



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSION LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA LAS
EXTREMIDADES INFERIORES DE INFANTES CON DISCAPACIDAD
MOTRIZ**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico.

AUTORES:

Guamangate Tipán Cristian Ricardo

Pilaguano Montero Julio Marcelo

TUTOR:

Ing. M.Sc. Morales Cevallos José Williams

**LA MANÁ-ECUADOR
AGOSTO-2022**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

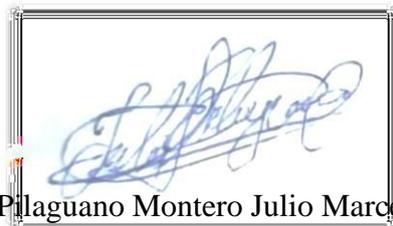
Nosotros, Guamangate Tipán Cristian Ricardo y con cédula de ciudadanía 0504368077 y Pilaguano Montero Julio Marcelo con cédula de ciudadanía 1251135719, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES DE INFANTES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ”, siendo el Ing. Morales Cevallos José Williams Mg., tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature appears to be "Cristian . 6".

Guamangate Tipán Cristian Ricardo

C.I. 0504368077

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is more stylized and appears to be "Julio Marcelo".

Pilaguano Montero Julio Marcelo

C.I. 1251135719

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTOS DE TITULACIÓN

En calidad de Tutora del trabajo de investigación sobre el título:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES DE INFANTES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ” de Guamangate Tipán Cristian Ricardo y Pilaguano Montero Julio Marcelo de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, agosto del 2022



Ing. Morales Cevallos José Williams Mg.
C.I. 050267542-4

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto los postulantes: Guamangate Tipán Cristian Ricardo con cédula de ciudadanía 0504368077 y Pilaguano Montero Julio Marcelo con cédula de ciudadanía 1251135719 con el título de proyecto de investigación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES DE INFANTES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, agosto del 2022

Para constancia firman:


M.Sc. Paco Giovanni Vásquez Carrera
C.I. 050175876-7
LECTOR 1 (PRESIDENTE)


M.Sc. Johnatan Israel Corrales Bonilla
C.I. 050314551-8
LECTOR 2 (MIEMBRO)


M.Sc. Francisco Saul Alcocer Salazar
C.I. 050306679-7
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios y a mi familia, quienes me han dado las fuerzas y el apoyo necesario para poder alcanzar todas mis metas.

También agradezco a la universidad técnica de Cotopaxi extensión la maná por brindarme los conocimientos necesarios para lograr el presente proyecto y prepararme para ser un profesional de bien.

Cristian & Julio

DEDICATORIA

Doy gracias a mi papá, mamá, hermanos que han estado en cada etapa de mi vida apoyándome y guiándome para ser un ser humano y profesional de bien.

Gracias a Dios por la vida y familia que me ha otorgado. Y gracias a la universidad técnica de Cotopaxi extensión la maná por la guía y enseñanzas adquiridas.

Cristian & Julio

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES DE INFANTES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ".

Autores:

Guamangate Tipán Cristian Ricardo

Pilaguano Montero Julio Marcelo

RESUMEN

El presente trabajo de titulación presenta el diseño y construcción de un prototipo de un exoesqueleto para las extremidades inferiores de personas con discapacidad motriz, el cual se componen de un diseño biomecánico con una estructura mecánica que se ajusta a las condiciones y dimensiones de la persona evaluada, se realizó una investigación bibliográfica para la obtención de información de relevancia acerca de la antropometría humana, se desarrolló la selección de los materiales eléctricos y electrónico, de los cuales se pueden descargar el uso de motores de corriente continua que tienen una capacidad de manejar hasta 100 libras fuerza, un reductor de velocidad para estabilizar el torque de operación y un circuito electrónico denominado PWM con la finalidad de controlar la velocidad de rehabilitación del usuario, considerando parámetros de comodidad en cadera, rodilla, y tobillo. Mediante un software de simulación especializado en el modelado de piezas mecánicas se determinó la carga estática aplicada al prototipo de exoesqueleto. Para la validación del prototipo se realizaron pruebas continuas dando cumplimiento al objetivo principal para el cual fue implementado.

Palabras clave: prototipo, exoesqueleto, biomecánica, software y discapacidad.

ABSTRACT

This research work presents the design and construction of an exoskeleton prototype for the lower extremities of children with motor disabilities which is conformed of a biomechanical design with a mechanical structure that fits the conditions and dimensions of the evaluated child. Bibliographic research was conducted to obtain relevant information about human anthropometry so that the selection of electrical and electronic materials was developed. Regarding the use of direct current motors that have a capacity to handle up 100 pounds, a speed reducer to stabilize the operating torque, and an electronic circuit called PWM in order to control the speed of rehabilitation of the user. In addition, it was considered parameters of comfort on hip, knee, and, ankle; on the other hand, a simulation software which is specialized in modeling mechanical parts for the static load applied to the exoskeleton prototype was determined. For the validation of the prototype, continuous tests were carried out in order to fulfill the main objective of the research work.

Keywords: prototype, exoskeleton, biomechanics, software, and disability.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTOS DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBELMA	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5.1. Delimitación del problema	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo General.....	5
6.2. Objetivos específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
8.1. Antecedentes de la investigación.....	7
8.2. El cuerpo humano.....	9
8.3. Anatomía	9
8.4. La marcha humana.....	10
8.4.1. Como camina una persona	10
8.5. La marcha humana.....	12
8.5.1. Discapacidad motriz.....	13
8.5.2. Paraplejia	13

8.5.3. Tetraplejia	13
8.5.4. Distrofia muscular	13
8.6. Biomecánica de la extremidad inferior.....	13
8.6.1. Anatomía de la pierna	14
8.6.2. Músculos de la pierna y comportamiento	15
8.6.3. Músculos de la sección de la pierna.....	15
8.6.3.1. Huesos de retropié	16
8.6.4. Músculos del pie	18
8.6.4.1. Músculos del pie intrínsecos dorsales	19
8.6.4.2. Músculos intrínsecos plantares del pie	19
8.6.4.3. Músculos intrínsecos superficiales del pie	20
8.7. Exoesqueleto robótico	20
8.7.1. Beneficios y riesgos.....	20
8.7.2. Tipos de exoesqueletos.....	21
8.7.2.1. Exoesqueletos militares	21
8.7.2.2. Exoesqueletos industriales.....	22
8.7.2.3. Exoesqueletos personas con discapacidad.....	22
8.8. Parte mecánica de un exoesqueleto	23
8.8.1. Características mecánicas de diseño.....	24
8.9. Parte electrónica de un exoesqueleto	24
8.9.1. Actuadores eléctricos.....	25
8.9.2. Control de un exoesqueleto	25
8.9.2.1. Servomotor	25
8.9.2.2. Microcontrolador	26
9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	27
9.1. Localización.....	27
9.2. Tipos de investigación	27
9.2.1. Investigación bibliográfica	27
9.2.2. Investigación de campo	27
9.3. Métodos de investigación	28
9.3.1. Método científico.....	28
9.3.2. Hipótesis del proyecto	28
9.4. Declaración de variables.....	28

9.4.1. Variable independiente	28
9.4.2. Variable dependiente	28
9.5. Metodología de diseño.....	29
9.6. Diseño del exoesqueleto	30
9.6.1. Medidas antropométricas de infantes	31
9.6.2. Rehabilitación de extremidades inferiores	32
9.6.3. Criterio de grados de libertad	33
9.6.4. Parámetros de diseño	35
9.6.5. Análisis matemático del exoesqueleto.....	35
9.6.5.1. Análisis de la pierna	38
9.6.6. Especificaciones técnicas de diseño	43
9.6.7. Selección del material.....	44
9.6.7.1. Método de selección 1	44
9.6.7.2. Método de selección 2	44
9.6.7.3. Método de selección 3	45
9.6.7.4. Materiales del exoesqueleto.....	45
9.6.8. Selección del actuador	46
9.6.8.1. Motor de corriente continua	46
9.6.8.2. Servomotor	47
9.6.8.3. Motor paso a paso.....	48
10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	49
10.1. Construcción del exoesqueleto	49
10.1.1. Construcción de la estructura de soporte	50
10.1.2. Construcción de la estructura para mecanismo	51
10.1.3. Construcción del mecanismo.....	52
10.1.4. Soportes acolchonados	53
10.2. Dimensionamiento del motor	54
10.2.1. Selección de la fuente de poder	55
10.2.2. Implementación de la parte de control.....	56
10.3. Cálculos de los grados de libertad del exoesqueleto	58
10.4. Pruebas realizadas.....	60
10.4.1. Prueba 1	61
10.4.2. Prueba 2	63

10.5. Flujograma.....	66
10.6. Diseño en software	66
10.6.1. Diseño del pie	67
10.6.2. Diseño de la simulación.....	67
11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	70
11.1. Costos directos.....	70
11.2. Costos de mano de obra.....	70
11.3. Presupuesto total.....	71
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
12.1. Conclusiones.....	72
12.2. Recomendaciones	73
13. BIBLIOGRAFÍA	74
14. ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Beneficiarios del proyecto	4
Tabla 2 Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.....	6
Tabla 3: Variable independiente.....	28
Tabla 4: Variable dependiente.....	29
Tabla 5: Medidas antropométricas de infantes.....	32
Tabla 6: Productos de libertad imperceptible del infante.....	34
Tabla 7: Información antropométrica.....	37
Tabla 8: Valoración de posibles materiales.....	46
Tabla 9: Propiedad del acero ASTM A36	46
Tabla 10: Costos indirectos.....	70
Tabla 11: Costos directos.....	70
Tabla 12: Costos de mano de obra	70
Tabla 13: Presupuesto total	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Forma de caminar de una persona.....	10
Figura 2 Anatomía de la pierna	14
Figura 3: Compartimiento de la pierna	15
Figura 4: Compartimiento de la pierna	16
Figura 5: Anatomía del pie	16
Figura 6: Anatomía del pie.....	19
Figura 7: Exoesqueleto.....	21
Figura 8: Exoesqueleto militares.....	22
Figura 9: Exoesqueletos industriales.....	22
Figura 10: Exoesqueleto para personas con discapacidad	23
Figura 11: Movimiento de un exoesqueleto	23
Figura 12: Servomotor	26
Figura 13: Servomotor	26
Figura 14: Ubicación del proyecto	27
Figura 15: Fases para el diseño.	29
Figura 16: Sistema óseo	30
Figura 17: Exoesqueleto.....	31
Figura 18 Plano sagital	33
Figura 19: Representación mediante eslabones	36
Figura 20: Extremidad inferior en su punto máximo	36
Figura 21: Extremidad inferior en su punto máximo	37
Figura 22: Distribución de fuerzas en la pierna.	40
Figura 23: Distribución de fuerzas en el muslo.....	42
Figura 24: Exoesqueleto EasyStand.....	43
Figura 25: Motor CC con motorreductor	47
Figura 26 Servomotor.....	47
Figura 27 Motor paso a paso	48
Figura 28: Fases para el diseño.	49
Figura 29: Estructura de soporte	50
Figura 30 Medidas de la estructura de soporte	50
Figura 31: Estructura para mecanismo.....	51

Figura 32: Medidas de la estructura de mecanismo.	51
Figura 33: Construcción del mecanismo.	52
Figura 34: Plano en CAD	52
Figura 35: Soporte acolchonado.....	53
Figura 36: Soporte acolchonado espaldar.	53
Figura 37: Motor eléctrico.....	55
Figura 38: Fuente de poder.....	55
Figura 39: Implementación de la caja de control.	56
Figura 40: Mecanismo de movimiento.....	57
Figura 41: Simulación del exoesqueleto off.....	57
Figura 42: Simulación del exoesqueleto on.	58
Figura 43: Mecanismo de movimiento.....	58
Figura 44: Diagrama cinemático.	59
Figura 45: Diagrama cinemático de eslabones.....	59
Figura 46: Diagrama cinemático de eslabones.....	60
Figura 47: Prueba 1: movimiento 1.....	61
Figura 48: Prueba 1: movimiento 2.....	62
Figura 49: Prueba 1: movimiento 3.....	62
Figura 50: Prueba 1: movimiento 4.....	63
Figura 51: Prueba 2: movimiento 1.....	64
Figura 52: Prueba 2: movimiento 2.....	64
Figura 53: Prueba 2: movimiento 3.....	65
Figura 54: Prueba 2: movimiento 4.....	65
Figura 55: Flujograma.	66
Figura 56: Diseño del pie	67
Figura 57: Selección del material.....	67
Figura 58: Geometría fijada	68
Figura 59: Fuerza gravitacional aplicada	68
Figura 60: Resultados.....	69
Figura 61: Resultados del desplazamiento.	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Hoja de vida de tutor del proyecto.	78
Anexo 2: Hoja de vida de los estudiantes investigadores.	79
Anexo 3: Ficha técnica del motor DC.....	81
Anexo 4: Ficha técnica de la fuente de poder	82
Anexo 5: Estructura para el mecanismo.....	83
Anexo 6: Estructura de soporte	84
Anexo 7: Estructura del exoesqueleto.....	85
Anexo 8: Estructura del exoesqueleto en diferentes posiciones.	86
Anexo 9: Aval de traducción.....	87

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Diseño y construcción de un exoesqueleto para las extremidades inferiores de infantes con discapacidad motriz”

Fecha de inicio:	Marzo del 2022
Fecha de finalización:	Agosto del 2022
Lugar de ejecución:	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Unidad académica que auspicia:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA
Carrera que auspicia:	Ingeniería Electromecánica
Proyecto de investigación vinculado:	La transferencia tecnológica sustentable como eje fundamental para el desarrollo socio económico y la vinculación social
Equipo de trabajo:	
Tutor del Proyecto:	Ing. Morales Cevallos José Williams
Postulante:	Sr. Guamangate Tipán Cristian Ricardo Sr. Pilaguano Montero Julio Marcelo
Área de conocimiento:	Ingeniería, Industria y Construcción
Línea de investigación:	Procesos Industriales
Sub líneas de investigación de la carrera:	Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos
Núcleo Disciplinar:	Desarrollo de tecnología y procesos de fabricación

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBELMA

El cuerpo humano se encuentra expuesto a sufrir lesiones en varias de las articulaciones del cuerpo, en su mayoría las extremidades inferiores han sido las más afectadas debido a los accidentes, o diversas lesiones por deportes, violencia entre otros causando distintas discapacidades o atrofias. Adicional en el Ecuador según los datos del Registro Nacional de Discapacidades del Ministerio de Salud Pública existen más de 20 mil individuos con especie de trastorno física, sobrellevando el 47.18% del general de las personas con discapacidad coexistiendo con el alto padecimiento de estos individuos lo pertinente a condiciones al caminar (CONADIS, 2018).

Con el objetivo de menorar estas restricciones se ha dado por utilizar sillas de ruedas de tipo mecánicas y/o electrónicas, muletas o bastones, este tipo de objetos a pesar de ser útiles tienen inconvenientes en la facilidad de moverse agregando que las personas en silla de ruedas tienen dependencia de una segunda persona.

El desarrollo de exoesqueletos han ido evolucionando a lo largo del tiempo aunque han presentado limitaciones en su estructura y control debido a la falta de información o el optar por abarcar una gran parte de movimientos que pueden llegar a perjudicar aún más al cuerpo humano, por tanto, es necesario enfocarse solamente al estudio de una parte o del movimiento repetitivo de alguna articulación con la finalidad de satisfacer a la persona y ayudar al restablecimiento de sus movimientos en las extremidades inferiores (Molina & Sancho, 2015).

Se entiende que la anatomía humana es muy compleja, por lo que se requieren estudios biomecánicos del cuerpo humano para trazar mecanismos livianos y adaptables para realizar modelos de exoesqueleto de bajo costo para la locomoción de las extremidades inferiores adaptarse a la anatomía del cuerpo humano.

3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la sociedad que vivimos existe un gran interés en la integración de personas con discapacidad con la finalidad de adaptarse de manera social, profesional y personal (SENPLADES, 2014). El desarrollo de la tecnología siempre ha sido una de las vías más importantes para lograr esta integración, aunque lamentablemente en nuestro país no ha habido un gran desarrollo e investigación en el diseño e implementación de prototipos de exoesqueletos de extremidades inferiores, existiendo ya algunos con diversas restricciones mecánicas o electrónicas.

Este proyecto toma en cuenta un punto muy importante en el diseño de un prototipo de exoesqueleto para la extremidad inferior para infantes que requieren rehabilitación leve o nivel 1 y 2, tomando en cuenta el impacto del cuerpo del paciente en los parámetros biomecánicos, tomando en cuenta la aplicación La tecnología mismo y el diseño de los prototipos existentes para garantizar el correcto funcionamiento del exoesqueleto.

Finalmente, es extremadamente importante que se lleven a cabo investigaciones biomecánicas y del exoesqueleto humano para completar este proyecto y brindar a los bebés la oportunidad de recuperar la movilidad de sus extremidades inferiores.

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se presentan los beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.

Tabla 1 Beneficiarios del proyecto

Beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos
Infantes que presenten discapacidad grado 1 y 2	Investigadores relacionados con el tema de exoesqueletos. Familiares del infante discapacitado

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022)

5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Delimitación del problema

El diseño y construcción de un prototipo de exoesqueleto que permita generar la rehabilitación de infantes con discapacidad en las extremidades inferiores.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Construir un prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación de infantes con discapacidad en las extremidades inferiores.

6.2 Objetivos específicos

- Determinar los tipos de exoesqueletos y el funcionamiento biomecánico del cuerpo humano para considerar los grados de libertad y el rango de movimiento de las extremidades inferiores.
- Seleccionar los elementos mecánicos y electrónicos para la implementación del prototipo de exoesqueleto y el desarrollo de una simulación de carga estática mediante un software CAD.
- Implementar el prototipo de exoesqueleto de extremidades inferiores en base al diseño biomecánica determinado por el tipo de discapacidad del infante.

7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS.

Tabla 2 Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos

Objetivos específicos	Actividades	Resultados de las actividades	Descripción (técnicas e instrumentos)
Determinar los tipos de exoesqueletos y el funcionamiento biomecánico del cuerpo humano para considerar los grados de libertad y el rango de movimiento de las extremidades inferiores.	Recopilación de información técnica de libros, proyectos de titulación, artículos científicos, entre otros. Desarrollo de la documentación técnica (estado del arte) del funcionamiento biomecánico del cuerpo humano.	Obtención de datos técnicos y biomecánicos del diseño de exoesqueletos. Verificación de los valores de independencia y el calidad de movimiento en las extremidades inferiores.	Investigación bibliográfica
Seleccionar los elementos mecánicos y electrónicos para la implementación del prototipo de exoesqueleto y el desarrollo de una simulación de carga estática mediante un software CAD.	Procedimiento de selección de parámetros para el diseño del exoesqueleto. Utilización de un software para diseño mecánico y simulación	Ejecución de una memoria de cálculo para el diseño mecánico, eléctrico y electrónico. Diseño de los planos mecánicos y eléctricos del exoesqueleto.	Investigación bibliográfica Investigación de campo Ecuaciones Software
Implementar el prototipo de exoesqueleto de extremidades inferiores en base al diseño biomecánica determinado por el tipo de discapacidad del infante.	Construcción del prototipo de exoesqueleto para extremidades inferiores.	Obtención de resultados finales.	Investigación de campo.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022)

8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.

8.1 Antecedentes de la investigación

Existen diferentes estudios que tienen relación con el diseño y la construcción de exoesqueletos para las extremidades inferiores, dentro de las cuales se tiene las siguientes:

Según Villena (2017), en su proyecto de titulación denominado “Implementó y control de un exoesqueleto dirigidos a pacientes con incapacidad de movilidad en los extremos inferiores del cuerpo”, desarrollado en la Universidad de Piura – Perú indica lo siguiente:

- Los exoesqueletos de rehabilitación de extremidades inferiores se pueden diseñar para pacientes de entre 143 y 172 cm de altura, con un sistémico de 7 grados de libertad para cada extremidad inferior, tres de los cuales son controlados y representan el movimiento sagital. caderas y rodillas. El análisis se realizó mediante el método de Von Mises en el software SolidWorks, y se obtuvo un factor de seguridad superior a 1,6 con desplazamiento mínimo imperceptible, lo que indicó que se garantizaba el correcto funcionamiento del paciente.
- Se decidió que los músculos artificiales neumáticos fueran los actuadores principales porque se ajustan a los principales objetivos de diseño: son muy ligeros y, además, son lo suficientemente fuertes como para levantar la extremidad inferior de un adulto. El control de chorro PI adaptativo incremental se realizó con resultados agradables sin sobre envite, aunque su comportamiento fuera no lineal.

Según Villena (2017), es un proyecto de investigación de grado titulado “Diseño, implementación y control de exoesqueletos para pacientes con trastornos del movimiento de las extremidades inferiores” desarrollado en la Universidad de Piura en Perú se expresa:

- Se realizó el dimensionamiento de la maquina extrusora, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los diferentes materiales de fabricación y las necesidades del material a extruir, como temperatura, presión, velocidad de extrusión, acabado superficial, entre otros.
- Se utilizó un motor de 3 HP con un motorreductor a 140 RPM, adicional se implementó un variador de frecuencia con la finalidad de obtener una velocidad de salida deseada,

el control de temperatura se lo realizó por medio de un PLC con termocuplas como sensores y se utilizaron luces indicadoras para visualizar el inicio/fin del control.

Según Arango (2018), en su artículo científico titulado "Diseño y construcción de modelos de exoesqueletos de miembros inferiores para niños con trastornos del movimiento", afirmó en su artículo científico, Universidad Tecnológica de Mistka, México, que:

- La construcción de una máquina extrusora permite diseñar y elaborar nuevos productos a base de material reciclado, el tipo de extrusora que se fabricó es de husillo simple, utilizando fórmulas de construcción para el tornillo fin sin, cilindro extrusor, motor eléctrico y el sistema de calentamiento del plástico.
- Se utilizó un motor de 2,4 HP con un sistema de reducción de velocidad con poleas a 13 RPM, la maquina presenta una capacidad de 20 kg/h para fabricar perfiles rectangulares utilizados como postes de cerca, las resistencias se seleccionaron de tipo abrazadera controladas por medio de un pirómetro permitiendo regular la temperatura interna del cilindro dependiendo del tipo de plástico a extruirse.

Según (Shingón Collaguazo & Uvillus Tipan , 2019) en su propuesta tecnológica denominada “Construcción de una máquina extrusora para plástico”, realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi – Ecuador manifiesta lo siguiente:

- El diseño muestra 3 grados de independencia para cada articulación de la extremidad inferior. El exoesqueleto está dirigido principalmente a niños de 6 a 12 años. Se consideran varios puntos primordiales de apoyo de la extremidad inferior (cadera, rodilla, tobillo), bajo el apoyo del exoesqueleto según el cual da conocer la antropometría de la población tierna, es necesario conocer la fisiología de las extremidades inferiores y cómo se comportan previo al movimiento normal en la marcha en México.
- El exoesqueleto posee la contingencia de desarrollar cada uno de los elementos de los 27 cm a 45 cm. Mecánicamente, todo el diseño está compuesto de piezas metálicas, con gran resistencia a las fuerzas de compresión. Se realizó un sistema de control del dispositivo para cada grado de libertad logrando una mayor estabilidad del dispositivo.

8.2 El cuerpo humano

El cuerpo humano es una estructura compleja y altamente organizada, formada por células que trabajan juntas para realizar funciones específicas necesarias para mantener la vida. Es un conjunto de estructuras físicas y partes que componen una persona. La termino cuerpo humano viene del latín corpus, que da ha entender "cuerpo" y humanus, humanum, que tiene significado como "hombre". (Significados, 2022)

La estructura del cuerpo de una persona está constituida por tres partes que son la cabeza, tronco y miembros superiores e inferiores y las estructuras que interceden en los órganos están desarrolladas por desiguales sistemas como son el sistema circulatorio, el sistema respiratorio, el sistema digestivo, el sistema endocrino, el sistema reproductivo, el sistema excretor, el sistema nervioso y el movimiento (Significados, 2022) .

8.3 Anatomía

La anatomía se organiza por niveles, desde los componentes más pequeños de las células, pasando por los tejidos y órganos y hasta los sistemas orgánicos. La anatomía celular es el estudio de las células y sus componentes, los cuales pueden observarse solo con la ayuda de técnicas e instrumentos especiales como los microscopios. (Villa, 2022)

La anatomía molecular (a menudo llamada biología molecular) estudia los componentes más pequeños de las células al nivel bioquímico. La anatomía y la fisiología varían notablemente desde la fecundación hasta el nacimiento. Después del nacimiento, el ritmo de los cambios anatómicos y fisiológicos se hace más lento, pero la infancia es aún una edad de crecimiento y desarrollo notables. Algunos cambios anatómicos se producen una vez alcanzada la edad adulta, pero son los cambios fisiológicos en las células y en los órganos los que más contribuyen al envejecimiento. (Villa, 2022)

8.4 La marcha humana

8.4.1 Como camina una persona

El análisis de la forma de caminar tiene varios componentes. En conjunto, proporcionan una imagen completa de los diversos factores que contribuyen al trastorno de la forma de caminar.

El movimiento es la corriente de las coyunturas. La cambiante son las fuerzas que proceden sobre una coyuntura. Esta prueba origina un concurdo en 3D de cómo se agita el organismo al caminar (Stanford Medicine, 2019)

Se fijan marcadores reflectantes en las piernas, la pelvis y el torso. Las cámaras digitales registran los movimientos de los marcadores para medir los movimientos articulares del torso, la pelvis, las caderas, las rodillas y los tobillos. La fuerza de las articulaciones cruzadas, los datos cinéticos brindan información sobre los factores que contribuyen a los movimientos anormales (Stanford Medicine, 2019).

La iniciación normal consta de una fase estática, el 60% de la cual se produce cuando una pierna está cargada y en contacto con el suelo, y una fase de balanceo o dinámica (40%), donde la otra pierna avanza para dar el siguiente paso. Al mismo tiempo, el brazo se mueve adelante y atrás en dirección opuesta a la pierna. Los elementos básicos de la marcha son: flexión de rodilla, flexión de cadera, interacción rodilla-tobillo, balanceo pélvico y rotación pélvica sobre el eje vertical.



Figura 1 Forma de caminar de una persona
Fuente: (Stanford Medicine, 2019)

En requisitos generales los requisitos para poder poner en marcha la acción de caminar mediante medios se debe de usar lo siguiente

- **Despegue:** Aunque la rodilla estiramiento, obstrucción de sóleo y gastrocnemio empuje las extremidades mientras levantan los talones del suelo. hora de abductores y cuádriceps el lado contralateral evita la inclinación pélvica al mantener la inmovilización.
- **Avance:** El miembro contralateral soporta toda la carga, el marco de referencia se eleva y avanza. para esto, flexione gradualmente las caderas y las rodillas mientras el tobillo y el pie se estiran gradualmente para evitar la fricción.
- **Apoyo:** Empieza de manera rápida con el apoyándose en el pie por el área de la planta, equilibrando la sección las rodillas suavemente flexionadas, para luego dar comienzo al siguiente paso para pasar a contralateral.

Las personas al iniciar una investigación, debemos considerar tanto sus componentes espaciales como temporales, que varían según la edad, el género, los hábitos físicos, la movilidad, la intensidad y el tipo de calzado. En el ámbito temporal, se expresa de la siguiente manera:

- Apoyo unipodal: tiempo debilitado por la extremidad en la etapa de soporte.
- Apoyo bipodal: tiempo con pares pies sobre cubierta del suelo durante un periodo de partida.

Según (Efisioterapia, 2007) manifiesta algunas definiciones acerca de cómo camina una persona, teniendo las siguientes:

Cadencia: La unidad aplicada al tiempo con el número de pasos.

Velocidad por parámetros rápido: 45-85p/m, velocidad establece: 72-102p/m, avanzada: 114-132p/m.

Velocidad: La unidad de tiempo por la distancia recorrida.

Velocidad por parámetros lentos: 45-85p/m, velocidad estable: 72-102p/m, avanzada: 114-132p/m.

Aceleración: es la permuta de velocidad que excede el cambio de velocidad experimentado entre transiciones lentas a un despliegue rápido.

Variables sobre la distancia son:

- Extensión de base: Dirección entre los pies lineal.
- Longitud de paso: Pies opuestos marcan distancia entre puntos sucesivos al contacto.
- Longitud de zancada: Perímetros que la recta que accede las dos etapas anteriores con la pierna.

Categoría de salida: Disminuye al aumentar la velocidad con el ángulo de la posición del pie cuando caminaos

8.5 La marcha humana

La Organización Mundial de la Salud define la discapacidad como “un fenómeno complejo que refleja la interacción entre las peculiaridades del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive”. La terminología incluye causas que afectan esta estructura del cuerpo humano, limitaciones de actividad y limitaciones de participación resultantes.

Contando con la diferente forma de discapacidad que existen, una discapacidad física que no permite el movimiento se presenta cuando la condición física de un individuo haga el impedimento de permanente e irreversible moverse de su sistema motor en la plena capacidad de desarrollo. Afecta al sistema musculoesquelético, especialmente a las extremidades, aunque también puede manifestarse como falta de movilidad del músculo esquelético (Observatorio de discapacidad física, 2022).

En lo fundamental la opción principalmente más grande es la sección de la discapacidad física porque tiene un 80% esto se da después del nacimiento de los accidentes de todo tipo o por condiciones comunes de genes hereditarios. Mediante el parto existen la vía de problemas genéticos que tiene durante el embarazo, tal vez alguna contracción que afecto de manera más minoritaria.

8.5.1 Discapacidad motriz

Se da cuando las personas tienen una condición física que no tiene la función de movilidad de manera que esta capacidad de sus sistemas motores es complicada e irreversible moverse a plena. Una discapacidad física que tenga una persona es un individuo con una capacidad reducida para falta de movilidad en las partes del cuerpo. Este se logra entender que se refiere a movimientos descoordinados o trastornos del equilibrio (Predif, 2017).

8.5.2 Paraplejia

Este efecto debido a una lesión de la médula espinal dorsal incluye parálisis o incapacidad para mover la parte inferior del cuerpo. Afecta principalmente a las piernas y los pies. El sujeto pierde la capacidad de caminar. Puede o no afectar la respuesta sexual (Castillero, 2017).

8.5.3 Tetraplejia

Cambios causados por una lesión de la médula espinal cervical, cuyos efectos se manifiestan como pérdida completa de la movilidad de las extremidades inferiores y pérdida total o parcial de la movilidad de las extremidades superiores. La dificultad puede ser mayor o menor según la localización de la lesión, lo que suele significar una mayor artificialidad e incapacidad asociada a aquellas lesiones en las vértebras más cercanas al cráneo. De hecho, esto puede llevar a la necesidad de un ventilador artificial para mantener al paciente respirando (Castillero, 2017).

8.5.4 Distrofia muscular

Las distrofias musculares, un grupo de trastornos que provocan un tono muscular débil, pérdida de tejido con el tiempo, lo que dificulta el movimiento y conduce a la discapacidad. Es uno de los tipos más comunes de discapacidades físicas (Castillero, 2017).

8.6 Biomecánica de la extremidad inferior

El propósito de la parte inferior del cuerpo es actuar como base de apoyo para el cuerpo (estático) y permitir que se mueva (movimiento). Una raíz o cintura pélvica se puede distinguir y subdividir en extremidades libres de muslos, piernas y pies. La cintura pélvica está firmemente unida a la columna vertebral. Los huesos de la parte inferior de la espalda (cadera)

forman la pelvis o la pelvis junto con el extremo de la cola de la columna (sacroccígea), un marco inflexible que actúa como una plataforma para el movimiento (Horcajada, 2018)

8.6.1 Anatomía de la pierna

La parte inferior de la pierna, o simplemente “pierna” en términos anatómicos, es la parte del miembro inferior entre la rodilla y la articulación del tobillo. La estructura ósea está compuesta por los huesos de el peroné y el peroné la tibia.

El hueso llamado tibia que esta la parte de la pierna inferior, está conectada al a un hueso llamado, fémur que es por el muslo por la rodilla. De la forma distal, estos huesos y el peroné de la parte inferior se conjuntan al astrágalo del pie por el tobillo en la articulación. Los músculos de las piernas que actúan sobre las articulaciones que son en tres compartimentos de la rodilla y el tobillo y el pie; estas están organizados fasciales, similares a los compartimentos fasciales de los músculos del muslo.

El compartimento anterior principalmente los músculos que producen y la inversión; el compartimento posterior contiene los músculos que producen la flexión y la inversión, y el compartimento lateral contiene principalmente los músculos que producen la flexión y la eversión. (Medline Plus, 2020)

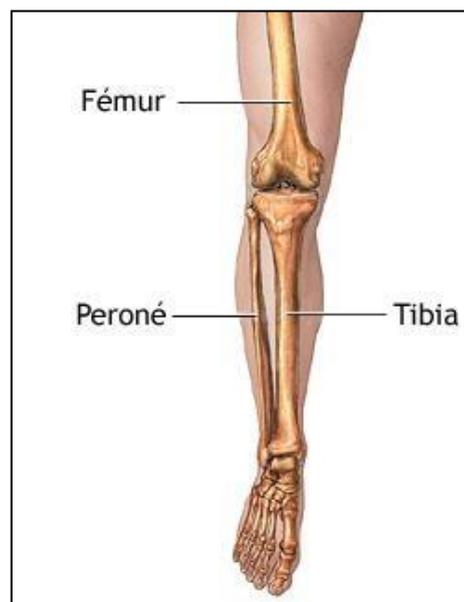


Figura 2 Anatomía de la pierna.
Fuente: (Medline Plus, 2020)

8.6.2 Músculos de la pierna y comportamiento

En la sección preliminar de la pierna los músculos de la provocan muchas labores, porque algunos rebasan el tobillo, el pie y los dedos, o composición de toda articulación.

- **Inervación común.** Son el nervio fibular profundo.
- **Acción común.** Es la dorsiflexión.
- **Riego vascular común.** Es la parte de la arteria en la tibial anterior.

Los músculos mencionan que se encuentra localizados en la división anterior de la pierna

- **Músculo tibial anterior.**
- **Músculo extensor largo de los dedos.**
- **Músculo largo extensor del dedo primero.**
- **Músculo peroneo anterior.**

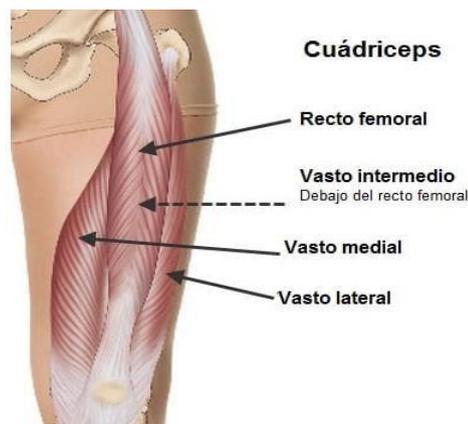


Figura 3: Compartimiento de la pierna
Fuente: (Access Medicina, 2017)

8.6.3 Músculos de la sección de la pierna

De esta parte tiene el externo de la pierna en donde los músculos producen muchos movimientos, ya que algunos se mueven a través del tobillo, el pie y los dedos de los pies, o una combinación de cada una de estas articulaciones. El compartimiento de los músculos de forma lateral de la pierna se pueden características similares a las que se describen a continuación:

- **Común inervación:** Nervio fibular superficial.
- **Común acción:** Eversión y flexión plantar.
- **Común de riego vascular:** Peronea y arterias tibiales anterior.

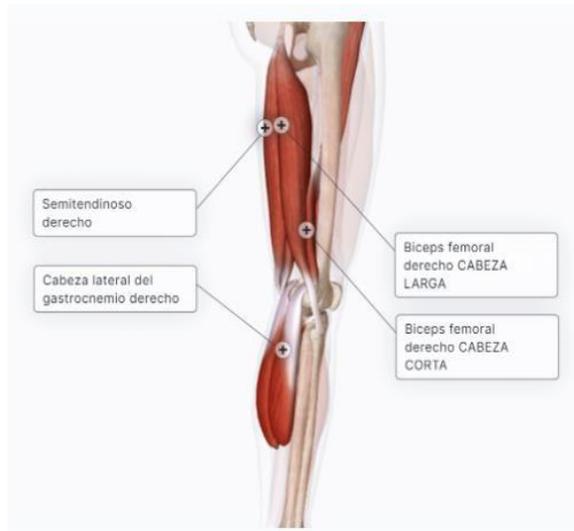


Figura 4: Compartimiento de la pierna
Fuente: (Access Medicina, 2017)

Los músculos están situados en el compartimiento lateral como se comenta en lo siguiente:

- Músculo peroneo extenso.
- Músculo peroneo precario.

1.1.1. Anatomía del pie

En la siguiente figura se puede observar la anatomía del pie, que incluye huesos y músculos.

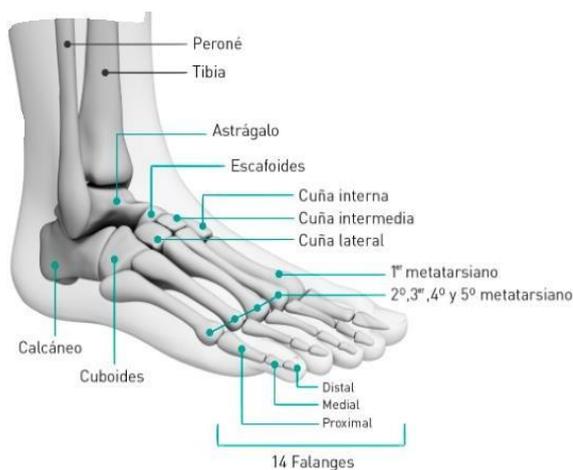


Figura 5: Anatomía del pie
Fuente: (Podoactiva, 2022)

8.6.3.1 Huesos de retropié

Esta parte del pie consta de los 2 huesos más grandes que forman la articulación subastragalina:

- **Calcáneo**

Es el hueso más grande del pie y el que da forma a nuestros talones. Está listo para repartir la presión porque cuando suceden los pasos, es el primero en ser golpeado. Por ello, se cubre con una gruesa capa de grasa que actúa como amortiguador. En la parte inferior tiene un tubérculo que se inserta en la fascia plantar (Podoactiva, 2022).

- **Astrágalo**

Es el segundo hueso más grande del pie, justo encima del calcáneo. El astrágalo coopera con la tibia y el peroné para formar la articulación del tobillo, lo que nos permite realizar flexión plantar (bajar la punta del pie) o dorsiflexión (elevar la punta del pie).

- **Escafoides o navicular**

Está conectado con el astrágalo en la parte posterior, el paralelepípedo en los lados y las 3 cuñas en la parte delantera. En su cara interna se inserta un tendón muy importante, llamado músculo tibial posterior.

- **Cuboides**

La forma recuerda a un cubo, y lo encontramos en el lateral del pie. Se conecta medialmente con el escafoides, posteriormente con el calcáneo y anteriormente con las bases del cuarto y quinto metatarsianos.

- **Cuñas**

En el pie tenemos un total de 3 cuñas: cuña medial, cuña medial y cuña lateral. Junto con los cuboides, forman los metatarsianos o articulaciones metatarsianas, que están conectadas a los metatarsianos a través de sus superficies anteriores.

- **Huesos del antepié**

Finalmente, en el antepié tenemos 5 metatarsianos y 14 falanges:

- **Metatarsos**

Hay 5 huesos delgados con estructuras similares, pero de diferentes calibres. Distinguimos entre una zona final de mayor tamaño denominada cabeza (con las articulaciones de los dedos, la zona que toca el suelo) y otra zona denominada cuerpo o columna vertebral.

- **Primer metatarsiano**

Es el calibre más grande del metatarsiano. Junto con la falange proximal del primer dedo forman la primera articulación metatarsofalángica, que juega un papel muy importante al caminar, ya que es la articulación que ejecuta los impulsos y permite que el mecanismo del molinete se active en las etapas finales de la marcha. (Podoactiva, 2022)

- **Metatarsiano 2º, 3º, 4º y 5º**

Son de menor calibre y van articulados a la cabeza con los dedos correspondientes. Son más propensos a las fracturas por estrés, siendo el segundo metatarsiano el más común.

- **Falanges**

Cada pie tiene un total de 14 falanges. En sus bases, la falange proximal se une a los huesos metatarsianos.

8.6.4 Músculos del pie

Nuestros pies realizan trabajos forzados, son mucho más que una simple plataforma, ya que gracias a sus diferentes estructuras ayudan en a trasladarnos a todas partes mientras transportan toda la carga del cuerpo. Los músculos pequeños y grandes del pie se pueden dividir en músculos dorsales y plantares.

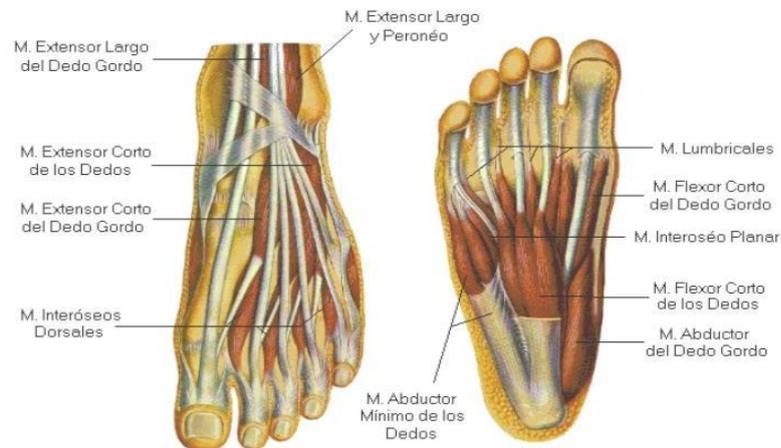


Figura 6: Anatomía del pie
Fuente: (Podoactiva, 2022)

8.6.4.1 Músculos del pie intrínsecos dorsales

En el área dorsal del pie existen solamente 2 tipos de músculos intrínsecos y ambos son de una longitud corta con la capacidad de estirarse. Mientras que los músculos dorsales intrínsecos estos pueden ampliarse hasta el pulgar con un extensor. (Belmonte, 2019).

- El pulgar con el extensor corto: Esta acción tiene una contracción y una extensión, con un dedo también conocida. Esta articulación muscular tiene la función perfecta trabajar con el extensor largo donde está ubicado el dedo gordo del pie ubicado en la parte anterior de la pierna.
- Los músculos extensores cortos de los dedos. Su contracción hace que se estiren los dedos que son los 2, 3 y 4 del área del pie y, al igual que el dedo que fueron anteriores, actúa sobre el extensor largo de los dedos en la zona anterior de la pierna.

8.6.4.2 Músculos intrínsecos plantares del pie

Los músculos que están ubicados en el área de las plantas de los pies son más complejos, más largos y más numerosos. Por ello, para su estudio, se dividieron en tres grupos según la profundidad en la que se encontraban. Por lo tanto, encontramos tres categorías de los músculos:

- Plantares profundos.
- De la planta medial.
- Plantares superficiales.

8.6.4.3 Músculos intrínsecos superficiales del pie

Según (Belmonte, 2019): Los músculos plantares superficiales son tres músculos que se encuentran en la planta del pie:

- Abductor del quinto dedo (meñique): flexiona y abduce el meñique, al igual que el meñique anterior, sostiene el arco longitudinal del pie en estado relajado.
- Abductor del dedo gordo del pie: Su contracción provoca la flexión y abducción del primer dedo del pie, y en la posición relajada sostiene el arco longitudinal del pie en su lugar.
- Flexor digitorum brevis: cuando se contrae, provoca la flexión de la segunda falange de los últimos cuatro dedos y, en estado relajado, también colabora para mantener el arco longitudinal

8.7 Exoesqueleto robótico

Se calcula que en todo el mundo hay aproximadamente 185 millones de personas que necesitan una silla de ruedas a diario.

Los exoesqueletos son equivalentes mediante la capacidad a una armadura así con estilo de robot que se aplica en nuestro cuerpo mediante perfectas. Recursos mecánicas, así como robóticas que tenemos nosotros. Es decir, es como una máquina que colgamos en sus extremidades, lo que nos dota de habilidades como robot que no se tendrá que tener sin él: por ejemplo, para caminar o movernos en determinadas situaciones, pero también para cargar ciertos pesos sin causar dolor de espalda. Partes robóticas que agregamos al cuerpo, como vemos a menudo en las películas. (García R. , 2021).

La tecnología más competente en este exoesqueleto permite que los robots integrados en nuestro cuerpo sigan todos nuestros movimientos e incluso controlen nuestra mente, aunque algunos también se pueden controlar a distancia.

8.7.1 Beneficios y riesgos

Con respecto a los beneficios y peligros de los exoesqueletos, los terapeutas informan que muchas personas que están embarazadas encuentran los exoesqueletos motivadores y

emocionantes. Descubrieron que los pacientes que podían pararse y caminar en el exoesqueleto generalmente desarrollaron una mejor resistencia, tenían un mejor control de sus intestinos y vejiga, y tenían menos probabilidades de desarrollar infecciones del tracto urinario.



Figura 7: Exoesqueleto
Fuente: (García M. , 2019)

Los terapeutas también informaron que algunos ex fumadores describieron los beneficios psicológicos de estar de pie con un compañero que habla e informaron que se volvieron más activos después de recuperar la capacidad de caminar. Sin embargo, los terapeutas también han identificado algunos riesgos asociados con el uso del exoesqueleto, incluido el riesgo de caídas, daños en la piel debido a la exposición repetida al exoesqueleto o la insatisfacción del paciente con las limitaciones técnicas. (García M. , 2019)

8.7.2 Tipos de exoesqueletos

Como toda tecnología, tiene una variedad de aplicaciones, y según (Jonas, 2020), estas son ciertos tipos de exoesqueletos.

8.7.2.1 Exoesqueletos militares

Hace tiempo que hemos visto la aplicación de la robótica en el ejército y los robots militares de combate, pero ahora toca analizar la aplicación de la tecnología a los propios humanos. Estos exoesqueletos de soldados son estructuras impulsadas hidráulicamente que ayudan a las tropas a moverse y, lo que es más importante, soportan o levantan grandes pesos.



Figura 8: Exoesqueleto militares
Fuente: (Henriquez , 2010)

8.7.2.2 Exoesqueletos industriales

Los exoesqueletos estudiosos a la manufactura son otra de las con las elecciones que brinda esta tecnología, dirás: Como hemos visto ventajas en aplicaciones militares, donde la ropa de protección puede hacer mucho para reducir el impacto en la salud humana, es realmente un gran paso adelante para la industria.



Figura 9: Exoesqueletos industriales
Fuente: (Omicrono, 2020)

8.7.2.3 Exoesqueletos personas con discapacidad

Nuestras aplicaciones favoritas en Robo pciones que ofrece esta tecnologíatsphere son aquellas que ayudan a las personas con discapacidades físicas. Es fantástico que estos exoesqueletos robóticos puedan conectarse con el cerebro humano y realizar movimientos instruidos por el humano.



Figura 10: Exoesqueleto para personas con discapacidad
Fuente: (Alvarez, 2016)

8.8 Parte mecánica de un exoesqueleto

El exoesqueleto usa sensores para estimar las fuerzas generadas por humanos, junto con actuadores SEA (Series Elastomeric Actuators) para amplificar el esfuerzo humano. La amplificación de potencia se puede aumentar o disminuir según sea necesario, lo que permite al usuario progresar a través de la rehabilitación (Lopez, 2018).

Además, la velocidad angular de las articulaciones y los sensores estiman el enfoque, que se utilizan el movimiento de las piernas controlados. En definitiva, el objetivo que se persigue es disponer de un diseño de exoesqueleto de bajo coste que reduzca el esfuerzo que requiere el usuario para ponerse de pie y realizar algunos ejercicios de rehabilitación estáticos independientes como la flexión y extensión de la pierna derecha o izquierda.

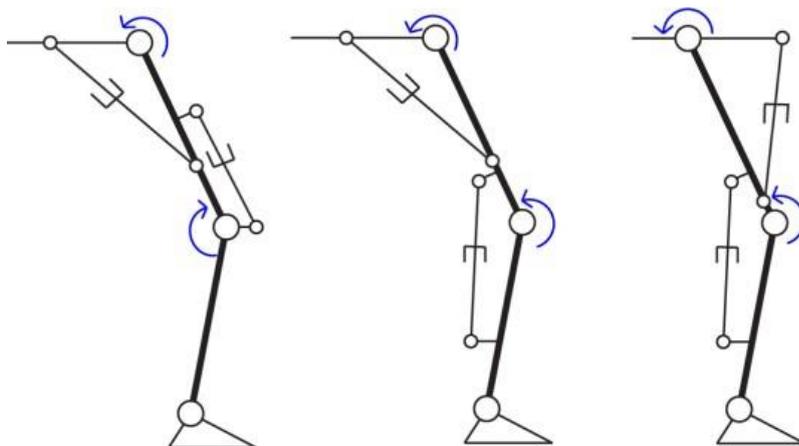


Figura 11: Movimiento de un exoesqueleto
Fuente: (Dunai, 2018)

8.8.1 Características mecánicas de diseño

Según el catálogo de (Ponce, 2014), las siguientes características de diseño mecánico del exoesqueleto

- Será antropomórfico como tiene caderas, rodillas y tobillos humanos, pero con detalles articulares diferentes.
- El diseño automático del exoesqueleto debe ajustarse a cadera 90, rodilla -90, pie -15 a 25 (basado en la posición sagital y extendida).
- El centro de acopio debe estar alineado, considerando que el centro de rotación y el peso de las partes mecánicas deben ser conformes al cuerpo humano, para evitar mayor potencia o lesiones al usuario.
- El exoesqueleto tendrá 7 grados de libertad: 3 para cada pierna y uno para el corriente de rotación de la cadera, lo que restará las limitaciones cinéticas.

8.9 Parte electrónica de un exoesqueleto

Como actuadores se puede hablar de los servomotores los cuales son un sistema que se compone por partes eléctricas y mecánicas. Gracias al motor y la electrónica en su interior, la posición del eje se puede controlar en cualquier momento. Está diseñado para que pueda moverse un cierto número de grados y luego permanecer en una posición fija. También se le llama simplemente servo, en resumen, se puede definir como un motor especial con un elemento de control de posición. (Silva , 2014).

La tarea del actuador es generar el movimiento del elemento del robot de acuerdo con los comandos dados por la unidad de control. Cada uno de estos sistemas tiene características diferentes que vale la pena evaluar al elegir el tipo de actuador más adecuado.

Las características a considerar incluyen:

- Fuerza.
- Controlabilidad.
- Peso y volumen.
- Preciso.
- Velocidad.
- Mantenimiento.

- Costo.

Dependiendo de la energía utilizada, se dividen en tres grandes categorías:

- Neumático.
- Hidráulico.
- Eléctrico.

8.9.1 Actuadores eléctricos

El control, la simplicidad y la precisión de los accionamientos eléctricos lo convierten en el robot industrial más utilizado en la actualidad. Entre los actuadores se pueden distinguir tres tipos diferentes actuadores eléctricos:

Motor de corriente continua que son controlado por:

- inducción.
- incentivos.

Motores de corriente alterna:

- Sincronizar.
- Asíncrono.

Motores paso a paso.

8.9.2 Control de un exoesqueleto

Según (Correa, 2020) el sistema de control del exoesqueleto en la mayoría de sus casos está compuesto por microcontroladores, motores DC drivers y sensores, dentro de los cuales se presenta una definición de los equipos más utilizados.

8.9.2.1 Servomotor

Los servomotores son sistemas de componentes eléctricos y mecánicos. Con la ayuda del motor y su electrónica, la posición del eje se puede controlar en cualquier momento. Está hecho para

que pueda moverse un cierto número de grados y luego permanecer en una posición fija. (Menna, 2017).



Figura 12: Servomotor
Fuente: (Menna, 2017)

8.9.2.2 Microcontrolador

Las placas Arduino se basan en los llamados microcontroladores, que son circuitos en los que se establece reescribir los respectivos procedimientos para crear programas que interactúen con los circuitos montados en medio de la placa. Cada placa tiene en consideración los diferentes periféricos de entrada y salida, por lo que puede recibir y procesar datos del entorno de programación del software y de otros componentes, así como enviar datos a otros dispositivos. Muchos tipos de dispositivos externos (García C. , 2019).

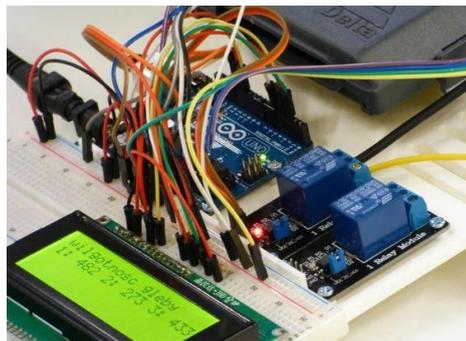


Figura 13: Servomotor
Fuente: (García C. , 2019)

9 METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1 Localización

La ejecución del proyecto tiene lugar en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión “La Maná”, en la provincia de Cotopaxi, cantón La Maná.

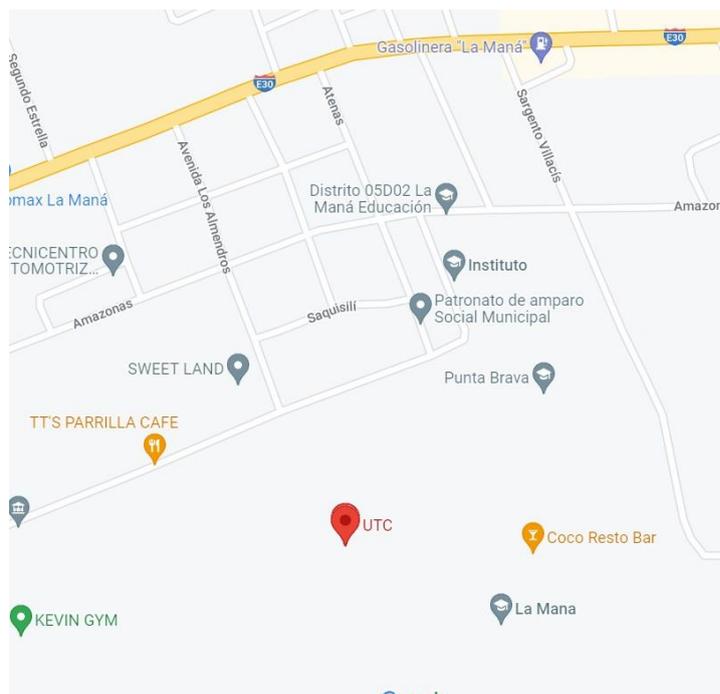


Figura 14: Ubicación del proyecto
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

9.2 Tipos de investigación

9.2.1 Investigación bibliográfica

Este tipo de investigación proporciona las definiciones y características principales de los componentes utilizados para el diseño y construcción de un prototipo de exoesqueleto en fuentes de información relevantes como: libros, artículos de revistas técnicas y proyectos de titulación que tienen relación con el objeto de estudio desarrollando la fundamentación teórica.

9.2.2 Investigación de campo

Se realizó una investigación de campo constatando el proceso biomecánico de personas infantiles, utilizado para el diseño y construcción del exoesqueleto para la rehabilitación de discapacidad motriz en las extremidades inferiores.

9.3 Métodos de investigación

9.3.1 Método científico

Este método permite seguir de una manera ordenada los criterios técnicos para la construcción de un exoesqueleto para personas infantiles, así como la selección de los materiales mecánicos, eléctricos y electrónicos.

9.3.2 Hipótesis del proyecto

El diseño y la construcción de un exoesqueleto permitirá desarrollar un proceso de rehabilitación en personas infantiles que han sufrido una discapacidad en sus extremidades inferiores.

9.4 Declaración de variables

9.4.1 Variable independiente

En la siguiente tabla se presenta la variable independiente con su definición, indicadores, ítems, técnicas e instrumentos que se utilizaron para el presente proyecto.

Tabla 3: Variable independiente

Variable independiente: Construcción de un exoesqueleto				
Definición	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Estructura o armazón artificial que recubre total o parcialmente el cuerpo de una persona y permite aumentar sus capacidades físicas	Dimensiones	m	Cálculo	Ecuación
	Grado de libertad	GDL	Cálculo	Ecuación
	Análisis estático	N/m ²	Simulación	Software

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

9.4.2 Variable dependiente

En la siguiente tabla se detalla la variable dependiente del proyecto con su definición, indicadores, ítems, técnicas e instrumentos.

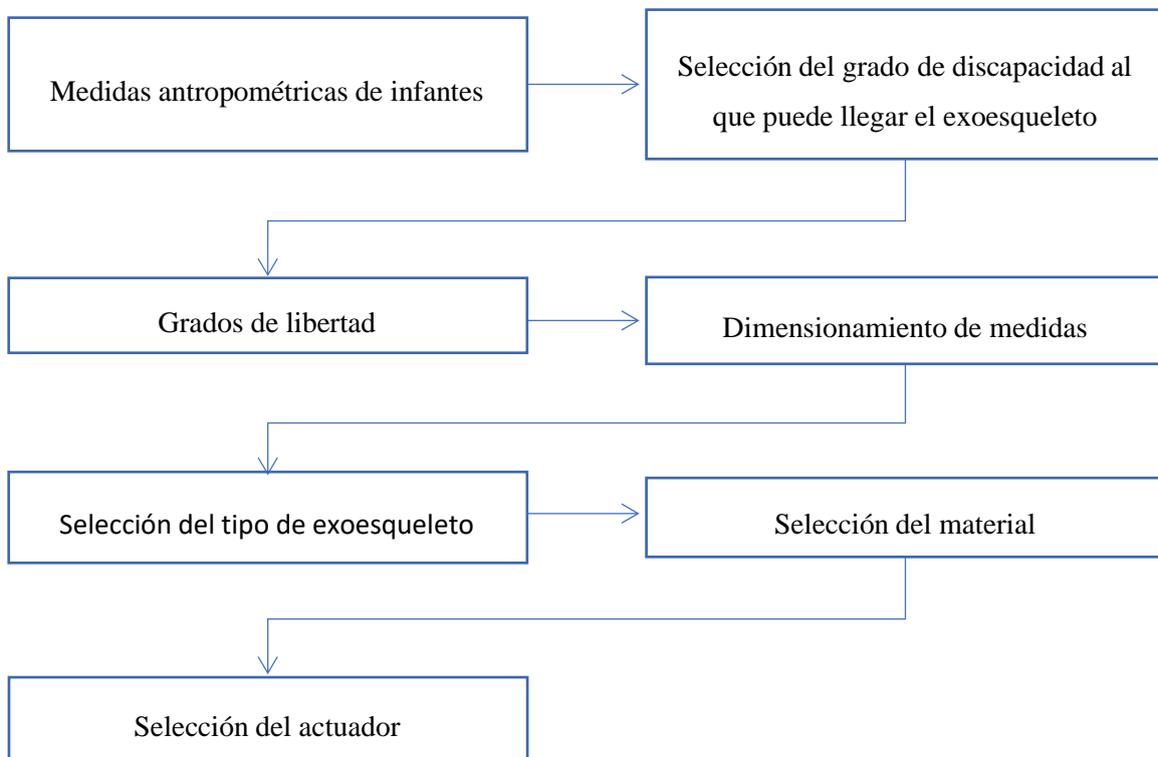
Tabla 4: Variable dependiente

Variable dependiente: Rehabilitación de personas infantiles				
Definición	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es el cuidado que una persona recibe para recuperar, mantener o mejorar las capacidades físicas que necesita para la vida diaria.	Velocidad en el movimiento de extremidades inferiores	Rpm	Cálculo	Ecuación
	Peso del infante	kg	Medición	Balanza
	Estatura	cm	Medición	Flexómetro

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

9.5 Metodología de diseño

La metodología planteada para el diseño del exoesqueleto se visualiza en la figura 3.1 mostrando las diferentes fases de diseño y de dimensionamiento para la construcción del exoesqueleto infantil.

**Figura 15:** Fases para el diseño.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Las fases para el diseño del exoesqueleto infantil inicia con el levantamiento de información acerca del peso y estatura de los infantes, luego es necesario conocer el grado de discapacidad que el exoesqueleto pueda llegar a tener utilidad, posteriormente determinar los grados de libertad que puede tener el exoesqueleto para que proporcione el movimiento de las extremidades inferiores, dimensionamiento de las diferentes medidas para su construcción y finalmente la selección de los equipos eléctricos y materiales mecánicos.

9.6 Diseño del exoesqueleto

Es un apartado que se despliega un diseño mecánico ordinario del sistema, bosquejos y la representación de la actividad a efectuar. Para dar inicio a un diseño se reflexionó como asiento el método óseo de un ser humano, orientando especialmente en los extremos inferiores, como su modelo en la siguiente figura.

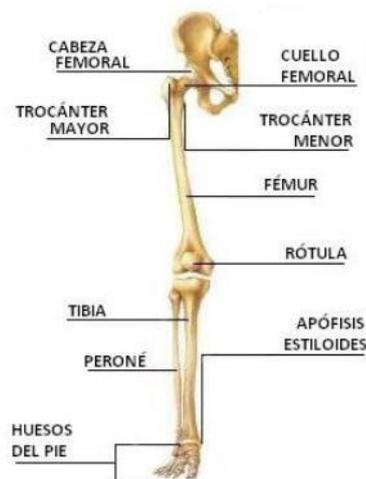


Figura 16: Sistema óseo
Fuente: (TAFAD, 2010)

A partir de este croquis se propone el diseño de bielas y juntas, las cuales tienen formas básicas y sencillas para que las piezas que se dañen durante el uso o presenten algún efecto negativo puedan ser fácilmente reemplazadas. Uno de los objetivos es que ni el paciente ni el fisioterapeuta experimenten complicaciones durante su uso y que se pueda utilizar según las necesidades.

A nivel mundial se han realizado diversas investigaciones sobre este tema específico, en las que se diseñan dispositivos con diseños complejos, ya que, tanto en sus sistemas fijos como en los

sistemas mecánicos, utilizan sistemas complejos de materiales y uniones, en lugar de ideas o enlaces, Se debe desmontar todo el mecanismo de las piezas a sustituir.



Figura 17: Exoesqueleto
Fuente: (Rehab Cart, 2017)

Existen diferentes tipos de diseños para este exoesqueleto en el mercado, la gran mayoría de estos diseños se enfocan en medidas antropométricas de adultos mayores de 160 cm de altura, por lo tanto, este proyecto se enfoca en diseños mecánicos con base antropométrica las medidas del bebé.

9.6.1 Medidas antropométricas de infantes

Considerando que el diseño de un exoesqueleto que se ajuste para un niño ecuatoriano promedio de 6 hasta los 11 años. Para ello, es necesario tener en consideración las estaturas mínimas y máximas.

(SEDEP, 2022), realizó un estudio descriptivo en niños escolares en la ciudad de Quito. El universo estuvo conformado por 5627 escolares. La muestra es la técnica que los investigadores dividen a toda la población en diferentes subgrupos o estratos. Los sujetos finales fueron luego seleccionados aleatoriamente de manera proporcional de los diferentes estratos. Para este estudio se seleccionaron 795 niños y niñas, de los cuales 394 niños y 401 niñas. Las variables antropométricas evaluadas fueron peso (kg), talla (cm) y presión arterial (mmHg). La siguiente tabla muestra los resultados para las variables antropométricas utilizadas en la ciencia de la investigación. Como se puede determinar la observación, todos los valores se expresan como media y desviación estándar para describir la población estudiada.

Tabla 5: Medidas antropométricas de infantes.

Edad	Niños		Niña		Presión arterial
	Peso (kg)	Talla (cm)	Peso (kg)	Talla (cm)	
6 años	21	111,5	19	110	99/57
7 años	23	117	22	115,5	100/59
8 años	25,5	122	24	121	102/60
9 años	28	127,5	27	126	103/61
10 años	32	132	31	132	105/52
11 años	35	137	35	139	107/63

Fuente: (SEDEP, 2022)

9.6.2 Rehabilitación de extremidades inferiores

Existe una variedad de rehabilitaciones para las extremidades inferiores, dependiendo de la gravedad de la discapacidad, esta puede ser parcialmente o en su totalidad

Según (MSP, 2020) los grados de discapacidad o diversidad funcional son las distintas posibilidades dentro de una escala, del nivel de dificultad de una persona para valerse por sí misma y para su integración social, a continuación, se presenta los grados de discapacidad con sus respectivos porcentajes.

- **Nivel 1 (Discapacidad Cero):** Personas con discapacidad permanente que reciben un tratamiento adecuado y no presentan mayores problemas para las actividades de la vida diaria. El porcentaje de invalidez oscila entre el 0% y el 4%.
- **Nivel 2 (discapacidad leve):** La persona tiene alguna dificultad con las actividades de la vida diaria, pero es muy independiente. El porcentaje de discapacidad osciló entre el 5% y el 24%.
- **Nivel 3 (discapacidad moderada):** Dificultad significativa para realizar ciertas actividades de la vida diaria, pero capaz de realizar actividades de autocuidado de manera independiente. Los porcentajes van del 25% al 49%.
- **Nivel 4 (discapacidad severa):** Problema significativa o imposible con la mayoría de las actividades de la vida diaria. La persona necesita ayuda con algunas actividades de cuidado personal. El porcentaje de discapacidad oscila entre el 50% y el 74%.

- **Grado 5 (discapacidad muy severa):** Síntomas que interfieren severamente con el desempeño de las actividades diarias. Las personas no superan las barreras ambientales y requieren el apoyo y cuidado de terceros, y la discapacidad afecta gravemente las actividades diarias de las personas. 75% a 95% porcentaje de discapacidad.
- **Nivel 6 (Invalidez Total):** Deficiencia que afecta a la persona en su totalidad y que requiere el apoyo de un tercero. El porcentaje de discapacidad aumentó del 96% al 100%.

El alcance que tiene el diseño y la construcción de exoesqueleto viene dado para personas infantiles que presenten el grado 1 y grado 2 de discapacidad en sus extremidades inferiores, para lo cual se posibilita la opción de generar un mecanismo de rehabilitación que permita disminuir el grado de discapacidad.

9.6.3 Criterio de grados de libertad

El control de los movimientos se limitará al plano sagital mostrando en la siguiente figura.

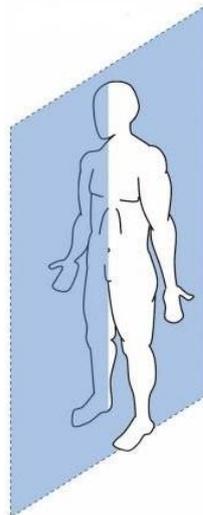


Figura 18 Plano sagital
Fuente: (Rehab Cart, 2017)

Mediante un análisis en el área de antropometría humana se muestra información acerca de los tipos de movimientos de cada articulación, ángulos de movimiento y similares. Esta información se utilizó como referencia para realizar los cálculos pertinentes.

El sistema contara con la función de mantener la estabilidad de reposo durante el tiempo de la realización de movimientos. Mediante una estructura metálica de soporte para mantener el centro de gravedad de todo el cuerpo y así mantenerse erguido. El sistema por comodidad debe tener un regulador de ajuste con la estatura del infante de acuerdo a su edad.

En cuanto al diseño conceptual de la función del exoesqueleto, las extremidades inferiores están separadas por movimientos articulares son la cadera, rodilla y tobillo, para el proyecto de investigación se trabajó con los siguientes movimientos o grados como el grado de libertad que necesitan los infantes para rehabilitar el nivel detallado de 1 y 2 discapacidades, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6: Productos de libertad imperceptible del infante.

Articulación	Movimiento	Tipo	Rango de movimiento (grados)
Cadera	Flexión	Activo	0 – 90
	Extensión	Pasivo	0 – 30
	Abducción	Pasivo	0 – 10
	Aducción	Pasivo	0 – 10
Rodilla	Flexión	Activo	0 – 90
Tobillo	Flexión	Activo	0 – 40
	Dorsiflexión	Pasivo	0 – 30

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Para determinar los grados de libertad del mecanismo del exoesqueleto, se aplica la siguiente ecuación.

$$GDL = 3(n - 1) - 2P_I - P_{II} \quad \text{Ecuación (1)}$$

En donde:

- *GDL*: Grados de libertad
- *n*: número de eslabones
- *P_I*: Par cinemático de grado 1
- *P_{II}*: Par cinemático de grado 2

9.6.4 Parámetros de diseño

El dispositivo debe ser capaz de restaurar ambas extremidades inferiores del bebé, para que puedan configurar un soporte un peso máximo de 35 kg sin peso extra para el paciente y puedan soportar las diferencias que se producen en los elementos mecánicos fuerza y par.

En el diseño de la estructura mecánica se recomienda colocar un limitador. El sistema proporcionará el movimiento activo de la mesa 6 a través de un actuador, que se caracteriza principalmente por el terapeuta, y el peso no entorpece el movimiento.

El control del exoesqueleto se llevará a cabo mediante la activación de motores eléctricos que permiten que el mecanismo realice el movimiento de las extremidades inferiores, además, será necesario determinar el número normal de revoluciones para que el bebé pueda tener una adecuada rehabilitación y, por último, la estructura será antropomórfica y se adaptará al cuerpo humano Diseñada para mejorar la comodidad del paciente y facilitar la rehabilitación.

9.6.5 Análisis matemático del exoesqueleto

El análisis matemático del movimiento independiente de la pierna se realizó de igual manera en base al plano sagital de la figura 18. La investigación realizada a continuación tiene como objetivo comprender los torques generados en cada articulación y estimar la fuerza mínima requerida para mover los miembros inferiores, a fin de seleccionar los actuadores más adecuados para generar estas condiciones.

En la imagen de abajo puedes ver una serie de cadenas enlazadas que representan los miembros inferiores. Expresados en sus respectivos sistemas de coordenadas unitarias, los momentos en los nudos y las fuerzas de reacción ejercidas por el piso a la estructura.

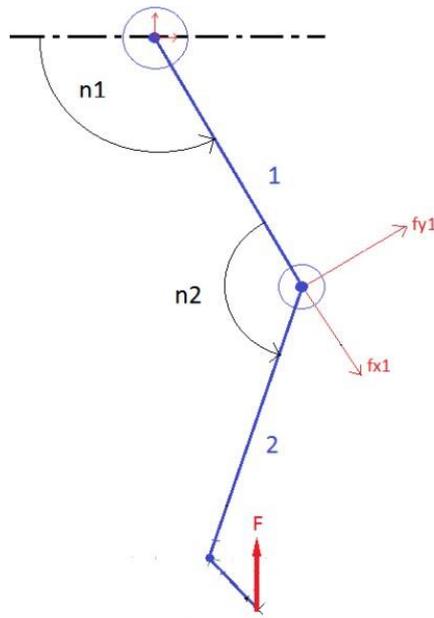


Figura 19: Representación mediante eslabones
Fuente: (Cajilema, 2018)

El estudio de la estructura de la extremidad inferior se facilita mediante separaciones sucesivas elemento por elemento, que luego pueden examinar mediante la aplicación de esquemas de cuerpo libre. A continuación, para un niño que pesa 35 kg y tiene una altura máxima de 1,39 m, se calculan los momentos y fuerzas máximos para cada segmento de la extremidad inferior en el punto máximo.



Figura 20: Extremidad inferior en su punto máximo
Fuente: (Villena, 2017)

Para determinar la longitud de los enlaces se utilizará la información de la Figura 21 junto con los centroides y pesos de cada segmento, y la Tabla 7 resume los resultados recopilados por varios investigadores (Villena, 2017).

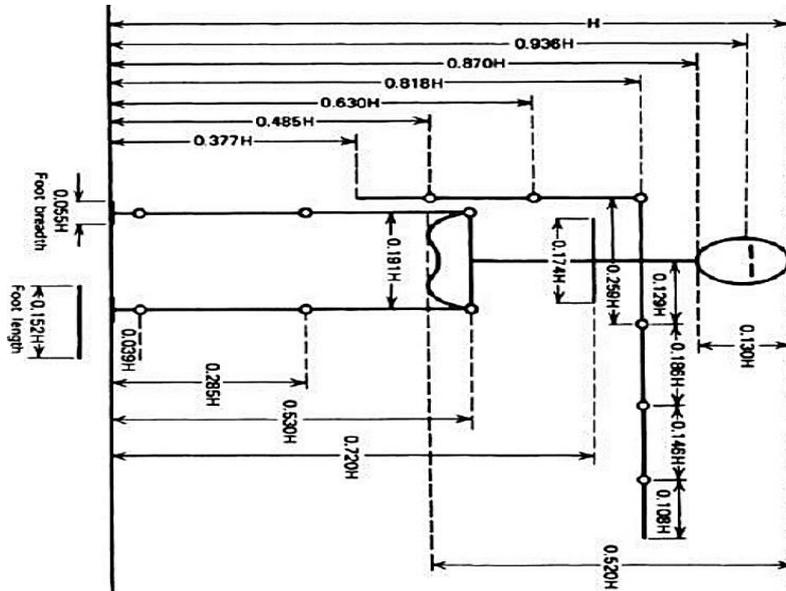


Figura 21: Extremidad inferior en su punto máximo
Fuente: (Villena, 2017)

Tabla 7: Información antropométrica

Segment	Definition	Segment Weight/Total Body Weight	Center of Mass/ Segment Length		Radius of Gyration/ Segment Length		Density	
			Proximal	Distal	C of G Proximal	Distal		
Hand	Wrist axis/knuckle II middle finger	0.006 M	0.506	0.494 P	0.297	0.587	0.577 M	1.16
Forearm	Elbow axis/ulnar styloid	0.016 M	0.430	0.570 P	0.303	0.526	0.647 M	1.13
Upper arm	Glenohumeral axis/elbow axis	0.028 M	0.436	0.564 P	0.322	0.542	0.645 M	1.07
Forearm and hand	Elbow axis/ulnar styloid	0.022 M	0.682	0.318 P	0.468	0.827	0.565 P	1.14
Total arm	Glenohumeral joint/ulnar styloid	0.050 M	0.530	0.470 P	0.368	0.645	0.596 P	1.11
Foot	Lateral malleolus/head metatarsal II	0.0145 M	0.50	0.50 P	0.475	0.690	0.690 P	1.10
Leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.0465 M	0.433	0.567 P	0.302	0.528	0.643 M	1.09
Thigh	Greater trochanter/femoral condyles	0.100 M	0.433	0.567 P	0.323	0.540	0.653 M	1.05
Foot and leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.061 M	0.606	0.394 P	0.416	0.735	0.572 P	1.09
Total leg	Greater trochanter/medial malleolus	0.161 M	0.447	0.553 P	0.326	0.560	0.650 P	1.06
Head and neck	C7-T1 and 1st rib/ear canal	0.081 M	1.000	— PC	0.495	0.116	— PC	1.11
Shoulder mass	Sternoclavicular joint/glenohumeral axis	—	0.712	0.288	—	—	—	1.04
Thorax	C7-T1/T12-L1 and diaphragm*	0.216 PC	0.82	0.18	—	—	—	0.92
Abdomen	T12-L1/L4-L5*	0.139 LC	0.44	0.56	—	—	—	—
Pelvis	L4-L5/greater trochanter*	0.142 LC	0.105	0.895	—	—	—	—
Thorax and abdomen	C7-T1/L4-L5*	0.355 LC	0.63	0.37	—	—	—	—
Abdomen and pelvis	T12-L1/greater trochanter*	0.281 PC	0.27	0.73	—	—	—	1.01
Trunk	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.497 M	0.50	0.50	—	—	—	1.03
Trunk head neck	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.578 MC	0.66	0.34 P	0.503	0.830	0.607 M	—
Head, arms, and trunk (HAT)	Greater trochanter/glenohumeral joint*	0.678 MC	0.626	0.374 PC	0.496	0.798	0.621 PC	—
HAT	Greater trochanter/mid rib	0.678	1.142	—	0.903	1.456	—	—

Fuente: (Ponce, 2014)

9.6.5.1 Análisis de la pierna

Dado que se determinó que el movimiento del pie era pasivo, la pierna se analizó en la sección que constaba de la pierna y el pie. Calcule la masa, la longitud, el centro de masa y la fuerza cortante de las piernas y los pies.

- Masa de la pierna

$$m_P = 0,0465 \cdot W \quad \text{Ecuación (2)}$$

En donde:

- m_P : Masa de la pierna (kg)
- W : Peso máximo de la persona (kg)

$$m_P = 0,0465 \cdot 35 \text{ kg}$$

$$m_P = 1,628 \text{ kg}$$

- Longitud de la pierna

$$L_P = 0,246 \cdot Hm \quad \text{Ecuación (3)}$$

En donde:

- L_P : Longitud de la pierna (cm)
- Hm : Altura máxima de la persona (cm)

$$L_P = 0,246 \cdot 139 \text{ cm}$$

$$L_P = 34,194 \text{ cm}$$

- Centro de masa de la pierna

$$CM_P = 0,433 \cdot L_P \quad \text{Ecuación (4)}$$

En donde:

- CM_P : Centro de masa de la pierna (cm)
- L_P : Longitud de la pierna (cm)

$$CM_P = 0,433 \cdot 34,194 \text{ cm}$$

$$CM_P = 14,806 \text{ cm}$$

- Fuerza de la pierna

$$F_P = m_P \cdot g \quad \text{Ecuación (5)}$$

En donde:

- F_P : Fuerza de la pierna (N)
- g : gravedad (m/s^2)

$$F_P = 1,628 \cdot 9,8 \, m/s^2$$

$$F_P = 15,95 \, N$$

- **Masa del pie**

$$m_{Pie} = 0,0145 \cdot W \quad \text{Ecuación (6)}$$

En donde:

- m_{Pie} : Masa del pie (kg)
- W : Peso máximo de la persona (kg)

$$m_{Pie} = 0,0145 \cdot 35 \, kg$$

$$m_{Pie} = 0,5075 \, kg$$

- **Longitud del pie**

$$L_{Pie} = 0,152 \cdot H_m \quad \text{Ecuación (7)}$$

En donde:

- L_{Pie} : Longitud del pie (cm)
- H_m : Altura máxima de la persona (cm)

$$L_P = 0,152 \cdot 139 \, cm$$

$$L_P = 21,128 \, cm$$

- **Centro de masa del pie**

$$CM_{Pie} = 0,5 \cdot L_{Pie} \quad \text{Ecuación (8)}$$

En donde:

- CM_{Pie} : Centro de masa del pie (cm)
- L_{Pie} : Longitud del pie (cm)

$$CM_P = 0,5 \cdot 21,128 \, cm$$

$$CM_P = 10,564 \text{ cm}$$

- **Fuerza del pie**

$$F_{Pie} = m_{Pie} \cdot g \quad \text{Ecuación (9)}$$

En donde:

- F_{Pie} : Fuerza del pie (N)
- g : gravedad (m/s^2)

$$F_{Pie} = 0,5075 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{Pie} = 4,973 \text{ N}$$

El gráfico de la Figura 22 muestra la distribución de fuerzas para las piernas y los pies calculada usando las ecuaciones anteriores para una viga que soporta una fuerza cortante máxima de 20,923 N (suma de fuerzas) en el lado izquierdo de la viga. Y para el diagrama de momento de flexión, produce un par de 11,57 N.m en la parámetro 0 de la viga, que representa la articulación de la rodilla del exoesqueleto.

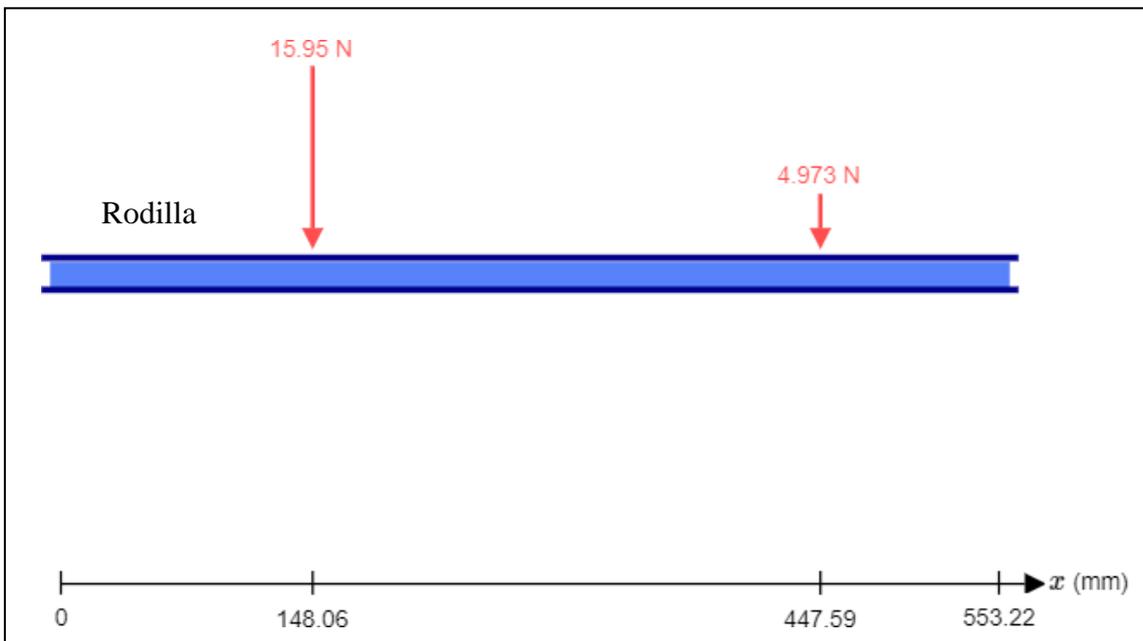


Figura 22: Distribución de fuerzas en la pierna.

Fuente: (SkyCiv, 2015)

1.1.1.1. Análisis del muslo

Las fuerzas cortantes y los momentos de flexión determinados en el análisis de la pierna se tienen en cuenta en el análisis de la sección del muslo. Se mide la fuerza, así como la masa y la constante fuerza del muslo.

- Masa del muslo

$$m_m = 0,1 \cdot W \quad \text{Ecuación (10)}$$

En donde:

- m_m : Masa del muslo (kg)
- W : Peso máximo de la persona (kg)

$$m_m = 0,1 \cdot 35 \text{ kg}$$

$$m_m = 3,5 \text{ kg}$$

- Longitud del muslo

$$L_m = 0,246 \cdot H_m \quad \text{Ecuación (11)}$$

En donde:

- L_m : Longitud del muslo (cm)
- H_m : Altura máxima de la persona (cm)

$$L_m = 0,245 \cdot 139 \text{ cm}$$

$$L_m = 34,055 \text{ cm}$$

- Centro de masa del muslo

$$CM_m = 0,433 \cdot L_m \quad \text{Ecuación (12)}$$

En donde:

- CM_m : Centro de masa del muslo (cm)

- L_m : Longitud del muslo (cm)

$$CM_m = 0,433 \cdot 34,055 \text{ cm}$$

$$CM_P = 14,745 \text{ cm}$$

- **Fuerza del muslo**

$$F_m = m_m \cdot g \quad \text{Ecuación (13)}$$

En donde:

- F_m : Fuerza del muslo (N)
- g : gravedad (m/s^2)

$$F_P = 3,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_P = 34,3 \text{ N}$$

El diagrama de la figura 22, se muestra la sección del muslo personificada por el listón, que sobrelleva una energía cortante máximo de 55,22 n en el enfoque izquierdo de la viga, mientras que en el diagrama de instante flector provoca un par de torsión de 18,8 n.m en el punto de vista de cero de la viga. representa la coyuntura de la cadera del exoesqueleto.

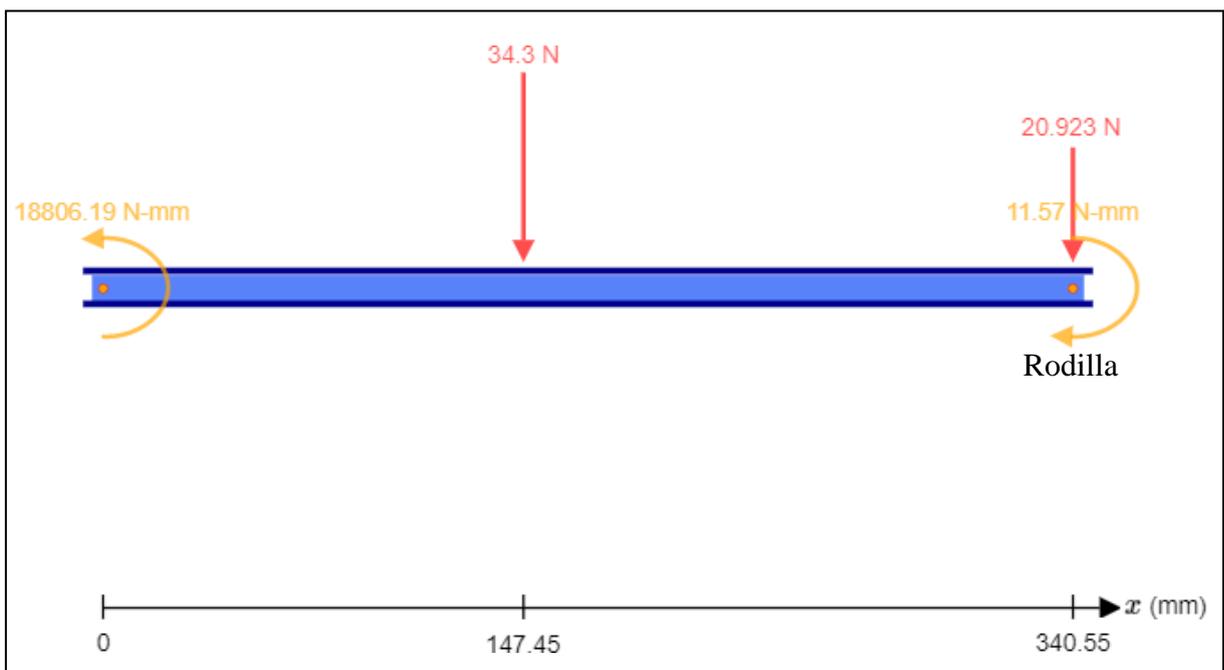


Figura 23: Distribución de fuerzas en el muslo

Fuente: (SkyCiv, 2015)

9.6.6 Especificaciones técnicas de diseño

Al tratarse de un proceso de rehabilitación para personas infantiles entre (6 y 11 años), se optó por un diseño muy similar al exoesqueleto mecánico de tipo manual denominado “EasyStand Glider” mostrado en la siguiente figura.



Figura 24: Exoesqueleto EasyStand
Fuente: (SkyCiv, 2015)

El exoesqueleto “EasyStand” es diseñado en función de un bipedestador pero con la finalidad de realizar movimientos repetitivos en las extremidades inferiores utilizados para la rehabilitación en el hogar, la escuela y el uso del trabajo. Dependiendo del diseño y modelo, estos equipos pueden soportar al usuario desde varias posiciones de descanso hasta la posición de pie. Como es para fines de rehabilitación, este tipo de exoesqueleto no debe utilizarse sin antes consultar a un médico cualificado, es recomendable establecer un buen programa permanente por un médico calificado o fisioterapeuta.

El sistema del exoesqueleto a diseñarse en el proyecto, de igual manera debe cumplir parámetros para rehabilitación, pero en personas infantiles, por lo tanto, debe tener las mismas funcionalidades que realiza el cuerpo humano, para lo cual se ha dividido en subsistemas presentados a continuación.

- Estructura de soporte
- Mecanismo de exoesqueleto
- Actuador eléctrico
- Control de velocidad

9.6.7 Selección del material

La elección de los materiales garantiza el correcto funcionamiento, los parámetros ergonómicos a cubrir y el equipamiento para la rehabilitación. Esto abarca dos partes importantes que son puntos de los principales fallos que puede tener el mecanismo al utilizarlos: en un primer punto, la elección se hace de forma incorrecta, y en un segundo punto, el material puede presentar propiedades diferentes, etc., especificaciones del material.

Para el diseño del exoesqueleto se utilizó un método que combina los criterios más importantes mencionados anteriormente con el fin de optimizar la selección y construcción de materiales que se ajusten a las características propuestas. Además, también se tienen en cuenta los costes variables y la presencia en el mercado.

9.6.7.1 Método de selección 1

Este método de elección es del tipo tradicional y los resultados se basan en la experiencia de los líderes de proyecto quienes, en base a su conocimiento o experiencia, seleccionan, utilizan e implementan el material en algunos casos, obra o proyectos similares o condiciones equivalentes, cuando utiliza el material, se obtiene de acuerdo con las mejores prácticas determinadas por el método del proyecto. Esta orientación en aceptar cuando se elige rápido y no se tiene experiencia con algunos cálculos matemáticos.

9.6.7.2 Método de selección 2

Como segundo método de selección, existe un método totalmente gráfico, que se basa en el análisis de las propiedades del material, y es candidato a la primera selección según el método del proyecto. Esto se hace teniendo en cuenta las propiedades calculadas para el material de búsqueda. A partir de estos diagramas, se pueden encontrar familias de materiales según sea necesario para los elementos de diseño presentados, en los que se pueden correlacionar

propiedades como módulo de Young dependiente de la densidad, resistencia dependiente de la densidad, conductividad térmica, costo, etc.

9.6.7.3 Método de selección 3

Como tercer método de selección, tenemos una búsqueda basada en bases de datos de diferentes tipos de materiales, ya sea sus fichas técnicas o algunos catálogos, que muestran las características más importantes de una gran cantidad de materiales, esta información gracias a la investigación de proveedores de materiales, Pueden dar un concepto adecuado en base a su desarrollo y pruebas.

9.6.7.4 Materiales del exoesqueleto

Tiene diferentes materiales y busca de datos para los tipos de materiales, ya sea una ficha técnica o algunos catálogos, se pueden seleccionar los mejores materiales para construir el prototipo de exoesqueleto sin ningún problema mientras se realizan las pruebas físicas, para lo cual se optó por utilizar el método de selección 3.

Para la recolección de datos se reflexionaron algunos recursos y fueron: aluminio, acero, acrílico, vibradores de vidrio y vibradores de carbón. Estos materiales se eligen en función de las ventajas de automático o manipulación que brindan, así como de las pertenencias mecánicas que ofrecen y la geometría de la pieza a dotar.

Teniendo para la creación de la propuesta está el diseño con sus respectivas especificaciones y las necesidades tenidas por las personas que usan este proyecto que son el paciente infante. En donde dieron los requisitos mecánicos para adquirir lo que son la resistencia mecánica, resistencia a la fatiga, peso, costo, usabilidad y las ventajas resultantes. Materiales en la etapa de fabricación.

Estos se analizan para que el prototipo sea bien recibido por el paciente, su entorno y su entorno. Armados con estas características, los rangos aceptables de diseño y construcción se pueden evaluar utilizando un rango de validación entre 1 y 5, donde 1 es inaceptable y 5 es 100 % aceptable, lo que permite mejores comparaciones. Diferentes características físicas y de disponibilidad de las regiones materiales, todas las cuales se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 8: Valoración de posibles materiales

Criterio de selección	Acero	Acrílico	Aluminio	Fibra de vidrio	Fibra de carbono
Esfuerzos mecánicos	5	3	4	4	5
Esfuerzo de fatiga	4	4	4	4	5
Peso	3	5	5	4	5
Costo	4	3	2	2	1
Disponibilidad	4	4	4	2	1
Manufactura	4	4	4	2	1
Total	24	23	23	18	18

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

En la tabla 8, en la fila de total esta los valores obtenidos en la evaluación, los resultados se inclinan a favor del acero y posiblemente el aluminio o el acrílico, con este resultado, el acero se consideró en parte del diseño del prototipo en donde se contó con el acrílico podía romperse en un momento crítico de la ejecución del mecanismo. Esto se basa en una evaluación de investigación del comportamiento de diferentes materiales que involucran las propiedades antes mencionadas.

Dentro del grupo de acero es seleccionado el acero de bajo contenido de ASTM A36 por las de carbono en las siguientes rasgos: fácil de lograr, hondamente unible, posible de transformar y de pequeño costo, sus características se observan en la siguiente tabla.

Tabla 9: Propiedad del acero ASTM A36

Material	Espesor	Resistencia a la tensión	Resistencia a la fluencia	Ductilidad
ASTM A36	T ≤ 8 in	400 MPa	250 MPa	21

Fuente: (Aceromafe, 2021)

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

9.6.8 Selección del actuador

Seleccionar entre un motor de corriente continua, un servomotor o un motor paso a paso puede ser una gran tarea, esto incluye los numerosos factores de diseño, costo, velocidad, el par, la aceleración y también los circuitos de accionamiento.

9.6.8.1 Motor de corriente continua

El motor de CC es un motor de rotación continua de dos cables y los dos cables son de alimentación y tierra. Cuando se aplica el suministro, un motor de CC comenzará a girar hasta que se desconecte la energía. La mayoría de los motores de CC funcionan a altas revoluciones

por minuto (RPM), por lo que es necesario, utilizar un motorreductor para obtener la velocidad deseada o utilizar circuitos electrónicos.

La velocidad del motor de CC se puede controlar mediante la técnica PWM (modulación de ancho de pulso), una técnica de pulsación rápida de encendido y apagado. El porcentaje de tiempo consumido ciclando la relación ON / OFF define la velocidad del motor. Por ejemplo, si la potencia es impulsada al 50%, entonces el motor de CC girará a la mitad de la velocidad del 100%.



Figura 25: Motor CC con motorreductor.
Fuente: (Punto flotante, 2018)

9.6.8.2 Servomotor

Un servomotor es una asociación de cuatro elementos, a conocer, un motor de CC, un circuito de control, un conjunto de engranajes y también un potenciómetro, generalmente un sensor de posición.

La posición del servomotor se puede controlar con mayor precisión que la de los motores de CC típicos y, en general, tienen tres cables como alimentación, GND y control. La energía a estos motores se aplica continuamente, con el circuito de control del servomotor cambiando el consumo para impulsar el servomotor. Estos motores están diseñados para tareas más exactas en las que la posición del motor debe ser clara con precisión, como mover un brazo robótico o controlar el timón de un barco o una pierna de robot dentro de un rango particular.



Figura 26 Servomotor
Fuente: (CLR, 2019)

9.6.8.3 Motor paso a paso

Un motor paso a paso es fundamentalmente un servomotor que utiliza un método diferente de motorización. Cuando un motor incluye un motor de CC de rotación continua y un circuito controlador combinado, los motores paso a paso utilizan múltiples electroimanes dentados dispuestos alrededor de un equipo central para describir la posición.

El motor paso a paso necesita un circuito de control exterior para energizar por separado cada electroimán y encender el eje del motor. Cuando el electroimán es impulsado por energía, atrae los dientes del equipo y los sostiene, algo desplazado del siguiente electroimán 'B'. Cuando se apaga 'A' y se enciende 'B', el aparato gira ligeramente para alinearse con 'B' y en todo el círculo, con cada electroimán alrededor del aparato energizándose y desenergizándose a su vez para hacer una rotación. Cada revolución de un electroimán al siguiente se denomina 'paso' y, por lo tanto, el motor puede activarse mediante ángulos de paso predefinidos exactos a través de una rotación completa de 3600.



Figura 27 Motor paso a paso
Fuente: (Brico, 2018)

La selección del actuador eléctrico tiene inclinación en el uso de un motor eléctrico de corriente continua con un motorreductor, su funcionalidad radica en el diseño de rehabilitación constante en el que la persona infante va a estar en una posición fija, pero con el ligero movimiento de sus extremidades inferiores, por lo tanto, no necesita precisión en sus movimientos y según los profesionales en la rehabilitación no se podrá exceder los 60 rpm.

10 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

El presente capítulo detalla los resultados obtenidos del proyecto realizando la construcción del prototipo, el cálculo de los grados de libertad y una simulación mecánica indicando factores de seguridad al exoesqueleto para personas infantiles con discapacidad motriz, en la figura 28 se muestran las fases de la construcción del exoesqueleto infantil.

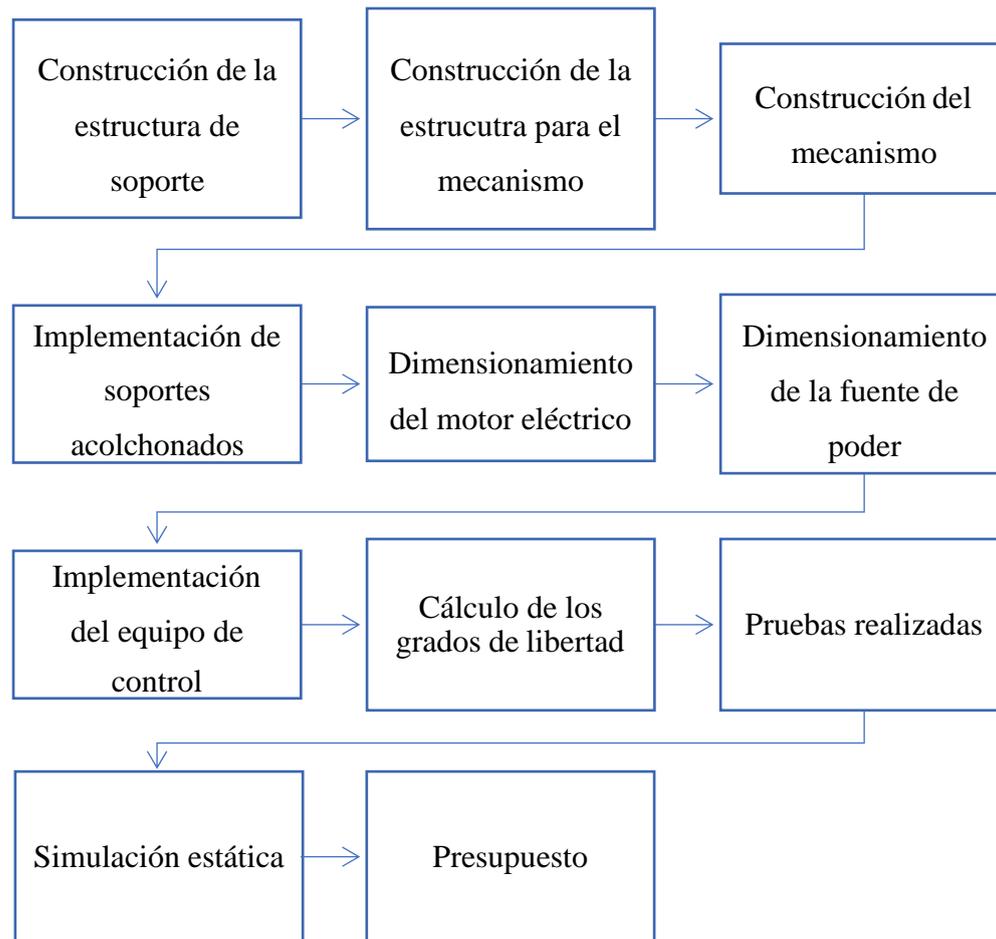


Figura 28: Fases para el diseño.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.1 Construcción del exoesqueleto

Para la construcción del exoesqueleto se la divide en 3 partes:

1. Estructura de soporte
2. Estructura para mecanismo
3. Implementación del sistema eléctrico

10.1.1 Construcción de la estructura de soporte

Para la construcción de la estructura de soporte se realizó utilizando el acero ASTM A 36 en una geometría cuadrada de $\frac{3}{4}$ de pulgada y una geometría circular de $\frac{3}{4}$ de diámetro como se muestra en la siguiente figura. Esta estructura es regulable en su altura mediante un anclaje tipo mariposa, esto va a depender del tamaño del infante a rehabilitarse.



Figura 29: Estructura de soporte
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

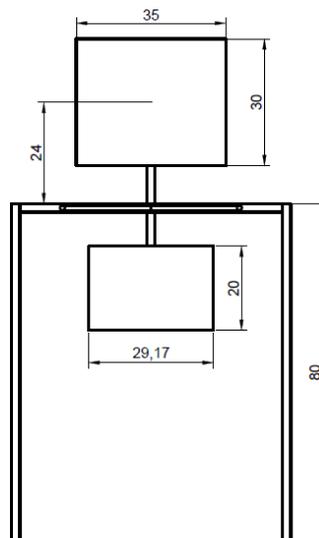


Figura 30 Medidas de la estructura de soporte.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.1.2 Construcción de la estructura para mecanismo

Para la construcción de la estructura para mecanismo se utilizó el acero ASTM A36 en una geometría cuadrada de 1 de pulgada como se muestra en la siguiente figura. Esta estructura aloja al sistema eléctrico (motor, motorreductor y fuente de poder), adicional se incluyeron unas barrederas para que el mecanismo pueda desplazarse a lo largo de 22 cm.



Figura 31: Estructura para mecanismo.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

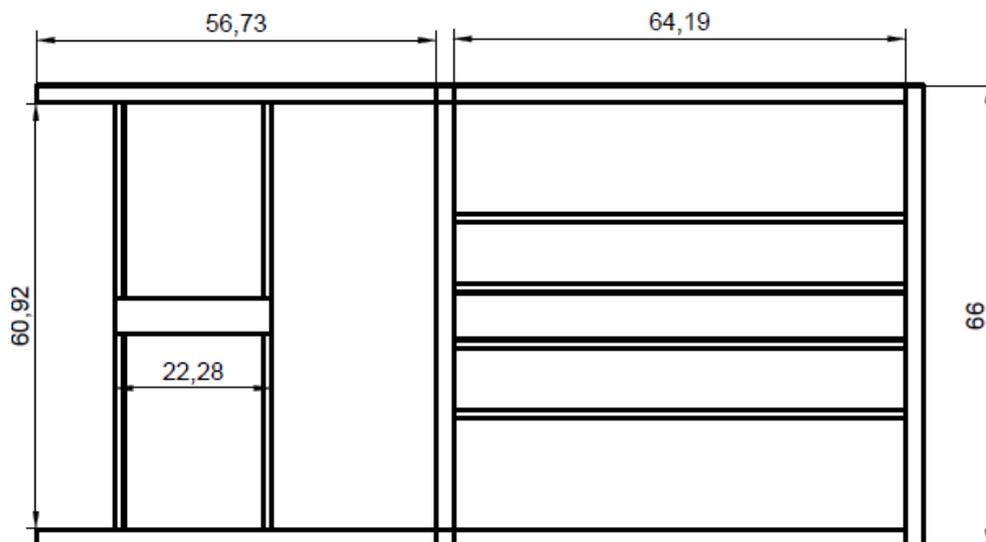


Figura 32: Medidas de la estructura de mecanismo.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.1.3 Construcción del mecanismo

Para la construcción del mecanismo se utilizó tubo cuadrado de $\frac{1}{2}$ pulgada en acero ASTM A36 como se muestra en la siguiente figura. Este mecanismo inicia de los lados laterales del motorreductor, su movimiento es similar al mecanismo de una bicicleta, permitiendo el desplazamiento de los pies y con ello el movimiento de la cadera y rodilla.



Figura 33: Construcción del mecanismo.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

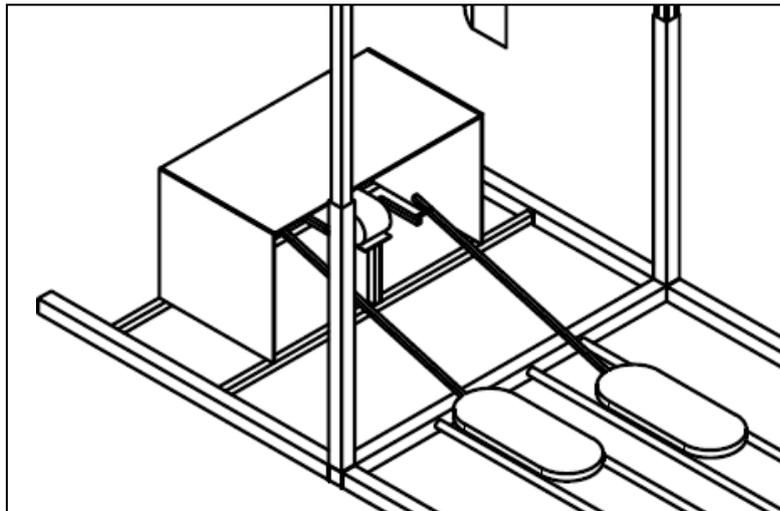


Figura 34: Plano en CAD.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.1.4 Soportes acolchonados

Estos soportes tienen la finalidad de obtener una comodidad en la persona infante, brindando adicional seguridad para que realice sus rehabilitaciones, estos soportes están colocados en el espaldar, cabecera, rodillera y un soporte tipo arnés permitiendo mantener en equilibrio al infante.



Figura 35: Soporte acolchonado.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).



Figura 36: Soporte acolchonado espaldar.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.2 Dimensionamiento del motor

Conociendo que para un niño o niña de 11 años que tiene un peso de 39 kg y para el proceso de rehabilitación es necesario que el movimiento tenga una altura máxima de 15 cm a un tiempo de 1 segundo, por lo tanto, se puede determinar la potencia del motor eléctrico con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{kg \cdot h}{t \cdot 76} \quad \text{Ecuación (14)}$$

En donde:

- P : Potencia del motor (HP)
- kg : Peso del infante (kg)
- h : Altura de elevación de la pierna (m)
- t : Tiempo de elevación de la pierna (s)

$$P = \frac{39 \text{ kg} \cdot 0,15 \text{ m}}{1 \text{ s} \cdot 76}$$

$$P = 0,076 \text{ HP} = 57,34 \text{ W}$$

La potencia del motor mediante cálculos da como resultado 57,34 W y en el mercado se puede determinar una potencia de 60 W.

Según (Rocfit medical, 2021) la velocidad para realizar rehabilitaciones en las extremidades inferiores varía entre 25 a 60 rpm, por lo que, para el exoesqueleto se proporcionará una velocidad intermedia de 40 rpm y mediante este valor se determina el torque del motor aplicando la siguiente ecuación.

$$T = \frac{HP \cdot 5252}{rpm} \quad \text{Ecuación (15)}$$

En donde:

- T : Torque (lb.ft)
- HP : Potencia del motor (HP)

- *rpm*: Velocidad de rehabilitación (rpm)

$$T = \frac{0,076 \text{ HP} \cdot 5252}{40 \text{ rpm} \cdot 746}$$

$$T = 9,97 = 10 \text{ lb. ft} = 13,5 \text{ Nm}$$

En la siguiente figura se puede observar el motor eléctrico de 24 Vdc, 60 W y un motorreductor de 40 rpm.



Figura 37: Motor eléctrico.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.2.1 Selección de la fuente de poder

La fuente de poder transforma la energía eléctrica AC en energía DC, es utilizada para alimentar a todo el sistema eléctrico, se selecciona una fuente que tiene transistores en conmutación muy utilizada en la alimentación de motores de corriente directa y con una eficiencia elevada que permite alargar la vida útil del exoesqueleto. Su corriente eléctrica se determina mediante la siguiente ecuación.



Figura 38: Fuente de poder.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{Ecuación (16)}$$

En donde:

- P : Potencia del motor (W)
- I : Corriente de la fuente (A)
- V : Voltaje de la fuente (V)

$$I = \frac{60 W}{12 V}$$

$$I = 5A$$

El sistema necesita un mínimo de 5 A para su funcionamiento, como el exoesqueleto va a manejar el peso de la persona es necesario que la fuente de poder tenga por lo menos 30 A.

10.2.2 Implementación de la parte de control

La parte de control consta del encendido y apagado del motor eléctrico de corriente continua mediante un selector de dos posiciones, un pulsador de emergencia tipo hongo para detener completamente el sistema eléctrico, una luz indicadora que menciona el funcionamiento del exoesqueleto, finalmente todos estos elementos son energizados a través de la fuente de poder conmutada.

En la figura 39 se tiene la implementación de una caja de control en donde están implementados estos controles del exoesqueleto.



Figura 39: Implementación de la caja de control.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

En la siguiente figura se presenta un esquema eléctrico realizado en un software de simulación eléctrica/electrónica con los elementos de control del exoesqueleto.

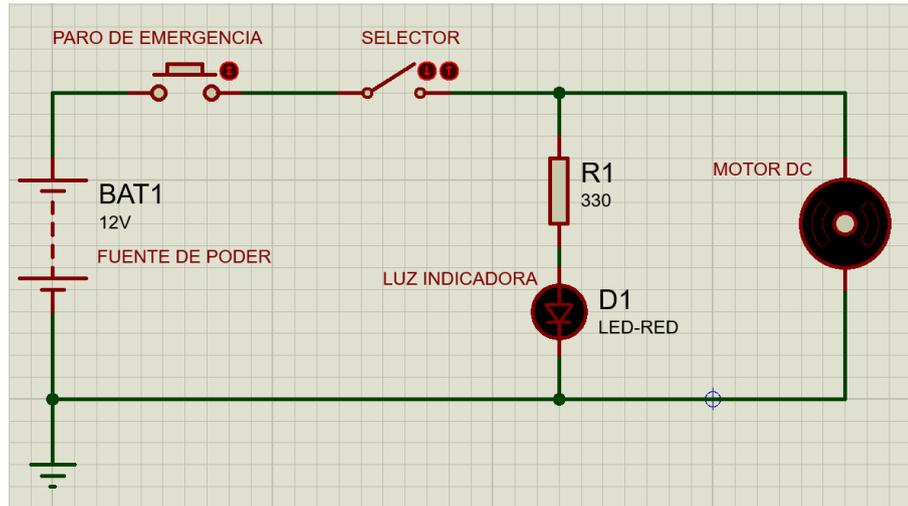


Figura 40: Mecanismo de movimiento.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Se procedió con la simulación del circuito eléctrico, visualizado en las figuras 41 y 42. Se puede observar el estado del motor eléctrico de apagado (caso figura 41) que el pulsador de emergencia debe estar activado para que el selector pueda entrar en funcionamiento y activar el motor, adicional la luz indicadora se encenderá conjuntamente con el motor mencionando que está en funcionamiento el exoesqueleto.

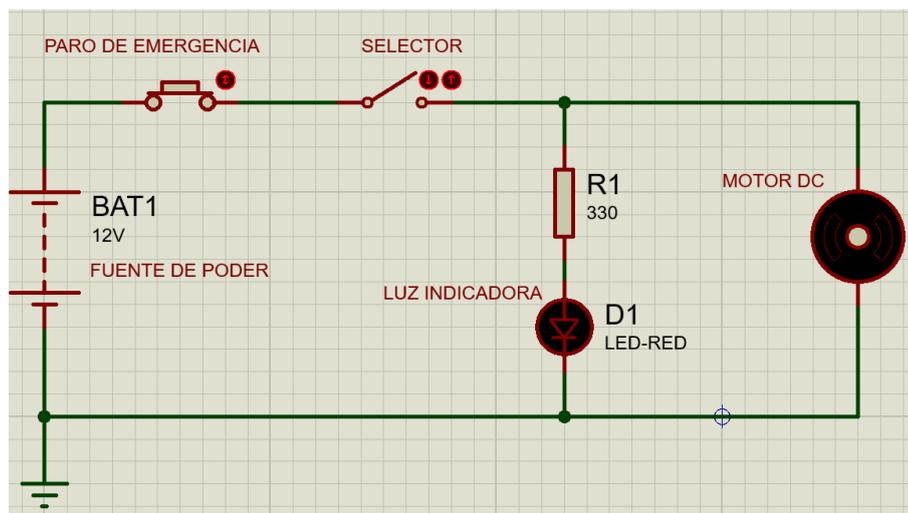


Figura 41: Simulación del exoesqueleto off.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

En la figura 42 se puede observar la simulación cuando el motor eléctrico de este encendido, se evidencia que el paro de emergencia y el selector están activados.

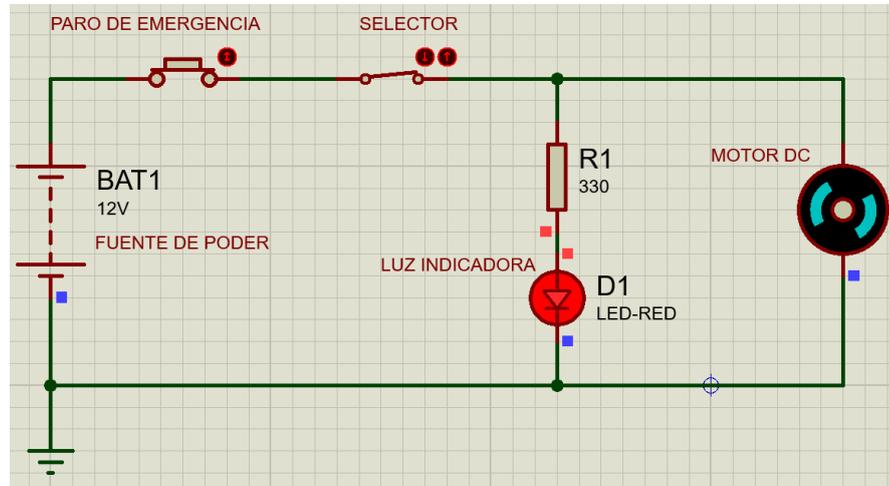


Figura 42: Simulación del exoesqueleto on.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.3 Cálculos de los grados de libertad del exoesqueleto

Para determinar los grados de libertad del exoesqueleto es necesario realizar un diagrama cinemático del mecanismo representado en la figura 43.



Figura 43: Mecanismo de movimiento.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

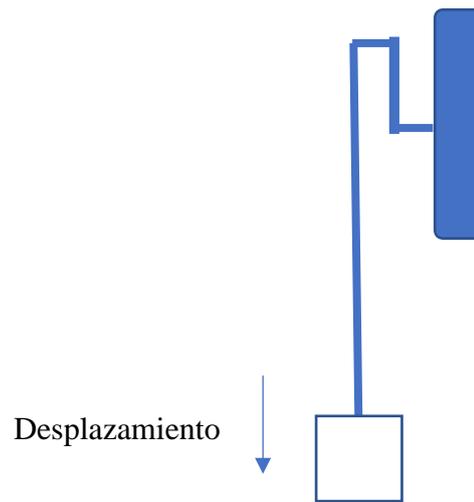


Figura 44: Diagrama cinemático.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Con el diagrama cinemático representado en la figura 44 se puede realizar un análisis de eslabones representados en la figura 45 y cuantificados en orden numérico.

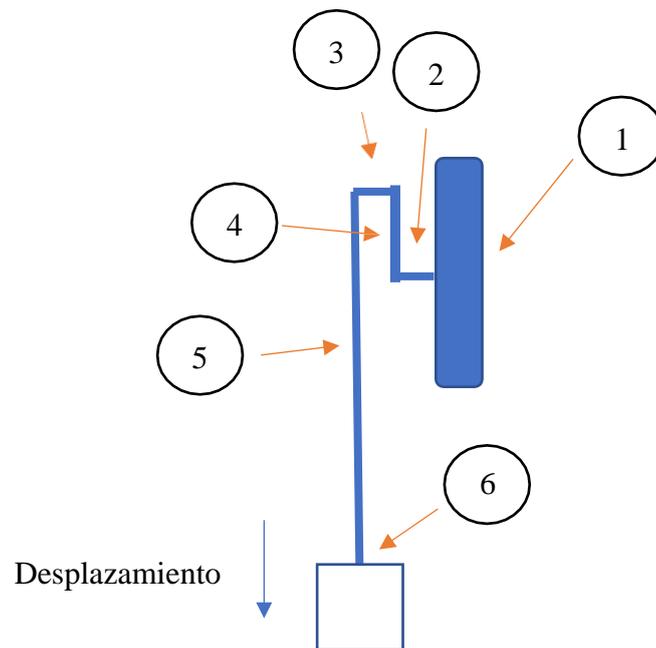


Figura 45: Diagrama cinemático de eslabones.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Las juntas de orden primario y orden secundario se detallan en la figura 32 con el diagrama cinemático cuantificado en orden alfabético.

10.4.1 Prueba 1

La prueba del exoesqueleto N. 1 tuvo los siguientes resultados:

- Usuario: Infante de 10 años
- Peso: 31 kg
- Altura 132 cm
- Contextura: delgada
- Discapacidad: leve grado 1

Se observó que la contextura del niño es muy delgada, por lo que, los sujetadores tipo acolchonados pueden regirse y ajustarse para la comodidad del infante, descartando cualquier inconveniente dentro del rango de antropometría de la cadera en el diseño, verificando que existe un completo ajuste.

Con respecto a la altura, el exoesqueleto posee una regulación de altura para la parte superior a la cadera, es decir en la estructura de soporte, con anclaje tipo mariposa que se ajusta a la necesidad de altura según la estatura del infante, el descanso del pie se pudo observar que el diseño es adecuado, como posee un broche de sujeción no tuvo inconvenientes al momento de realizar el movimiento de las extremidades inferiores.

En la figura 47 se observa el movimiento inicial del exoesqueleto que arranca con el pie derecho del infante hacia adelante visualizándose el movimiento de la cadera, la rodilla y el talón.



Figura 47: Prueba 1: movimiento 1.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

En la siguiente figura se observa que la pierna izquierda da el avance, mientras que la pierna derecha retrocede de igual manera se cumple el movimiento de la cadera, la rodilla y el talón.



Figura 48: Prueba 1: movimiento 2.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

A continuación, se observa el retroceso de la pierna izquierda y el avance de la pierna derecha que de igual forma se cumple el movimiento de la cadera, la rodilla y el talón.



Figura 49: Prueba 1: movimiento 3.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Y finalmente, en la siguiente figura, se observa el retroceso de la pierna derecha y el avance de la pierna izquierda, simulando la marcha en forma de rehabilitación del infante.



Figura 50: Prueba 1: movimiento 4.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.4.2 Prueba 2

La prueba del exoesqueleto N. 2 tuvo los siguientes resultados:

- Usuario: Infante de 9 años
- Peso: 27 kg
- Altura 127 cm
- Contextura: delgada
- Discapacidad: grado 2

Generalmente la contextura del niño es delgada, a pesar de ello los sujetadores tipo acolchonados pueden utilizarse en infantes que presenten contexturas gruesas no mayor a los 39 kg de peso, al momento de realizar esta prueba el prototipo nuevamente cumplió con los parámetros establecidos para esta persona infante.

La altura de la estructura de soporte tuvo que disminuir unos pocos centímetros hasta ajustar la comodidad del paciente El prototipo se ajustó de buena manera con este infante que presenta una discapacidad de grado 2, a continuación, se visualizan los movimientos de las extremidades inferiores que se realizaron.

En la figura 51 se observa el movimiento inicial del exoesqueleto que arranca con el pie izquierdo del infante hacia adelante visualizándose el movimiento de la cadera, la rodilla y el talón.



Figura 51: Prueba 2: movimiento 1.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

En la siguiente figura se observa que la pierna derecha da el avance, mientras que la pierna izquierda retrocede de igual manera se cumple el movimiento de la cadera, la rodilla y el talón.



Figura 52: Prueba 2: movimiento 2.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

A continuación, se observa el retroceso de la pierna derecha y el avance de la pierna izquierda que de igual forma se cumple el movimiento de la cadera, la rodilla y el talón.



Figura 53: Prueba 2: movimiento 3.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Y finalmente, en la siguiente figura, se observa el retroceso de la pierna izquierda y el avance de la pierna derecha, simulando la marcha en forma de rehabilitación del infante.



Figura 54: Prueba 2: movimiento 4.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.5 Flujograma

Para determinar la secuencia de las actividades que realiza el exoesqueleto se desarrolla una representación gráfica mediante un flujograma presentado en la figura 55.

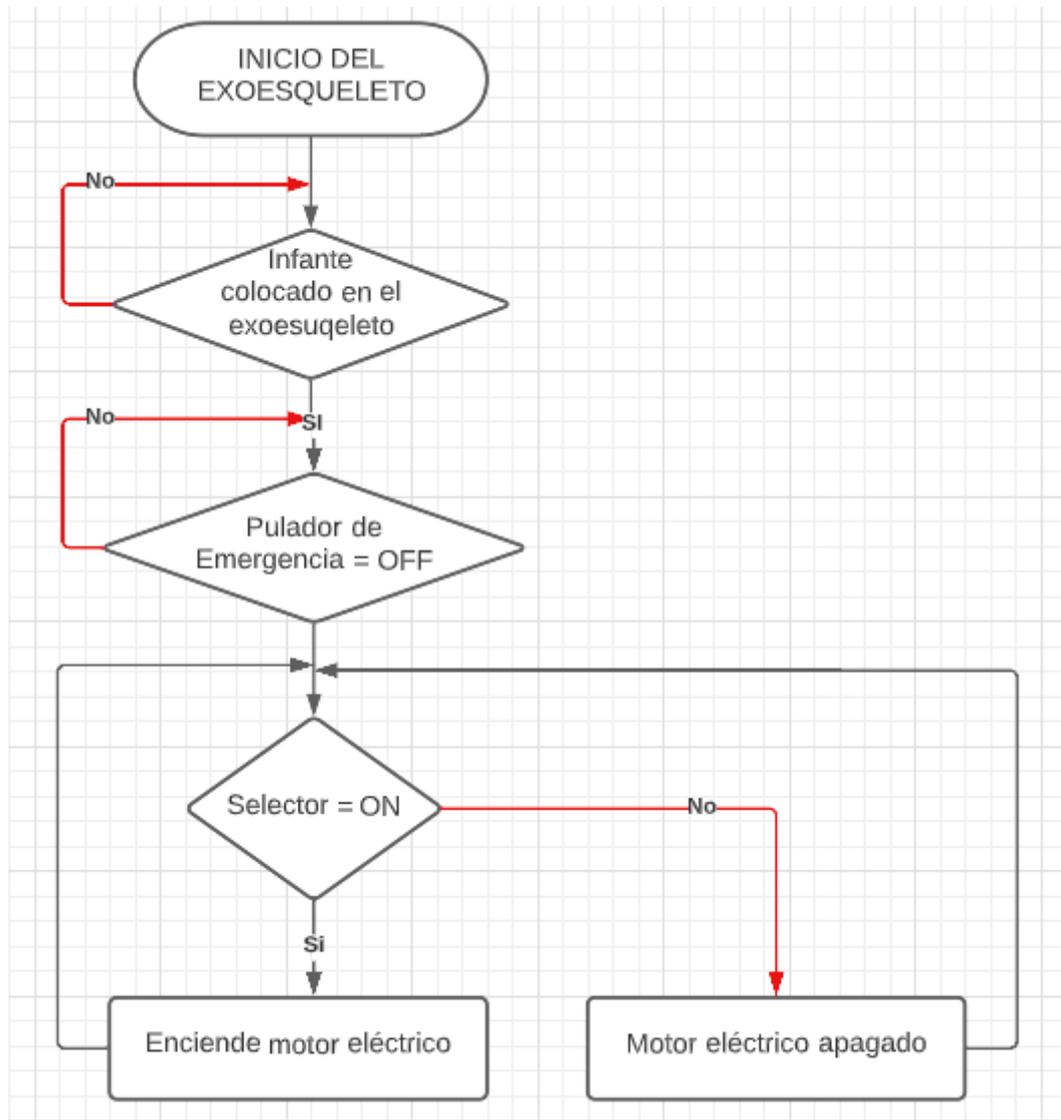


Figura 55: Flujograma.
 Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.6 Diseño en software

Mediante el uso de un software de simulación estática se realizó un diseño de los pies del exoesqueleto, mencionando que es el lugar de interés de concentración de las fuerzas, por lo tanto, se específicamente en este elemento.

10.6.1 Diseño del pie

En la siguiente figura se observa el diseño realizado en el software del pie del exosqueleto, en este elemento el paciente podrá descansar sus pies, para lo cual se desarrolló un diseño ergonómico.

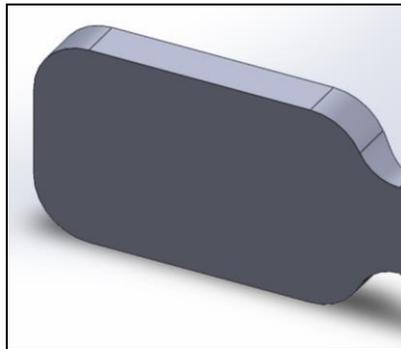


Figura 56: Diseño del pie.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

10.6.2 Diseño de la simulación

Dentro del entorno del software se realizó una simulación del comportamiento mecánico de los pies, aplicando un análisis estático, se realiza una selección del material acero de bajo carbono A36 como se presenta en la siguiente figura.

Property	Value	Units
Elastic Modulus	200000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.26	N/A
Shear Modulus	79300	N/mm ²
Mass Density	7850	kg/m ³
Tensile Strength	400	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	250	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient		/K

Figura 57: Selección del material.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

A continuación, se realiza una selección de la geometría fijada en el ensamblaje obteniendo varias fijaciones en algunos lados de los eslabones (lugar de interés de carga), como se muestra en la siguiente figura.

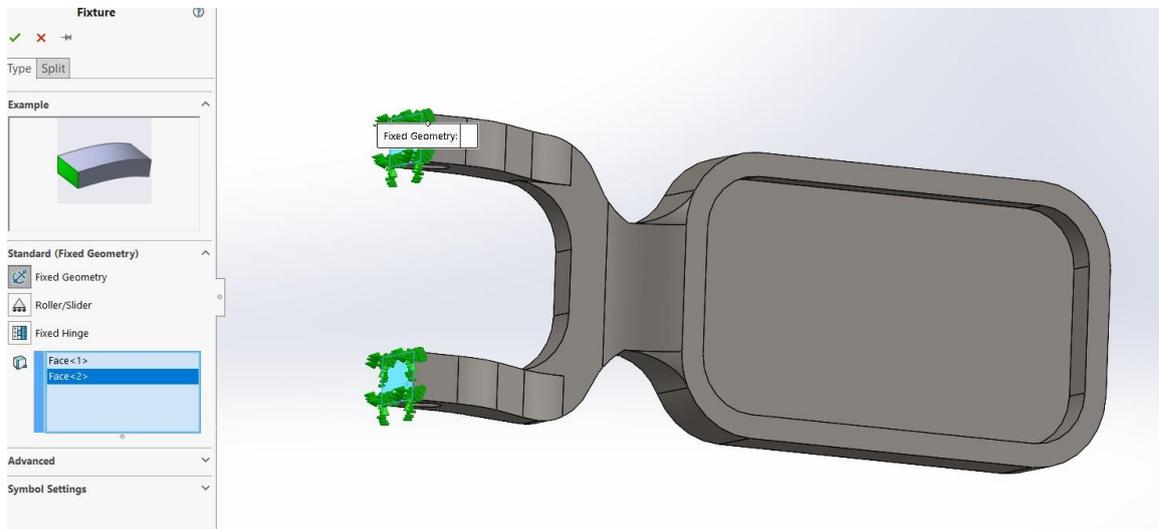


Figura 58: Geometría fijada.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

La fuerza gravitacional que ejerce la persona infante es de 343 N, para su evaluación se consideró una fuerza de 400 N para verificar el comportamiento del sistema estático y asegurar que el exoesqueleto cumpla con sus funciones mecánicas.

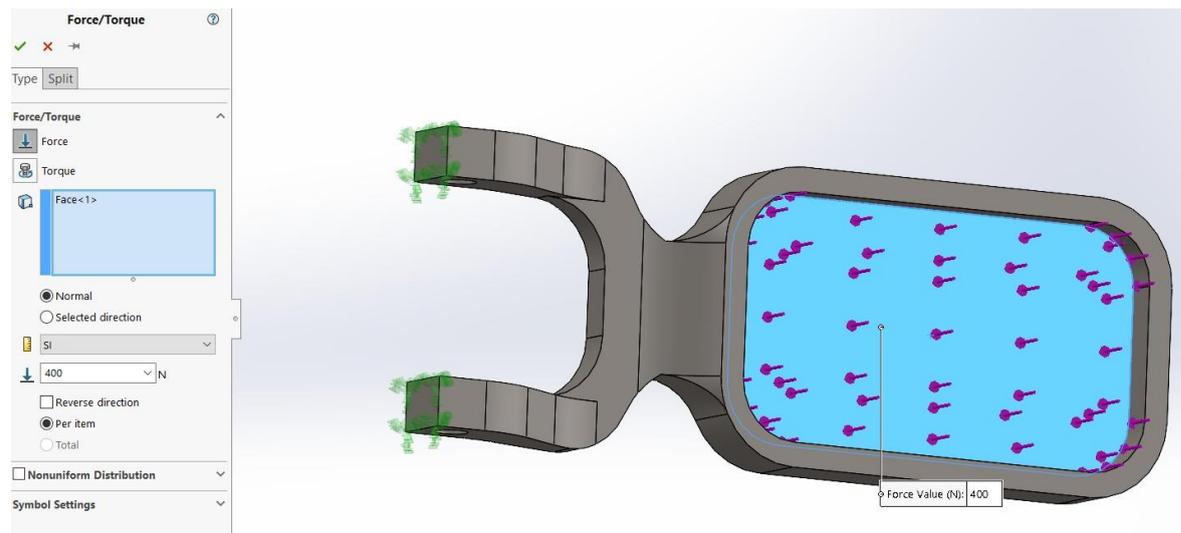


Figura 59: Fuerza gravitacional aplicada.

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Mediante la simulación se puede observar en la siguiente figura que el límite elástico al aplicar un análisis estático es de $2,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, en la parte derecha se puede visualizar un rango de valores inferiores al límite elástico que comprenden desde el mínimo de $1,503 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ hasta un valor máximo de $2,734 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

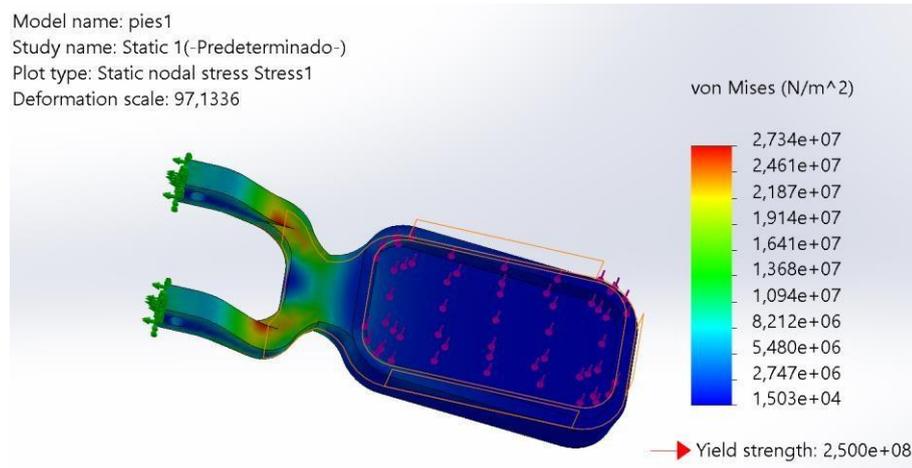


Figura 60: Resultados .
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Dentro de los resultados de los desplazamientos se puede observar que no existe una mayor cantidad de desplazamiento según la carga establecida que incluso es menor a 1 mm, con valores que comprenden desde $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ hasta un máximo de $5,15 \times 10^{-1} \text{ mm}$, determinando que a una fuerza gravitacional aplicada de 400 N el exoesqueleto no va a sufrir ningún tipo de desplazamiento por parte del análisis estático.

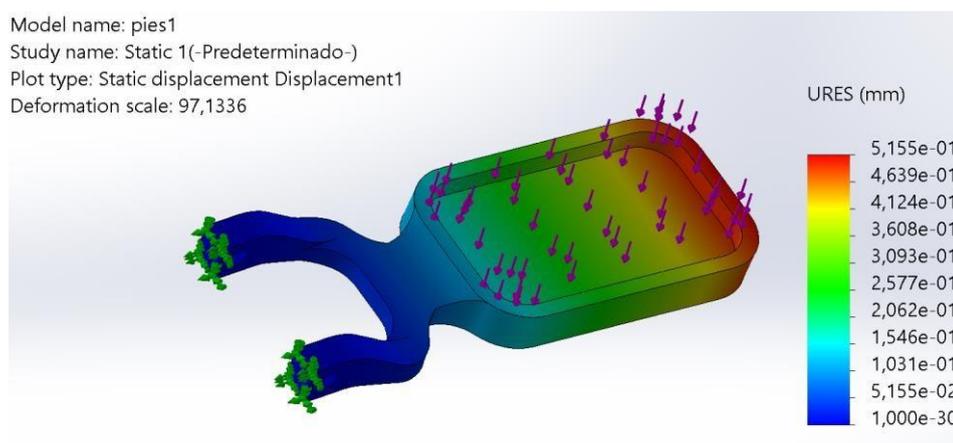


Figura 61: Resultados del desplazamiento.
Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

11 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto del proyecto conlleva varios aspectos económicos que se deben tomar en consideración, estos son: materiales indirectos, materiales directos y mano de obra. En la siguiente tabla se describen los costos indirectos.

Tabla 10: Costos indirectos.

COSTOS IN INDIRECTOS			
Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Transporte	40	\$ 2,50	\$ 100,00
Alimentación	80	\$ 2,00	\$ 160,00
TOTAL			\$ 260,00

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

11.1 Costos directos

En la tabla 11 se describe un listado de los elementos mecánicos y eléctricos utilizados en el proyecto

Tabla 11: Costos directos.

Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Acero AISI A36 en tubo cuadrado	1	\$500,00	\$500,00
Motor eléctrico 12 Vdc	1	\$250,00	\$250,00
Motorreductor a 60 RPM	1	\$150,00	\$150,00
Partes acolchonadas	5	\$250,00	\$250,00
TOTAL			\$ 1150,00

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

11.2 Costos de mano de obra

En la tabla 12 se describe la construcción del proyecto.

Tabla 12: Costos de mano de obra.

Detalle	Cantidad de días	Cantidad de Personas	Valor Total
Construcción de la estructura metálica	3	2	\$ 400,00
Construcción de los eslabones para piernas	2	2	\$ 100,00
Construcción de los eslabones para pies	4	2	\$ 100,00
Construcción de uniones	4	2	\$ 80,00
Construcción de soporte	2	2	\$ 80,00
Simulación del sistema	2	2	\$ 350,00
TOTAL			\$ 1110,00

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

11.3 Presupuesto total

En la tabla 13 se describe el presupuesto total del proyecto considerando los costos indirectos, costos directos y mano de obra.

Tabla 13: Presupuesto total

Detalle	Valor Total
Costos indirectos	\$ 260,00
Costos directos	\$ 1.150,00
Costo de mano de obra	\$ 1.110,00
TOTAL	\$ 2520,00

Elaborado por: Guamangate, C. & Pilaguano, J. (2022).

Para la ejecución de la propuesta tecnológica se considera un presupuesto general de dos mil quinientos veinte dólares americanos (\$ 2.520,00)

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- El presente proyecto se creó un prototipo de exoesqueleto para la recuperación de extremidades inferiores, en donde logren ser utilizado por pacientes cuya estatura varía desde 110 hasta 139 cm, que es igual a una estatura de niños con edades desde los 6 años hasta los 11 años y un peso máximo de 35 kg, con la finalidad de brindar tecnología en las terapias de rehabilitación para discapacidad de grado 1 y 2.
- De acuerdo con los movimientos primordiales realizados en las terapias de recuperación para la rehabilitación de las extremidades inferiores, se trazó un modelo de exoesqueleto “EasyStand” con la facilidad de movimiento de caderas, rodilla y tobillo de las dos piernas del paciente infante. Estos movimientos son generados por un actuador eléctrico de corriente continua que tienen una capacidad de manejar hasta 10 libras fuerza conectado a un motorreductor de hasta 40 rpm y un mecanismo de 1 grado de libertad capaz de ejercer este movimiento.
- Mediante una memoria de cálculo se determinó la potencia del motor eléctrico de 60 W con un torque de 13,5 Nm y una fuente de poder para alimentación de 30 A, se realizaron las pruebas en dos niños que presentan 1 y 2 grados de discapacidad respectivamente, Para la prueba 1 fue un infante de 10 años con un peso de 31 kg y una altura de 132 cm Se observó que la contextura del niño es muy delgada, por lo que, los sujetadores tipo acolchonados pueden regirse y ajustarse para la comodidad del infante, descartando cualquier inconveniente dentro del rango de antropometría de la cadera en el diseño, verificando que existe un completo ajuste.
- La prueba 2 tuvo a un niño de 9 años de 27 kg de peso y una altura de 127 cm, contextura delgada y grado 2 de discapacidad, la altura de la estructura de soporte tuvo que disminuir unos pocos centímetros hasta ajustar la comodidad del paciente El prototipo se ajustó de buena manera con este infante que presenta una discapacidad de grado 2.

12.2 Recomendaciones

- Se recomienda no exceder los límites de peso de 35 kg del usuario o la estatura máxima de 1,39 m debido a que causaría desperfectos mecánicos o eléctricos o la posibilidad de daños al usuario.
- Si se deseara utilizar el prototipo para personas con una mayor cantidad de peso máximo establecido en este diseño, se recomienda cambiar el actuador por otro de mayor torque, aunque disminuye su velocidad de movimiento.
- Se recomienda para trabajos futuro, revisar la biomecánica del cuerpo humano, ya que esta es la base para incrementar los grados de libertad al exoesqueleto, lo que significa mayor movilidad.

13 BIBLIOGRAFÍA

- Access Medicina. (15 de marzo de 2017). *Capítulo 37: Pierna*.
<https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2480§ionid=202776533>
- Aceromafe. (08 de marzo de 2021). *ACERO A36: 3 CARACTERISTICAS DE POSICIONAN COMO MATERIAL PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES*.
<https://www.aceromafe.com/acero-a36-propiedades/>
- Alvarez, R. (11 de marzo de 2016). *Llegó el día, la comercialización masiva de exoesqueletos es una realidad*. <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/llego-el-dia-la-comercializacion-masiva-de-exoesqueletos-ha-llegado>
- Arango, L. (septiembre de 2018). *Diseño y construcción de modelos de exoesqueletos de miembros inferiores para niños con trastornos del movimiento*.
http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/13713.pdf
- Belmonte, A. (26 de abril de 2019). *Músculos del pie*. <https://www.unprofesor.com/ciencias-naturales/musculos-del-pie-3285.html>
- Brico. (22 de septiembre de 2018). *NEMA 17 - 3.2 Kg/cm Motor paso a paso*.
<https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>
- Cajilema. (02 de marzo de 2018). *IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO BIOMECÁNICO DE UN PROTOTIPO DE EXOESQUELETO ROBÓTICO*.
- Castillero, O. (30 de enero de 2017). *Tipos de discapacidad física (y características)*.
<https://psicologiaymente.com/salud/tipos-de-discapacidad-fisica>
- CLR. (14 de abril de 2019). *¿Qué es un servomotor y cuándo se utiliza?*
<https://clr.es/blog/es/servomotor-cuando-se-utiliza/>
- Correa, G. (01 de enero de 2020). *Propuesta de diseño de un exoesqueleto mecánico para fines didácticos*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18378/1/UPS-CT008689.pdf>

- Dunai, L. (25 de octubre de 2018). *Diseño de un exoesqueleto de extremidades inferiores*. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/123255/297_9010_Disen%C3%B3de%20un%20exoesqueleto.pdf?tl=a
- Efisioterapia. (14 de noviembre de 2007). *La cinemática entre hombre y la mujer con un análisis comparativo*. <https://www.efisioterapia.net/articulos/analisis-comparativo-la-cinematica-hombre-y-la-mujer>
- García , M. (02 de mayo de 2019). *Para personas con lesiones de la médula espina pueden proporcionar beneficios de salud los exoesqueletos robóticos*. <https://naric.com/?q=es/content/los-exoesqueletos-rob%C3%B3ticos-pueden-proporcionar-beneficios-de-salud-para-personas-con>
- García , R. (19 de enero de 2021). *Cómo mejoran nuestra vida los exoesqueletos*. <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-son-exoesqueletos/>
- García, C. (25 de noviembre de 2019). *¿Qué es Arduino y para qué sirve?* <https://codelearn.es/blog/que-es-arduino-para-que-sirve/>
- Hernriquez . (27 de septiembre de 2010). *Raytheon hace una puesta a punto al exoesqueleto militar*. [/www.engadget.com/sarcos-xos-2-raytheon-hace-una-puesta-a-punto-al-exoesqueleto-m](http://www.engadget.com/sarcos-xos-2-raytheon-hace-una-puesta-a-punto-al-exoesqueleto-m)
- Horcajada, R. (10 de marzo de 2018). *MIEMBRO INFERIOR*. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/45916/1/TEMA%206.%20Miembro%20inferior.pdf>
- Jonas, D. (29 de marzo de 2020). *¿Qué son los exoesqueletos?* <https://robotesfera.com/que-son-exoesqueletos>
- Lopez, R. (20 de abril de 2018). Desarrollo de un exoesqueleto para rehabilitación de tobillo y rodilla. 35(1). <https://doi.org/2395-9126>
- Medline Plus. (07 de agosto de 2020). *Anatomía esquelética de la pierna*. https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/8844.htm
- Menna, C. (10 de maroz de 2017). *Cómo funciona un servomotor*. <https://como-funciona.co/un-servomotor/>
- MSP. (10 de enero de 2020). *Manual de Calificación de la Discapacidad - El Ministerio de Salud Pública*. <https://www.ferrere.com/es/novedades/ecuador-el-ministerio-de-salud->

publica-emite-el-manual-de-calificacion-de-la-discapacidad/#:~:text=Discapacidad%20moderada%3A%20Dificultad%20importante%20al,actividades%20de%20la%20vida%20diaria.

Observatorio de discapacidad física. (12 de enero de 2022). *La discapacidad física: ¿qué es y qué tipos hay?* <https://www.observatoridiscapacitat.org/es/la-discapacidad-fisica-que-es-y-que-tipos-hay>

Omicrono. (24 de diciembre de 2020). *Este exoesqueleto no necesita baterías y es tan pequeño como una mochila.* https://www.lespanol.com/omicrono/tecnologia/20201224/exoesqueleto-pequeno-mochila-no-necesita-baterias/545945553_0.html

Podoactiva. (04 de marzo de 2022). *PARTES Y FUNCIONES DE ESTA ANATOMÍA ÓSEA, HUESOS DEL PIE Y NOMBRES.* www.podoactiva.com

Ponce, E. (10 de agosto de 2014). *Exoesqueleto Robótico del Miembro Inferior y el Co-simulación del Diseño Biomecánico.* www.scielo.org.mx/pdf/rmib

Predif. (01 de febrero de 2017). *Discapacidad física.* <https://www.predif.org/discapacidad-fisica/>

Punto flotante. (10 de enero de 2018). *Motor de CD, Alimentación 12v a 24v. Motorreductor con engranes metálicos.* <https://www.puntoflotante.net/MOTOR-CD-GW-4058-ALTO-TORQUE-PAR-ENCODER.htm>

Rehab Cart. (10 de enero de 2017). *Lower Limb Paresis Rehab Care, Rehabilitation Supplies for Paraplegic y Paralytic.* rehabcart.com/

Rocfit medical. (12 de enero de 2021). *Por qué usar máquinas para rehabilitación.* <https://www.rocfit.com/consejos-fitness/maquinas-para-rehabilitacion/>

SEDEP. (12 de abril de 2022). *Sociedad Ecuatoriana de Endocrinología Pediátrica.* <https://sedep.com.ec/>

Shingón Collaguazo, O., & Uvillus Tipan, G. (15 de 07 de 2019). *Construcción de una máquina extrusora para plástico.* <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5537>

Significados. (13 de agosto de 2022). *Significado de Cuerpo humano.* <https://www.significados.com/cuerpo-humano/>

- Silva , J. (01 de enero de 2014). *DISEÑO Y IMPLEMENTACION DE UN EXOESQUELETO MAESTRO DE BRAZO PARA CONTROLADO DE FORMA VIRTUAL*. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1585/2014_Tesis_Silva_Gualdron_Javier_Alberto.pdf?sequence=1
- SkyCiv. (20 de noviembre de 2015). *Calculadora de esfuerzos*. <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>
- Stanford Medicine. (01 de enero de 2019). *Análisis de la forma de caminar*. <https://www.stanfordchildrens.org/es/service/motion-gait-analysis-laboratory/gait>
- TAFAD. (09 de noviembre de 2010). *SISTEMA ÓSEO*. <https://www.tafadycursos.com/index/8-1>
- Villa, A. (01 de abril de 2022). *Las células*. <https://www.msmanuals.com/es/hogar/fundamentos/el-cuerpo-humano/las-c%C3%A9lulas>
- Villena, G. (01 de mayo de 2017). *Implementó y control de un exoesqueleto dirigidos a pacientes con incapacidad de movilidad en los extremos inferiores del cuerpo*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2870/MAS_IME_AUT_021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

14 ANEXOS

Anexo 1: Hoja de vida de tutor del proyecto.

DATOS PERSONALES		
Nombres:	Jose Williams	
Apellidos:	Morales Cevallos	
Nacionalidad:	Ecuatoriana	
Fecha de nacimiento:		
Lugar de nacimiento:	Latacunga	
Cédula de identidad:	0502675424	
Estado civil:	Soltero	
Teléfono:	032807978 - 032804019 - 0985346678	
Dirección domiciliaria:	Av. Antonia Vela 18-28 y Benjamín Terán	
Cantón:	Latacunga	
Correo electrónico:	pepewmoralesc@yahoo.com	
ESTUDIOS REALIZADOS		
Instrucción primaria:	Escuela Fiscal Isidro Ayora	
Instrucción secundaria:	Colegio Técnico Industrial Ramón Barba Naranjo	
Tercer nivel:	Universidad Técnica de Cotopaxi	
Posgrado:	Universidad Técnica de Cotopaxi	
CERTIFICADOS OBTENIDOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Idioma Inglés B1 • Prevención de Riesgos Laborales: Construcción y Obras Públicas. • Prevención de Riesgos Laborales: Energía Eléctrica • Capacitador en Riesgo Eléctrico, Estructura Metálica y Procesos De Soldadura • Docente Área Eléctrica, Electromecánica • Docente Área Eléctrica, Electromecánica, Industrial • Fiscalizador Mecánico, Tubería De Presión • Maestro de Montaje Electromecánica Instalación de Turbinas y Generadores • Supervisor de Redes Eléctricas y Ayudante de Ingeniería • Residente de Obra Y Fiscalizador de Proyecto • Supervisor Eléctrico / Ministerio de Salud Publica 		

Ing. M.Sc. Jose Williams Morales Cevallos
Docente Tutor

Anexo 2: Hoja de vida de los estudiantes investigadores.

DATOS PERSONALES	
Nombres:	Cristian Ricardo
Apellidos:	Guamangate Tipan
Nacionalidad:	Ecuatoriano
Fecha de nacimiento:	05-03-1999
Lugar de nacimiento:	La Mana
Cédula de identidad:	0504368077
Estado civil:	soltero
Teléfono:	0993229108
Dirección domiciliaria:	El Carmen
Cantón:	La Mana
Correo electrónico:	Cristian.guamangate8077@utc.edu.ec
ESTUDIOS REALIZADOS	
Instrucción primaria:	Escuela Fiscal Mixta Ocho de Mayo
Instrucción secundaria:	Unidad Educativa Guasaganda
Tercer nivel:	Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Mana
CERTIFICADOS OBTENIDOS	
<ul style="list-style-type: none"> ● Certificado en prevención en riesgos laborales ● Certificado en curso de auxiliar en domótica ● Certificado en Ingles B1 	



Cristian Ricardo Guamangate Tipán
Estudiante Investigador

DATOS PERSONALES		
Nombres:	Julio Marcelo	
Apellidos:	Pilaguano Montero	
Nacionalidad:	Ecuatoriano	
Fecha de nacimiento:	22-04-1999	
Lugar de nacimiento:	La Maná	
Cédula de identidad:	1251135719	
Estado civil:	Soltero	
Teléfono:	0959977910	
Dirección domiciliaria:	San Francisco de Chipe	
Cantón:	La Maná	
Correo electrónico:	Julio.pilaguano5719@utc.edu.ec	
ESTUDIOS REALIZADOS		
Instrucción primaria:	Escuela Municipal “Ingeniero Guillermo Sotomayor Navas”	
Instrucción secundaria:	Instituto Tecnológico Superior “La Maná”. Colegio Técnico “Rafael Vásconez Gómez”.	
Tercer nivel:	Universidad Técnica de Cotopaxi “Extensión La Maná”.	
CERTIFICADOS OBTENIDOS		
<ul style="list-style-type: none"> ● Certificado en prevención en riesgos laborales ● Certificado en curso de auxiliar en domótica ● Certificado en Ingles B1 		

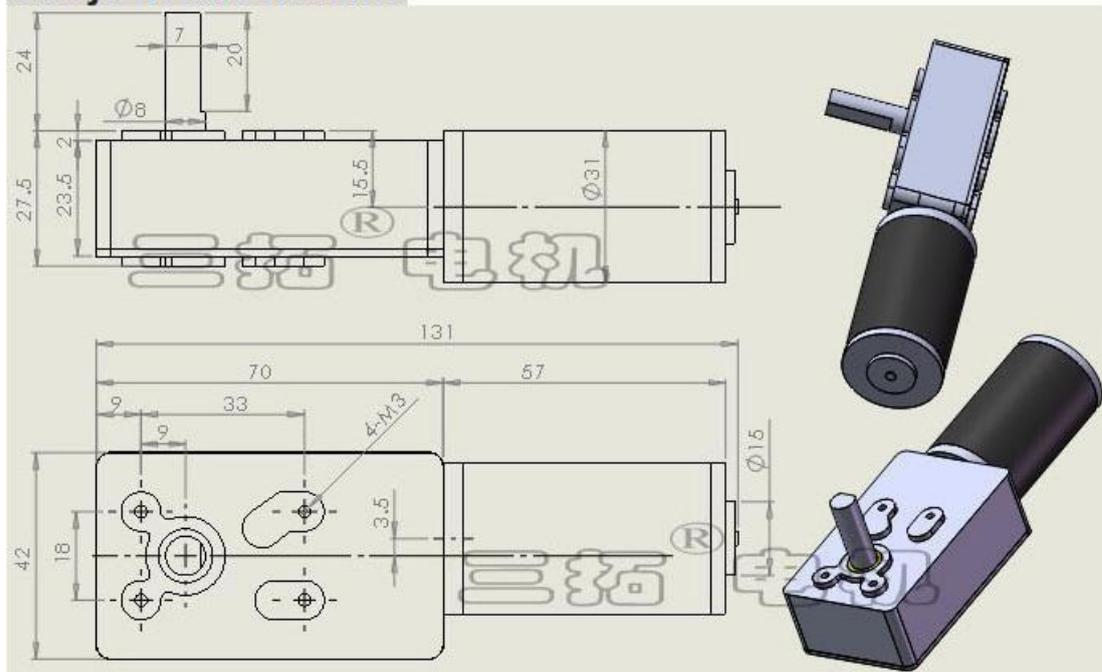
Julio Marcelo Pilaguano Montero
Estudiante Investigador

Anexo 3: Ficha técnica del motor DC

	Ficha técnica del motor dc	1/1
---	-----------------------------------	------------

Motor de engranaje helicoidal GW31CT DC

Artículo	Voltaje (V)	Sin carga Velocidad (R/min)	Cargando Velocidad (R/min)	Clasificado Par de torsión (N · cm)	Clasificado Corriente (A)	Clasificado Potencia (W)	Dimensiones (Excluír eje)	Eje (mm)		Red Peso
GW31CT-2.2	DC 12V	2,2	1,8	400	0,80	8	118x42x32mm 4,65x1,65x1,26/ pulgadas	Doble Individual Eje D	Doble Φ 8*15 Individual Φ 8*24	0,38Kg 0.838 lb
GW31CT-5		5	4	500	1,50					
GW31CT-5.2	24V DC	5,2	4	500	1,00					

Dibujo de dimensiones


Este tipo es una miniatura DCMotor de engranaje helicoidal, reversible, variable y autobloqueo.

1). Con la función de bloqueo automático, el eje de salida no se puede girar con cierta fuerza al apagarse.

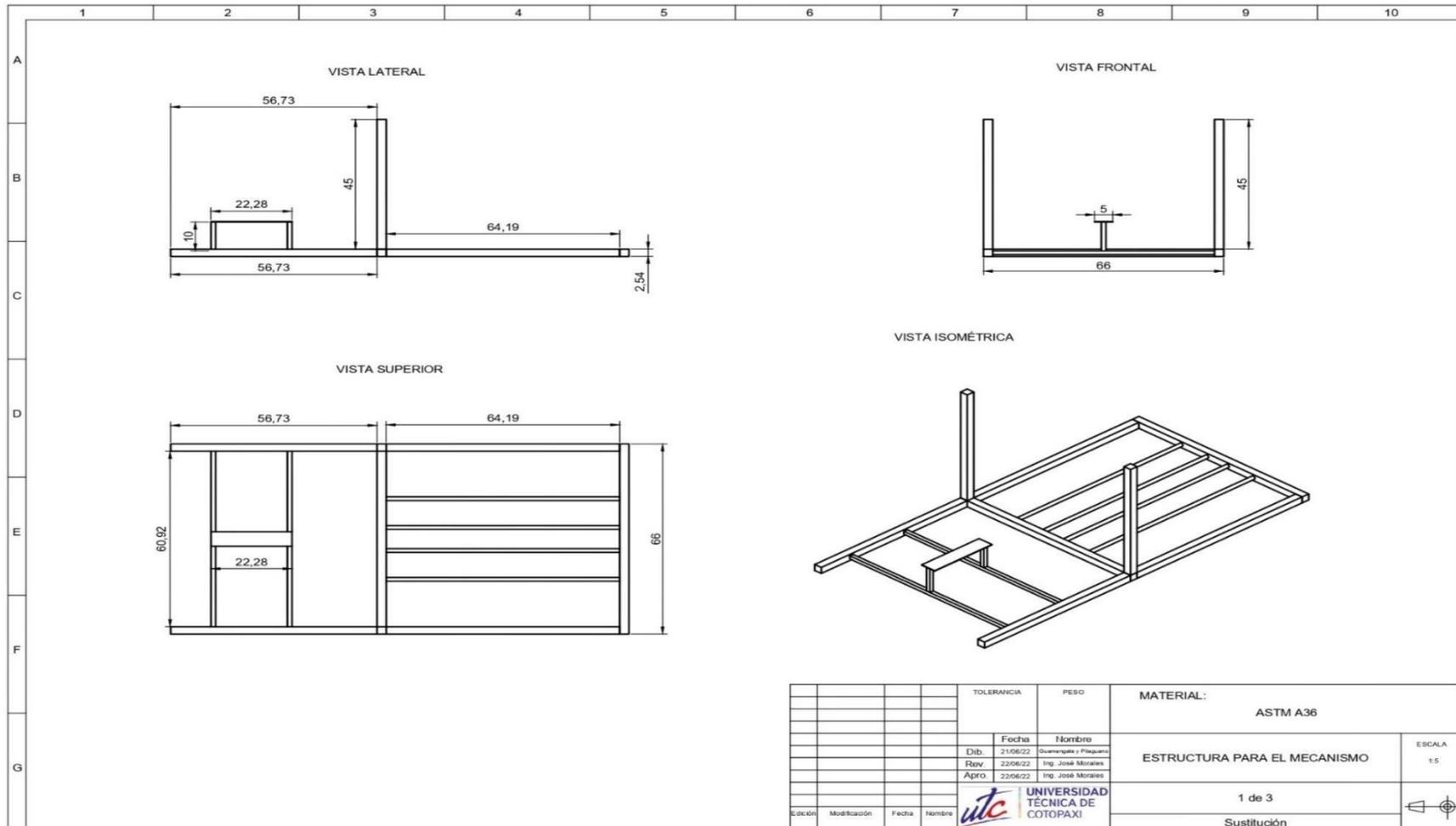
2). El eje de salida de la caja de cambios y el eje del motor son de 90 grados, es ampliamente utilizado en varias ocasiones que requieren un tamaño de instalación especial.

De acuerdo con estas características, los motores de engranaje helicoidal se utilizan ampliamente en la apertura de ventanas y puertas y electrodomésticos, modelos de automóviles, modelos de barcos, modelos de robots, Motor DIY, aplicación industrial, aplicación doméstica, Automatización del hogar, Mini cabrestante y otras ocasiones.

Anexo 4: Ficha técnica de la fuente de poder

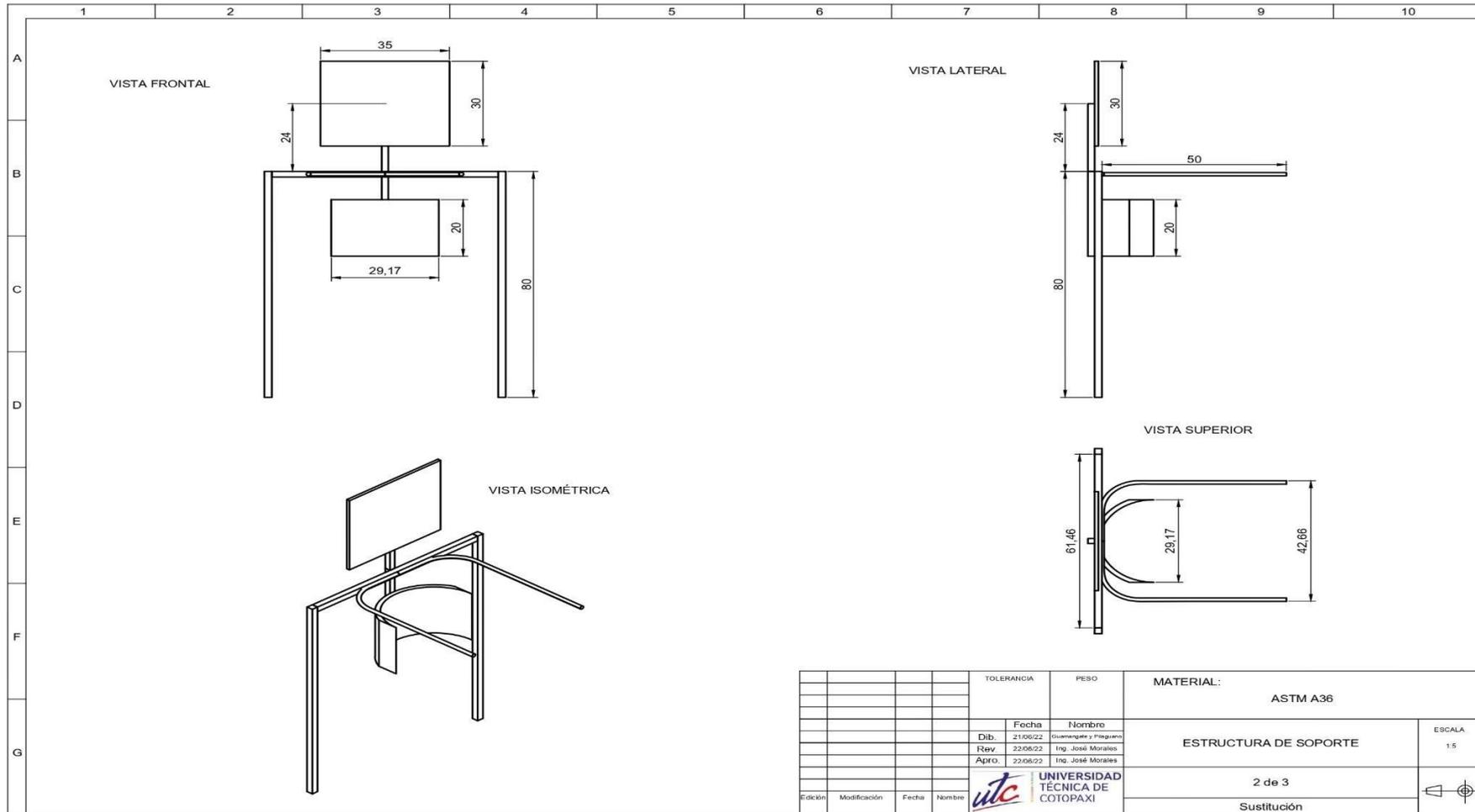
	Ficha técnica de la fuente de poder	1/1
<div style="text-align: center; margin-bottom: 20px;">  </div> <p>INFORMACIÓN</p> <p>¿Qué es?</p> <p>Fuente conmutada 12V 30A es un dispositivo electrónico comúnmente llamado fuente de alimentación, fuente de poder o fuente conmutada. En electrónica se define como el instrumento que transforma corriente alterna en corriente continua en una o varias salidas.</p> <p>¿Para qué sirve?</p> <p>Fuente conmutada 12V 30A permite transformar la energía eléctrica de VCA a VCD puede alimentar a diferentes dispositivos electrónicos por ejemplo: motor de CD, leds de potencia, tira de leds, cámaras de CCTV, CNC, Impresora 3D, Módulos PWM, tarjetas o módulos Arduino, sensores, actuadores, amplificadores, circuitos integrados, etc.</p> <p>ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de salida: 12V DC • Corriente de salida: 30A • Voltaje de entrada: 110-220V AC rango de entrada seleccionable por interruptor • Frecuencia: 50/60Hz • Potencia Máxima de salida: 360W • Instalado con filtro EMI, onda mínima • Frecuencia de conmutación fija a 25 KHz • Protección: cortocircuito / sobrecarga / sobretensión • Ventilador de refrigeración encendido/apagado automático • Temperatura de trabajo: -10 ~ + 50 y el grado; c • Temperatura de almacenamiento: -20 ~ 85 y el grado; c • Humedad ambiente: 20% ~ 95 % sin condensación • Dimensiones : 21.5x11.3x5cm (L * W * H) • Peso:721g • Material de Shell: metal / base de aluminio <p>Conexión en regleta para toma de VCD :</p> <ul style="list-style-type: none"> • -V: terminal negativa • +V: terminal positiva <p>Conexión en regleta para ingresar VCA :</p> <ul style="list-style-type: none"> • T : terminal a Tierra física del toma corriente • N: terminal Neutra del toma corriente • L : terminal Línea o fase del toma corriente 		

Anexo 5: Estructura para el mecanismo.



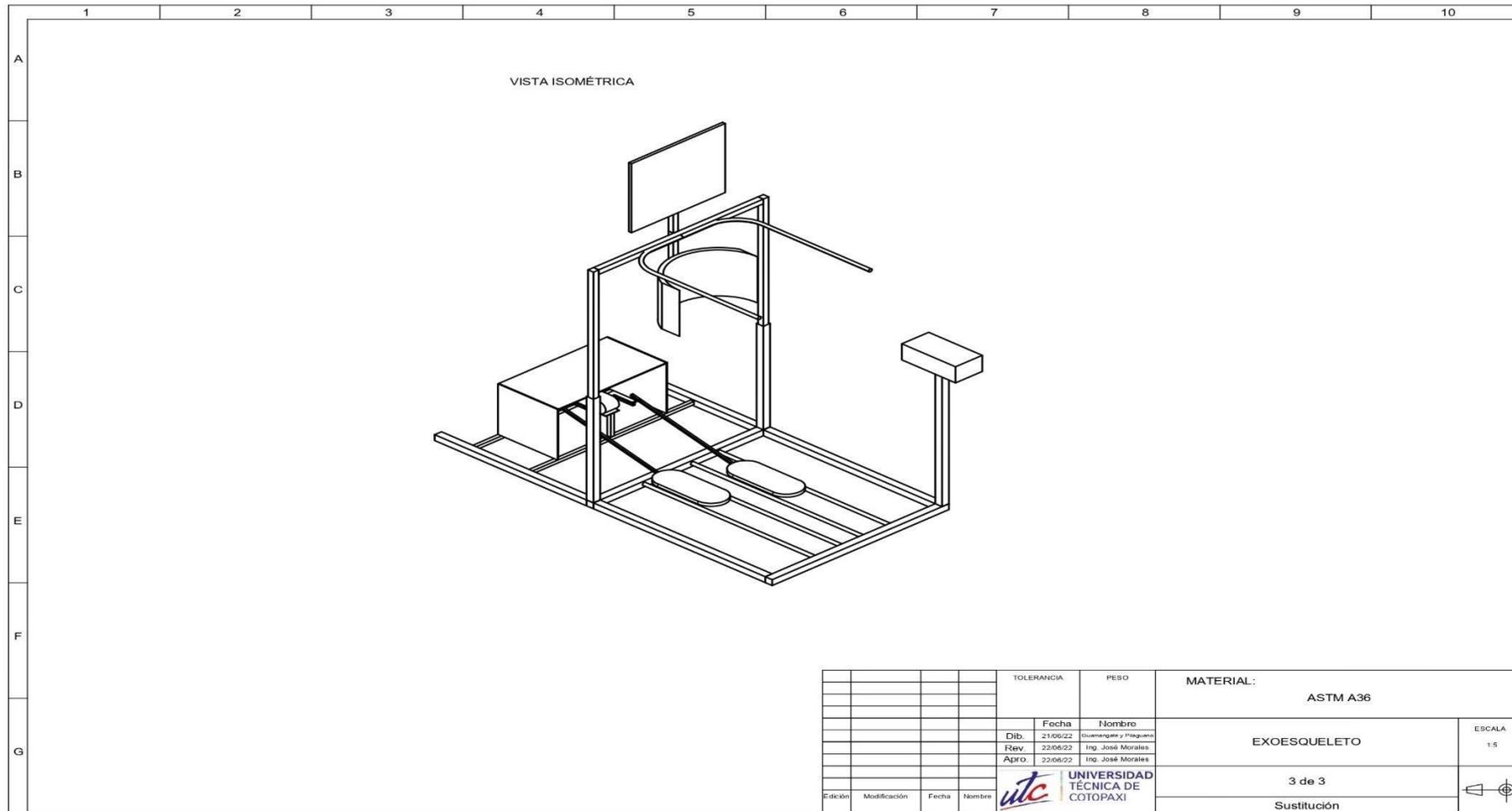
TOLERANCIA		PESO		MATERIAL:	
				ASTM A36	
		Fecha	Nombre		
		Dib.	21/06/22	Quiriquipe y Plaqueras	
		Rev.	22/06/22	Ing. José Morales	
		Apro.	22/06/22	Ing. José Morales	
					ESCALA
					1:5
					ESTRUCTURA PARA EL MECANISMO
					1 de 3
					Sustitución

Anexo 6: Estructura de soporte.

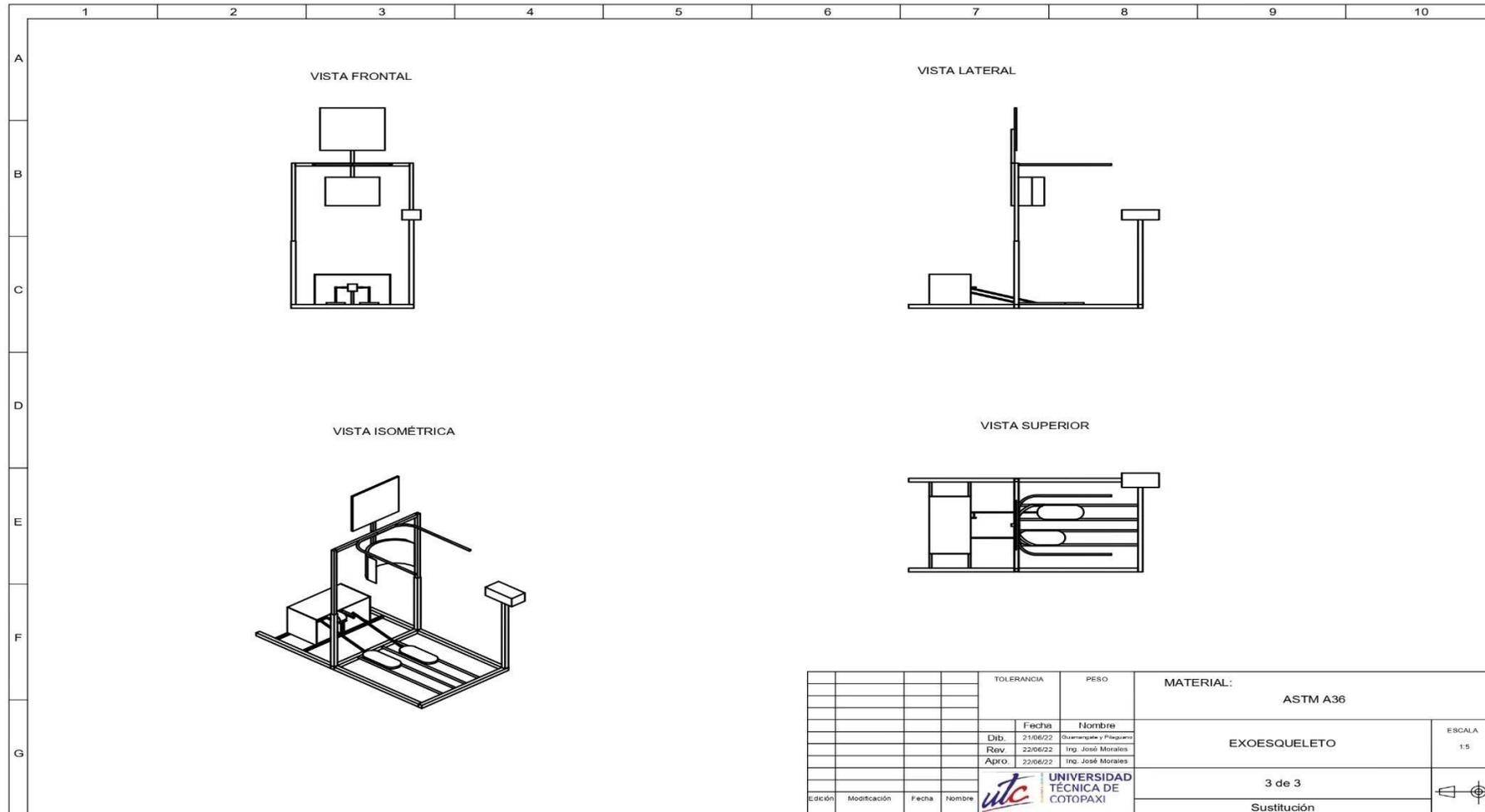


				TOLERANCIA	PESO	MATERIAL:		
						ASTM A36		
				Fecha	Nombre			
				Dib.	21/06/22	Guillermo y Fabiana	ESTRUCTURA DE SOPORTE	
				Rev.	22/08/22	Ing. José Morales		
				Apro.	22/08/22	Ing. José Morales		
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI				ESCALA
								Edición
							2 de 3	
							Sustitución	

Anexo 7: Estructura del exoesqueleto.



Anexo 8: Estructura del exoesqueleto en diferentes posiciones.





Anexo 9: Aval de traducción

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES DE INFANTES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ”**, presentado por **Guamangate Tipán Cristian Ricardo y Pilaguano Montero Julio Marcelo**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, agosto del 2022

Atentamente,



Mg. Fernando Toaquiza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502229677

Anexo 10: Informe del urkund**Document Information**

Analyzed document	1.0.2 EXOESQUELETO PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES DE INFANTES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ_Ultimo 2.pdf (D143373473)
Submitted	8/30/2022 1:10:00 AM
Submitted by	
Submitter email	yoandrys.morales@utc.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	yoandrys.morales.utc@analysis.orkund.com
