. El resultado analizable de la encuesta asegura que un 80% de la muestra considera “indiferente”, teniendo en cuenta que al aumentar la velocidad podría causar accidentes en zonas de poco espacio de movilidad.

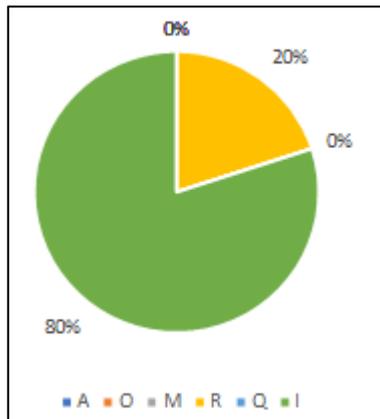


Ilustración 7-4: Mayor velocidad de traslación

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.1. Analisis de característica 6

La característica 6, es el enfoque usado para la pregunta 6 tanto en positiva como negativa de: ¿Si la silla de ruedas tuviera asientos y espaldares sumamente acolchados ¿cómo se sentiría usted? El literal del cuestionario está enfocado a conocer sobre la conformidad y ergonomía que dispone el prototipo hacia los usuarios, permitiendo entender el cumplimiento o déficit de enfoque en relación con el diseño propuesto en el presente trabajo. Los resultados muestran que el confort es adecuado y a su vez “obligatorio” para el prototipo, con un 40% de los resultados obtenidos.

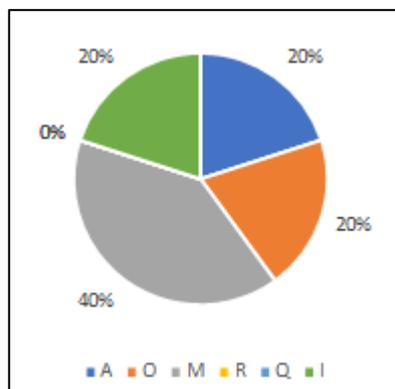


Ilustración 8-4: Confort

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.1. Analisis de característica 7

La característica 7, es el enfoque usado para la pregunta 7 tanto en positiva como negativa de: ¿Le parece adecuado el dimensionamiento del mecanismo? dicha pregunta tiene la finalidad de identificar si las medidas utilizadas podrían generalizarse a cualquier individuo dentro del medio por el cual fue dimensionado. Dado que el prototipo está pensado para una persona de estatura promedio (1,70 m) y diseñada para levantar una carga de 120 kg sin volcamiento, es importante mencionar que tanto la

estructura como la selección del material son una característica que engloba criterios ingenieriles, económicos y funcionales. Observando la ilustración se puede notar que con 80% de datos tomados, indican que el atributo es “indiferente” para los usuarios, considerando así que el usuario promedio se mantiene a gusto con el dimensionamiento del prototipo.

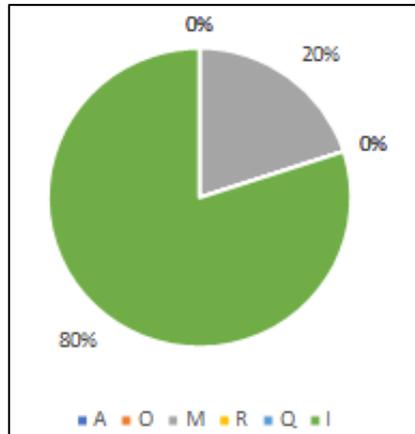


Ilustración 9-4: Dimensionamiento de la silla

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.1. *Analisis de característica 8*

La característica 8, es el enfoque usado para la pregunta 8 tanto en positiva como negativa de ¿Le gustaría que la superficie externa de la silla de ruedas sea de acero inoxidable? Consideraremos que la infraestructura de soporte está diseñada en acero estructural, recubierto con acero inoxidable laminado, el enfoque de la pregunta va en conocimiento si el usuario cree necesario este recubrimiento de acero inoxidable, teniendo en cuenta que para el diseñador del prototipo es un requerimiento de bastante valor para la durabilidad y resistencia de este. Al verificar los datos propuestos por el cuestionario Kano, entendemos que con 40% en ambos casos para el usuario le es “atractivo e indiferente”, teniendo como conclusión de ser un elemento requerido para ellos e importante para el diseñador del prototipo.

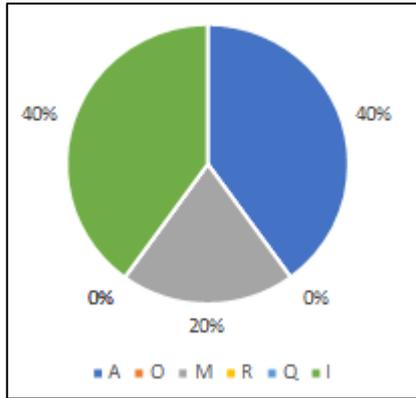


Ilustración 10-4: Acabado en acero inoxidable

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.1. Analisis de característica 9

La característica 9, es el enfoque usado para la pregunta 9 tanto en positiva como negativa de: ¿Si la velocidad de ascenso fuera regulable, como se sentiría usted? Se enfoca en entender sobre la velocidad establecida del movimiento del pistón para la bipedestación, la cual es dependiente de las características del actuador. Este es un actuador eléctrico con atributos descritos en el capítulo anterior, su funcionalidad se basa en la transformación de energía eléctrica en energía mecánica por medio de un reductor de velocidad, es decir, el torque se obtiene por medio de un conjunto de engranajes internos del actuador. Es importante mencionar que, si la velocidad se considera “lenta”, se debería evaluar la factibilidad de usar un actuador diferente al actual. Entre las posibilidades destacarían actuadores hidráulicos o neumáticos. Los datos mostraron que al 60% les parece “atractiva” la idea de poder personalizar la velocidad con la cual se realiza la bipedestación, tenido como consideración que en rediseños futuros o modificaciones se podrá colocar un panel para el ajuste de velocidad.

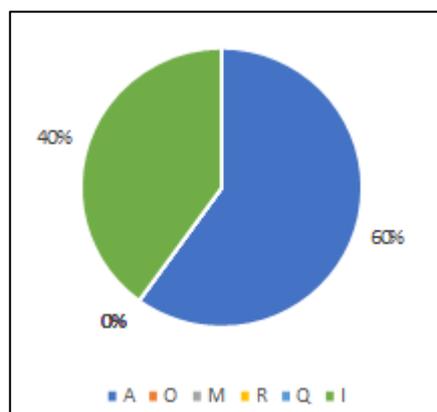


Ilustración 11-4: Velocidad de ascenso

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.2.5.2. Analisis de característica 10

La característica 10, es el enfoque usado para la pregunta 10 tanto en positiva como negativa de: ¿Le gustaría que el tiempo de duración de la batería sea superior a 2h de uso continuo? La durabilidad de funcionamiento para todo aparato es esencial, pues en base a eso, el usuario tendrá el tiempo suficiente de poder realizar las actividades predeterminadas sin ninguna molestia alguna antes de una siguiente carga, entendiendo que el aparato otorga de entre 2 a 2,5 horas de funcionabilidad, se desea conocer que tan bueno es este tiempo para el usuario. Obtenemos un 60% de “atractivo” ante la idea de que la durabilidad de uso continuo sea mayor a 2h, considerando así en un futuro rediseño usar una batería extra que permita el mayor tiempo de funcionalidad.

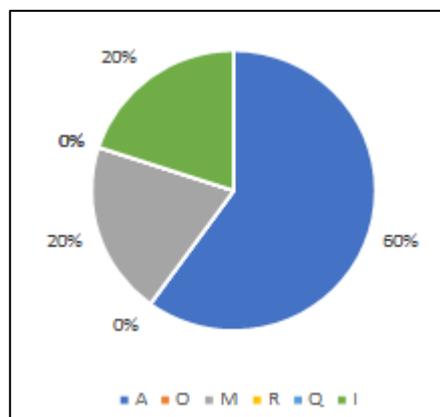


Ilustración 12-4: Duración de la batería

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.3. Fichas de datos

Se utilizó una ficha guía para marcar los resultados provenientes de las observaciones directas de la silla de ruedas en funcionamiento. Estos datos sirven como una base técnica y de tipo cualitativa para identificar como interactúa la silla frente al motivo de su construcción. También identifica el grado de aceptación del usuario por parte de la silla bipedestadora. Dichos datos permitirán considerar defectos o variabilidad alta ante ciertos usuarios con otros, verificando puntos donde se podrá enfocar la mejora del producto.

Tabla 7-4: Ficha de pruebas.

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECANICA SILLA DE RUEDAS BIPEDESTADORA 			
Ficha N° _____ Código del usuario: S-00 _____ Nombres y apellidos: _____ Edad: _____ Fecha: _____ Peso: _____ (Kg) Altura: _____ (m)			
Motivo por el cual se encuentra en silla de ruedas: _____ _____ _____ _____			
Análisis funcionalidad			
PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIONES
Necesita ayuda al momento de trasladarse de una silla a la bipedestadora			
Se lo nota incomodo en el proceso de bipedestación			
La altura de la silla de ruedas es adecuada para el usuario			
El usuario se encuentra a gusto y seguro el momento de movilizarse con la silla de ruedas bipedestadora			
Necesita ajustar la bipedestación continuamente			
La silla de ruedas bipedestadora tiene una facilidad para maniobrar			
Parámetros de funcionamiento		Observación	
Tiempo de ascensión (segundos)			
Tiempo de descenso (segundos)			
Angulo de inclinación (grados)			
Velocidad promedio de la silla (m/s)			
Evidencia			
Posición sedentaria	Posición bípeda		
Recomendación general			

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

4.3.1. Resultado de las fichas

Se procesan los resultados obteniendo un promedio para los valores numéricos y cuantificando las variables de tipo cualitativas. Observando los datos expuestos en la tabla 8-4 se puede concluir que el funcionamiento de la silla de ruedas no generó altercados técnicos que dificultaran el funcionamiento de bipedestación, notando también que los valores pertinentes están a los rangos necesarios permitidos por la estructura y con un adecuado manejo de esta. Se considera que el usuario no dispuso de mayor esfuerzo para poder usar la silla bipedestadora.

Tabla 8-4: Preguntas consideradas en las fichas de pruebas.

Pregunta 1	Necesita ayuda al momento de trasladarse de una silla a la bipedestadora
Pregunta 2	Se lo nota incomodo en el proceso de bipedestación
Pregunta 3	La altura de la silla de ruedas es adecuada para el usuario
Pregunta 4	El usuario se encuentra a gusto y seguro el momento de movilizarse con la silla de ruedas bipedestadora
Pregunta 5	Necesita ajustar la bipedestación continuamente
Pregunta 6	La silla de ruedas bipedestadora tiene una facilidad para maniobrar

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Tabla 9-4: Datos de las fichas de pruebas.

	Usuario					Promedio
	1	2	3	4	5	
Edad (años)	28	20	38	35	36	31,4
Peso (kg)	85	62	65	70	80	72,4
Altura (m)	1,64	1,7	1,58	1,72	1,8	1,688
Pregunta 1	No	No	No	No	Si	No
Pregunta 2	Si	No	No	No	Si	No
Pregunta 3	Si	No	Si	Si	No	Si
Pregunta 4	Si	Si	Si	No	No	Si
Pregunta 5	Si	Si	No	Si	Si	Si
Pregunta 6	Si	Si	Si	No	No	Si
T. ascenso (seg)	50,5	50,1	50,2	50	50,2	50,2
T. descenso (seg)	50,3	50	50,4	49,5	51	50,24
Velocidad trasl. (m/s)	0,6	0,54	0,58	0,58	0,6	0,58

Fuente: Villacrés J y Zambrano J, 2022

Realizado por: Villacrés J y Zambrano J, 2022

CONCLUSIONES

Después de concluir el trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se logró ensamblar de una manera efectiva la silla bipedestadora priorizando que cumpla con la necesidad por la cual fue diseñada y a la vez brinde al usuario características específicas como: seguridad de uso, fácil manipulación y comodidad. Para ello se empleó una metodología sistemática que permitió determinar la factibilidad constructiva, la propuesta de redimensionamiento, el diseño normado de las juntas soldadas, el fundamento técnico científico de la selección del material y recubrimiento, para finalmente planificar el proceso constructivo y llevarlo a efecto.
- Se estudió a profundidad el fundamento teórico logrando que este constituya un respaldo científico a la información propuesta en esta investigación. Se determinó los métodos de manufactura que se utilizarán para la construcción, siendo los más importantes: corte, soldadura y doblado de chapa metálica. Además, por medio de la normativa 93/42/ CEE, se identificó a la silla bipedestadora como un equipo de clase I, bajo riesgo, y se justificó la selección del acero ASTM A36 para el uso propuesto bajo criterios técnico-económicos. En concordancia con la guía básica de recubrimientos para interiores hospitalarios, se propuso el uso de pintura electrostática para reducir el riesgo de contaminación cruzada causada por corrosión del acero.
- En busca de optimizar el peso, y considerando que el factor de seguridad general alcanzado en el trabajo expuesto por Herrera es de 3.5, se propuso un redimensionamiento de los brazos telescópicos del mecanismo logrando reducirlo aproximadamente en un 50%. Se empleó para ello el criterio de diseño a carga estática mediante el análisis de esfuerzos combinados. Las secciones optimizadas se redujeron al mínimo espesor comercial disponible y el factor de seguridad obtenido fue de 1.726.
- Se planificó el proceso constructivo por medio la generación de documentos de apoyo que se traducen como un respaldo técnico para la replicación a futuro de la construcción del bipedestador. Se obtuvieron: tablas de procedimientos, flujogramas mecánicos-electrónicos, y hojas de procesos de manufactura. Se destaca la información en forma de: guía técnica y gráfica del proceso constructivo (maquinaria, herramientas, ángulos y longitudes de corte, parámetros de soldadura y tiempo de uso).
- Se diseñó el sistema electrónico de control priorizando su facilidad de uso. Se emplearon dos baterías de 12 V en conexiones tipo paralelo y serie para la obtención de los voltajes operativos de los actuadores. El diseño de las placas PCB realizado permitió personalizar el comportamiento que se requería para los actuadores y por medio de drivers BTS7963 lograr obtener movimientos

de desplazamiento y giro del bipedestador. Se implementó una pantalla OLED para comunicar el estado de carga al usuario y botones de control para el uso del bipedestador.

- Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento a la silla bipedestadora en una muestra de 5 individuos y por medio de la aplicación de la metodología Kano se determinó los índices de aceptación del usuario en términos ergonómicos y funcionales. En lo funcional, se pudo apreciar que el comportamiento con carga del mecanismo no se ve afectado en tiempos de ascenso y descenso de los brazos del bipedestador. De la misma manera, el rango de velocidad de desplazamiento para el uso en interiores es aceptable manteniéndose en un valor aproximado a 0,6 m/s. Por otro lado, la encuesta planteada recogió datos de aceptación ergonómica plasmando como resultado final características positivas en cuanto a dimensionamiento, adaptabilidad, y manipulación del bipedestador.

RECOMENDACIONES

A pesar de que el mecanismo cumple de forma adecuada con la mayoría de las especificaciones requeridas, es susceptible a mejoras y cambios que beneficien en el funcionamiento del sistema. En este contexto se proponen las siguientes recomendaciones:

- Optimizar el peso del equipo por medio del cambio de sección estructural. Esta variable es fundamental para aumentar el grado de funcionalidad y proveer al equipo la facilidad de ser transportado por un solo individuo. Así mismo, evaluar la posibilidad de generar un mecanismo plegable que ocupe menor espacio y así sea posible facilitar su almacenamiento.
- Realizar un estudio de materiales para posibilitar el intercambio de superficies metálicas por polímeros, hablando específicamente del uso de acero inoxidable, elemento estructural importante para mejorar el aspecto visual del prototipo, pero predominante en el costo y peso final de este.
- Evaluar la reducción del número de actuadores por medio del uso de elementos de transmisión de potencia como poleas y cadenas. Verificar que los cambios realizados prioricen la funcionalidad además de la reducción del peso y costo del prototipo.
- Analizar la ubicación de sujetadores que sirvan para el transporte del mecanismo.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Nelly. Tipos de máquinas CNC [en línea]. 14 de diciembre de 2018. [Fecha de consulta: 8 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.cuidatudinero.com/13172637/que-es-un-taller-de-maquinas-cnc>

ADEVA, Roberto. Todo lo que debes saber sobre la impresión 3D y sus utilidades [en línea]. 24 de noviembre de 2022. [Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>

ADIP-AS. Identificación y evaluación de riesgos ergonómicos [en línea]. Versión 3.1.1. Cataluña: Dirección General de Relaciones Laborales, 2006 [Fecha de consulta: 17 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.adip-as.com/wp-content/uploads/2015/08/Identificación-y-evaluación-de-los-riesgos-ergonómicos.pdf> ISBN: 84-393-7311-2

ALIEXPRESS. Motor L-FSATER Tipo MY1016Z2. 2022. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/32817482710.html?spm=a2g0o.detail.100009.3.7b54775fzth2YT&gps-id=pcDetailLeftTopSell&scm=1007.13482.271138.0&scm_id=1007.13482.271138.0&scm-url=1007.13482.271138.0&pvid=7c7ef773-f4cf-476b-810b-827b0562ac41&_t=gps-id%3ApcDetailLeftTopSell%2Cscm-url%3A1007.13482.271138.0%2Cpvid%3A7c7ef773-f4cf-476b-810b-827b0562ac41%2Ctpp_buckets%3A668%232846%238111%231996&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000018261547979%22%2C%22sceneId%22%3A%223482%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21USD%21%21108.99%21108.99%21%21%21%21%402101d1b216544637582981869e7503%2112000018261547979%21rec&gatewayAdapt=glo2esp.

ALLDATASHEET. Componentes electrónicos. 2022. Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/>.

ALSIMET. El doblado de tubo de metal: Tipos y aplicaciones [en línea]. 05 de julio de 2020. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2022] Disponible en: <http://www.alsimet.es/es/noticias/doblado-de-tubo-de-metal>

AMAZON. Actuador eléctrico Happybuy. 2022. Disponible en: https://www.amazon.com/Happybuy-Actuator-Electric-Mounting-Brackets/dp/B07KWJ1Z7H/ref=sr_1_3?crid=2NO7UWOI6MV59&keywords=Linear%2BActuator%2B10%22&qid=1649977399&srefix=linear%2Bactuator%2B10%2B%2Caps%2C305&sr=8-3&th=1.

ASHBY, Michael. Materials Selection in Mechanical Design [en línea]. 2ª ed. Butterworth Heinemann: Cambridge University, England, 2010 [Fecha de consulta: 18 de junio de 2022]. Disponible en: [http://www.utc.fr/~hagegebe/UV/MQ12/CORRECTIONS_TD/%5BASHBY99%5D - Materials Selection in Mechanical Design 2Ed.pdf](http://www.utc.fr/~hagegebe/UV/MQ12/CORRECTIONS_TD/%5BASHBY99%5D-Materials%20Selection%20in%20Mechanical%20Design%202Ed.pdf). ISBN: 0 7506 4357 9.

AUTODESK. Software CAD/CAM. 2020. Disponible en: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-cam>.

BELLOVI, Bestratén, et al. Ergonomía. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [en línea]. 5ª ed. Servicio de Ediciones y Publicaciones: INSHT 2010 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/710902/Ergonom%C3%ADa+-+A%C3%B1o+2008.pdf/18f89681-e667-4d15-b7a5-82892b15e1fa>. ISBN: 978-84-7425-753-3.

BOLTON, William. Mediciones y Pruebas Eléctricas y Electrónicas [en línea]. 1ª ed. Barcelona: Marcombo, 1995. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Gj9Wyr7keDsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_read#v=onepage&q&f=false. ISBN 8426710328.

BORGINON, Fernando. Diseño e impresión de objetos 3D [en línea]. 1ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: UNIPE: Editorial Universitaria, 2018. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2022]. Disponible en: <http://eprints.rclis.org/33571/1/Libro-impresion3D-unipe.pdf>. ISBN 978-987-3805-35-6.

BRUSOLA, Simón. Oficina técnica y proyectos [en línea]. 1ª ed. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia 1995 [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.worldcat.org/es/title/928680053>.

CABELLO, Esperanza. Antropometría [en línea]. 5ª ed. Servicio de Ediciones y Publicaciones: INSHT 2016 [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/524376/DTEAntropometriaDP.pdf/032e8c34-f059-4be6-8d49-4b00ea06b3e6>. ISBN 8426710328

CAMPUS DE SALT. ¿Qué es la cineantropometría y para qué sirve? [en línea]. 05 de octubre de 2018. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2022]. Disponible en: <https://girona.euses.cat/es/que-es-la-cineantropometria-y-para-que-sirve/>

CARBONE, Catálogo de electrodos. [en línea]. Böehler Welding, 2020 [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2022]. Disponible en: https://www.selfasoldadura.com/Catalogo/Item/41_Item/vaBW_Bestseller_Spanien-screen.pdf

CARRASCO, Juan. Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador. [en línea]. vol. 1. 2016. [Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251107012.pdf>. ISBN: 1692-8261.

CONTRERAS, Luengas; et al. Estudio de los rangos articulares en la bipedestación estática en personas normales vs. amputados transtibiales en la posición de bipedestación estática. Tesis (Magíster en Ingeniería Eléctrica). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, 2013. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4778493>.

DECOREXPRO. Las sutilezas del corte en frío de tubos [en línea]. 2019. Disponible en: <https://www.esn-d.techinfus.com/vodosnabzhenie/truby/holodnaja-rezka/>.

DELGADO, Jara y MILUZCA, Katherine. Bipedestación prolongada e insuficiencia venosa de miembros inferiores en técnicos de farmacia de boticas Mifarma. Tesis (Maestro en Salud Ocupacional). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2019. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/9005/K4.1894.MG.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

DESOLADADORES. Proceso de soldadura SMAW o MMA. 2021 [en línea]. Disponible en: <https://www.desoldadores.net/soldadura-smaw/>

DEWALT. Catálogo DeWALT [en línea]. 2021. Disponible en: <http://www.dewaltcenter.com.ec/catalogo/index.html#p=5>

DICCIONARIO ACTUAL. ¿Qué es convertidor eléctrico? [en línea]. 2022. Disponible en: <https://diccionarioactual.com/convertidor-electrico/>.

ECHEVERRÍA, Cosme. Construir un sistema de control mediante joystick para la movilización del bipedestador móvil “LILIBOT” para actividades instrumentales. Tesis (Ingeniero en Mecatrónica). Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2017. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7152?mode=full>

ECURED. Interruptor eléctrico [en línea]. 2020. Disponible en: https://www.ecured.cu/Interruptor_eléctrico

ELECTROGEEKSHOP. Damián, Juan. 4 de marzo de 2020. Disponible en: electrogeekshop.com/arduino-nano-pinout-y-caracteristicas/.

ESAB. ¿Cómo seleccionar el Electrodo correcto para soldadura? [en línea]. 2019. Disponible en: https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/como_seleccionar_electrodo_correcto_para_soldadura.cfm

FLUKE. ¿Qué es un diodo? [en línea]. 2021. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-mx/informacion/blog/electrica/que-es-un-diodo>.

GÁZQUEZ, Pedro. Sistemas de control integrados en bienes de equipo y maquinaria industrial y elaboración de la documentación técnica. Málaga: IC Editorial, 2019. ISBN: 8491986030.

GÓMEZ, Víctor. Selección de materiales: Materiales metálicos. Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2018.

GONZÁLES Gerard. Modelización biomecánica de la locomoción bípeda en humanos y homínidos. Tesis (Grado de doctor). Barcelona: Universidad de Barcelona, 2019. Disponible en: https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/667575/01.GSG_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

HERRERA, Mario. (2021). Diseño y simulación de una silla de ruedas bipedestadora para personas adultas con discapacidad física a nivel paraplejia o con problemas de movilidad de uso en interiores. Tesis (Ingeniero Mecánico). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2021. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/15141>.

HUFNAGEL, W. Manual del Aluminio. 2ª ed. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1992. ISBN: 9788429160116.

I.B.V. Ergonomía y Discapacidad [en línea]. Valencia: Grafo, 2004. Disponible en: https://www.uva.es/export/sites/uva/6.vidauniversitaria/6.11.accesibilidadarquitectonica/_documentos/Ergonomia.pdf.

KALPAKJIAN, Serope y SCHMID, Steven. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. 5ª ed. México: Pearson Educación, 2008. ISBN: 10 970-26-1026-5

KEYENCE. ¿Qué es GD&T? [en línea]. 2020. Disponible en: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/gd-and-t/basic/about.jsp>

LEAL, Silvia. e-Renovarse o morir: 7 Tendencias tecnológicas para convertirte en un líder digital. Barcelona: LID Editorial, 2015. ISBN: 9788483562697

LEVINSON. ¿Qué es el maquinado? [en línea]. 2022. Disponible en: <https://www.aceroslevinson.com/2016/11/que-es-el-maquinado/>.

LLIGUAY, Joel. Manufactura y pruebas de un exoesqueleto para la rehabilitación física de miembros inferiores para el grupo de investigación y estudios de bioingeniería de la Facultad de Mecánica ESPOCH. Tesis (Ingeniero Mecánico). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018. Disponible en: <file:///C:/Users/GlobalOffice/Downloads/15T00693.pdf>

LUGAE. Diagrama de Ashby [en línea]. 2020. Disponible en: <https://www.lugae.cl/diagrama-de-ashby/>

MCCORMAC, Jack y CSERNAK, Stephen. (2013). Diseño de Estructuras de Acero. 5ª ed. México DF: Alfaomega Grupo Editor, 2013 Disponible en: https://www.academia.edu/28111116/Diseño_de_Estructuras_De_Acero_McCormac_5ta_Ed_pdf

MARRERO, Rodrigo, et al. Biomecánica clínica de los tejidos y las articulaciones del aparato locomotor. 2ª ed. España: Masson, 2005. ISBN: 84-458-0728-5.

MERCADO, Daniel. Evolución de los softwares de simulación para el Diseño y Construcción en la Industria. Vol. 5. Esmeraldas: Universidad Técnica Luis Vargas Torres, 2020. ISSN: 2550 - 682X.

MONROY, Luis. De los primeros homínidos al Homo sapiens. Vol. 8. Bogotá: Revista Colombiana de Bioética, 2013. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1892/189230852005.pdf>

MOTORGIGA. ¿Qué es esmerilado? [en línea]. 2021. Disponible en: <https://diccionario.motorgiga.com/esmerilado>

OLMOS María y Barreno Johnny. Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomática reajutable para personas con paraplejia. Tesis (Ingeniero Mecatrónico). Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas, 2017. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13501>

NORTON, K.; & OLDS, T. (1996). Antropometrica. Sidney: Southwood Press. ISBN: 0-86840-223-O.

PALACIOS, B; et al. Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 Kg. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad politécnica Salesiana, Quito-Ecuador. 2015. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11394/3/UPS-KT01207.pdf>

PARRA, S. Blog Laminas y Aceros. 4 de octubre de 2018. Disponible en: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/características-del-acero-estructural>.

PORRERO, J; & HURLÉ, J. Anatomía humana. [en línea]. 3ª ed. Madrid: McGraw-Hill. 2005. [Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/0554.Anatomíahumana.pdf>. ISBN: 1692-8261.

RIBA, C. Selección de materiales en el diseño de máquinas. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona-España. 2008. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36844/9788498804065.pdf>

SAAVEDRA, R, et al. Diseño de un equipo de bipedestación. Venezuela: Universidad de Carabobo, 2013. ISSN: 1316-6832

SÁNCHEZ, M. Fundamentos de la ergonomía. México: Patria, 2016. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/40469>.

SICRE, Lucía. La cuarta revolución industrial de la impresión 3D: los materiales del milagro [en línea]. 11 de abril de 2022. [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2022] Telecinco. Disponible en: https://www.telecinco.es/informativos/tecnologia/tipos-material-impresora-3d-be5m_18_2924520246.html

TÉRAN, H, et al. Design of an autonomous standing frame prototype for older adults with motorized disability. Journal of Physics: Conference Series, 2019. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1432/1/012063/pdf>

TORADA, Enrique, et al. Ergonomía 1 Fundamentos. Barcelona: Mutua Universal, 1994. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=T0FpBgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> ISBN: 978-84-9880-112-5

WISEUX, Frédéric. Postura, Equilibrio y Control Postural. Francia: Saúde em pe, 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344207668_Postura_equilibrio_y_control_postural

VURCON. ¿Qué es el CNC? Descubre el control numérico computarizado [en línea]. 2012. Disponible en: <https://www.vurcon.com/es/en-que-consiste-el-control-numerico-computarizado/>

XONI. Ergonomía y antropometría. [en línea]. 12 de enero de 2011. [Fecha de consulta: 08 de junio de 2022] Disponible en: <http://ergomobiliariohuelva.blogspot.com/2011/01/definicion-antropometria.html>

YAMEZAN MEXICANA. Control Numérico Computarizado, historia básica [en línea]. 2019. Disponible en: <https://yamazen.com.mx/blog/cutting-tool/control-numerico-computarizado.html>

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO ARDUINO

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define ancho 128
#define alto 64
#define OLED_RESET 4

float Sensibilidad=0.066; //sensibilidad en V/A para nuestro sensor
float offset=0.100; // Equivale a la amplitud del ruido
char d;
int vmax=180;
int x,y,auxpwm;
SoftwareSerial BT(2, 3); // RX, TX
int pwm=100;
int enaD=7;
int PWMDade=6;
int PWMDatr=5;

int enaI=12;
int PWMIade=10;
int PWMIatr=11;

int FinARR=0;
int FinABA=0;
float rj;
int ARRIBA=8;
int ABAJO=9;
float I,V,carga;
int cont=0;
int j=0,i;
int PARR=0;
int PABA=0;

float sx,sy;
```

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  BT.begin(9600);
  pinMode(4,INPUT);
  pinMode(13,INPUT);
  pinMode(ARRIBA,OUTPUT);
  pinMode(ABAJO,OUTPUT);
  pinMode(enaD,OUTPUT);
  pinMode(PWMDade,OUTPUT);
  pinMode(PWMDatr,OUTPUT);
  pinMode(enaI,OUTPUT);
  pinMode(PWMIade,OUTPUT);
  pinMode(PWMIatr,OUTPUT);

  analogWrite(PWMDade,0);
  analogWrite(PWMIade,0);
  analogWrite(PWMDatr,0);
  analogWrite(PWMIatr,0);

}

void loop() {

  sensores();
  joystick();
  piston();
  serial();
  printdatos();

}

void serial()
{
```

```
if (BT.available())
{
  d=BT.read();
  Serial.println(d);

  if(d=='F') {
    digitalWrite(enaD,HIGH);
    digitalWrite(enaI,HIGH);

    analogWrite(PWMDade,pwm);
    analogWrite(PWMIade,pwm);
    analogWrite(PWMDatr,0);
    analogWrite(PWMIatr,0);
  }
  if(d=='B') {

    digitalWrite(enaD,HIGH);
    digitalWrite(enaI,HIGH);

    analogWrite(PWMDatr,pwm);
    analogWrite(PWMIatr,pwm);
    analogWrite(PWMDade,0);
    analogWrite(PWMIade,0);

  }

  if(d=='R') {
    digitalWrite(enaD,HIGH);
    digitalWrite(enaI,HIGH);

    analogWrite(PWMDade,pwm);
    analogWrite(PWMIade,0);
    analogWrite(PWMDatr,0);
    analogWrite(PWMIatr,pwm);
```

```
}  
if(d=='L') {  
  
    analogWrite(PWMDade,0);  
    analogWrite(PWMIade,pwm);  
    analogWrite(PWMDatr,pwm);  
    analogWrite(PWMIatr,0);  
  
}  
  
if(d=='S')  
{  
    digitalWrite(enaD,LOW);  
    digitalWrite(enaI,LOW);  
    analogWrite(PWMDade,0);  
    analogWrite(PWMDatr,0);  
    analogWrite(PWMIade,0);  
    analogWrite(PWMIatr,0);  
}  
  
if(d=='0'){ pwm=0; }  
if(d=='1'){ pwm=50; }  
if(d=='2'){ pwm=60; }  
if(d=='3'){ pwm=70; }  
if(d=='4'){ pwm=80; }  
if(d=='5'){ pwm=90; }  
if(d=='6'){ pwm=100; }  
if(d=='7'){ pwm=120; }  
if(d=='8'){ pwm=130; }  
if(d=='9'){ pwm=140; }  
}  
  
}
```

```
void sensores()
{
  sx=0;
  for(i=1;i<=10;i++){

    sx=sx+analogRead(A3);
  }
  x=sx/10;
  sy=0;
  for(i=1;i<=10;i++){
    sy=sy+analogRead(A2);
  }
  y=sy/10;
  PARR=digitalRead(13);
  PABA=digitalRead(4);
  FinARR=analogRead(A7);
  FinABA=analogRead(A6);
}
```

```
void printdatos()
{
  Serial.print(" PARR: ");
  Serial.print(PARR);
  Serial.print(" PABA: ");
  Serial.print(PABA);
  Serial.print(" X: ");
  Serial.print(x);
  Serial.print(" Y: ");
  Serial.print(y);
  Serial.print(" AUXpw: ");
  Serial.print(auxpwm);
  Serial.print(" ARRIBA ");
  Serial.print(FinARR);
  Serial.print(" ABAJO ");
  Serial.println(FinABA);
}
```

```
}

void joystick()
{

//ADELANTE
if(y<480)
{
  auxpwm=map(y,480,0,0,vmax);

  if(auxpwm<=10){auxpwm=0;}
  Serial.println("");
  Serial.println("");
  Serial.println("ADELANTE AUXPM: ");
  Serial.println(auxpwm);
  Serial.println("");
  digitalWrite(enaD,HIGH);
  digitalWrite(enaI,HIGH);

  analogWrite(PWMDade,auxpwm);
  analogWrite(PWMIade,auxpwm);
  analogWrite(PWMDatr,0);
  analogWrite(PWMIatr,0);
}

//REVERSA
  if(y>520)
  {
    auxpwm=map(y,520,1024,0,vmax);

    if(auxpwm<=10){auxpwm=0;}
    Serial.println("");
    Serial.println("");
```

```
Serial.println("REVERSA AUXPM: ");
Serial.println(auxpwm);
Serial.println("");
digitalWrite(enaD,HIGH);
digitalWrite(enaI,HIGH);

analogWrite(PWMDade,0);
analogWrite(PWMIade,0);
analogWrite(PWMDatr,auxpwm);
analogWrite(PWMIatr,auxpwm);
}
```

```
//DERECHA
```

```
if(x<470)
{
  auxpwm=map(x,470,0,0,vmax);
  if(auxpwm<=10){ auxpwm=0;}

  Serial.println("");
  Serial.println("");
  Serial.println("DERECHA AUXPM: ");
  Serial.println(auxpwm);
  Serial.println("");
  digitalWrite(enaD,HIGH);
  digitalWrite(enaI,HIGH);

  analogWrite(PWMDade,auxpwm);
  analogWrite(PWMIade,0);
  analogWrite(PWMDatr,0);
  analogWrite(PWMIatr,auxpwm);
}
```

```
//IZQUIERDA
```

```

if(x>520)
{
  auxpwm=map(x,520,1024,0,vmax);
  if(auxpwm<=10){ auxpwm=0;}

  Serial.println("");
  Serial.println("");
  Serial.println("DERECHA AUXPM: ");
  Serial.println(auxpwm);
  Serial.println("");
  digitalWrite(enaD,HIGH);
  digitalWrite(enaI,HIGH);

  analogWrite(PWMDade,0);
  analogWrite(PWMIade,auxpwm);
  analogWrite(PWMDatr,auxpwm);
  analogWrite(PWMIatr,0);
}

/*
if(x>530)
{
  auxpwm=map(x,600,1024,0,vmax);
  if(auxpwm<=50){ auxpwm=0;}
  digitalWrite(enaD,HIGH);
  digitalWrite(enaI,HIGH);

  analogWrite(PWMDade,auxpwm);
  analogWrite(PWMIade,0);
  analogWrite(PWMDatr,0);
  analogWrite(PWMIatr,auxpwm);
}

```

```
if(y>481 && y<529 && x>481 && x<529 )
{
  analogWrite(PWMDade,0);
  analogWrite(PWMIade,0);
  analogWrite(PWMDatr,0);
  analogWrite(PWMIatr,0);
}
*/
}
```

```
void piston()
{
  sensores();
  if(PARR==1 )
  {
    sensores();
    if(FinARR<=600)
    {
      digitalWrite(ARRIBA,HIGH);
      Serial.println("SUBIENDO PISTON");
    }
    else{
      digitalWrite(ARRIBA,LOW);
    }
  }

  if(PABA==1)
  {
    sensores();
    if(FinABA<=600 )
    {
```

```
digitalWrite(ABAJO,HIGH);
Serial.println("BAJANDO PISTON");
}else{
digitalWrite(ABAJO,LOW);
}
}

if(PABA==0 && PARR==0 )
{
digitalWrite(ARRIBA,LOW);
digitalWrite(ABAJO,LOW);
//Serial.println("PISTON APAGADO");
}
}
```

ANEXO B: ENCUESTAS MÉTODO KANO

ANEXO C: FICHAS TÉCNICAS

ANEXO D: HOJAS DE PROCESOS DE MANUFACTURA