



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA
REHABILITACIÓN DE PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SUS
EXTREMIDADES INFERIORES”**

Autores:

Bryan Marino Contrera Moreira

Yelibert Giovanni Solórzano Palacios

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Rodger Benjamín Salazar Loor, M.Sc.

Quevedo-Los Ríos-Ecuador.

2023



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Solórzano Palacios Yelibert Giovanni**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Yelibert Giovanni Solórzano Palacios

C.C. # 2300207343



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Bryan Marino Contrera Moreira**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Bryan Marino Contrera Moreira
C.C. # 0941734014



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Rodger Benjamín Salazar Loor**; Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los estudiantes **Bryan Marino Contrera Moreira & Solórzano Palacios Yelibert Giovanny**, realizan el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Diseño y construcción de una máquina para la rehabilitación de personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.



Firmado electrónicamente por:
RODGER BENJAMIN
SALAZAR LOOR

Ing. Rodger Benjamín Salazar Loor, M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente me permito certificar, que los estudiantes **Bryan Marino Contrera Moreira & Solórzano Palacios Yelibert Giovanni**, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la modalidad presencial, una vez finalizado el proyecto de investigación titulado “**Diseño y construcción de una máquina para la rehabilitación de personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores**”, tengo a bien informar que la respectiva revisión se realizó por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 4%.

Se adjunta imagen del Sistema Urkund.

URKUND	
Documento	TESIS SOLORZANO CONTRERA.pdf (D159202253)
Presentado	2023-02-21 18:17 (-05:00)
Presentado por	Rodger (rsalazarl@uteq.edu.ec)
Recibido	rsalazarl.uteq@analysis.urkund.com
Mensaje	TESIS CONTRERA SOLORZANO Mostrar el mensaje completo
	4% de estas 57 páginas, se componen de texto presente en 17 fuentes.



Firmado electrónicamente por:
RODGER BENJAMIN
SALAZAR LOOR

Ing. Rodger Benjamín Salazar Loor M.Sc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Diseño y construcción de una máquina para la rehabilitación de personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:



PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Acosta Manosalvas Jorge Javier



MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Zamora Hernández Yusimit Karina



MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Ruano Herrería Ernesto Javier

QUEVEDO-LOS RÍOS-ECUADOR
2023

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar otro de mis objetivos, a mis padres y hermanos por brindarme un apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica. También, expreso mi gratitud a los ingenieros de la prestigiosa Universidad Técnica Estatal de Quevedo por compartir sus conocimientos y anécdotas de una manera tan inspiradora, lo que me permitió mantener mi interés en la carrera cada día. Agradezco a mis compañeros por compartir momentos agradables durante el periodo de clases. Les expreso mis más sinceros agradecimientos.

Yelibert Solórzano

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar una etapa importante en nuestra vida, por ayudarme a comprender que se puede ayudar de muchas formas a los demás. También a los docentes que, gracias al apoyo y conocimiento impartido durante este proceso de formación académica, he logrado cumplir una nueva meta, a mis amigos y compañeros que me ayudaron en momentos difíciles, pero sobre todo a mis padres por brindarme su apoyo y educación durante todo este proceso de aprendizaje que ha permitido convertirme en la persona que soy. Para todos expreso mis más sinceros agradecimientos.

Bryan Contrera

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis queridos padres y hermanas por su amor incondicional y apoyo constante. Siempre han creído en mí y han sido fundamentales en mi decisión de seguir enriqueciendo mis conocimientos. También, mi agradecimiento a los ingenieros que estuvieron presentes en todo momento, permitiendo mejorar mi nivel de aprendizaje. Estoy muy agradecido por todo lo que han hecho por mí.

Yelibert Solórzano

Dedico este trabajo de titulación especialmente a mis padres, porque gracias a su apoyo y fortaleza he logrado culminar una nueva etapa importante en mi vida, donde hay que saber que, la fuerza no consiste en ganar si no en elegir las batallas que queremos afrontar y no rendirse.

Bryan Contrera

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.

Este estudio describe el proceso completo de diseño y construcción de una máquina de rehabilitación tipo andador, que ayudará en la recuperación de pacientes con limitaciones de movilidad, específicamente aquellos que sufren de deficiencias funcionales o articulares en las extremidades inferiores, y que requieren asistencia activa. El proyecto es liderado por estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Este proceso consta de varias fases de implementación. La primera fase implica la selección y el diseño utilizando el software CAD SolidWorks. Este software sirve para identificar los puntos críticos considerando el desplazamiento de la estructura, en este caso, que fue menor a 1 mm. Además, se aseguró de que no superó el límite elástico y que su factor de seguridad es mayor a la unidad, todo esto en función de la selección del material. En la segunda fase, se realizó un análisis para garantizar la fiabilidad del diseño, considerando los resultados obtenidos. Posteriormente, se generaron planos para llevar a cabo la tercera fase, que es la de manufacturar la máquina. En esta etapa se llevaron a cabo pruebas de carga similares a las del análisis en el software, con el objetivo de garantizar la funcionalidad de la máquina. Una vez que se garantiza la funcionalidad de la máquina, se procedió a su implementación en la fundación Fe y Alegría en Santo Domingo de los Tsáchilas. El proceso de diseño considera variables críticas como la masa corporal, antropometría, y porcentaje de movilidad del paciente para seleccionar el material adecuado y realizar análisis de resistencia, la máquina se diseñó para soportar una carga generada por la masa corporal del paciente la cual se distribuirá en 4 puntos de apoyo considerando las condiciones de diseño y manufactura planteadas.

Palabras clave: Máquina de Rehabilitación, Factor de seguridad, Deformación unitaria, Esfuerzo de fluencia, Perfil estructural.

EXECUTIVE SUMMARY AND KEYWORDS.

This study describes the complete design and construction process of a walker-type rehabilitation machine that will aid in the recovery of patients with mobility limitations, specifically those who suffer from functional or articular deficiencies in the lower extremities, and who require active assistance. The project is led by students from the Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. This process consists of several implementation phases. The first phase involves selection and design using SolidWorks CAD software. This software is used to identify the critical points considering the displacement of the structure, in this case, which was less than 1 mm. In addition, it was ensured that it did not exceed the elastic limit and that its safety factor is greater than unity, all based on the material selection. In the second phase, an analysis was performed to ensure the reliability of the design, considering the results obtained. Subsequently, plans were generated to carry out the third phase, which is to manufacture the machine. In this stage, load tests similar to those of the analysis were carried out in the software, with the objective of guaranteeing the functionality of the machine. Once the functionality of the machine was guaranteed, it was implemented at the Fe y Alegría Foundation in Santo Domingo de los Tsáchilas. The design process considers critical variables such as body mass, anthropometry, and mobility percentage of the patient to select the appropriate material and perform strength analysis, the machine was designed to support a load generated by the patient's body mass which will be distributed in 4 support points considering the design and manufacturing conditions proposed.

Keywords: Rehabilitation Machine, Safety factor, Unit Deformation, Creep Stress, Structural Profile.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ...	¡Error!
Marcador no definido.	
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.	viii
EXECUTIVE SUMMARY AND KEYWORDS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	x
ÍNDICE DE ECUACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
CÓDIGO DUBLÍN.....	xi
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y FÓRMULAS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de investigación.....	3
1.1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.1.2. Formulación del problema.	4
1.1.3. Sistematización del problema.	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5

1.3. Justificación.....	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Conceptos.....	8
2.1.1. Generalidades.....	8
2.1.2. Tipos de paraplejia.....	10
2.2. Marco referencial.....	13
2.2.1. Antropometría un enfoque al análisis estructural del cuerpo humano.....	13
2.2.2. Métodos de medición.....	16
2.2.3. Importancia de la antropometría.....	16
2.2.4. Características antropométricas en personas con discapacidad móvil inferior.....	17
2.2.5. Técnicas de rehabilitación medular.....	20
2.2.6. Kinesioterapia.....	21
2.2.7. Tratamientos o métodos de rehabilitación.....	22
2.2.8. Mecanoterapia.....	23
2.3. Análisis del diseño.....	26
2.3.1. Tecnología y rehabilitación.....	27
2.3.2. Uso de la tecnología de rehabilitación.....	28
2.4. Enfoque a los requerimientos de diseño aplicados a las máquinas de rehabilitación. .	30
2.4.1. Variables que intervienen en el diseño.....	30
2.4.2. Factores claves en el diseño de equipos para rehabilitación.....	31
2.5. Elementos de seguridad.....	33
2.5.1. Arnés.....	33
2.5.2. Tipos de arneses.....	33
2.6. Mecánica de materiales para el diseño.....	34
2.6.1. Tipos de aceros inoxidables.....	35
2.6.2. Propiedades del AISI 304.....	35

2.6.3. Componentes del AISI 304.	37
2.6.4. Composición química del acero inoxidable AISI 304.	37
2.6.5. Aplicación del AISI 304 y 316L en la biomedicina.	40
2.6.6. Soldabilidad.	40
2.7. Normas de diseño para otros materiales.	41
2.7.1. ASTM A36.	41
2.7.2. ASTM A500.	41
2.8. Análisis estructural	42
2.8.1. Métodos aplicados en la ejecución de un diseño.	42
2.8.2. Métodos para el análisis estructural	43
2.8.3. Análisis por elementos finitos.	44
2.8.4. Elementos que intervienen en el cálculo estructural.	45
2.8.5. Componentes de la máquina de rehabilitación.	49
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.1. Localización.	53
3.2. Tipo de investigación.	53
3.2.1. Investigación Bibliográfica.	53
3.2.2. Investigación aplicada.	54
3.2.3. Investigación descriptiva.	54
3.2.4. Investigación linkográfica.	54
3.3. Métodos de investigación.	54
3.3.1. Método analítico.	54
3.4. Fuentes de recopilación de información.	55
3.4.1. Fuentes primarias	55
3.4.2. Fuentes secundarias.	55
3.4.3. Información virtual.	55

3.5. Diseño de la investigación.....	56
3.5.1. Diseño experimental.....	56
3.5.2. Diagrama del procedimiento de diseño y manufactura.....	57
3.6. Instrumentos de investigación.....	58
3.7. Tratamiento de datos.....	58
3.7.1. Programa de datos e información.....	58
3.7.2. Programas de diseño.....	58
3.8. Recursos Humanos y materiales.....	59
3.8.1. Recursos Humanos.....	59
3.8.2. Recursos materiales.....	59
3.8.3. Equipos.....	59
CAPÍTULO IV.....	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. Análisis para la selección del diseño de la máquina.....	62
4.1.1. Datos de peso y longitud de los pacientes.....	62
4.1.2. Elementos a considerar en el diseño de la máquina.....	63
4.2. Análisis de resistencia de material.....	69
4.2.1. Análisis del tipo de material.....	69
4.2.2. Análisis material en función a su geometría.....	70
4.3. Cálculos del diseño.....	71
4.3.1. Cálculo estático de la estructura.....	71
4.3.2. Cálculo de los esfuerzos en los pernos.....	84
4.4. Resultados de la aplicación de la metodología de diseño.....	90
4.4.1. Diseño simple.....	90
4.4.2. Propiedades físicas de la máquina compacta.....	92
4.4.3. Diseño desmontable.....	92
4.4.4. Propiedades físicas de la máquina desmontable.....	93

4.4.5. Geometrías estructurales desmontable límite máximo.	95
4.4.6. Resultados de la simulación del diseño regulable límite mínimo.	103
4.5. Proceso de manufactura.....	116
4.5.1. Fase de selección y adquisición del material.	116
4.5.2. Fase de adecuación de área herramientas y equipos de seguridad.....	116
4.5.3. Fase de construcción de la máquina de rehabilitación.	118
4.5.4. Costo de manufactura.....	119
4.6. Discusión.....	123
CAPÍTULO V.....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
5.1. Conclusiones.....	127
5.2. Recomendaciones.....	128
5.3. Bibliografía.....	129
CAPÍTULO VI	136
ANEXOS	136
PLANOS.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables antropométricas.	18
Tabla 2. Datos de tallas y pesos en función a la edad.....	19
Tabla 3: Tipos de máquinas de rehabilitación.....	25
Tabla 4. Grupo Etario.	32
Tabla 5. Tipos de discapacidad.....	32
Tabla 6. Propiedades mecánicas.	37
Tabla 7. Composición química.	38
Tabla 8. Datos de peso y estatura.	62
Tabla 9. Datos estadísticos de los estudiantes.	63
Tabla 10. Matriz morfológica selección de factores para el diseño de la máquina.	64
Tabla 11. Proforma del material estructural AISI 304.	67
Tabla 12. Proforma de los materiales usados en el diseño.	67
Tabla 13. Propiedades de los materiales para el análisis.	69
Tabla 14. Resultados de esfuerzo en función al perfil estructural.	70
Tabla 15. Factores de seguridad.	82
Tabla 16. Propiedades mecánicas.	83
Tabla 17. Propiedades mecánicas de los pernos.	88
Tabla 18. Resultados de esfuerzos y deformación general.	90
Tabla 19. Propiedades físicas de diseño simple.....	92
Tabla 20. Resultados de esfuerzos para el diseño regulable.....	93
Tabla 21. Propiedades físicas generales de la Máquina de rehabilitación.....	94
Tabla 22. Longitud del material en función al tipo de perfil.	94
Tabla 23. Información de malla.....	97
Tabla 24. Información de malla detalles.....	98
Tabla 25. Información de malla configuración mínima.	104
Tabla 26. Información de malla detalles.....	105
Tabla 27. Resultados de esfuerzos para el diseño regulable configuración mínima.	105
Tabla 28. Resultados de carga máxima aplicable a la máquina de rehabilitación.....	110
Tabla 29. Costo de manufactura de la máquina.....	119
Tabla 30. Comparación de precios.	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Lesiones medulares (LM).	9
Ilustración 2. Intervención de la médula espinal.....	9
Ilustración 3. Tipos de dimensiones.....	14
Ilustración 4. Factores para la definición de un diseño antropométrico.	15
Ilustración 5. Antropometría del cuerpo humano.	17
Ilustración 6. Proceso analítico de rehabilitación.	20
Ilustración 7. Rehabilitación Kinesioterapia.	22
Ilustración 8. Métodos de rehabilitación.....	23
Ilustración 9. Grúa de rehabilitación sobre la marcha.	24
Ilustración 10. Máquina de rehabilitación sobre la marcha.	27
Ilustración 11. Tecnología en la rehabilitación.....	28
Ilustración 12. Asiento de arnés rígido.	34
Ilustración 13. Asiento de arnés dúctil.....	34
Ilustración 14. Familia de los aceros inoxidable austeníticos a partir de AISI 304.	36
Ilustración 15. Micrografía Acero inoxidable.....	38
Ilustración 16. Gráfica de deformación unitaria de AISI 304.....	39
Ilustración 17. Forma general de designación.	41
Ilustración 18. Etapas de un proyecto.	43
Ilustración 19. Elementos estructurales de la máquina.	50
Ilustración 20. Ubicación.	53
Ilustración 21. Metodología de diseño experimental, caja negra.....	56
Ilustración 22. Diagrama del procedimiento.....	57
Ilustración 23. Balanza portátil.	60
Ilustración 24. Cinta métrica.....	60
Ilustración 25. Diseño estructural seleccionado.....	65
Ilustración 26. Perfil seleccionado geometría rectangular.	66
Ilustración 27. Perfil de acero inoxidable AISI 304.....	66
Ilustración 28. Arquitectura modular.	68
Ilustración 29. Estructura para el cálculo en 2D.	72
Ilustración 30. Distribución de las fuerzas.....	73
Ilustración 31. Diagrama de cuerpo libre DCL.....	74

Ilustración 32. DCL. Segmento 1.....	76
Ilustración 33. DCL esfuerzo segmento 2 aplicación de fuerza.	77
Ilustración 34. Validación de resultados parte superior.....	78
Ilustración 35. DCL. Segmento 3.....	78
Ilustración 36. DCL. Segmento 4.....	79
Ilustración 37. Validación de resultados parte inferior.	80
Ilustración 38. Diagrama de esfuerzos cortantes parte superior.	80
Ilustración 39. Diagrama de esfuerzos cortantes parte superior.	81
Ilustración 40. Diagrama de momento flector.	81
Ilustración 41. Aplicación de fuerzas.....	85
Ilustración 42. Geometría de la máquina diseño simple.	91
Ilustración 43. Geometría de la máquina de diseño desmontable límite máximo.	95
Ilustración 44. Demostración de valor y aplicación de la fuerza.	96
Ilustración 45. Ubicación de las reacciones en la estructura.....	96
Ilustración 46. Tipo de malla aplicada.....	97
Ilustración 47. Simulación de resultados de tensión de Von Mises.....	99
Ilustración 48. Simulación de resultados del desplazamiento.....	100
Ilustración 49. Deformación configuración máxima.	101
Ilustración 50. Factor de seguridad de la configuración máxima.	102
Ilustración 51. Geometría de la máquina de diseño desmontable límite mínimo.	103
Ilustración 52. Mallado usado en el análisis.	104
Ilustración 53. Resultados tensión de Von Mises configuración mínima.....	106
Ilustración 54. Resultados del desplazamiento configuración mínima.....	107
Ilustración 55. Deformación unitaria configuración mínima.	108
Ilustración 56. Factor de seguridad configuración mínima.....	109
Ilustración 57. Mallado usando el método del cociente jacobiano.	111
Ilustración 58. Zoom para identificar la geometría del mallado.	112
Ilustración 59. Geometría que no cumplió con las condiciones de mallado.....	112
Ilustración 60. Resumen del diagnóstico de mallado.....	113
Ilustración 61. Diseño estructural de la máquina de rehabilitación.	114
Ilustración 62. Vista explosionada del diseño.....	115

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec.1. Peso.....	45
Ec.2. Fuerza aplicada en un solo lado	45
Ec.3. Sumatoria de momentos.....	46
Ec.4. Sumatoria de fuerzas.....	46
Ec.5. Momento flector máximo.....	46
Ec.6. Esfuerzo cortante.....	47
Ec.7. Módulo elástico.....	47
Ec.8. Esfuerzo permisible.....	47
Ec.9. Esfuerzo cortante directo.....	47
Ec.10. Esfuerzo cortante en pernos.	48
Ec.11. Diámetro de perno.....	48
Ec.12. Área del perno.....	48
Ec.13. Esfuerzo por aplastamiento.....	49
Ec.14. Área proyectada.	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Metodología árbol de funciones aplicado en la máquina de rehabilitación. ...	137
Anexos 2. Aplicación del método Fast en el diseño de la máquina de rehabilitación.	138
Anexos 3. Método de la matriz morfológica usada en la máquina de rehabilitación.....	139
Anexos 4. Equipos de seguridad.	141
Anexos 5. Máquinas herramientas usadas.....	141
Anexos 6. Herramientas utilizadas en el proceso.....	142
Anexos 7. Materiales.....	143
Anexos 8. Selección y compra del perfil.....	144
Anexos 9. Seccionamiento del perfil en función a las medidas del plano.	144
Anexos 10. Corte de la sección inferior de la máquina de rehabilitación.	145
Anexos 11. Cortes de la sección central de la máquina de rehabilitación.....	145
Anexos 12. Corte de la sección superior de la máquina de rehabilitación.	145
Anexos 13. Perfiles cortados.	146
Anexos 14. Arreglo del corte.	146
Anexos 15. Extracción de limalla de acero.	146
Anexos 16. Medición de los perfiles a cortar y doblar.....	147
Anexos 17. Seccionamiento del perfil 40x20x1,5.....	147
Anexos 18. Perfil seccionado.	147
Anexos 19. Corte del perfil seccionado.....	148
Anexos 20. Doblado del perfil.	148
Anexos 21. Perfiles cortados y doblados.....	148
Anexos 22. Perforación de los perfiles estructurales.	149
Anexos 23. Marcar las planchas para los refuerzos.	149
Anexos 24. Corte de los refuerzos de perfil.	149
Anexos 25. Proceso de lijado y pulido de los elementos.	150
Anexos 26. Proceso de soldadura.....	150
Anexos 27. Proceso de desbaste del exceso de soldadura.....	151
Anexos 28. Ensamble de los perfiles.....	151
Anexos 29. Perfiles ensamblados.....	151
Anexos 30. Montaje de los perfiles laterales de la máquina.	152
Anexos 31. Diseño del arnés de seguridad.....	152

Anexos 32. Arnés de seguridad.....	153
Anexos 33. Vista lateral máquina de rehabilitación.....	153
Anexos 34. Regulación de la máquina en función a la antropometría del paciente.....	154
Anexos 35. Prueba de funcionamiento de la máquina.	154
Anexos 36. Vista frontal máquina de rehabilitación.	155

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA REHABILITACIÓN DE PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES				
Autor:	Bryan Marino Contrera Moreira, Yelibert Giovanni Solorzano Palacios				
Palabras clave:	Máquina de Rehabilitación	Factor de seguridad	Deformación unitaria	Esfuerzo de fluencia	Perfil estructural
Fecha de publicación:					
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2023.				
Resumen:	<p>Resumen. - Este estudio describe el proceso completo de diseño y construcción de una máquina de rehabilitación tipo andador, que ayudará en la recuperación de pacientes con limitaciones de movilidad, específicamente aquellos que sufren de deficiencias funcionales o articulares en las extremidades inferiores, y que requieren asistencia activa. El proyecto es liderado por estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Este proceso consta de varias fases de implementación. La primera fase implica la selección y el diseño utilizando el software CAD SolidWorks. Este software sirve para identificar los puntos críticos considerando el desplazamiento de la estructura, en este caso, que fue menor a 1 mm. Además, se aseguró de que no superó el límite elástico y que su factor de seguridad es mayor a la unidad, todo esto en función de la selección del material. En la segunda fase, se realizó un análisis para garantizar la fiabilidad del diseño, considerando los resultados obtenidos. Posteriormente, se generaron planos para llevar a cabo la tercera fase, que es la de manufacturar la máquina. En esta etapa se llevaron a cabo pruebas de carga similares a las del análisis en el software, con el objetivo de garantizar la funcionalidad de la máquina. Una vez que se garantiza la funcionalidad de la máquina, se procedió a su implementación en la fundación Fe y Alegría en Santo Domingo de los Tsáchilas. El proceso de diseño considera variables críticas como la masa corporal, antropometría, y porcentaje de movilidad del paciente para seleccionar el material adecuado y realizar análisis de resistencia, la máquina se diseñó para soportar una carga generada por la masa corporal del paciente la cual se distribuirá en 4 puntos de apoyo considerando las condiciones de diseño y manufactura planteadas.</p> <p>Abstract. - This study describes the complete design and construction process of a walker-type rehabilitation machine that will aid in the recovery of patients with mobility limitations, specifically those who suffer from functional or articular deficiencies in the lower extremities, and who require active assistance. The project is led by students from the Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. This process consists of several implementation phases. The first phase involves selection and design using SolidWorks CAD software. This software is used to identify the critical points considering the displacement of the structure, in this case, which was less than 1 mm. In addition, it was ensured that it did not exceed the elastic limit and that its safety factor is greater than unity, all based on the material selection. In the second phase, an analysis was performed to ensure the reliability of the design, considering the results obtained. Subsequently, plans were generated to carry out the third phase, which is to manufacture the machine. In this stage, load tests similar to those of the analysis were carried out in the software, with the objective of guaranteeing the functionality of the machine. Once the functionality of the machine was guaranteed, it was implemented at the Fe y Alegría Foundation in Santo Domingo de los Tsáchilas. The design process considers critical variables such as body mass, anthropometry, and mobility percentage of the patient to select the appropriate material and perform strength analysis, the machine was designed to support a load generated by the patient's body mass which will be distributed in 4 support points considering the design and manufacturing conditions proposed.</p>				
Descripción:	214 hojas: dimensiones 290 x 210 mm + CD-ROM 6162				
URI:					

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y FÓRMULAS

Término	Descripción
AGMA	American Gears Manufacturers Association (Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes)
ANSI	American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Normas)
AISI	American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción en Acero)
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)
CAD	Computer-aided design (Diseño asistido por computadora)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
DMF	Diagrama de momento flector
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

Símbolo	Descripción	Unidad
A	Área	m^2
A_{Perno}	Área del perno	m
A_p	Área proyectada	m
d	Diámetro	m
DCL	Diagrama de cuerpo libre	----
e_p	Espesor del tubo	m
σ	Esfuerzos unitarios	$\frac{N}{m^2}$
σ_+	Esfuerzos de óptimo	MPa
σ_-	Esfuerzos de compresión	MPa
σ_{Perm}	Esfuerzo permisible	MPa
σ_y	Esfuerzo de fluencia	MPa
τ	Esfuerzo cortante	MPa
V	Esfuerzos cortantes	N
FS	Factor de seguridad	Adimensional
F	Fuerza	N
F_{perfil}	Fuerza aplicada al perfil	N
g	Gravedad	$\frac{m}{s^2}$
L	Longitud	m
m	Masa	Kg
M	Momento flector	Nm
M_{max}	Momento flector máximo	Nm
S	Módulo elástico de la sección	m^3
W	Peso	N
R	Reacciones	N
S_{sy}	Resistencia a la fluencia	MPa
Σ_M	Sumatoria de momentos	Nm
Σ_F	Sumatoria de fuerzas	N

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Ecuador existe un porcentaje elevado de personas con discapacidades físicas, cuya rehabilitación se realiza de forma tradicional sin contar con los equipos necesarios, debido a esto el tiempo destinado a la rehabilitación aumenta teniendo en cuenta la gravedad de la discapacidad. La presente investigación se centra en la construcción de una máquina para la rehabilitación de personas con movilidad reducida, que cumpla con los estándares necesarios para la pronta recuperación del paciente, dando prioridad a la viabilidad de la máquina, garantizando así su funcionamiento. La fabricación de la máquina representa un cambio en los métodos de rehabilitación tradicional horizontal por el automatizado vertical, considerando los avances tecnológicos en diferentes áreas de la medicina, a pesar de esto el terapeuta deberá llevar un control de avance, para garantizar el confort del paciente y el cumplimiento del objetivo del diseño del equipo.

La máquina de rehabilitación usa la metodología tradicional, que consiste en brindar asistencia al movimiento de las piernas mientras que el paciente se encuentra acostado y al combinar la metodología moderna de rehabilitación con la tradicional, le permitirá al paciente estar más cómodo con los ejercicios programados por el profesional a cargo, debido a que el paciente realizará la rehabilitación de pie sin que exista contacto directo entre las piernas o pie del paciente y el profesional. Por lo tanto, al no existir una máquina destinada a la rehabilitación que pueda cubrir las necesidades del usuario, soportando las cargas a las que será sometida sin poner en riesgo la integridad del paciente, puede representar un problema a la recuperación de la persona con movilidad reducida en sus extremidades inferiores.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

En Santo Domingo de los Tsáchilas existe un gran número de personas con problemas de movilidad en sus extremidades inferiores, aunque existen fundaciones que se encargan de brindar ayuda a las personas que dependen de terceros y máquinas especiales como sillas de ruedas para trasladarse, estas organizaciones no cuentan con los equipos necesarios para el área de rehabilitación. Las rutinas destinadas a la recuperación de los pacientes se las ejecutan de forma tradicional moviendo las extremidades afectadas gradualmente cada cierto tiempo esto retrasa la recuperación del paciente y el especialista trabaja el doble, lo que incrementa el tiempo de recuperación.

La fundación Fe y Alegría no cuenta con una máquina adecuada para la rehabilitación de personas parapléjicas, lo que dificulta la recuperación de los pacientes con problemas de movilidad, en sus extremidades inferiores esto aumenta la cantidad de personas en espera para rehabilitación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

El problema surge de la falta de equipos adecuados para la rehabilitación, dado que cuentan con equipos relacionados, pero no son los adecuados para las personas con problemas de movilidad en sus extremidades inferiores, lo que indica que están destinadas a pacientes con una movilidad mayor que controlan mejor sus extremidades inferiores y necesitan otro tipo de rutina para acelerar su recuperación.

1.1.1.1. Diagnóstico.

En la actualidad la fundación Fe y Alegría no cuentan con equipos adecuados para personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores, esto representa un problema en el proceso de rehabilitación para pacientes que sufren de este problema debido a que los equipos existentes no son los adecuados para el tratamiento, debido a que los equipos existentes están diseñados para personas con un grado de movilidad alto que están en una etapa de recuperación casi completa.

1.1.1.2. Pronóstico.

Se espera que el diseño de la máquina de rehabilitación brinde el apoyo necesario en el proceso de recuperación del paciente sin la intervención completa del terapeuta, convirtiéndose en un diseño que evolucione a la par con los avances tecnológicos proporcionando una experiencia satisfactoria y efectiva al soportar las cargas establecidas aportando a la seguridad y confort de la persona con problemas de movilidad en sus extremidades inferiores.

1.1.2. Formulación del problema.

¿Permitirá la construcción de una máquina de rehabilitación para personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores usando las nuevas tecnologías la rápida recuperación del paciente?

1.1.3. Sistematización del problema.

Para garantizar este proceso de investigación previo al diseño e implementación de la máquina para la rehabilitación de personas parapléjicas, con movilidad reducida en sus extremidades inferiores, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- ¿De qué forma influirá el método de rehabilitación vertical aplicado con la ayuda de la máquina en las personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores?
- ¿Cuáles son los requerimientos técnicos y funcionales a considerar para el diseño de la máquina de rehabilitación?
- ¿Cuál será la capacidad máxima admisible que podrá soportar la máquina de rehabilitación para personas con movilidad reducida?
- ¿De qué forma influirá la máquina de rehabilitación en la recuperación del paciente?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Construir una máquina de rehabilitación para personas con limitada movilidad en sus extremidades inferiores aplicando los métodos y normas de diseño.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Investigar las nuevas tecnologías aplicadas en el proceso de rehabilitación para personas con movilidad limitada en sus extremidades inferiores.
- Identificar los requerimientos de diseño que se aplicarán en la máquina de rehabilitación para personas con movilidad limitada en sus extremidades inferiores.
- Calcular los elementos críticos involucrados en el diseño de la máquina de rehabilitación para personas con movilidad en sus extremidades inferiores.
- Realizar una simulación computacional de la máquina de rehabilitación bajo las cargas máximas permisibles para garantizar la eficiencia del diseño en las pruebas de funcionamiento.

1.3. Justificación.

El objetivo principal del proyecto se basa en la construcción de una máquina de rehabilitación con el fin de ayudar a la recuperación de las personas parapléjicas, para personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores, solventando así el problema existente en el área de rehabilitación, para lo cual es necesario realizar el análisis adecuado considerando los métodos y normas de diseño con el fin de garantizar la operatividad de la máquina y asegurar la integridad del paciente.

El presente proyecto sugiere una solución con el fin de satisfacer la necesidad por la falta de equipos adecuados destinados a la rehabilitación de personas parapléjicas, con movilidad limitada en sus extremidades inferiores, que cumplan con los requerimientos y normas para su funcionamiento. Para el desarrollo de esta máquina es necesario llevar a cabo un análisis y selección del material adecuado que pueda soportar las cargas, con el fin de ser implementado en la materialización de la máquina de rehabilitación.

Una de las metas de esta investigación es llevar a cabo el desarrollo de una máquina para la rehabilitación de personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores, que se adapte a las necesidades del paciente, que sea fácil de utilizar y que garantice el confort de la persona a tratar para que pueda realizar su rutina de rehabilitación de forma adecuada.

Al diseñar la máquina de rehabilitación para personas con movilidad limitada, detallando los parámetros empleados, plasmando el diseño en un software para realizar el análisis estructural, para posteriormente llevar a cabo la construcción de la máquina y realizar las pruebas de funcionamiento, esperando obtener un resultado óptimo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Conceptos.

2.1.1. Generalidades.

2.1.1.1. Discapacidad motriz o física.

Se conoce como discapacidad motriz al estado físico limitado que le impide al paciente gozar de plena movilidad al disminuir de forma permanente, temporal o irreversible una o varias partes del cuerpo, este concepto tiene un alcance que abarca los problemas que afectan el buen funcionamiento del cuerpo humano [1].

2.1.1.2. Causa de la parálisis o pérdida de la motricidad.

La parálisis puede ser causada por diversos factores como son lesiones medulares (LM) por accidentes, hereditarias, daño cerebral, estrés, y otros tipos de enfermedades como son miopatía, unión neuromuscular, mielopatía si la parálisis restringe la movilidad puede ser temporal o permanente totales o parciales así como si la parálisis se hace presente en la parte inferior es decir de la mitad del torso hacia la parte baja del cuerpo o afecta a dos miembros al mismo tiempo se denominara paraplejia si afectan a los miembros inferiores como los superiores se denomina cuadriplejia [2].

2.1.1.3. Lesión medular (LM).

Una lesión medular es aquella que al haber afectado el sistema nervioso provocado por un trastorno alojado en la médula espinal esto dependerá del lugar en donde se encuentre ubicado el daño eso afectará al órgano pélvico, extremidades superiores, e inferiores, abdomen y tronco esto imposibilita al paciente reduciendo la sensibilidad o el peor de los casos eliminando por completo la sensibilidad [3]. Esto debido a que la médula espinal es considerada como el acceso principal de información sensorial de la piel compuesta por millones de nervios conectados directo al cerebro y a otros órganos del cuerpo capaces de coordinar el movimiento del cuerpo humano la médula espinal forma parte fundamental del cuerpo ya que es la conexión del cerebro con los nervios de la mayor parte del cuerpo humano, como se observa en la Ilustración 1 [4].

Ilustración 1. Lesiones medulares (LM).

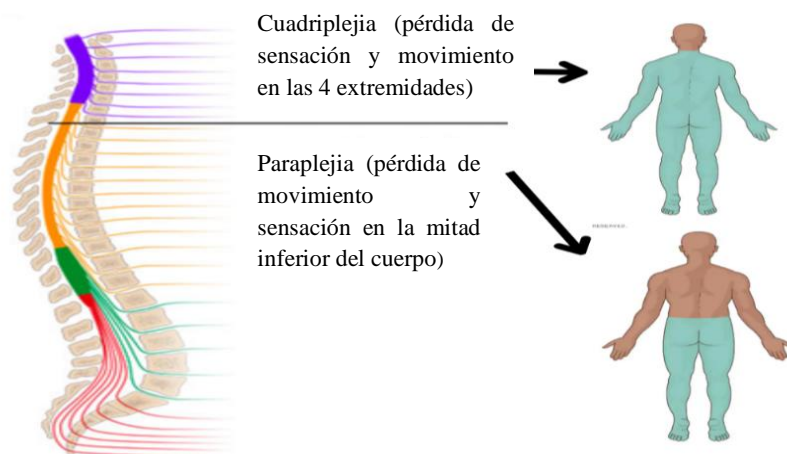


FUENTE: FISIOSENIOR [5].

2.1.1.4. Paraplejia.

También conocida como lesión medular es una de las afecciones más graves y discapacitantes que puede sufrir una persona porque esto genera grandes limitaciones y complicaciones que se derivan de esta. El portador de esta discapacidad presenta una pérdida en su función motora en diferentes grados y niveles, como sería la pérdida o disminución de sensibilidad, disfunción vesical, intestinal y sexual. Por otra parte, esto conlleva a severas consecuencias psíquicas, económicas y sociales por las condiciones en las que se encuentra el portador que puede ser en el peor de los casos irreversible en la Ilustración 2 se muestran las zonas afectadas a causa de la lesión medular [6].

Ilustración 2. Intervención de la médula espinal.



ELABORADO POR: AUTORES [7].

La paraplejia es conocida por ser una enfermedad que afecta de forma severa la parte inferior del cuerpo la cual queda paralizada con limitaciones de movilidad, esta tiende a ser el resultado de lesiones medulares o de enfermedades congénitas como es la espina bífida. Las causas de la paraplejia están desde la traumática, es decir, por una lesión grave como incrustaciones de fragmentos de huesos en la médula espinal que causan un seccionamiento y compresión de esta [8].

La paraplejia puede ser tratada gracias a los avances tecnológicos teniendo en cuenta el tratamiento recomendado por el especialista, es esencial tener en cuenta que existen varios tipos de paraplejia esto según la gravedad del trastorno neurortopédico identificado causado ya sea por lesión de carácter natural provocando así deficiencia sensoriomotora lo cual limita la movilidad del paciente [9].

Por otro lado, teniendo en cuenta la importancia de la rehabilitación luego de la operación en caso de ser un paciente con paraplejia grave es necesario identificar la rutina destinada a la rehabilitación del paciente para garantizar su pronta recuperación el equipo seleccionado deberá garantizar en cierto punto la independencia del paciente a medida que avanza el proceso de rehabilitación, el apoyo físico es fundamental en el proceso siempre y cuando se haya realizado un análisis previo de la gravedad de la deficiencia [10].

2.1.2. Tipos de paraplejia.

La paraplejia es considerada un término médico que define a los pacientes con problema de movilidad en las extremidades inferiores o de la mitad del cuerpo hacia abajo la paraplejia se divide en cuatro tipos [11].

- Paraplejia espástica.
- Paraplejia flácida.
- Paraplejia completa.
- Paraplejia incompleta.

2.1.2.1. Paraplejía espástica.

Conocida como síndrome de Strumpell-Lorrain, al ser una patología heterogénea que incluye un grupo de trastornos hereditarios donde su característica principal es la espasticidad progresiva y en ciertos casos severa. La espasticidad de las extremidades inferiores es una manifestación cardinal de la enfermedad, el componente espástico dinámico suele ser en varias ocasiones muy intenso que puede predominar en la musculatura aductora de muslos, también puede retraer los tendones de Aquiles. La persona que posee esta discapacidad debe compensar la marcha espástica con un cambio de postura y esto implica contracturas musculares, aunque existen medicamentos para tratarla la mejor opción es seguir un programa de actividades físicas reglada con una rutina de estiramientos musculares [12].

2.1.2.2. Paraplejía flácida.

La parálisis flácida aguda es uno de los trastornos involucrados con las enfermedades neuromusculares de presentación aguda, esta se presenta generalmente como un trastorno agudo o hiperagudo, es decir, que puede ser progresivo o a su vez rápidamente progresivo que en un tiempo prolongado se convierte en un grave problema para el paciente debido a que el sistema muscular se debilita. La evolución de la enfermedad hasta llegar a una etapa de parálisis total puede durar hasta cuatro meses donde puede llegar a afectar hasta los músculos respiratorios [13].

2.1.2.3. Paraplejía completa.

Es completa cuando se pierde toda la sensación, es decir, la función sensorial ya no preside en las extremidades y toda la capacidad para controlar el movimiento por debajo de la lesión de la médula espinal, esta es una lesión que se denomina completa y por ende suele ser irreversible en el mayor de los casos, esto no significa que el paciente debe resignarse, al contrario, si sigue un proceso de rehabilitación adecuado puede mejorar su estilo de vida [14].

2.1.2.4. Paraplejia incompleta.

Se denomina incompleta cuando el paciente puede controlar ciertas partes de su cuerpo a diferencia de la fase completa donde pierde toda sensación de movimiento y función sensorial en la fase incompleta la función motora no es afectada totalmente, pueden ser tan bajas que no representan una debilidad muscular ni rasgos visibles de una lesión, también pueden ser muy graves que hacen que el paciente sienta que ha perdido la movilidad por completo cuando no es así [15].

2.1.2.5. Causas de la paraplejia.

Una de las causas principales de la paraplejia es debido a una lesión medular grave, esta va a impedir que los impulsos nerviosos se comuniquen directamente con las piernas y pies, es decir, toda la parte inferior del cuerpo queda desconectada de las funciones emitidas por los nervios. En muchas ocasiones el daño puede lesionar la médula vertebral también pueden ser ocasionadas a consecuencia de una enfermedad infecciosa, traumatismo como sería el resultado de un accidente de tránsito, tumores y lesiones producidas por armas de fuego o práctica de deportes extremos [16].

La pérdida de movilidad en las piernas puede ocurrir en cualquier etapa de la vida, es decir, puede ocasionar consecuencias graves o leves y en el peor de los casos la persona queda con la parte inferior desconectada totalmente de los nervios impidiendo la movilidad de la parte baja, como resultado la persona afectada quedará conmocionada emocionalmente por su condición pero, con un programa de rehabilitación puede mejorar progresivamente su estado físico en pocos casos la reanimación de la parte inferior es un éxito aunque el resultado no será la recuperación total de su cuerpo y en la mayoría de los casos la paraplejia es algo irreversible que no tiene cura alguna [17].

2.1.2.6. Rehabilitación.

La rehabilitación son un conjunto de técnicas que con la ayuda de máquinas equipos o herramientas tecnológicas reducen el periodo de recuperación del paciente, esto dependerá del grado de la lesión medular y del tipo de cirugía realizada es decir la rehabilitación dependerá del tratamiento indicado por el médico profesional en función a análisis previo realizado encontrando así el daño neuropático que afecta al cuerpo humano [18].

Una de las herramientas usadas en el desarrollo de la rehabilitación tales como Andago, Hocoma etc. Empresas dedicadas a el desarrollo de equipos y herramientas para la rehabilitación de personas con movilidad reducida, esto con el fin de eliminar la rehabilitación o terapia tradicional tales como caminatas libres y cintas rodantes con único objetivo de eliminar el miedo del paciente a caerse gracias al sistema de soporte con el que cuentan estos equipos innovadores esta terapia es más conocida como terapia sobre la marcha [19].

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Antropometría un enfoque al análisis estructural del cuerpo humano.

La antropometría es la ciencia que se encarga de medir y analizar las dimensiones y características físicas de los seres humanos. Esta información se utiliza para entender las relaciones entre las características de las personas y el entorno, así como para desarrollar productos y entornos que se ajusten a las necesidades de los pacientes [20].

2.2.1.1. Aplicaciones de la antropometría.

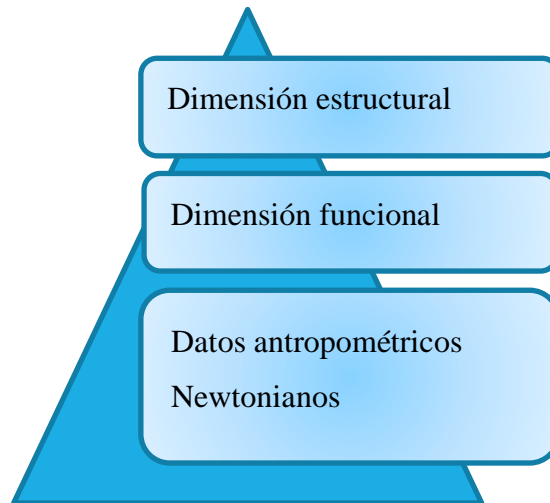
La antropometría es la que se encarga de estudiar las dimensiones del cuerpo humano, y sus aplicaciones cubren todas las áreas en las que intervienen la estructura del cuerpo humano es decir especialmente en diseño de máquinas.

2.2.1.2. Somatotipo en la antropometría.

La cineantropometría se identifica como el estudio de la forma composición y proporción humana haciendo uso de medidas basadas en el cuerpo humano con el objetivo de comprender la movilidad en las personas relacionada con una rutina de ejercicios planteada [21].

La representación gráfica del estudio del cuerpo humano se presenta a detalle en la Ilustración 3, donde se observa cada uno de los parámetros para el análisis del cuerpo humano.

Ilustración 3. Tipos de dimensiones.



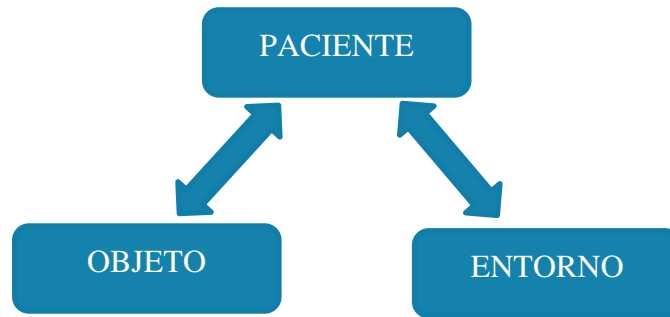
ELABORADO POR: AUTORES.

Estas dimensiones se dividen en características propias de la estructura humana tales como [22]:

- Altura.
- Anchura.
- Diámetros.
- Profundidades.
- Longitudes.
- Alcances.
- Perímetro.
- Prominencia.
- Contorno.

Estos son factores que intervienen en el análisis antropométrico y al realizar un enfoque dirigido al diseño se deben considerar los siguientes puntos expuestos en la Ilustración 4.

Ilustración 4. Factores para la definición de un diseño antropométrico.



ELABORADO POR: AUTORES.

2.1.1.2. Diseño de productos.

La antropometría se utiliza con el fin de determinar las dimensiones de los productos equipos u otro tipo de objetos tales como, ropa y muebles hasta equipos deportivos y herramientas incluyendo equipos personalizados diseñados para mejorar la calidad de vida del paciente [23].

2.1.1.3. Diseño de entornos.

La antropometría se utiliza para diseñar entornos seguros y accesibles cuyo desarrollo aporta de gran manera al desarrollo social estos se los conoce, como edificios, vehículos y espacios públicos [24].

2.1.1.4. Investigación médica.

La antropometría se aplica en el área de la medicina usada con el fin de estudiar la relación que existe entre la forma, las dimensiones y el tamaño del cuerpo humano para así poder analizar la salud del paciente [25].

2.2.2. Métodos de medición.

2.2.2.1. Medición directa.

Se realiza mediante la utilización de instrumentos como reglas, cintas métricas y escáneres tridimensionales para medir las dimensiones y características físicas de los sujetos con el fin de obtener resultados reales en el análisis se realiza de forma más exacta a través de la estatura y la talla de la persona que es la distancia del vértice que en el punto más elevado de la cabeza al suelo, uno de los puntos a considerar antes de la medición es que el paciente debe estar descalzo y las piernas unidas deben estar rectas, los hombros relajados y la columna en posición normal [26].

2.2.2.2. Medición indirecta.

Se realiza a través de la obtención de datos como imágenes o escaneos de los sujetos y la utilización de software con el fin de obtener datos de mediciones las dimensiones y características físicas de los elementos y equipos deseados y enfocado al área médica destinado al levantamiento de información concerniente a la anatomía del cuerpo humano [27].

2.2.3. Importancia de la antropometría.

2.2.3.1. Seguridad y bienestar de los usuarios.

La antropometría ayuda a garantizar que los productos y entornos sean seguros y cómodos para las personas teniendo en cuenta que para la recuperación de un paciente es importante el confort y la seguridad.

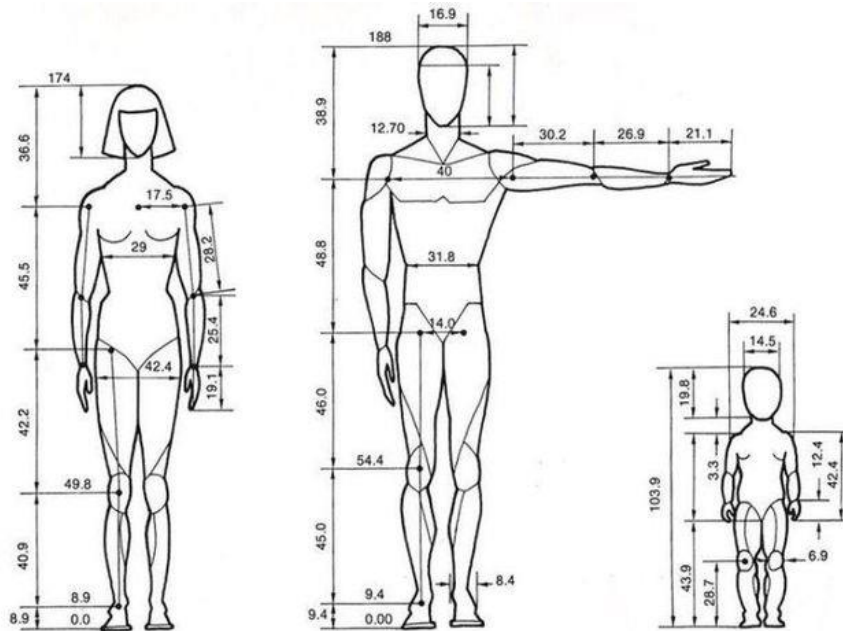
2.2.3.2. Mejorar la funcionalidad de los productos.

La antropometría a través de los ajustes de dimensiones y características de los productos elementos o equipos para mejorar su funcionalidad garantizando su objetivo.

La antropometría permite desarrollar productos, equipos, máquinas y entornos accesibles destinados a personas con discapacidades o necesidades especiales, la antropometría es

considerada una ciencia importante que tiene un impacto significativo en la vida diaria de las personas. A través de la medición y análisis de las dimensiones y características físicas de los seres humanos, la antropometría ayuda a garantizar una vida más segura, cómoda y accesible para todos. En la Ilustración 5 se muestran las condiciones antropométricas [26].

Ilustración 5. Antropometría del cuerpo humano.



FUENTE: TIMETOAST [26].

2.2.4. Características antropométricas en personas con discapacidad móvil inferior.

Para identificar los principios de la antropometría se puede decir que está se incluye a cualquier tipo de persona, pero estas características pueden variar al tratarse de personas con limitada movilidad en sus extremidades inferiores esto debido a la naturaleza de la discapacidad física, pero las más comunes intervienen en la longitud en ciertos pacientes se manifiesta como músculos contraídos, afectando las extremidades inferiores lo que reduce la capacidad de flexionar las piernas [28].

2.2.4.1. Variables antropométricas.

Las variables antropométricas son dimensiones del cuerpo humano ya sea en movimiento o estático está determinada por la unidad de longitud que analiza la distancia de un punto a otro en función a la postura de la persona, de acuerdo con el análisis antropométrico las variables que intervienen son las que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables antropométricas.

N°	Parámetros
1	Estatura
2	Alcance vertical
3	Altura de ojos
4	Altura de hombros
5	Profundidad de abdomen
6	Profundidad de pecho
7	Alcance máximo con agarre
8	Alcance máximo lateral
9	Profundidad de pecho
10	Alcance máximo con agarre
11	Alcance mínimo lateral
12	Alcance mínimo con agarre
13	Alcance mínimo sin agarre

FUENTE: UAEMEX.MX [28].

2.2.4.2. Crecimiento normal.

El desarrollo normal de un individuo incluye varios aspectos, como la altura y el peso en relación con la edad. Estos datos se pueden evidenciar en la Tabla 2, que se presenta a continuación.

Tabla 2. Datos de tallas y pesos en función a la edad

Sexo	Peso [años]	Peso [kg]	Talla [cm]
Masculino	7	23	117
	8	25,5	122
	9	28	127,5
	10	32	132
	11	35	137
	12	39	142,5
	13	43	148
	14	48	154
	15	53	160
	16	56	164,5
	17	58	166
Femenino	18	60	166,5
	22	115,5	100,5
	24	121	102,6
	27	126	103,6
	35	139	107,6
	40	145	109,6
	44	149	111,6
	47	151,5	114,6
	49	152,5	117,66
	51	153	119,67
52	153,5	121,69	
53	154	120,80	

FUENTE: ARCH ARGENT PEDIATR [29].

cuerpo, es decir, mientras realiza la simulación de forma virtual la mente se vincula con cada uno de los nervios como si estuviera interactuando de forma directa con su cuerpo, la forma más conveniente es combinar ambos métodos para que la rehabilitación genere un efecto positivo. Para ello se pueden utilizar herramientas especiales que ayudarán a controlar los movimientos del cuerpo y sincronizarlos a un ritmo moderado, la interacción del paciente con el dispositivo puede mejorar su capacidad motora que da como resultado un rendimiento mayor [33].

2.2.5.2. Alcance.

La implementación de grúas es uno de los métodos más utilizados por ser uno de los elementos más seguros para los pacientes porque evitan lesiones o molestias que pueden ser ocasionadas por movimientos bruscos o posturas incorrectas, además de que se pueden combinar con otras máquinas como caminadoras de bandas, estas favorecen al desarrollo del proceso y como resultado la recuperación será más rápida y efectiva [34].

2.2.5.3. Ventajas.

La ventaja principal de esta herramienta la comodidad y versatilidad que ofrece al paciente que al estar suspendido puede interactuar con su cuerpo es decir, puede estimular el movimiento de sus extremidad baja sin la ayuda de otras personas que pueden ocasionar molestias al momento de la práctica, la grúa también se puede trasladar de un lugar a otro sin problemas y esto ayuda a pacientes con un grado de sensibilidad mayor a moverse por sí mismo de un punto a otro sin temor a caer y sufrir una lesión [35].

2.2.6. Kinesioterapia.

Es considerada una ciencia la cual se enfoca una serie de ejercicios rutinarios conocida como fisioterapia ya que forman parte de la terapia de rehabilitación, los métodos de rehabilitación son varios y el más usado es el que se realiza de forma directa a través del contacto con el paciente con la finalidad de obtener una respuesta satisfactoria en el área motriz del paciente tratado. En la Ilustración 7, se muestra la forma de rehabilitación usando la kinesioterapia [36].

Ilustración 7. Rehabilitación Kinesioterapia.



FUENTE: FISIOTERAPIA [37].

2.2.7. Tratamientos o métodos de rehabilitación.

Durante el proceso del tratamiento el paciente no puede retomar las actividades diarias con la frecuencia habitual. La neurorrehabilitación tiene como objetivo la recuperación gradual del paciente a través de técnicas y métodos que mejoraran la condición física del paciente. Además, la atención que tendrá durante las primeras etapas debe centrarse en evitar las complicaciones u obstáculos que puedan retrasar el proceso de rehabilitación. El afrontar y adaptarse a las condiciones del proceso es complicado al principio por las consecuencias y secuelas de una lesión medular [38].

Existen métodos que implica una terapia física como es la fisioterapia que agrupa una serie de ejercicios físicos que mejoran la circulación de la sangre y pueden evitar deformidades que se producen en los músculos al no ser estimulados como es debido. El tratamiento se debe orientar por un especialista en función de las necesidades que presenta el paciente con una secuencia de ejercicios que ayudarán a mejorar la autoestima y aumentar el bienestar físico y emocional del paciente [39].

Al estar mucho tiempo sin levantarse, el paciente puede presentar lesiones como escaras o úlceras producidas por presión que si no se tratan de forma adecuada pueden causar infecciones, por lo tanto es complicado predecir que una persona con esta lesión pueda recuperar su capacidad para mover las piernas totalmente, la mayoría de personas que caminan de forma regular no lo hacen por voluntad propia y requieren de algún mecanismo de apoyo para lograrlo como prótesis y para recorrer una larga distancia es necesario una silla de ruedas en la mayoría de los casos en la Ilustración 8, se muestra los métodos de rehabilitación más comunes [40].

Ilustración 8. Métodos de rehabilitación.



FUENTE: SCHOOL OF MEDICINE [41].

2.2.8. Mecanoterapia.

La mecanoterapia es una disciplina que combina la fisioterapia con el ejercicio físico y la tecnología para tratar lesiones y mejorar la salud física. Esta técnica se basa en el uso de máquinas y dispositivos especializados para estimular y fortalecer los músculos y las articulaciones, reducir el dolor y aumentar la movilidad [42].

La mecanoterapia se utiliza en una amplia variedad de afecciones, desde lesiones deportivas hasta dolencias crónicas, como la artritis y la osteoporosis. El objetivo principal es mejorar la función motora y la calidad de vida del paciente, a través de una combinación de ejercicios terapéuticos y tecnología avanzada [43].

Además, la mecanoterapia también se ha demostrado eficaz en el tratamiento de problemas de equilibrio y coordinación, así como en la prevención y tratamiento de lesiones musculoesqueléticas. La combinación de ejercicios controlados con tecnología precisa permite una estimulación precisa y segura de los músculos y las articulaciones, lo que a su vez reduce el riesgo de lesiones adicionales [44].

Es importante destacar que, aunque la mecanoterapia puede ser muy efectiva, no es adecuada para todas las personas. Por lo tanto, es necesario consultar a un especialista en fisioterapia

antes de iniciar cualquier programa de mecanoterapia, para evaluar si es adecuado para el paciente y para adaptar el programa a sus necesidades individuales [45].

La mecanoterapia es considerada una disciplina que hace uso de los avances tecnológicos y gracias a esto puede llegar a ser efectiva al combinar la fisioterapia, el ejercicio físico y la tecnología para tratar lesiones medulares y mejorar la salud física del paciente. Aunque no es adecuada para todas las personas dependerá del grado de afectación del paciente, puede ser muy útil en el tratamiento de una amplia variedad de afecciones, y puede ayudar a mejorar la función motora y la calidad de vida del paciente [46].

2.2.8.1. Marcha asistida con máquina de rehabilitación.

En el diseño destinado a equipos de marcha asistida se debe tener en cuenta los fundamentos mecánicos que intervienen en el movimiento del cuerpo humano usando como referencia planos coordinados, que permita seccionar el área de trabajo como es el caso de la parte inferior de las extremidades de la persona, también se considera las restricciones que existen en la movilidad de las piernas los grados de libertad, considerando el porcentaje de movilidad que posee el paciente y su evolución considerando la rutina de rehabilitación establecida, en función a el ciclo de la marcha. En la Ilustración 9, se muestra una de las máquinas de rehabilitación sobre la marcha [47].

Ilustración 9. Grúa de rehabilitación sobre la marcha.





FUENTE: HEDASA PROSALUD [47].

Este tipo de máquinas tiene un costo elevado por lo que su adquisición se centra en personas de nivel económico media a alto.

2.2.8.2. Máquinas de rehabilitación.

Existen diversos tipos de máquinas destinadas a la rehabilitación sobre la marcha para personas con problemas de movilidad las más usadas son las que se presentan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3: Tipos de máquinas de rehabilitación.

Tipos de máquinas	Descripción
<p data-bbox="229 857 778 902">Entrenamiento sobre la marca.</p> 	<p data-bbox="778 857 1359 1272">Ayuda a los pacientes a interactuar directamente con sus extremidades y que caminen por sus propios medios. Es un método sencillo, accesible y eficaz que tiene resultados positivos, se adaptan para todo tipo de usuarios y brindan una seguridad a los pacientes bajo un régimen de control [48].</p>
<p data-bbox="229 1305 778 1350">Andador pediátrico ortopédico.</p> 	<p data-bbox="778 1305 1359 1720">Son elementos desarrollados para menores de edad que brindan seguridad y estabilidad al paciente, al estar enfocado para niños su estructura es más simple pero resistente capaz de cumplir con los parámetros de seguridad, además de su fácil ensamblaje y modificación para todo tipo de usuarios [49].</p>

Sistema dinámico para el entrenamiento de la marcha.



Combina dos máquinas que ayudan a mejorar la sensibilidad de los pacientes mediante un soporte que mantiene estable al cuerpo y una cinta móvil que puede variar su velocidad en función del grado de recuperación, este método es empleado en aquellos pacientes cuya recuperación se encuentra avanzada y al iniciar con este programa se acelera su proceso de recuperación [50].

ELABORADO POR: AUTORES.

2.3. Análisis del diseño.

Si se considera todos los aspectos mecánicos y tecnológicos que se requieren para generar el diseño de una máquina de rehabilitación es importante tener en cuenta las normas que se deben aplicar en el proceso, aunque no existan normas dirigidas a este tipo de máquinas es importante incluir normas de diseño que se adapten a lo requerido en el proceso para esto es esencial simplificar el proceso del modelado para así garantizar el movimiento clave que formará parte del mecanismo de la máquina identificando a través de la necesidad si se requiere una máquina automatizada o manual para garantizar el proceso de rehabilitación [51].

De esta forma se podrá garantizar la coordinación del paciente y el mecanismo de la máquina esto dado a que la rutina de rehabilitación dependerá de la capacidad del paciente para movilizar sus extremidades en caso de no ser grave ya que, al existir un porcentaje de control de sus extremidades de un cero por ciento, esto automáticamente lo ubica en el área de paraplejia grave necesitando así equipo automatizado junto con una rutina diferente para su rehabilitación como el que se muestra en la Ilustración 10 [52].

Ilustración 10. Máquina de rehabilitación sobre la marcha.



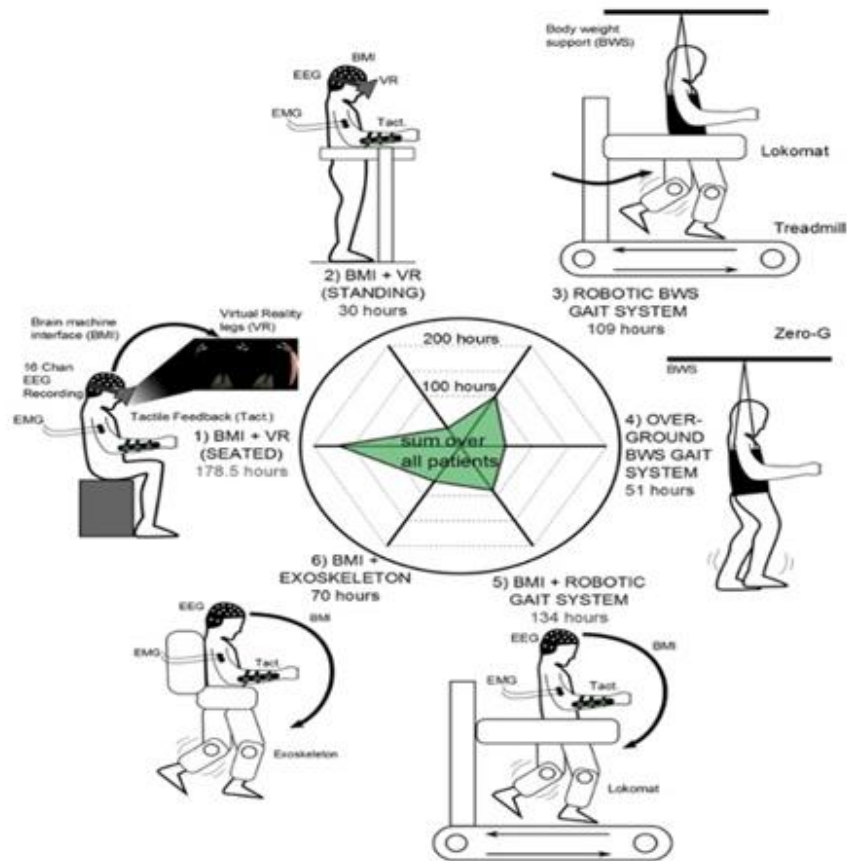
FUENTE: RMS [53].

2.3.1. Tecnología y rehabilitación.

La tecnología ha mejorado el área de la medicina cada avance tecnológico representa una intervención directa a la situación global de discapacidad física que se vive dado que los accidentes de tránsito, laborales, o cualquier otra causa que pueda provocar la pérdida de movilidad teniendo en cuenta los datos estadísticos alrededor del 40% de los adultos mayores que rodean los 65 años de edad han sufrido al menos una caída por año esto limita las actividades lo provocan un déficit en el desarrollo de la sociedad, y aumenta la cantidad de personas con problemas de movilidad [54].

La modalidad de rehabilitación en avance robótico a nivel del suelo es una tecnología la cual se basa en una estructura tipo plataforma con equipamiento automatizado que permiten la movilidad de paciente a través de un número determinado de rutinas de ejercicio, equipado con un sistema capaz de resistir el peso del paciente, algunas máquinas están equipadas con exoesqueletos que ayudarán a mejorar la movilidad del paciente estos equipos forman parte importante del desarrollo en la robótica medicinal. En la Ilustración 11 se pueden evidenciar las tecnologías de rehabilitación [55].

Ilustración 11. Tecnología en la rehabilitación.



FUENTE: SCIENTIFIC REPORTS [55].

2.3.2. Uso de la tecnología de rehabilitación.

La tecnología juega un papel importante en los métodos de rehabilitación ya que hace posible la recopilación de datos en el transcurso de la recuperación del paciente, también acelera la mejoría de la movilidad en la parte del cuerpo afectada considerando los avances tecnológicos las terapias de rehabilitación son más seguras y brindan mejores resultados, en este punto los exoesqueletos son la mejor opción para recuperación del paciente no obstante existen tecnologías igual de efectivas más accesibles como son las grúas de rehabilitación sobre la marcha o los andadores que le permiten al paciente tener total independencia en el transcurso de sus rutinas de ejercicios [56].

Hay una variedad de tecnologías innovadoras disponibles para ayudar en el proceso de rehabilitación de personas con movilidad limitada. Algunas de las tecnologías más prometedoras incluyen [57].

2.3.2.1. Exoesqueletos.

Son dispositivos robóticos estructurales con un sistema complejo destinado a mejorar el estado físico del paciente con una operatividad simple donde el paciente se coloca sobre una estructura mecánica automatizada para proporcionar apoyo y movilidad a personas con lesiones de la médula espinal o enfermedades musculoesqueléticas que provocan pérdida de sensibilidad en las piernas.

2.3.2.2. Terapia con realidad virtual.

La terapia de realidad virtual tiene un enfoque más psicológico al presentar diversos tipos permite a las personas con movilidad limitada participar en actividades de rehabilitación en un ambiente virtual controlado gracias a los avances tecnológicos.

2.3.2.3. Tecnología de ejercicio funcional.

Las tecnologías de ejercicio funcional, como los dispositivos de entrenamiento con movimiento controlado y los simuladores de deportes, ayudan a mejorar la función muscular y la movilidad de las personas con movilidad limitada.

2.3.2.4. Sensores y monitores de movimiento.

Los sensores y monitores de movimiento son equipos destinados a llevar un control total del área de análisis se utilizan para registrar y analizar los patrones de movimiento en las personas con movilidad limitada, y para ayudar a personalizar los programas de rehabilitación garantizando un control de avance de la recuperación del paciente.

2.3.2.5. Robots de rehabilitación.

Los robots de rehabilitación se utilizan para proporcionar terapia de movimiento controlada y ayudar a las personas con movilidad limitada a mejorar su fuerza y movilidad. Estas tecnologías están en constante evolución y mejora, y pueden ser muy útiles para las personas con movilidad limitada que buscan mejorar su calidad de vida y funcionalidad. Sin embargo, es importante consultar con un profesional de la salud antes de comenzar cualquier programa de rehabilitación tecnológica [58].

2.4. Enfoque a los requerimientos de diseño aplicados a las máquinas de rehabilitación.

Existen diversos requisitos con enfoque al diseño que son importantes a la hora de desarrollar una máquina de rehabilitación para personas con paraplejia estas forman parte de las variables de diseño.

2.4.1. Variables que intervienen en el diseño.

2.4.1.1. Seguridad.

La seguridad es una variable importante si se consideran los puntos críticos en el diseño de cualquier máquina de rehabilitación, especialmente para personas con problemas de movilidad en las extremidades inferiores, ya que son vulnerables a lesiones debido a su movilidad limitada. Es importante asegurarse de que la máquina tenga un sistema de seguridad confiable, reconfortante y un diseño estructural sólido.

2.4.1.2. Comodidad.

Las personas con problemas de movilidad deben ser capaces de usar la máquina de rehabilitación por períodos prolongados sin sufrir dolor o incomodidad. Es importante diseñar la máquina con una ergonomía adecuada y con ajustes que permitan a los usuarios sentirse cómodos.

2.4.1.3. Ajustabilidad.

La máquina de rehabilitación debe ser ajustable para adaptarse a diferentes tamaños y formas de cuerpo, (antropometría) así como a diferentes niveles de capacidad y movilidad.

2.4.1.4. Facilidad de uso.

La máquina de rehabilitación debe ser fácil de usar para personas con problemas de movilidad, que pueden tener dificultades para poder controlar sus extremidades inferiores.

2.4.1.5. Eficacia terapéutica.

La máquina de rehabilitación debe cumplir con los parámetros de diseño para garantizar su objetivo, a través de la movilidad y equilibrio de las personas con problemas de movilidad. Es importante guiar el diseño en términos de investigación y pruebas de resistencia de materiales para asegurarse de que la máquina proporciona resultados terapéuticos significativos.

2.4.1.6. Portabilidad.

Las personas con paraplejia a menudo necesitan llevar a cabo su rehabilitación en diferentes lugares, por lo que es importante que la máquina sea portátil y fácil de transportar.

2.4.1.7. Costo.

Las máquinas de rehabilitación pueden llegar a tener costos elevados, por lo que es importante considerar el costo al diseñar la máquina y utilizar materiales y tecnologías asequibles sin que afecte su resistencia.

Estos elementos forman parte de los requisitos de diseño más importantes que se deben tener en cuenta al desarrollar una máquina de rehabilitación para personas con problemas de movilidad. El objetivo final es proporcionar seguridad y comodidad para la rehabilitación de personas con movilidad limitada.

2.4.2. Factores claves en el diseño de equipos para rehabilitación.

Si bien es cierto en la actualidad existen varios modelos de máquinas equipos o herramientas destinadas al área de rehabilitación de personas con movilidad reducida o nula así como tratamientos y métodos en la actualidad los equipos de rehabilitación tienen elementos o componentes que se pueden mejorar estas son variables que intervienen en la recuperación del paciente por esa razón es que se evalúa el rendimiento de los equipos de rehabilitación a través de comportamiento del paciente al usarlo, según datos estadísticos el promedio de estatura de 5- 19 entre niños y niñas es de 95 a 180 unidad de medida en centímetros, con una masa corporal de entre 15 a 75 unidad de medida kilogramo, con datos estadísticos para personas que poseen discapacidad física a nivel nacional según se aprecia en la Tabla 4 [59].

Tabla 4. Grupo Etario.

Promedio de edad	Porcentajes [%]
De 0 a 3 años	0,39
De 4 a 6 años	1,05
De 7 a 12 años	4,48
De 13 a 18 años	6,98
De 19 a 24 años	7,81
De 25 a 35 años	13,44
De 36 a 64 años	40,72

FUENTE: CONADIS [60].

Estos valores se tienen en cuenta con el fin de adecuar la máquina de rehabilitación a la estatura, ancho, y peso adecuado del paciente según se requiera, considerando las dimensiones estándar de una silla convencional o equipos de rehabilitación tradicionales a esto hay que agregar que es necesario la adecuación del área de rehabilitación en función al diseño de la máquina si existen ascensores el equipo debe estar dentro de los parámetros de acceso para el ingreso a la instalación [61].

La cantidad de pacientes que van a utilizar el equipo es así como en la Tabla 5 se describe el porcentaje de los tipos de discapacidad existentes en el Ecuador.

Tabla 5. Tipos de discapacidad.

Discapacidad	Porcentajes [%]
Física	45,66
Intelectual	23,12
Auditiva	14,12
Visual	11,54
psicosocial	5,55

FUENTE: CONADIS [60].

2.5. Elementos de seguridad.

2.5.1. Arnés.

El arnés es un dispositivo diseñado para garantizar la seguridad del paciente en cualquier actividad física que se realice.

2.5.1.1. Síndrome del arnés.

Es conocida como la respuesta fisiopatológica que presenta el cuerpo humano al estar suspendido con incapacidad de movimiento en una posición vertical durante un determinado tiempo, esto ocasiona una mala circulación de la sangre por motivo de que la parte inferior al estar en contacto directo con el arnés dificulta el retorno venoso de los miembros [62].

2.5.2. Tipos de arneses.

2.5.2.1. Asiento para arnés.

Los asientos son un factor fundamental para el arnés, estos ayudan al paciente de forma que pueden reposar el peso del cuerpo sobre el asiento reduciendo la presión del arnés y así la mala circulación sanguínea, es necesario seleccionar la geometría adecuada del asiento en función del tiempo de uso, además que permita regular la posición según el requerimiento [63].

2.5.2.2. Asientos de base rígida.

Son los más empleados para la mayoría de las labores donde la persona estará suspendida durante cierto periodo de tiempo, este tipo de asiento forma parte del equipo ofreciendo seguridad reduciendo los riesgos de caída, sin embargo, al ser rígido presentará molestias a largo plazo de tiempo de uso. En la Ilustración 12, se visualiza el diseño del arnés.

Ilustración 12. Asiento de arnés rígido.



FUENTE: PETZL [64].

2.5.2.3. Asiento de base dúctil.

También es uno de los más empleados en el mundo de la navegación, este tipo de asiento como el que se muestra. En la Ilustración 13, brinda seguridad además de comodidad al usuario, al ser dúctil se ajusta al cuerpo sin problemas reduciendo el funcionamiento óptimo del arnés en las extremidades y así evitando la mala circulación sanguínea.

Ilustración 13. Asiento de arnés dúctil.



FUENTE: PROALT [65].

2.6. Mecánica de materiales para el diseño.

El material es parte fundamental en el diseño lo que convierte al método de selección en la herramienta que definirá la resistencia de la máquina a diseñar por lo que será una variable importante que afectará directamente al equipo, los materiales idóneos para la máquina de

rehabilitación son el acero del tipo galvanizado con especificación técnica capa de recubrimiento con norma: INEN – ASTM A653M cuyo alcance cubre varios grados de recubrimiento con zinc y aleaciones, además de recubrimiento galvano-recocido [66].

El acero inoxidable con especificación AISI 303, 304, 310, 316, 416, 430. Cada una de estas especificaciones, cubren necesidades diferentes ya que poseen propiedades y características que se ajustan al diseño planteado [67].

Existen diferencias numéricas entre cargas máximas la cual dependerá de las características del material esto debido a que en la familia de aceros inoxidables existen varias opciones con diferentes propiedades la cuales son aplicadas, una de las características por las que sobresale es la resistencia a la corrosión [68].

2.6.1. Tipos de aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables se encuentran divididos en cuatro familias como son los austeníticos, martensíticos, ferríticos y los endurecidos por precipitación, esta clasificación se basa en la estructura del acero, es decir que cada una de las estructuras poseen características diferentes, es así como la estructura martensítica llega a ser dura y frágil, la ferrítica puede ser blanda y dúctil. Por otro lado, la estructura austenítica es de alta resistencia a la óptima, al impacto y también se considera dúctil, este tipo de materiales se caracterizan por el porcentaje de cromo que ayuda a sus propiedades antioxidantes [69].

2.6.2. Propiedades del AISI 304.

Las propiedades del material son características o atributos que brindan la resistencia a esfuerzos, temperatura, conductividad, deformación etc. Con el fin de que el material cumpla su objetivo en el diseño de una máquina o herramienta. En este caso las propiedades del material dependerán de su composición y su estructura, existiendo propiedades físicas, mecánicas y químicas que son las que garantizan su resistencia [70].

Entre ellas destacan las siguientes:

- Buena resistencia a la corrosión.

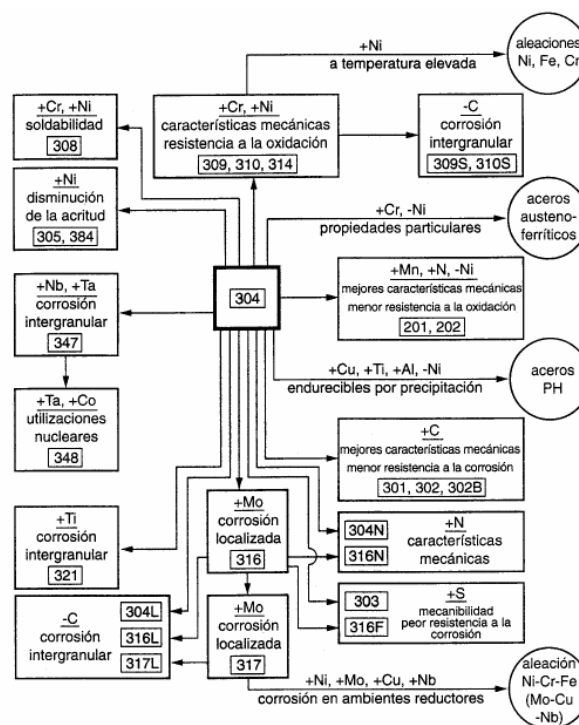
- Buena soldabilidad.
- Buena resistencia a la tracción y al desgaste.
- Buena formabilidad.

Y su contraparte que es el AISI 316L debido a sus siguientes características:

- Excelente resistencia a la corrosión y a la oxidación.
- Biocompatibilidad.
- Resistencia a la humedad y al calor.
- Excelente soldabilidad [71].

También es conocido como acero $\frac{18}{8}$ o A2 es del tipo de aceros austeníticos cuya composición estructural está formada por aleación de hierro, manganeso, carbono, fósforo, silicio, sulfuro, níquel, y alto contenido de cromo, es el más usado en el área industrial en industrias petroleras, automotriz, aeroespacial, metalurgia, alimentación, farmacéutica entre otras, por ser resistente a la corrosión económico posee buena soldabilidad, en la Ilustración 14 se muestran las familias [72].

Ilustración 14. Familia de los aceros inoxidable austeníticos a partir de AISI 304.



FUENTE: SPRINTS [73].

Dentro de las propiedades mecánicas se puede encontrar varias características que se detallarán a fondo en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades mecánicas.

Materiales	Resistencia a la tracción [MPa]	Punto de fluencia 0.02 [%]	Elongación 2 in. [%]	Dureza [HB]	
				Rockwell B	Brinell
AISI 304	515	205	40	92	201
AISI 316	515	205	40	95	217
AISI 316L	485	170	40	95	217
AISI 316 Ti	515	205	40	95	217

FUENTE: IMPORTACEROS [74].

ELABORADO POR: AUTORES.

2.6.3. Componentes del AISI 304.

Dentro de las aleaciones metálicas de los aceros inoxidable son los más usados por su estructura física, estética, su resistencia además de esto no ser nocivos con el medio ambiente y menos con las personas, esto teniendo en cuenta las propiedades del material que garantizan su dureza y resistencia en aplicaciones ingenieriles el AISI 304 presenta la siguiente composición química [75].

2.6.4. Composición química del acero inoxidable AISI 304.

La composición química del material puede contener uno o más elementos químicos dependiendo del material y un porcentaje definido de dicho elemento en la Tabla 7 se presenta la composición química del AISI 304.

Tabla 7. Composición química.

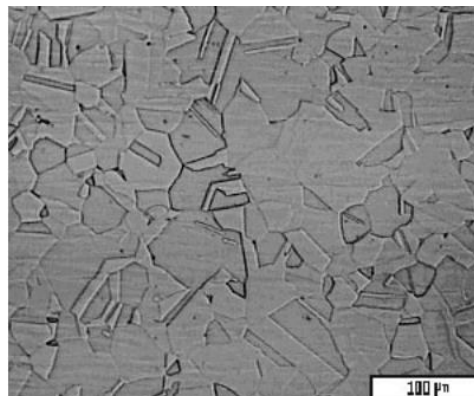
Elementos [%]	Porcentaje [%]
C	0.099 ± 0.001
Cr	16 ± 1
Ni	8.6 ± 0.2
Mn	1.19 ± 0.05
Si	0.323 ± 0.002
Mo	0.197 ± 0.003
W	0.013 ± 0.002
Nb	0.0104 ± 0.0005
V	0.45 ± 0.003
Ti	0.0080 ± 0.0003
S	0.030 ± 0.001
Fe	Remanente

FUENTE: IMPORTACEROS [76].

ELABORADO POR: AUTORES.

Como se puede apreciar en la foto micrografía de los aceros inoxidable austenítico AISI 304 en la cual se evidencia granos austeníticos equiaxiales de diversos tamaños con un aumento de 100x como se puede visualizar en la Ilustración 15.

Ilustración 15. Micrografía Acero inoxidable.

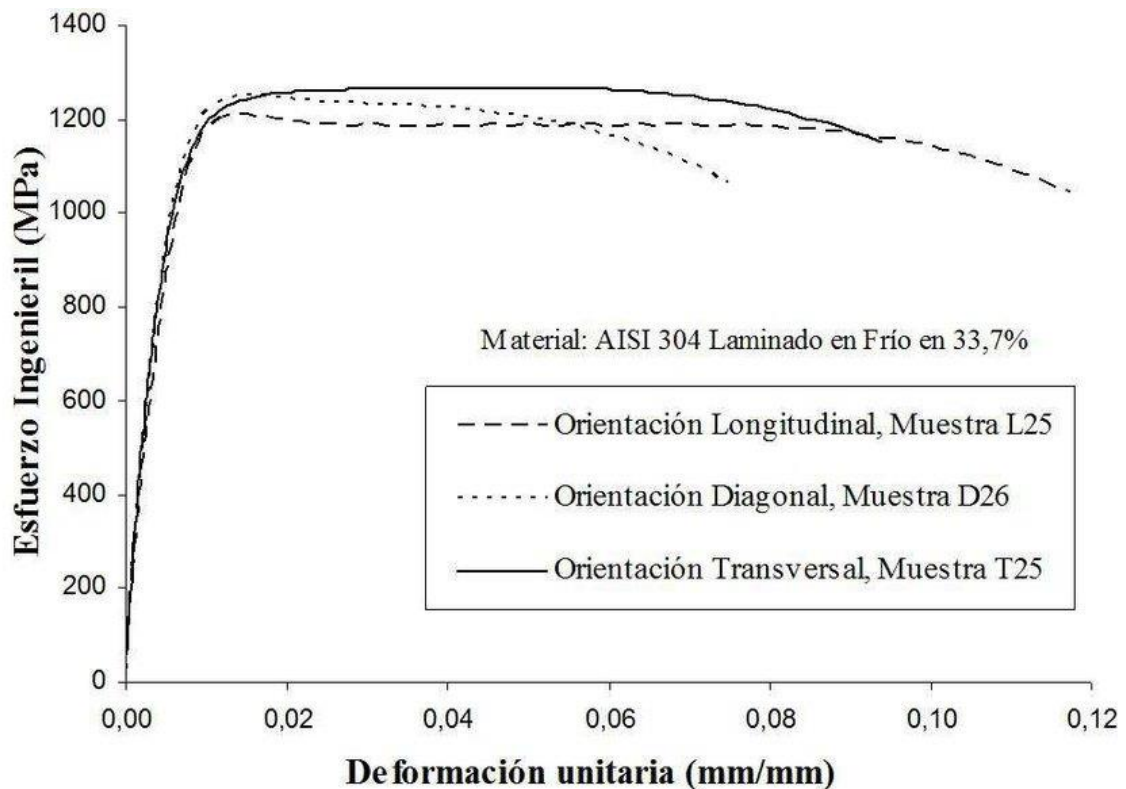


FUENTE: METALOGRAFÍA IN SITU [77].

2.6.4.1. Curva de esfuerzo y deformación en tracción del acero AISI 304.

Con el fin de comprender la forma en la que se comporta el material en función a sus propiedades mecánicas. El análisis de la curva denota como el material responde a condiciones de carga a la que se exponga de esta forma se puede decir que el esfuerzo es la aplicación de una fuerza en un área determinada, y la deformación que es la característica del material para cambiar su forma ya que son factores que intervienen directamente en su resistencia esta herramienta es usada para evaluar condiciones de rendimiento, seleccionar el material adecuado teniendo en cuenta su aplicación y su resistencia. La Ilustración 16 muestra un ejemplo de una curva esfuerzo deformación enfocada al acero AISI 304 [77].

Ilustración 16. Gráfica de deformación unitaria de AISI 304.



FUENTE: REVISTA INGENIERÍA UC [77].

2.6.5. Aplicación del AISI 304 y 316L en la biomedicina.

Estos tipos de materiales son ampliamente usados en la biomedicina gracias a sus propiedades únicas que lo ubican en la cima de los materiales para usos con fines médicos es así como el AISI 304 es usado con frecuencia en equipos médicos no invasivos, como:

- Mobiliario médico (mesas), como mesas de examen, sillas, armarios y otros elementos de mobiliario.
- Artículos de uso diario, como jeringuillas y otros productos de vidrio [78].

El acero inoxidable AISI 316L se utiliza con frecuencia en aplicaciones médicas invasivas, tales como:

- Implantes y dispositivos médicos implantables, como stents y válvulas cardíacas.
- Prótesis, como prótesis de cadera y rodilla.
- Instrumentos quirúrgicos, como tijeras y pinzas.

Debido a su resistencia a la corrosión y a la biocompatibilidad, el AISI 316L es un material popular para la fabricación de prótesis y dispositivos médicos.

Estos materiales dependen de la aplicación y de los requisitos específicos del paciente. Ambas aleaciones cuentan con una buena resistencia y biocompatibles, lo que las hace ideales para una amplia gama de aplicaciones médicas [79].

2.6.6. Soldabilidad.

En la actualidad existen diferentes tipos de materias de los cuales entre sus propiedades se encuentra la soldabilidad que se define como la capacidad de un material para unirse con otros a través del proceso de soldadura, los aceros austeníticos pueden llegar a obtener 18% de contenido de cromo y otras aleaciones que comprenden su composición como son níquel, molibdeno, columbio y titanio, esto con el objetivo de garantizar la resistencia a la corrosión [80].

2.7. Normas de diseño para otros materiales.

2.7.1. ASTM A36.

Al poseer una amplia variedad de perfiles estructurales que son laminados en caliente de buena calidad. El esfuerzo a la fluencia es de $2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y un esfuerzo de ruptura mínimo óptimo de 4080 a $5620 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ [81].

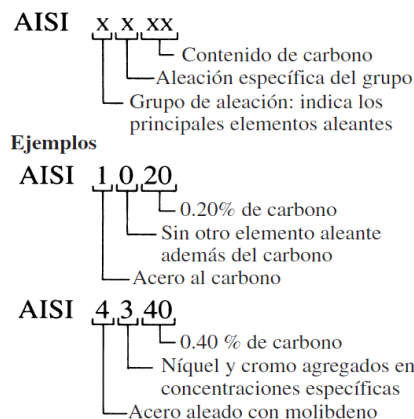
2.7.2. ASTM A500.

Brinda tubos de sección circular, cuadrada o rectangular que se puede soldar en frío y sin costura, tiene un esfuerzo de fluencia entre 46 y 58 ksi y una resistencia de ruptura a la óptima de 405 MPa [82].

2.7.2.1. Forma general para el sistema de designación del material.

El AISI cuenta con un sistema de designación con cuatro dígitos destinados al acero al carbón y aleado, los dos primeros dígitos indican el grupo específico de aleaciones que identifica a los principales elementos aleantes, aparte del carbono en el acero los últimos dos dígitos indican la cantidad de carbono en el acero, como se describe a continuación en la Ilustración 17 [83].

Ilustración 17. Forma general de designación.



FUENTE: LIBRO DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINA [72].

2.8. Análisis estructural.

Es considerado una predicción del desempeño estructural en función a las cargas prescritas y efectos externos como son los movimientos en los apoyos y cambios de temperatura, considerando en el desempeño del diseño algunos factores importantes, tales como esfuerzos, fuerzas axiales, fuerzas cortantes, momento flector, reacciones en los apoyos, y deflexión, por ende, se consideran esas variables como causas de una condición de carga [84].

2.8.1. Métodos aplicados en la ejecución de un diseño.

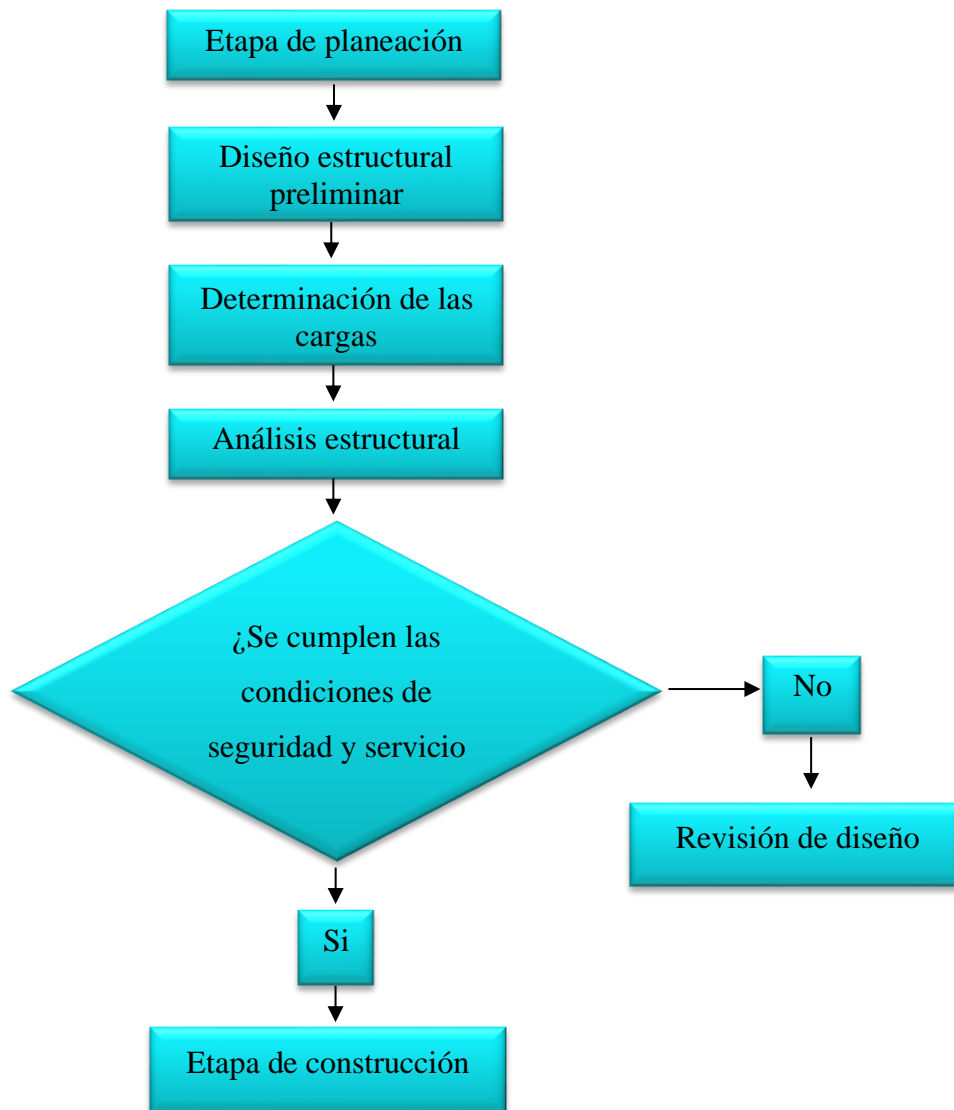
Existen varios métodos para poner en marcha el diseño de cualquier proyecto estos métodos de diseño cuentan con herramientas que tienen como objetivo participar en la selección de cada uno de los elementos que conforman la máquina o el equipo, las herramientas para poder garantizar un buen diseño son:

- Matriz morfológica.
- Árbol de funciones.
- Casa de la calidad.
- Metodología Fast.
- Análisis de la arquitectura modular.

2.8.1.1. Etapas de un proyecto estructural de ingeniería.

La etapa de implementación de un proyecto estructural de ingeniería presenta varias etapas estas deben seguir una secuencia lógica con el fin de garantizar el proyecto los pasos a seguir se presentan en la Ilustración 18.

Ilustración 18. Etapas de un proyecto.



FUENTE: LIBRO ANÁLISIS ESTRUCTURAL [84].

2.8.2. Métodos para el análisis estructural.

El análisis estructural se refiere a la evaluación de la capacidad de una estructura para soportar cargas y resistir deformaciones. Los siguientes son algunos de los métodos más comunes para el análisis estructural.

2.8.2.1. Análisis de elementos finitos (FEM).

Es una técnica numérica que divide la estructura en pequeños elementos y utiliza ecuaciones matemáticas para modelar su comportamiento ante cargas y deformaciones.

2.8.2.2. Análisis por viga-columna.

Este método se utiliza para estructuras simples, como puentes y edificios, y se basa en la resolución de ecuaciones que describen el comportamiento de las vigas y columnas individuales.

2.8.2.3. Análisis modal.

Este método se enfoca en la identificación de las frecuencias naturales de la estructura y su comportamiento ante vibraciones.

2.8.2.4. Análisis de estabilidad.

Este método evalúa la capacidad de una estructura para mantener su forma y resistir la rotación bajo cargas y deformaciones.

2.8.2.5. Análisis por cable.

Este método se utiliza para estructuras como puentes colgantes y tensadas, y se basa en la resolución de ecuaciones que describen el comportamiento de los cables y los puntos de anclaje. Cada método tiene sus propias fortalezas y debilidades, por lo que es importante seleccionar el método adecuado para cada proyecto específico en función de sus necesidades y requisitos [85].

2.8.3. Análisis por elementos finitos.

Este método no es más que un proceso numérico que ayuda a resolver problemas de la mecánica del continuo, el medio continuo se divide en números finitos de subdominio denominado elementos finitos conectados entre sí por nudos, el conjunto de elementos finitos y de nudos es una representación geométrica aproximada del sólido denominada malla de elementos finitos cuya geometría y carga se pueden representar de forma tridimensional, bidimensional y unidimensional [86].

2.8.4. Elementos que intervienen en el cálculo estructural.

El cálculo estructural tiene como objetivo llevar a cabo una correcta y segura ejecución de la obra, esto implica varios factores como el tipo de material, la carga que soportara y su finalidad de uso, existen varios elementos que intervienen en el análisis estructural como, estructura, peso, cargas, sumatoria de momentos, modelo matemático, etc.

2.8.4.1. Estructura.

Es una configuración física geométrica que se encarga de soportar las cargas aplicadas que se van a analizar y está conformada por varios elementos que pueden estar unidos mediante soldadura, pernos o remaches.

2.8.4.2. Peso.

El peso es el resultado de la masa por la gravedad, es decir la fuerza de atracción que genera la tierra hacia los cuerpos se representa con la W y su unidad de medida en el Sistema Internacional (SI) es el N descrita en la Ecuación 1.

$$W = m g \quad \text{Ec.1.}$$

2.8.4.3. Cargas.

Las cargas son las fuerzas en función a los pesos que actúan sobre la estructura y deben ser considerados en el análisis estas pondrán a prueba la geometría y la resistencia del material. A continuación, para realizar el cálculo con el fin de analizar el comportamiento de la estructura se utilizará la Ecuación 2.

$$F = \frac{W}{2} \quad \text{Ec.2.}$$

2.8.4.4. Sumatoria de momentos.

La sumatoria de momentos es el resultado de la fuerza por la distancia en uno o varios puntos determinados de la estructura, la fuerza resultante será igual a la suma algebraica de cada uno de los momentos de los componentes generados descrita en la Ecuación 3.

$$\Sigma M = 0$$

Ec.3.

2.8.4.5. Materiales.

Los materiales utilizados en la construcción de la estructura juegan un papel importante en su comportamiento ante las cargas aplicadas de la cual se analizará su resistencia en función a la carga aplicada.

2.8.4.6. Sumatoria de fuerzas.

La sumatoria de fuerzas es aquella que incluye los valores de todas las fuerzas que se encuentran aplicadas en la estructura, estas pueden estar de forma vertical u horizontal e incluso de manera inclinada interactuando en ambos planos usando como referencia los ejes coordenados, para fuerzas en x todos los valores de X y para las fuerzas en y todos los valores en Y descrita en la Ecuación 4.

$$\Sigma Fx = 0$$

Ec.4.

2.8.4.7. Restricciones.

Las restricciones son las condiciones que limitan el movimiento o desplazamiento de los elementos de la estructura, pueden ser pasadores o simplemente rodillos que dependiendo de la configuración pueden tener un grado de libertad o ninguno.

2.8.4.8. Modelo matemático.

Se utiliza un modelo matemático para representar la estructura y las cargas que actúan sobre ella, con el objetivo de realizar cálculos y determinar su comportamiento.

2.8.4.9. Momento flector máximo.

El momento flector máximo es el resultante de todas las fuerzas que actúan en la estructura, además el esfuerzo de corte es nulo o pasa por cero debido a que los apoyos de la estructura contrarrestan las cargas se presenta en la Ecuación 5.

$$M_{\max} = P_{\max} \cdot m$$

Ec.5.

2.8.4.10. Esfuerzo cortante.

Este esfuerzo es el que se produce al generar un corte en la estructura luego de aplicar una fuerza, esta fuerza es capaz de deformar los elementos de sujeción de la estructura y para calcular esta fuerza se utiliza la Ecuación 6.

$$F_{\text{perfil}} = \frac{F}{2} \quad \text{Ec.6.}$$

2.8.4.11. Módulo elástico.

Es la capacidad que tiene un material para deformarse, este indica la rigidez que posee el material, en pocas palabras es el esfuerzo al que se somete al material en función al momento máximo y su deformación o esfuerzo permisible descrita en la Ecuación 7.

$$S = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{Perm}}} \quad \text{Ec.7.}$$

2.8.4.12. Esfuerzo permisible.

Se trata del valor mínimo de esfuerzo que puede soportar la estructura al aplicar una carga al elemento o la estructura sin que esta exceda su carga máxima de esfuerzo descrita en la Ecuación 8.

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{\sigma_y}{FS} \quad \text{Ec.8.}$$

2.8.4.13. Esfuerzo cortante directo.

Esfuerzo que se genera de forma directa en un área específica, por lo general se considera para el análisis y selección de pernos o pasadores con el fin de encontrar una geometría adecuada para el diseño en función del material que se va a utilizar descrita en la Ecuación 9.

$$S_{sy} = 0,5 \sigma_y \quad \text{Ec.9.}$$

2.8.4.14. Esfuerzo cortante.

El esfuerzo cortante se produce al aplicar una fuerza que genera una deformación en la parte del cuerpo donde la carga fue aplicada, esta deformación se representa como un deslizamiento de la posición original y se considera en función al diseño del pasador, para obtener el diámetro del perno se aprecia en la Ecuación 10.

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{S_{sy}}{FS} \quad \text{Ec.10.}$$

2.8.4.15. Diámetro del perno.

Es la medida exterior que posee referente a su circunferencia en relación con la rosca, con el fin de identificar las dimensiones del perno que cumpla con la condición de soportar la carga al que será sometido, se tiene la Ecuación 11.

$$d = 2 \frac{V FS^{0,5}}{\pi S_{sy}} \quad \text{Ec.11.}$$

2.8.4.16. Área del perno.

Es un concepto matemático que permite la asignación de una medida en función a la extensión de la superficie que para este caso será la superficie del perno y para el cálculo del área del perno se tiene la siguiente Ecuación 12.

$$A_{\text{perno}} = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{Ec.12.}$$

2.8.4.17. Esfuerzo por aplastamiento.

Se presenta cuando un cuerpo es sometido o es soportado por otro, el resultante será un estado de compresión entre ambas superficies de contacto, para el esfuerzo por aplastamiento se tiene la Ecuación 13.

$$FS = \frac{s_y A_p}{W} \quad \text{Ec.13.}$$

2.8.4.18. Área proyectada.

Es la variación que existe en función del diámetro del perno y el espesor de la placa, esto con el objetivo de brindar seguridad a la estructura y estabilidad. Para el área proyectada se tiene la Ecuación 14.

$$A_p = d e_p \quad \text{Ec.14.}$$

2.8.4.19. Análisis.

Se utilizan técnicas y herramientas específicas para analizar la estructura y poder determinar su comportamiento bajo las condiciones de cargas aplicadas en los puntos de apoyo como son el análisis matemático que involucra un grupo de ecuaciones y el análisis computacional que se compone por parámetros.

2.8.4.20. Resultados.

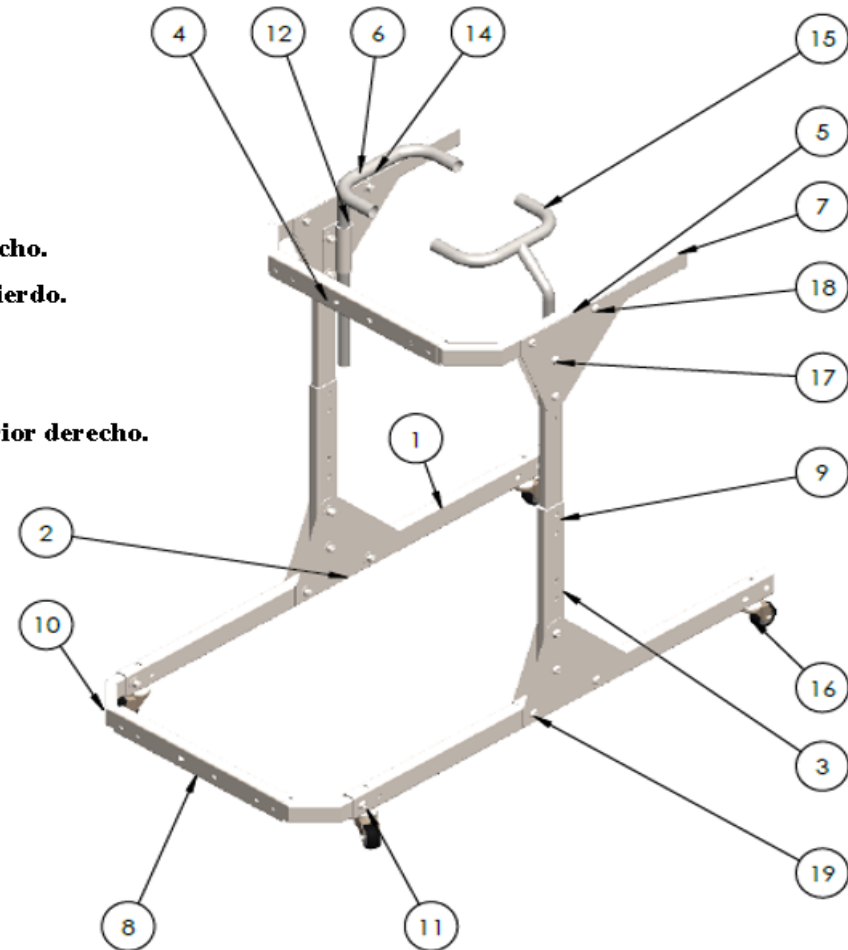
Los resultados del análisis involucran información referente a la deformaciones, tensiones y esfuerzos a la que se ve sometida la estructura, así como su capacidad para soportar las cargas aplicadas.

2.8.5. Componentes de la máquina de rehabilitación.

En la Ilustración 19, se presenta la máquina de rehabilitación y los elementos que conforman su estructura adicional también se muestran las especificaciones de cada uno de los elementos:

Ilustración 19. Elementos estructurales de la máquina.

1. Perfil rectangular 50X25X1,5 mm de 1 m.
2. Base de sujeción inferior 50X25 mm.
3. Perfil rectangular 50X25X1,5 mm de 0,45 m.
4. Perfil rectangular 50X25X1,5 mm de 0,40 m. inferior
5. Base de sujeción superior 40X20 mm.
6. Perfil rectangular 40X20X1,5 mm de 70,5 m articulado derecho.
7. Perfil rectangular 40X20X1,5 mm de 70,5 m articulado izquierdo.
8. Perfil rectangular 50X25X1,5 mm de 0,40 m. superior
9. Perfil rectangular superior 40X20 mm de 55 mm.
10. Perfil rectangular 40X20X1,5 mm de 70,5 m articulado inferior derecho.
11. Elemento de fijación para perfiles.
12. Soporte tubular derecho.
13. Soporte tubular izquierdo.
14. Perfil tubular 22X1,5 mm.
15. Base tubular para hombros.
16. Ruedas de 50 mm.
17. Socket button head cap screw_AISI 304
18. SBHCSCREW 0,375-24x1,375-HX-N.
19. SBHCSCREW 0,375-24x1,625-HX-N.
20. Regular FW 0,375.
21. HNUT 0,3750-24-D-N.



ELABORADO POR: AUTORES.

La estructura completa está compuesta por perfiles estructurales de diferentes geometrías y dimensiones, todos ellos fabricados con acero inoxidable ASTM 304. Este material forma parte de la familia de los aceros inoxidables y se caracteriza por su resistencia a la corrosión y su durabilidad, lo que lo convierte en una elección adecuada para aplicaciones estructurales que requieren una alta resistencia y estabilidad.

2.8.5.1. Base estructural.

En su totalidad, esta máquina se clasifica como una estructura, debido a que está compuesta por perfiles de acero diseñados para mejorar la estabilidad del paciente durante la rehabilitación en movimiento.

2.8.5.2. Elementos de desplazamiento.

Los elementos de desplazamiento son aquellos que ayudan a reducir la resistencia al movimiento provocada por el material de fabricación y la fricción que se genera entre el suelo y el objeto al moverse. En la mayoría de los casos, este componente se conoce como rueda y existen varios tipos con diferentes diámetros que se pueden adaptar a las necesidades del diseño.

2.8.5.3. Sistema de seguridad.

Como sistemas de seguridad la máquina cuenta con tres dispositivos diferentes que son el sistema de sujeción primario que está formado por el arnés que sujetará el área pélvica, el sistema de sujeción secundario que lo conforma la sujeción del área torácica del paciente, y el sistema de frenado encargado de la detención de la máquina de rehabilitación.

2.8.5.4. Uniones empernadas.

Las uniones empernadas están conformadas por elementos de sujeción extraíbles con el fin de desmontar cada elemento de la máquina de rehabilitación, estas juntas están conformadas por dos o más elementos de acuerdo a la necesidad para el diseño de la esta máquina, se usaron pernos tuercas y arandelas para la sujeción de cada uno de los elementos que conforman la máquina de rehabilitación.

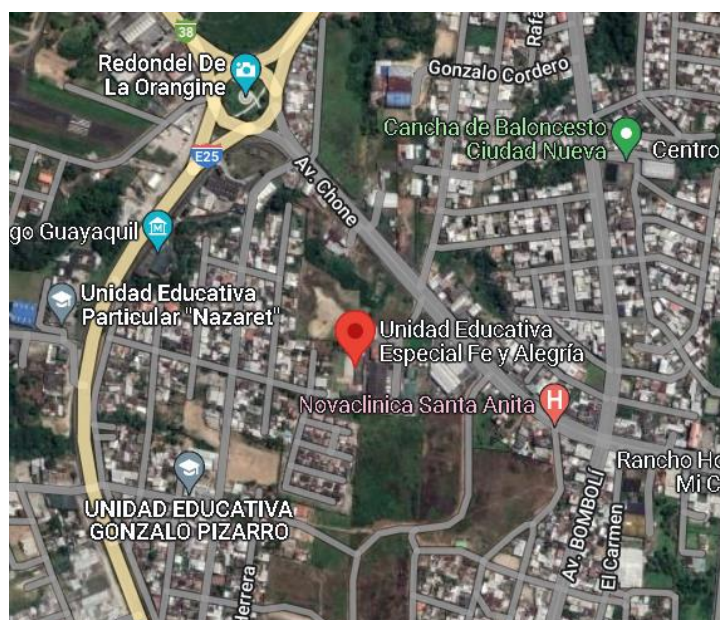
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

El presente trabajo se desarrollará en la provincia de los Tsáchilas. Ciudad de Santo Domingo. Av. La Paz N°511 y Tiputini en la Unidad Educativa Especial Fe y Alegría en la Ilustración 16 se muestra la localización en Google Maps.

Ilustración 20. Ubicación.



FUENTE: GOOGLE MAPS.

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Investigación Bibliográfica.

Esta técnica es ideal para la recopilación de información, la cual permite identificar, y tener acceso a libros, revistas, artículos, informes, documentales, etc. Que posean información válida relacionada con el tema que se está investigando, que va dirigido al diseño de una máquina de rehabilitación para personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores.

3.2.2. Investigación aplicada.

Esta técnica se basa en el uso de los conocimientos que se requieren para iniciar una investigación tales como, deformación, cargas en vigas, selección y resistencia de materiales, esfuerzos, diseño de elementos mecánicos, con el fin de garantizar resultados óptimos en el diseño de la máquina de rehabilitación.

3.2.3. Investigación descriptiva.

Con esta investigación se puede responder a las interrogantes que surgen de los objetivos planteados, con el fin de reforzar la temática expuesta en el presente proyecto de investigación considerando datos reales.

3.2.4. Investigación linkográfica.

Este tipo de investigación se realizó a través de la búsqueda de información linkográfica relacionada a los equipos de rehabilitación, considerando estructura de diseño en función a los tipos de discapacidad que existen con el fin de cubrir una necesidad a través de la funcionalidad de la máquina.

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Método analítico.

Con este método se analizará la capacidad de carga de la máquina de rehabilitación a través de la selección del material con el fin de obtener el mejor rendimiento en el uso reflejado en la recuperación del paciente, considerando que el equipo está dirigido al sector médico en el área de rehabilitación.

3.3.1.1. Método de observación.

Este método es ideal ya que permite a través de la observación identificar el problema que surge de la necesidad, ayudando así al levantamiento de información necesaria con el fin de brindar una solución válida que ayude a mejorar el área de rehabilitación.

3.3.1.2. Método científico.

Este método garantiza la secuencia de los procedimientos con el fin de brindar al investigador nuevos conocimientos que ayuden a enriquecer su léxico, permitiendo encontrar soluciones inmediatas a los problemas que surgen. Es así como en la presente investigación se pudo identificar el déficit de equipos destinados a la rehabilitación de personas con movilidades reducidas y el uso inadecuado de máquinas no diseñadas para solventar esta necesidad, lo que indica que al existir gran demanda en el área de rehabilitación lo ideal es solventarlas con el diseño y construcción.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

3.4.1. Fuentes primarias.

- Investigación propia

3.4.2. Fuentes secundarias.

- Bibliografía
- Libros
- Revistas

3.4.3. Información virtual.

- Tesis
- Monografías
- Videos
- Proyectos de grado
- Biblioteca virtual

3.5. Diseño de la investigación.

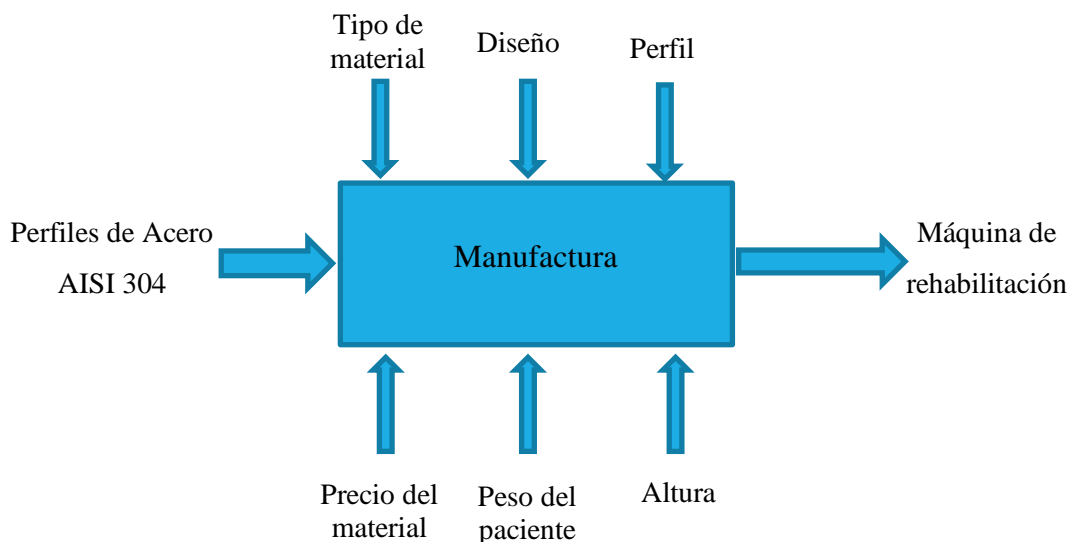
3.5.1. Diseño experimental.

Dentro del diseño de máquina el uso de equipos para la recolección de información es esencial estas herramientas como balanzas cintas métricas permiten obtener información con la finalidad de analizar el comportamiento de la estructura de la máquina en la fase de diseño haciendo uso de un Software CAD.

El análisis se realizó considerando la carga máxima permisible de la máquina teniendo en cuenta el material seleccionado, el clima de la localidad y el alcance del equipo son factor principal para su correcta selección, esto garantizara la vida útil de la máquina de rehabilitación.

Los datos obtenidos con los equipos de medición generaron una base de datos la cual fue usada para obtener valores de masa corporal, estatura, y edad con el fin de obtener un promedio de edad de los usuarios del equipo, para que el equipo cumpla con sus funciones de diseño. En la Ilustración 21 se muestra uno de los diseños aplicados en la fase experimental conocido como caja negra.

Ilustración 21. Metodología de diseño experimental, caja negra.

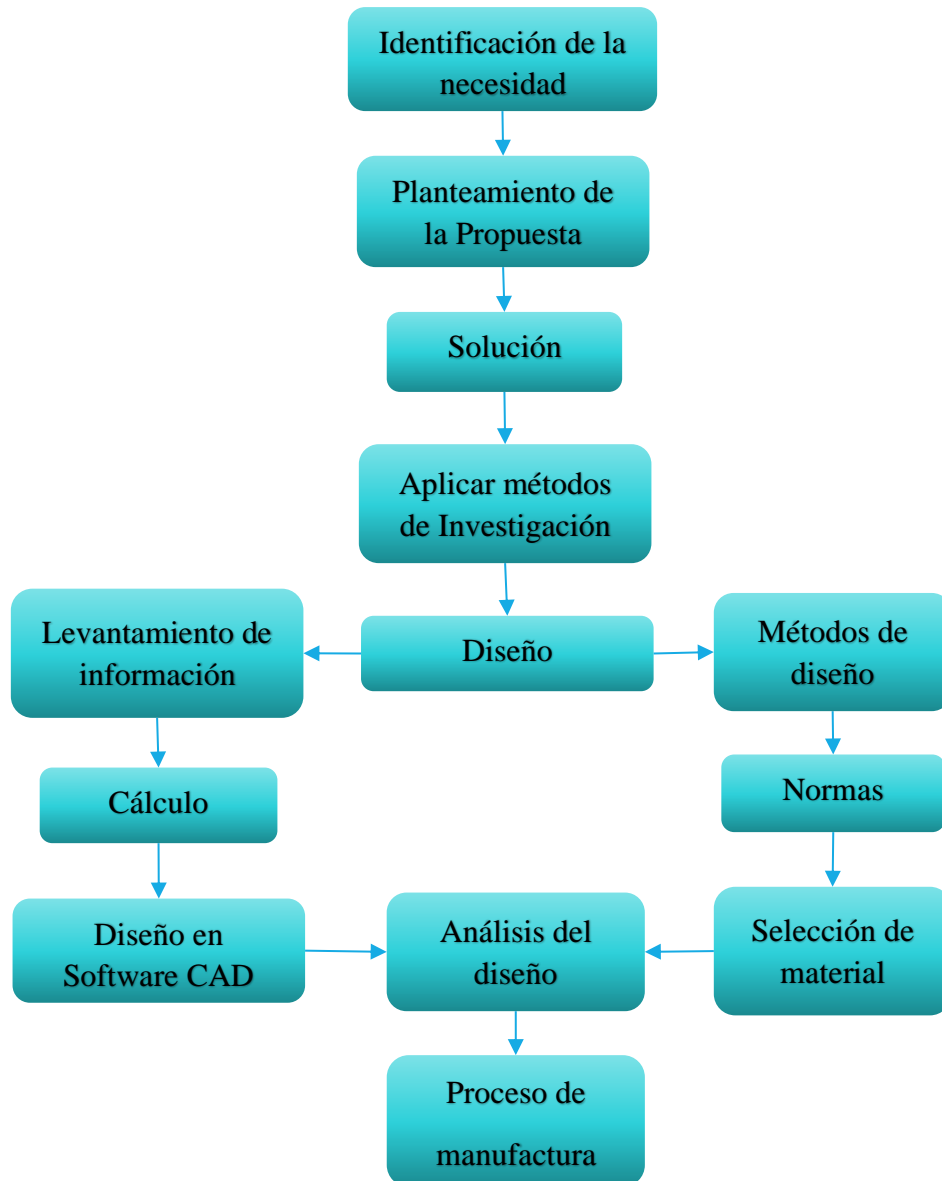


ELABORADO POR: AUTORES.

3.5.2. Diagrama del procedimiento de diseño y manufactura.

El diagrama a continuación indica el procedimiento a seguir para la implementación de un proyecto que necesita ser manufacturado este proceso se describe en la Ilustración 22.

Ilustración 22. Diagrama del procedimiento.



ELABORADO POR: AUTORES.

3.6. Instrumentos de investigación.

Para la fase del levantamiento de información de este proyecto de investigación se utilizó equipos de medición de masa corporal y estatura, para la fundamentación teórica como instrumento de recolección de información, se eligen datos provenientes de normas, artículos científicos, blogs, libros, documentales, entre otros cuyas fuentes son fiables.

3.7. Tratamiento de datos.

3.7.1. Programa de datos e información.

Para el manejo de la información se optó por usar las siguientes herramientas con el fin de facilitar el manejo y presentación de los datos recopilados.

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- OneNote
- Prezi
- Mathcad

3.7.2. Programas de diseño.

- SolidWorks 2020-2021
- Ftool
- MDSolid 4.0

3.8. Recursos Humanos y materiales.

3.8.1. Recursos Humanos.

3.8.1.1. Autores.

- Bryan Marino Contrera Moreira
- Yelibert Giovanni Solorzano Palacios

3.8.1.2. Director de tesis.

- Ing. Salazar Loor Rodger Benjamin

3.8.2. Recursos materiales.

3.8.2.1. Equipos de oficina.

- Impresora
- Laptop
- Celular
- Calculadora
- Cuaderno
- Hojas de papel boom
- Hojas a cuadros
- Borrador
- USB
- Carpetas
- Bolígrafos
- Lápiz
- Borrador

3.8.3. Equipos.

3.8.3.1. Balanza portátil digital.

Este equipo es ideal para el levantamiento de información de un número determinado de individuos a diferencia de la balanza análoga la digital marca los valores de masa más exactos debido a que no se considera el error de lectura, trabaja con unidad de medida en

kilogramos (kg) y libras (lb), está diseñado para soportar la masa del individuo de hasta 300 lb al colocarse en la parte superior, está formada por una plancha de vidrio templado un circuito electrónico que es el que se encargará de enviar la información a un indicador LCD como se muestra en la Ilustración 23.

Ilustración 23. Balanza portátil.



FUENTE: MALASIASTORE [87].

3.8.3.2. Cinta métrica.

Esta herramienta es ideal para el levantamiento de información de longitud es decir se usa para medir la estatura de los individuos, su unidad de medida en el sistema internacional es el metro (m) y sus derivados centímetro (cm) y milímetro (mm), y en el sistema inglés en pulgadas (in), la usada en este proyecto con la finalidad de obtener valores que ayuden al diseño de la máquina de rehabilitación, existen de diferentes longitudes ajustándose a las necesidades del usuario como se muestra en la Ilustración 24.

Ilustración 24. Cinta métrica.



FUENTE: TUFERRETERIA [88].

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis para la selección del diseño de la máquina.

4.1.1. Datos de peso y longitud de los pacientes.

En el levantamiento de información para el diseño de la máquina se procedió a pesar y a medir a las personas usando herramientas como flexómetro o cintas mostrada es el anexo y la balanza como se muestra en el anexo los datos de la Tabla 8, son datos reales a los cuales se procedió a sacar media mediana y moda.

Tabla 8. Datos de peso y estatura.

Nombres	Peso [Lb]	Estatura [cm]
Arredondo Joselyn	83	152
Bianca Sntaxi	142,4	163,6
Cagua Daniel	85,2	153,5
Cartagena Michael	109,5	166
Cuastumal Cristopher	50,3	124,5
Dueñas Verónica (EX)	59,4	132
Flores Milagros	83	155
Gallegos María José	128	145
García Ariana (EX)	34,9	98
Giler Andrea	141,75	136
Giler Ariel	142,4	137
Haro Anderson	108	164,5
Herrera Josué	68,8	146
Lara Jampier	46,9	117
Lucero Jonatan	135,9	141
Mendoza Palacios (EX)	100,9	147,5
Mersy Briones Mamá	182,7	149
Molina Damián	118,7	153

ELABORADO POR: AUTORES.

4.1.1.1. Cálculo de media, mediana y moda límite máximo y mínimo.

Para el cálculo de la media mediana y la moda se utilizó una plantilla en Excel, con el uso de fórmulas se facilita la obtención de los resultados cada uno de los valores son reales y se encuentran Tabla 8, para visualizar los resultados de dicha operación se debe visualizar la Tabla 9.

Tabla 9. Datos estadísticos de los estudiantes.

Parámetros	Peso [lb]	Estatura [cm]
Media	102,28	143,37
Mediana	108	146,75
Moda	142,4	98
Valor Máximo	182,7	166
Valor mínimo	34,9	98

ELABORADO POR: AUTORES

De los datos obtenidos como se puede apreciar el valor máximo del peso de uno de los pacientes es de 182,7 lb, pero para la máquina se planteó el uso de un peso máximo para el diseño como medida de seguridad según los métodos por lo que el valor a usar en el análisis es de 200 lb.


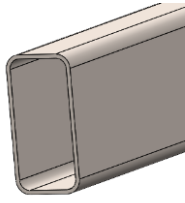

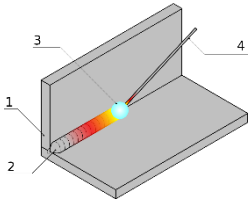



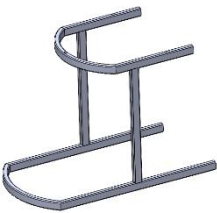
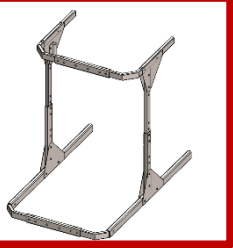
4.1.2. Elementos a considerar en el diseño de la máquina.

Tomando en cuenta los factores que intervienen en la metodología para el diseño de una máquina de rehabilitación se pueden considerar los siguientes:

- Geometría.
- Tipos de perfiles.
- Tipo de material.
- Cargas máximas permisibles.
- Factor económico.

La selección de los componentes de la máquina de rehabilitación para personas con limitaciones de movilidad se basó en la metodología de la matriz morfológica. Esta metodología permitió evaluar cada uno de los elementos que conforman la máquina, considerando su resistencia, accesibilidad y costo, con el objetivo de asegurar que el diseño de la máquina se adapte no solo a las necesidades físicas del usuario, sino también a sus limitaciones económicas en la Tabla 10, se muestran los parámetros a considerar.

Tabla 10. Matriz morfológica selección de factores para el diseño de la máquina.

Matriz morfológica enfocada al diseño de la máquina de rehabilitación			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Tipo de perfil			
Tipo de unión			
Geometría estructural			
Alcance	De 7 a 10 años	Regulable aplicado a pacientes de 7 a 25 años	De 11 a 18 años

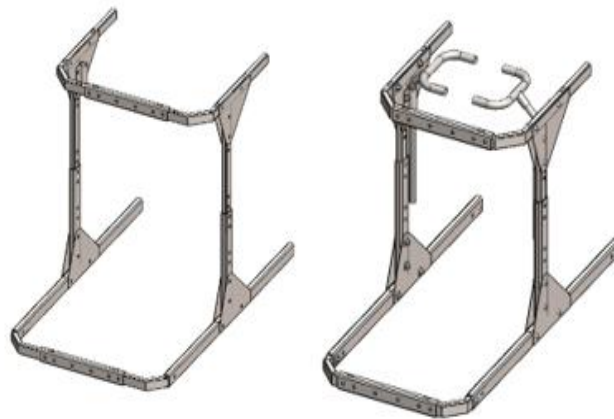
ELABORADO POR: AUTORES.

Los resultados obtenidos a través de la simulación de la resistencia del material y la geometría del perfil permitieron determinar la carga a la que debía estar diseñada la máquina. Por lo tanto, se procedió a seleccionar un tipo de sujeción empernada de estructura simple y desmontable, que pueda ser utilizada por pacientes entre 7 y 25 años de edad que no superen el peso establecido en el diseño. La utilización de juntas empernadas permitirá la correcta aplicación del mantenimiento, ya que cada elemento es independiente.

4.1.1.1. Geometría.

En la geometría del diseño ingresa los requerimientos del usuario de modo que la máquina debe adaptarse a la necesidad del paciente brindándole seguridad y confort en el desarrollo de la terapia de rehabilitación además de esto se debe considerar el aspecto del diseño como se muestra en la Ilustración 25 teniendo en cuenta que su estructura es del tipo modular.

Ilustración 25. Diseño estructural seleccionado.

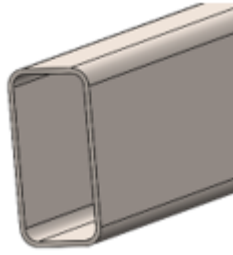


ELABORADO POR: AUTORES

4.1.1.2. Tipos de perfiles.

El tipo de perfil interviene directamente en el diseño, al igual que el factor económico dado que mientras más escaso sea el perfil su valor será mayor, además la carga que soportará también ingresa en esta variable teniendo en cuenta que, dependiendo de la geometría del perfil en función a su ubicación en la estructura, que puede ser vertical como horizontal le brindará mayor resistencia al diseño considerando sus puntos de apoyos, el tipo de perfil se muestra en la Ilustración 26 y como se aprecia para reducir la deformación provocada por la carga, se debe ubicar la sección del perfil con menor longitud de forma horizontal como se indica a continuación.

Ilustración 26. Perfil seleccionado geometría rectangular.

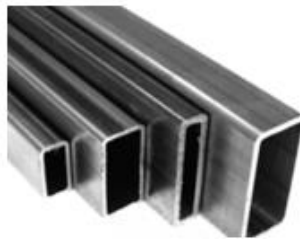


ELABORADO POR: AUTORES.

4.1.1.3. Tipo de material.

La selección del tipo de material como se muestra en la Ilustración 27, dependerá de sus propias características, las cuales, en conjunto con la geometría del perfil, pueden suponer una mayor o menor resistencia. Además, hay propiedades que no dependen de la geometría, como la resistencia a la corrosión, que es un factor determinante en la elección de materiales, como en el caso del acero inoxidable seleccionado, y el perfil rectangular cuenta con un mejor acabado interno sin costuras visibles.

Ilustración 27. Perfil de acero inoxidable AISI 304.



FUENTE: IMPORTACEROS [89].

4.1.1.4. Carga máxima permisible.

Para la aplicación de la carga máxima permisible se considera la longitud, la geometría, el tipo de perfil usado y el material considerando estos elementos se puede diseñar una máquina que soporte una carga de diseño aplicable con el fin de no superar el límite elástico del material el perfil rectangular es ideal dado que su forma permite distribuir de forma equitativa las cargas a lo largo de todo el perfil sino que gracias a su diseño que facilita la modularidad brinda diversas configuraciones y facilita las perforaciones para uniones empernadas, en estas partes también se analizan los esfuerzos y puntos críticos en función a las cargas máximas aplicadas.

4.1.1.5. Factor económico.

El factor económico es unas variables directamente proporcionales al diseño e interviene directamente en su geometría de la máquina es importante saber que a mayor número de elementos mayor costo de manufactura como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Proforma del material estructural AISI 304.

Tipo de perfil	Dimensión de perfil [mm]	Precio comercial [\$]
Rectangular	50x25x1,5	75
	40x20x1,5	51
Circular	22x1,5	25
	25,4x1,5	33,60

ELABORADO POR: AUTORES.

Para los costos de los demás elementos utilizados como arnés de seguridad, las uniones empernadas, accesorios como tapas, ruedas apoyabrazos entre otros se detallarán en la Tabla 12.

Tabla 12. Proforma de los materiales usados en el diseño.

Elemento	Rueda de 5 [in]	Rueda de 5 [in]	Tapones para tubos	Pernos	Tuercas
Cantidad	2	2	4	32	32
Detalle	Con freno incluido	Sin freno incluido	Circulares	Acero inoxidable	Acero
Valor unitario [\$]	9	8	1,40	0,40	0,20

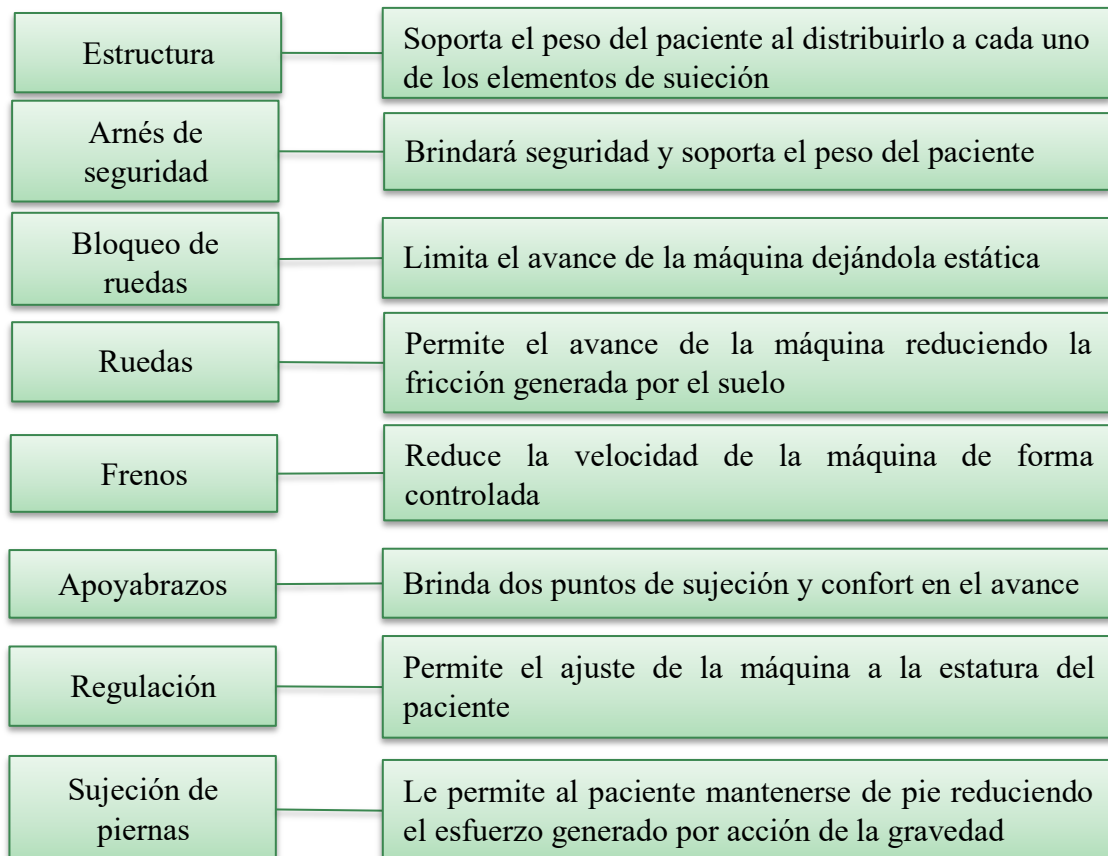
ELABORADO POR: AUTORES.

Por consiguiente, la máquina tiene un costo de 500 dólares este valor incluye la mano de obra y materiales para su manufactura con el fin de garantizar que las partes que conforman la máquina tengan una durabilidad extendida garantizando un ciclo de vida largo los materiales son el acero inoxidable AISI 304 seleccionado para toda la máquina

4.1.1.6. Análisis de la arquitectura modular.

El propósito de esta metodología es identificar los elementos que conforman la máquina de rehabilitación para personas con movilidad limitada en sus extremidades inferiores y la función que cumple dentro del ámbito operacional cada componente como se muestra en la Ilustración 28.

Ilustración 28. Arquitectura modular.



ELABORADO POR: AUTORES.

4.2. Análisis de resistencia de material.

4.2.1. Análisis del tipo de material.

El diseño de la máquina de rehabilitación al ser un equipo con fines de uso médicos el material seleccionado por norma de diseño tiene que ser el adecuado para el cumplimiento de su objetivo, esto se lleva a cabo teniendo en cuenta las características y propiedades de los materiales destinados a la manufactura de equipos médicos, con esto se analizaron tres tipos de materiales de la familia de los aceros inoxidable (AISI), estos son el AISI 304, el AISI 316L y el AISI 201 acero inoxidable recocido (SS).

4.2.1.1. Propiedades de los materiales.

Los materiales cuentan con características propias estas pueden ser aplicadas en función a las necesidades y la resistencia que brindan para trabajar en condiciones de cargas estas propiedades se pueden apreciar en la Tabla 13 donde se indica los valores correspondientes al tipo de material de análisis.

Tabla 13. Propiedades de los materiales para el análisis.

Material	Módulo elástico [MPa]	Coefficiente de Poisson	Módulo cortante [MPa]	Densidad de la masa $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Lím. de tracción [MPa]	Coefficiente de expansión térmica K^{-1}
AISI 304	190000	0,29	75000	8000	517,017	180000
AISI 316L	200000	0,265	82000	8027	485	165000
AISI 201	207000	0,27	----	7859,99	685	170000

FUENTE: SOLIDWORKS.

Las propiedades de los materiales son valores que reflejan su capacidad física, química o mecánica en condiciones de trabajo. En este análisis, se consideró principalmente el módulo de elasticidad como propiedad relevante. Después de evaluar las cargas establecidas para el diseño y su geometría, se seleccionó el AISI 304, uno de los materiales más comunes en la

familia de los aceros inoxidables. Por otro lado, el AISI 316L y el AISI 201 no cumplían con las condiciones de carga establecidas, lo que hubiera resultado en un diseño sobredimensionado.

Además del cumplimiento de las condiciones de carga, se consideraron otros factores para la selección del material, como el stock disponible de cada material a nivel regional, su costo de venta y sus propiedades físicas, entre otros.

4.2.2. Análisis material en función a su geometría.

Para este análisis se consideraron tres perfiles diferentes usando varios tipos de materiales con el objetivo de seleccionar el que mejor se ajuste a las condiciones de diseño planteadas en la metodología es así como tras el análisis se obtuvieron los siguientes resultados a través de la selección del material AISI 304, AISI 316L y el AISI 20, los perfiles estructurales según su geometría son el perfil rectangular el perfil cuadrado y el perfil circular.

4.2.2.1. Análisis de los perfiles seleccionados.

Este análisis se realizó para seleccionar el tipo de geometría del perfil adecuado para el diseño, es así como se considera las siguientes variables como, el tipo de perfil y el material, la estructura tendrá una longitud de un metro y una carga aplicada en la mitad del perfil de 889,95 N con estos datos se obtuvieron los siguientes valores en la simulación que se evidencian a detalle en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de esfuerzo en función al perfil estructural.

Perfiles	Lím. elástico max [MPa]	Esfuerzo de fluencia max [MPa]	Def. max [mm]	Def. unitaria. max	FS min	Material
Rectangular 50x25x1,5	130	210	0,55	0,00062	1,4	AISI 304
	150	170	0,52	0,00058	1,1	AISI 316L
	150	290	0,50	0,00056	1,9	201AISI Rec.

Cuadrado 50x1,5	120	210	0,49	0,00036	1,7	AISI 304
	120	170	0,47	0,00033	1,4	AISI316L
	120	290	0,45	0,00032	2,4	201AISI Rec.
Circular 44,5x1,5	110	210	0,45	0,00014	1,8	AISI304
	150	170	0,44	0,00015	2,4	AISI316L
	120	290	0,43	0,00017	3	201AISI Rec.

FUENTE: SOLIDWORKS.

Todos los perfiles presentan un rango moderado siendo este 130 MPa, que al compararlo con el valor máximo del límite elástico para el material que en el caso del AISI 304 es de 210 MPa. El desplazamiento y la deformación son aceptables al no superar el límite de elasticidad y al tener un desplazamiento de 0,55 mm. Con base en estos resultados, se pueden considerar otros factores para seleccionar el material, como la facilidad de adquisición y el precio.

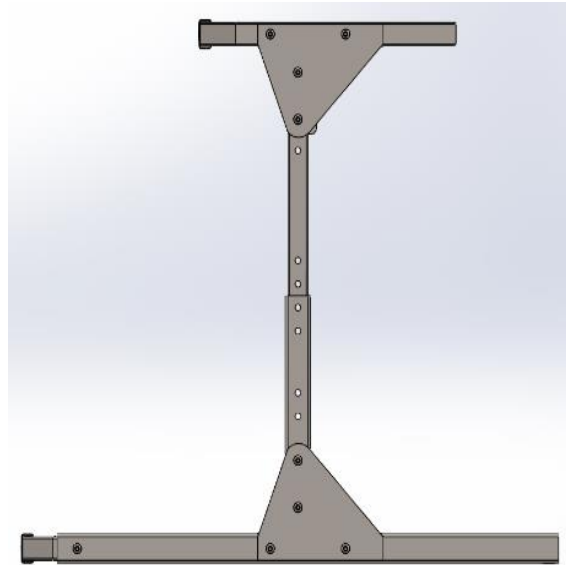
En los resultados, se observa que el límite elástico del análisis es bajo, en el AISI 304 a diferencia del el AISI 316L que tiene un límite elástico de 150 MPa y el AISI 201 con valor de 150 MPa. Para lo cual los valores son similares. Sin embargo, al considerar el desplazamiento en función de la carga aplicada, el AISI 304 tiene un desplazamiento de 0,55 mm en comparación con el AISI 316L con un desplazamiento de 52 mm y finalmente el AISI 201 con un desplazamiento de 0,5 mm y en función al factor de seguridad todos los materiales superan el valor de la unidad con un valor de 1,4 para el AISI 304, 1,1 para el AISI 316L y 1,9 para el AISI 201 recocido, debido a esto y al factor adquirido se procede a seleccionar el perfil rectangular AISI 304.

4.3. Cálculos del diseño.

4.3.1. Cálculo estático de la estructura.

Para realizar el cálculo correspondiente se considera la estructura del perfil izquierdo, al ser completamente simétrica se distribuirá la carga total en la estructura y dicha carga será la mitad de la carga total para este análisis como se muestra en la Ilustración 29.

Ilustración 29. Estructura para el cálculo en 2D.



ELABORADO POR: AUTORES.

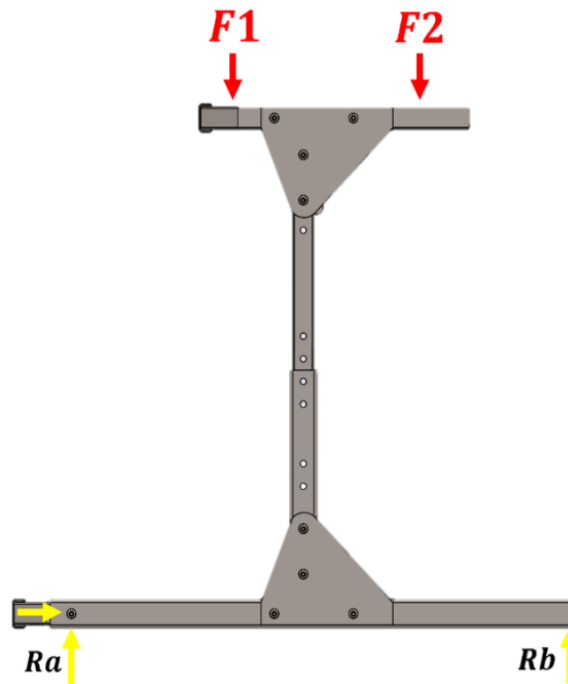
Para lo cual se deben considerar la masa del usuario, como no será para una sola persona se realizó un promedio de todas las personas que usaran la máquina obteniendo como resultado una masa de 90,718 kg. Para saber el valor del peso que está en función de la aceleración se usa la Ecuación 1.

$$\begin{aligned}W &= m g \\m &= 200 \text{ lb} = 90,718 \text{ kg} \\g &= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\W &= m g = 889,948 \text{ N}\end{aligned}$$

4.3.1.1. Análisis del segmento lateral de la estructura.

En el siguiente diagrama de cuerpo libre (DCL) se aprecia la dirección y la aplicación de las fuerzas que actúan en el diseño en el segmento lateral en 2D, estas fuerzas ejercerán un momento resultante además de una fuerza de oposición que serán las reacciones en los apoyos Ra y Rb como se muestra en la Ilustración 30, estas reacciones están colocadas en la posición de las ruedas de la máquina de modo que el perfil inferior no tiene contacto directo con el suelo sino a través de las ruedas.

Ilustración 30. Distribución de las fuerzas.

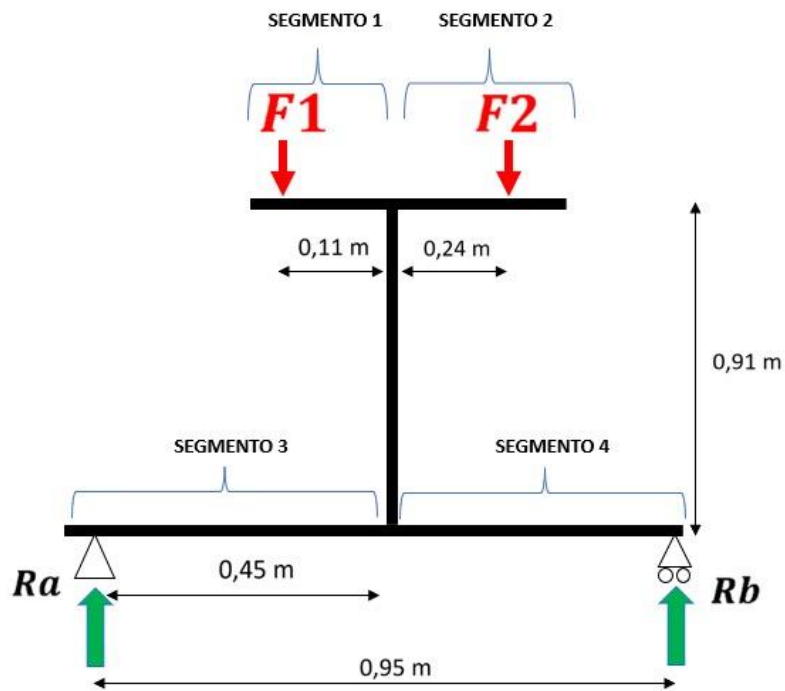


ELABORADO POR: AUTORES.

Se puede apreciar la configuración para la distribución de cargas y las reacciones que actúan sobre la estructura del diseño, como se evidencia. En la Ilustración 31, consta de dos reacciones que serán definidas como reacción Ra y reacción Rb . La flecha indica la dirección en el eje x , en el eje y de estas y como interactúan con la estructura de esta forma se podrán identificar los puntos críticos o de mayor concentración de esfuerzos del diseño.

La representación gráfica para la aplicación de las fuerzas en función a la longitud conocida como diagrama de cuerpo libre es de gran utilidad para poder realizar la sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos con el fin de identificar el valor de las reacciones como se muestra en la Ilustración 31, aquí se dividen a los perfiles por secciones para facilitar el cálculo y el resultado será el mismo para el otro lado de la estructura.

Ilustración 31. Diagrama de cuerpo libre DCL.



ELABORADO POR: AUTORES.

De esta forma el análisis se realizará en dos dimensiones considerando la simetría de la estructura para la cual se usará la Ecuación 2 y el resultado será el mismo tanto para el lado derecho como para el lado izquierdo de la máquina.

$$F = \frac{W}{2}$$

$$F = \frac{W}{2} = \frac{889,948 \text{ N}}{2} = 444,974 \text{ N}$$

Nota: La carga se distribuirá de forma equitativa en ambos lados, y la fuerza aplicada está distribuida de forma total en la estructura.

$$F1 = 222 \text{ N}$$

$$F2 = 222 \text{ N}$$

4.3.1.2. Sumatoria de momentos en el punto (b).

La sumatoria de momentos en el punto A se describe como la fuerza por la distancia que al despejar dará como resultado la reacción en (Rb) se usa la Ecuación 3.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$(-F1)(0,34m) - (F2)(0,69m) + (Rb)(0,95m) = 0$$

$$(-222 \text{ N})(0,34m) - (222 \text{ N})(0,69m) + (Rb)(0,95m) = 0$$

$$Rb = \frac{(222 \text{ N})(0,34m) + (222 \text{ N})(0,69m)}{0,95m} = 241 \text{ N}$$

4.3.1.3. Sumatoria de fuerzas.

A continuación, se procede a buscar la reacción en (Ra), una vez encontrado el momento resultante se puede realizar la sumatoria de fuerzas respectiva que se encuentran presente en la estructura con la ayuda de la Ecuación 4.

$$\Sigma x = 0$$

Al no interactuar fuerzas en el eje x de forma directa la sumatoria de fuerzas es cero.

$$\Sigma y = 0$$

$$-F1 - F2 + Rb + Ra = 0$$

$$-222 \text{ N} - 222 \text{ N} + 241 \text{ N} + Ra = 0$$

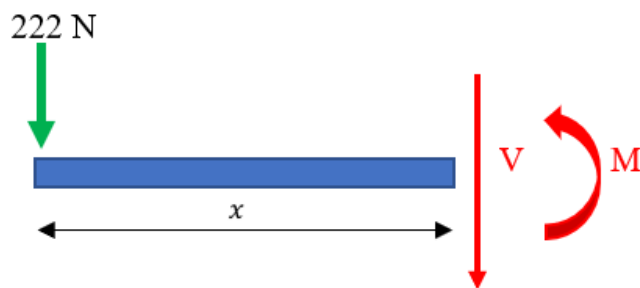
$$Ra = 203 \text{ N}$$

4.3.1.4. Cálculo de momentos (Momento Flector máximo).

Segmento 1.

Los momentos se calculan en función de las fuerzas que interactúan en la estructura realizado un análisis por segmento, esto implica un corte de la estructura para analizar el comportamiento de la fuerza y los valores que puede otorgar la resolución del cálculo, además con estos valores se puede graficar los momentos con el fin de obtener el momento flector máximo en la sección 1 como se aprecia en la Ilustración 32, para poder comprender el seccionamiento se debe revisar la Ilustración 31.

Ilustración 32. DCL. Segmento 1.



ELABORADO POR: AUTORES.

$$0 < x < 0,11$$

$$M + 222x = 0$$

$$M = -222x$$

$$M_0 = 222 \text{ N}(0 \text{ m}) = 0 \text{ Nm}$$

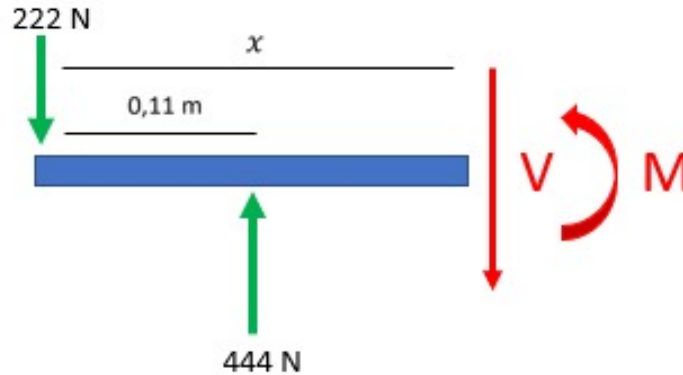
$$M_{0,11} = -222 \text{ N}(0,11 \text{ m}) = -24,42 \text{ Nm}$$

Segmento 2.

Los momentos se calculan en función de las fuerzas que interactúan en la estructura realizado un análisis por segmento, esto implica un corte de la estructura para analizar el comportamiento de la fuerza y los valores que puede otorgar la resolución del cálculo,

además con estos valores se puede graficar los momentos con el fin de obtener el momento flector máximo en la sección 2 como se aprecia en la Ilustración 33.

Ilustración 33. DCL esfuerzo segmento 2 aplicación de fuerza.



ELABORADO POR: AUTORES.

$$0,11 < x < 0,35$$

$$M + 222x - 444(x - 0,45) = 0$$

$$M = -222x + 444(x - 0,45)$$

$$M_{0,11} = -222 \text{ N}(0,11 \text{ m}) + 444 \text{ N}(0,11 \text{ m} - 0,11 \text{ m}) = -24,42 \text{ Nm}$$

$$M_{0,35} = -222 \text{ N}(0,35 \text{ m}) + 444 \text{ N}(0,35 \text{ m} - 0,11 \text{ m}) = 28,86 \text{ Nm}$$

NOTA: la diferencia de momentos en el segmento 1 y 2 da como resultado el momento flector máximo de la parte superior.

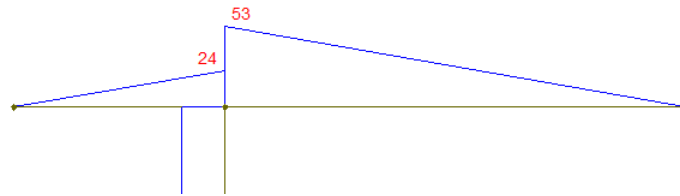
$$M_{\text{segmento 1}} + M_{\text{segmento 2}} = M_{\text{maximo}}$$

$$24,42 \text{ Nm} + 28,86 \text{ Nm} = 53,24 \text{ Nm}$$

En la validación podemos comprobar si los resultados obtenidos en el software son similares a los calculados, de esta forma se puede garantizar la veracidad de los valores obtenidos como respuesta como se aprecia en la Ilustración 34.

Validación.

Ilustración 34. Validación de resultados parte superior.



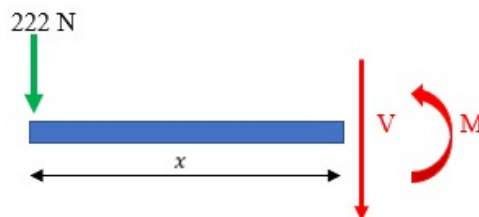
ELABORADO POR: AUTORES.

SEGMENTO INFERIOR.

Segmento 3.

Los momentos se calculan en función de las fuerzas que interactúan en la estructura realizado un análisis por segmento, esto implica un corte de la estructura para analizar el comportamiento de la fuerza y los valores que puede otorgar la resolución del cálculo, además con estos valores se puede graficar los momentos con el fin de obtener el momento flector máximo en la sección 3 como se aprecia en la Ilustración 35.

Ilustración 35. DCL. Segmento 3.



ELABORADO POR: AUTORES.

$$0 < x < 0,45$$

$$M - 203x = 0$$

$$M = 203x$$

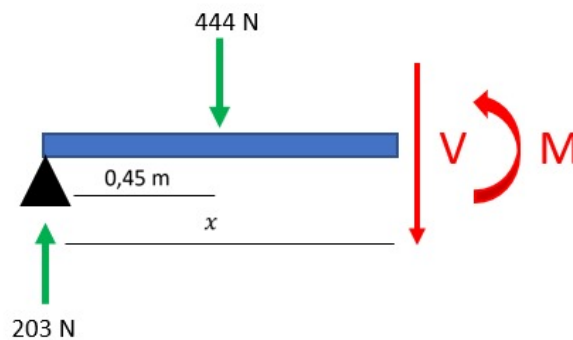
$$M_0 = 203 \text{ N}(0 \text{ m}) = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{0,45} = 203 \text{ N}(0,45 \text{ m}) = 91,35 \text{ Nm}$$

Segmento 4.

Los momentos se calculan en función de las fuerzas que interactúan en la estructura realizado un análisis por segmento, esto implica un corte de la estructura para analizar el comportamiento de la fuerza y los valores que puede otorgar la resolución del cálculo, además con estos valores se puede graficar los momentos con el fin de obtener el momento flector máximo en la sección 4 como se aprecia en la Ilustración 36.

Ilustración 36. DCL. Segmento 4



ELABORADO POR: AUTORES.

$$0,45 < x < 0,95$$

$$M - 203x + 444(x - 0,45) = 0$$

$$M = 203x - 444(x - 0,45)$$

$$M_{0,45} = 203 \text{ N}(0,45 \text{ m}) + 444 \text{ N}(0,45 \text{ m} - 0,45 \text{ m}) = 91,35 \text{ Nm}$$

$$M_{0,96} = 203 \text{ N}(0,95 \text{ m}) + 444 \text{ N}(0,95 \text{ m} - 0,45 \text{ m}) = -29,15 \text{ Nm}$$

NOTA: la diferencia de momentos en el segmento 3 y 4 da como resultado el momento flector máximo de la parte inferior.

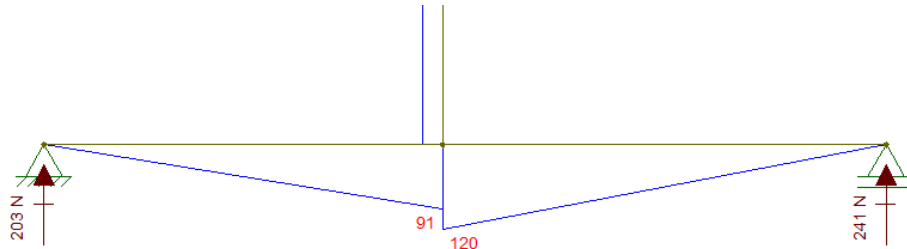
$$M_{\text{segmento 1}} + M_{\text{segmento 2}} = M_{\text{maximo}}$$

$$91,35 \text{ Nm} + 29,15 \text{ Nm} = 120,5 \text{ Nm}$$

En la validación podemos comprobar si los resultados obtenidos en el software son similares a los calculados, de esta forma se puede garantizar la veracidad de los valores obtenidos como respuesta como se aprecia en la Ilustración 37.

Validación.

Ilustración 37. Validación de resultados parte inferior.

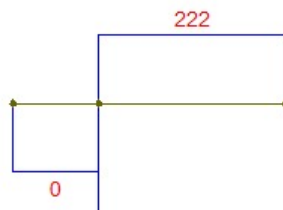


ELABORADO POR: AUTORES.

4.3.1.5. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.

A continuación, se presenta el resultado del diagrama de esfuerzos cortantes y sus respectivos valores en relación de la fuerza aplicada en varios puntos de estructura como se muestra en la Ilustración 38.

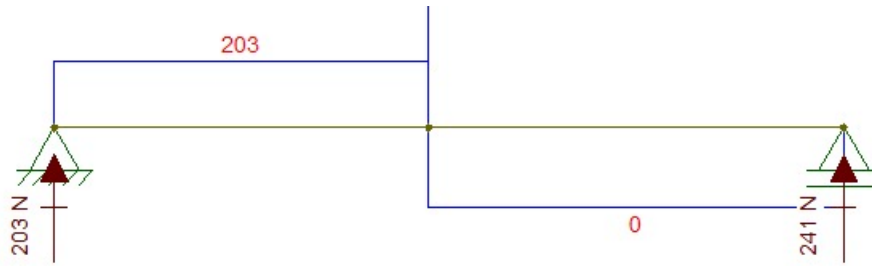
Ilustración 38. Diagrama de esfuerzos cortantes parte superior.



ELABORADO POR: AUTORES.

En función de las cargas que intervienen en la estructura se puede validar los resultados de las fuerzas cortantes donde se tiene una fuerza inicial de 222,478 N que actúa hacia abajo, sin embargo, existe una fuerza de oposición que será la resultante de las cargas que actúan sobre la estructura y esta fuerza de oposición es de 444,974 N que irá de forma ascendente oponiéndose a la fuerza uno. En el otro extremo existe una segunda fuerza de 222,478 N que se opondrá a la resultante dando como resultado un equilibrio de fuerzas de 0 N como se muestra en la Ilustración 39.

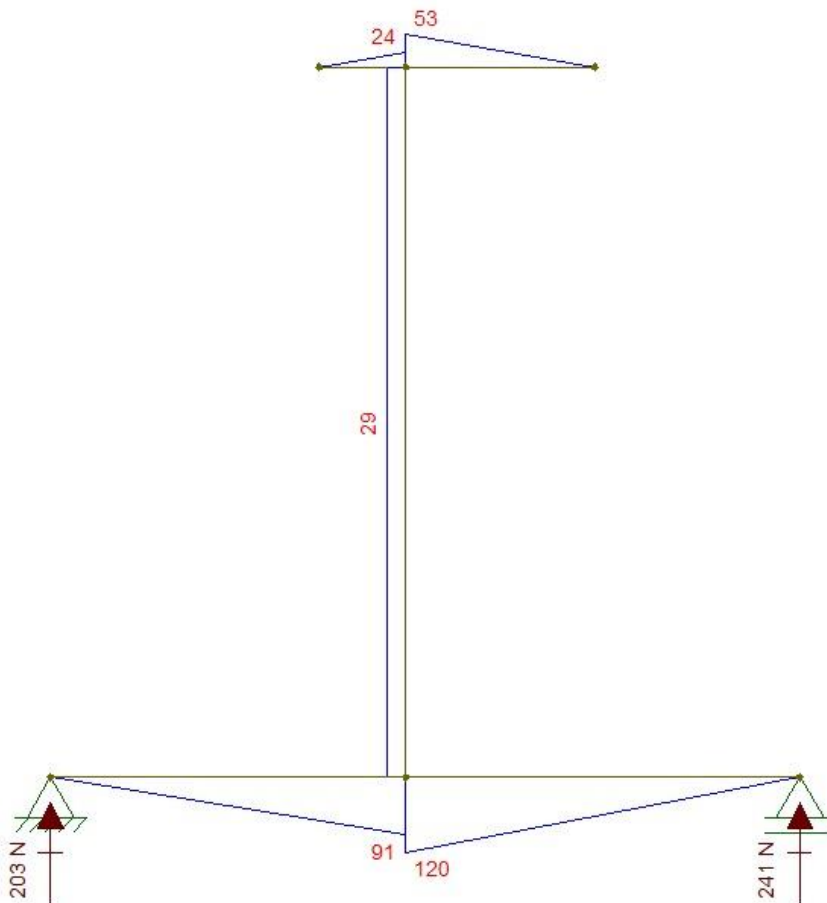
Ilustración 39. Diagrama de esfuerzos cortantes parte superior.



ELABORADO POR: AUTORES.

A continuación, se presenta el resultado del diagrama de momento flector y sus respectivos valores en la Ilustración 40.

Ilustración 40. Diagrama de momento flector.



ELABORADO POR: AUTORES.

4.3.1.6. Momento flector máximo.

Es así como el momento flector máximo es con la Ecuación 5.

$$M_{\max} = 120 \text{ Nm}$$

4.3.1.7. Cálculo del módulo elástico de la sección.

Para el cálculo del módulo elástico que es el límite elástico del material se debe considerar el momento flector máximo de la estructura y el esfuerzo permisible del material, para ello se debe usar la Ecuación 7.

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{Perm}}}$$

Para este análisis se considera un factor de seguridad de 2 y las propiedades del acero inoxidable AISI 304 se seleccionan de la Tabla 15.

Tabla 15. Factores de seguridad.

Aplicaciones	Factor de Seguridad [FS]
Para uso con materiales altamente fiables en los que las condiciones de carga y ambientales no sean severas y en los que el peso sea una consideración importante.	1,3-1,5
Para uso con materiales fiables en los que las condiciones de carga y ambientales no son severas.	1,5-2
Para uso con materiales ordinarios en los que las condiciones de carga y ambientales no son severas.	2-2,5
Para uso con materiales menos probados y frágiles en los que las condiciones de carga y ambientales no son severas.	2,5-3

Para uso con materiales cuyas propiedades no sean fiables y las condiciones de carga y ambientales no son severas o cuando se utilizan materiales fiables en condiciones difíciles. 3-4

FUENTE: ENGINEERINGTOOLBOX.COM.

ELABORADO POR: AUTORES.

En la Tabla 16 se pueden apreciar las propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304 como la resistencia mecánica, punto de fluencia, elongación y su respectivo valor de la prueba de dureza en Rockwell y Vickers.

Tabla 16. Propiedades mecánicas.

Resistencia mecánica		Punto de fluencia		Elongación min	Pruebas de dureza (MAX)	
[MPa]	[Ksi]	[MPa]	[Ksi]	[%]	ROCKWELLB	VICKERS
481	69,5	177	25,5	40	81,7	160

FUENTE: FERROCORTES S.A.S [90].

ELABORADO POR: AUTORES

El esfuerzo permisible es el valor mínimo de esfuerzo que puede soportar la estructura al aplicar una carga al elemento o la estructura sin que esta exceda su carga máxima de esfuerzo se pueden definir con la Ecuación 8.

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{\sigma_y}{FS}$$

Para este diseño se considera un factor de seguridad de 2 donde los parámetros requieren el uso de materiales fiables, aunque las condiciones de carga y ambientales no son severas, sin embargo, se debe garantizar la seguridad de la estructura.

$$FS = 2$$

El esfuerzo de fluencia del acero inoxidable es el siguiente:

$$\sigma_y = 25500 \text{ Psi} = 175,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{175,81 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{\text{perm}} = 87,905 \text{ Mpa}$$

4.3.1.8. Módulo elástico de la sección.

El módulo elástico de la sección es el límite elástico del material se debe considerar el momento flector máximo de la estructura y el esfuerzo permisible del material y se puede calcular de la siguiente forma usando la Ecuación 7.

$$S = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{perm}}} = \frac{120 \text{ Nm}}{87,905 \text{ MPa}} = 1,36 \text{ cm}^3$$

4.3.2. Cálculo de los esfuerzos en los pernos.

4.3.2.1. Fuerza cortante.

Para el primer análisis se tomará un perno de acero inoxidable AISI 304, la fuerza cortante, y las cargas en el perno por parte del tubo que al ser rectangular son dos caras o dos perfiles los que estarán en contacto directo.

4.3.2.2. Esfuerzo cortante.

El esfuerzo cortante se produce al aplicar una fuerza que genera una deformación en la parte del cuerpo donde la carga fue aplicada, esta deformación se representa como un deslizamiento de la posición original, se puede describir con la Ecuación 6 y se aplican como se muestra en la Ilustración 41.

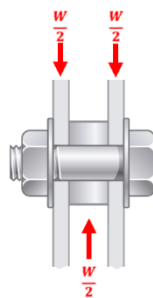
$$F_{\text{perfil}} = \frac{F}{2}$$

$$F_{\text{perfil}} = \frac{889,948 \text{ N}}{2} = 444,974 \text{ N}$$

$$W = \frac{F}{2}$$

$$F_{\text{perfil}} = \frac{444,974 \text{ N}}{2} = 222,487 \text{ N}$$

Ilustración 41. Aplicación de fuerzas.



ELABORADO POR: AUTORES.

Nota: La carga que actúa en cada segmento del perfil será de 222,487 N.

$$V = \frac{W_2}{10}$$

$$V = \frac{W_2}{10} = \frac{444,974 \text{ N}}{10} = 44,4974 \text{ N}$$

El esfuerzo cortante resultante será de 44,50 N porque se divide la carga total del segmento para el número de pernos que tendrá la estructura, y para este análisis se consideran 10 pernos de soporte por lateral.

4.3.2.3. Cálculo del diámetro del perno por esfuerzo cortante directo.

Para este cálculo se usa como referencia la Tabla 14, de propiedades mecánicas y se usa la Ecuación 9.

$$S_{sy} = 0,5(\sigma_y)$$
$$S_{sy} = 0,5(175,81 \text{ MPa})$$
$$S_{sy} = 87,905 \text{ MPa}$$

4.3.2.4. Diseño de pasadores.

Para el diseño de los pernos se debe considerar la fuerza en cortante que estará en función del área del perno como se muestra en la Ecuación 10.

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{S_{sy}}{FS}$$
$$\frac{4V}{\pi \cdot d^2} = \frac{S_{sy}}{FS}$$

Como no se conoce el área se procede a despejar en función de los valores conocidos, con el objetivo de poder encontrar el diámetro requerido, teniendo como resultado la Ecuación 11.

$$d = 2 \frac{V FS^{0,5}}{\pi S_{sy}}$$
$$d = 2 \left(\frac{22,25 \text{ N}(2)}{\pi(87,905 \text{ MPa})} \right)^{0,5}$$
$$d = 0,80 \text{ mm} = 0,0008 \text{ m}$$

Una vez obtenida el área del perno se procede a calcular el esfuerzo cortante al que estará sometido el perno con la Ecuación 10.

$$\tau = \frac{V}{A_{\text{perno}}}$$

El área del perno estará en función del diámetro teniendo como resultado lo siguiente, usando la Ecuación 12.

$$A_{\text{perno}} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{\pi(0,0008 \text{ m})^2}{4} = 5 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{44,50 \text{ N}}{5 \times 10^{-7} \text{ m}^2} = 4,39 \times 10^7 \text{ Pa} = 43,95 \text{ MPa}$$

4.3.2.5. Diseño de esfuerzo por aplastamiento.

Para el diseño de esfuerzos por aplastamiento se consideran las siguientes variables que son el límite de fluencia, el área proyectada y el peso o carga que soportará la estructura. Para ello se utilizará la Ecuación 13.

$$FS = \frac{\sigma_y A_P}{W}$$

El área proyectada será la multiplicación del diámetro con el espesor del soporte, que en este caso es el perfil tubular y se usa la Ecuación 14.

$$A_P = d e_p$$

$$e_p = 0,003 \text{ m}$$

$$A_P = (0,001 \text{ m})(0,003 \text{ m}) = 3,406 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$FS = \frac{(175,81 \text{ MPa})(3,406 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{222,487 \text{ N}} = 2,69$$

4.3.2.6. Cálculo del diámetro del perno por esfuerzo cortante directo AISI 1045.

En la Tabla 17 se muestran las propiedades mecánicas de los pernos AISI 1045.

Tabla 17. Propiedades mecánicas de los pernos.

Estado de suministro	Resistencia a la tracción [MPa]	Lím. elástico [MPa]	Alargamiento [%]	Reducción de área [%]	Dureza Brinell Aprox. HB
Laminado en caliente	441	196	25	45	140/180
Normalizado	490-588	343	30	55	150
Recocido	441-539	294	35	60	130/150
Calibrado	539-686	441	10	35	180/220
Cementado templado	686-833	441	15	45	-----

ELABORADO POR: AUTORES.

Para este caso se usa la Ecuación 9.

$$S_{sy} = 0,5\sigma_{y1045}$$

$$S_{sy} = 0,5(343 \text{ MPa})$$

$$S_{sy} = 171,5 \text{ MPa}$$

4.3.2.7. Diseño de pasadores.

A continuación, se presenta el cálculo para el diseño de pasadores con la finalidad de obtener el diámetro con el uso de la Ecuación 11, y el esfuerzo con la Ecuación 10.

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{S_{sy}}{F_s}$$

$$\frac{4V}{\pi \cdot d^2} = \frac{S_{sy}}{F_s}$$

$$d = 2 \frac{VF_s^{0,5}}{\pi S_{sy}}$$

$$d = 2 * \left(\frac{44,50 \text{ N}(2)}{\pi(171,5 \text{ MPa})} \right)^{0,5}$$

$$d = 0,16 \text{ mm} = 0,00016 \text{ m}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{V}{A_{\text{perno}}}$$

Área del perno

$$A_{\text{perno}} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{\pi(0,00016 \text{ m})^2}{4} = 1,29 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{22,25 \text{ N}}{5,062 \times 10^{-7} \text{ m}^2} = 4,395 \times 10^7 \text{ Pa} = 43956 \text{ MPa}$$

4.3.2.8. Diseño de esfuerzo por aplastamiento.

Para el diseño de esfuerzos por aplastamiento se tiene la Ecuación 13, y el área del perno con la Ecuación 14.

$$F_s = \frac{\sigma_{y1045} A_P}{W}$$

$$A_P = d e_P$$

$$e_P = 0,003 \text{ m}$$

$$A_P = 0,0008 \text{ m} * 0,003 \text{ m} = 2,4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_s = \frac{(175,81 \text{ MPa})(2,4 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{111,244 \text{ N}} = 3,8$$

4.4. Resultados de la aplicación de la metodología de diseño.

4.4.1. Diseño simple.

El diseño simple según la metodología trata de implementar menor cantidad de recursos lo que sugiere que la manufactura se realice de forma que la estructura conforme un sólido completo haciendo uso de las uniones soldadas sin elemento de sujeción extraíbles lo que indica que el material seleccionado será de la misma dimensión para toda la estructura.

4.4.1.1. Resultados de simulación del diseño no regulable.

Basado en el análisis llevado a cabo en la simulación para comprobar la resistencia de los materiales seleccionados en este estudio, considerando factores como el límite elástico para evitar excederlo, así como identificar el límite máximo de desplazamiento y su factor de seguridad, se realizó una comparación entre los materiales evaluados. Un resumen de los resultados obtenidos se presenta a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18. Resultados de esfuerzos y deformación general.

Diseño estructural [mm]	Esfuerzo Máx. [MPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Def. [mm]	Def. unitaria.	FS	Material
Perfil rect. 25x50x1,5 4pa	54	210	0,99	0,00023	5,4	AISI 304
	55	170	0,94	0,00022	3,1	AISI 316L
	54	290	0,91	0,00021	5,4	201AISI Rec.
Perfil rect. 25x50x2 4pa	42	210	0,74	0,00015	4,9	AISI 304
	47	170	0,71	0,00015	3,6	AISI 316L
	36	290	0,69	0,00017	8	201AISI Rec.
Perfil rect. 25x50x2 3pa	41	210	0,45	0,00014	5	AISI304
	45	170	0,44	0,00015	3,8	AISI 316L
	42	290	0,43	0,00017	7	201AISI Rec.

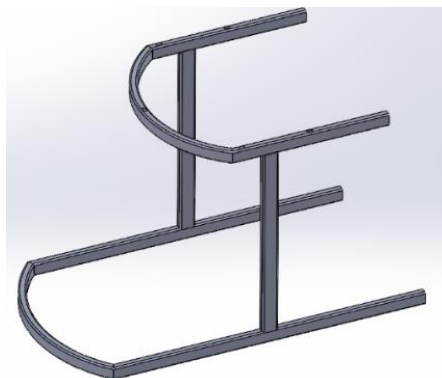
FUENTE: SOLIDWORKS.

Como se aprecia en la tabla todos los materiales seleccionados para el perfil rectangular 50X25X1,5 y para la estructura del diseño están por debajo del límite elástico del material en función del cálculo realizado y los resultados obtenidos, que en este caso se consideraron tres materiales como el AISI 304, AISI 316 y EL AISI 201 recocido SS, pero de estos el material seleccionado es el AISI 304 por ser el más comercial, por su excelente resistencia a la corrosión y por su precio de distribución considerando que en el análisis matemático no superó el límite elástico del material con un valor de 54 MPa, siendo el límite del material 210 MPa, con un desplazamiento de 0,99 mm y un factor de seguridad de 5,4.

4.4.1.2. Geometría de la Estructura.

La geometría de la estructura fue seleccionada en función a la resistencia del perfil y la posibilidad de adquisición del material en cuestión, esto debido a que al ser material inoxidable suelen ser escasos y con costos muy elevados a diferencia del acero comercial como el A36, esto gracias a que sus propiedades físicas y mecánicas del AISI 304 existencia a la corrosión es mayor que la de A36 en la Ilustración 42 se muestra la geometría de uno de los diseños de la máquina.

Ilustración 42. Geometría de la máquina diseño simple.



ELABORADO POR: AUTORES.

Este diseño soportó la carga aplicada de 889,95 N, en un análisis que hace referencia a una masa de 90,8 kg que son 200 lb que pertenecen a uno de los pacientes, en este valor se incluye el factor de la capacidad máxima de diseño de la máquina.

4.4.2. Propiedades físicas de la máquina compacta.

A continuación, se presentan en la Tabla 19, los resultados correspondientes a la longitud del material útil para el diseño y la masa de la máquina se considera una longitud de 6 m.

Tabla 19. Propiedades físicas de diseño simple.

Perfiles [mm]	Material	Masa [Kg]
25x50x2	AISI 304	12,65
	AISI 316 L	12,69
	AISI 201 REC	12,43
25x50x1,5	AISI 304	12,65
	AISI 316 L	12,69
	AISI 201 REC	12,43

FUENTE: SOLIDWORKS.

Para el diseño simple la longitud del material no supera la dimensión base del perfil comercial por lo tanto con un solo perfil se podrá diseñar una máquina esto representará un ahorro, pero limita los requerimientos del diseño para su aplicación en el área de trabajo.

4.4.3. Diseño desmontable.

El diseño desmontable está compuesto por elementos ensamblados con tornillos y tuercas para su fácil desmontaje y operación, que será ajustable a la antropometría del paciente es así como esta máquina está compuesta por 16 elementos estructurales de varias medidas, pero de un mismo material que es el AISI 304 en función a la selección realizada.

4.4.3.1. Resultados de la simulación del diseño regulable a su longitud máxima.

A continuación, se presentan los resultados de la simulación para configuración de la máquina de rehabilitación regulable en la Tabla 20, donde se indican los valores más relevantes del análisis.

Tabla 20. Resultados de esfuerzos para el diseño regulable.

Diseño estructural [mm]	Lím elástico [MPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Def. [mm]	Def. unitaria.	FS min	Material
Perfil rectangular	96,18	206,81	1,34	0,0002734	2,2	AISI 304
	83,95	170	1,28	0,0002203	2	AISI 316L
	83,79	292	1,23	0,0002138	3,5	201 AISI Rec.

FUENTE: SOLIDWORKS.

Estos resultados sugieren que todos los materiales seleccionados para el análisis cumplen con los requerimientos de diseño y todos se encuentran dentro del límite elástico de cada uno de los materiales, dado esto se procede a considerar los otros factores para la selección del material como stock comercial y el precio de venta teniendo en consideración estos elementos el material más factible es el AISI 304 por ser comercial y económico además de cumplir con las normas de diseños para elementos y equipos médicos con un límite elástico máximo de 96,18 MPa Un desplazamiento de 1,34 mm y un factor de seguridad de 2,2 Al igual que en el análisis del diseño compacto simple, el límite elástico del material AISI 304 no es superado por la carga aplicada, este valor se encuentra dentro de los parámetros establecido del diseño al igual que el AISI 316L y el AISI 201, que cuentan con un límite elástico máximo de 83,95 MPa y 83,79 MPa Por otro lado, el desplazamiento es mayor en el AISI 304 siendo este de 1,34 mm, para el AISI 316L el desplazamiento es de 1,28 mm y para el AISI 201 es de 1,23 mm, pero como se puede observar el desplazamiento es mínimo es menor de 1 mm y por ello es imperceptible al análisis visual, debido a esto sus factores de seguridad son mayores en el caso del AISI 316 L es de 2 y para el AISI 201 es de 3,5 siendo valores alejados de la unidad por lo que el diseño es aceptable.

4.4.4. Propiedades físicas de la máquina desmontable.

A continuación, en la Tabla 21 se presentan los resultados en función a la cantidad de material a usar con la configuración del diseño desmontable y la masa de la estructura se considera una longitud de 6,5 m útiles para el diseño.

Tabla 21. Propiedades físicas generales de la Máquina de rehabilitación.

Perfil	Material	Masa [Kg]
25x50x2	AISI 304	14,41
	AISI 316 L	14,46
	AISI 201 REC	14,15

FUENTE: SOLIDWORKS.

En función a los resultados obtenidos tienen que para todos los materiales la masa es similar todas se encuentren entre el rango de los 14 y 15 kg siendo para el AISI 304 de 14,41 kg.

4.4.4.1. Longitud del material.

En la Tabla 22, se presentan la cantidad de material útil en función al tipo de perfil que se va a usar para la manufactura de la máquina de rehabilitación para personas con problemas de movilidad

Tabla 22. Longitud del material en función al tipo de perfil.

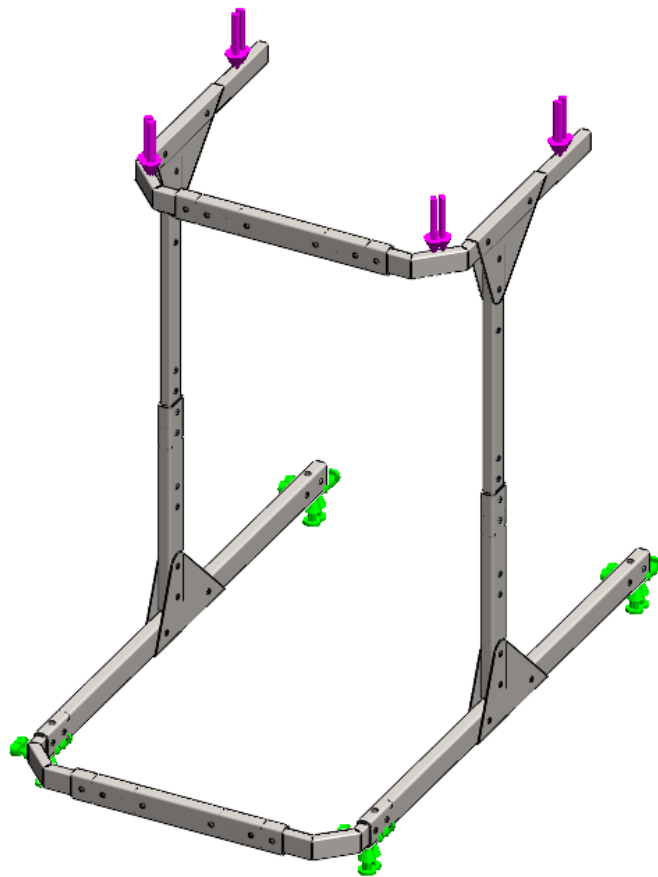
Tipos de perfil	Denominación	Longitud [mm]
Rectangular	40x20x1,5	2970
	50x25x1,5	3500
Circular	22	1500
	25,4	1500

ELABORADO POR: AUTORES.

4.4.5. Geometrías estructurales desmontable límite máximo.

La estructura modular regulable que se muestra en la Ilustración 43 se ajusta a las necesidades del paciente brindando una altura máxima de 0,92 m de perfil a perfil y del suelo a la parte superior al suelo 1 m y un ancho máximo interior de 0,70 m la estructura contará con uniones empernadas para su fácil desmontaje y transporte usando la metodología de diseño estructural para equipos destinados al área de medicina.

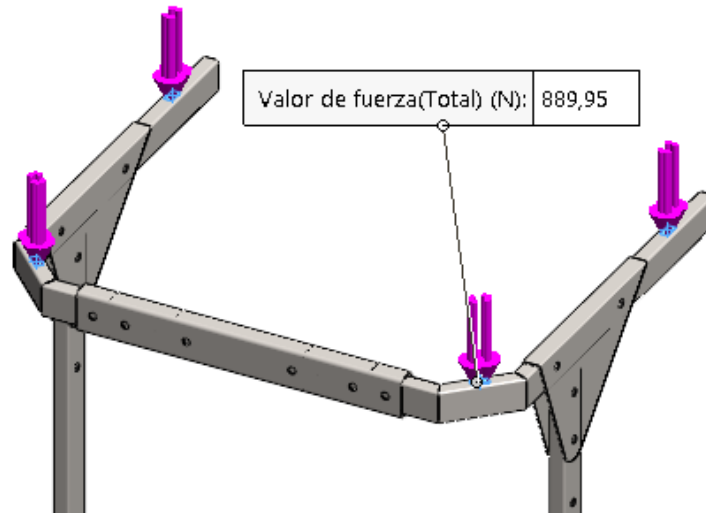
Ilustración 43. Geometría de la máquina de diseño desmontable límite máximo.



ELABORADO POR: AUTORES.

Las cargas se aplicaron con un valor total de 889,95 en los 4 puntos como se aprecia en la Ilustración 44, esta carga se representa con las flechas de color morado pertenece a la carga aplicada en función a la masa de uno de los pacientes.

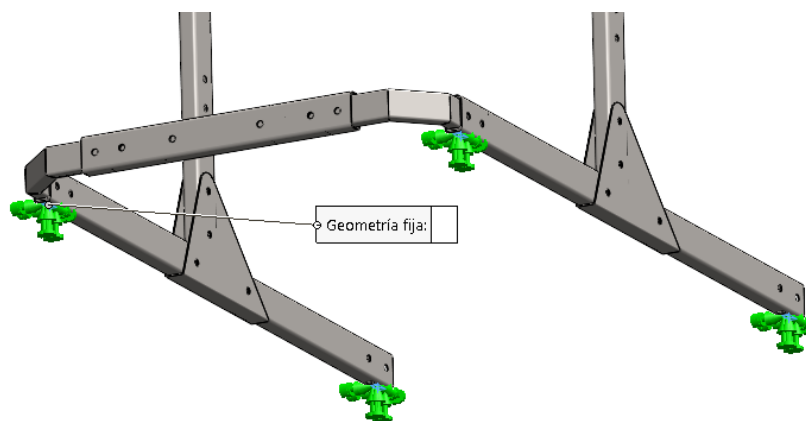
Ilustración 44. Demostración de valor y aplicación de la fuerza.



ELABORADO POR: AUTORES.

Para las reacciones estas se sitúan en la parte inferior de la máquina en la zona en donde se ubican las ruedas como se aprecia en la Ilustración 45 representada con las flechas de color verde.

Ilustración 45. Ubicación de las reacciones en la estructura.

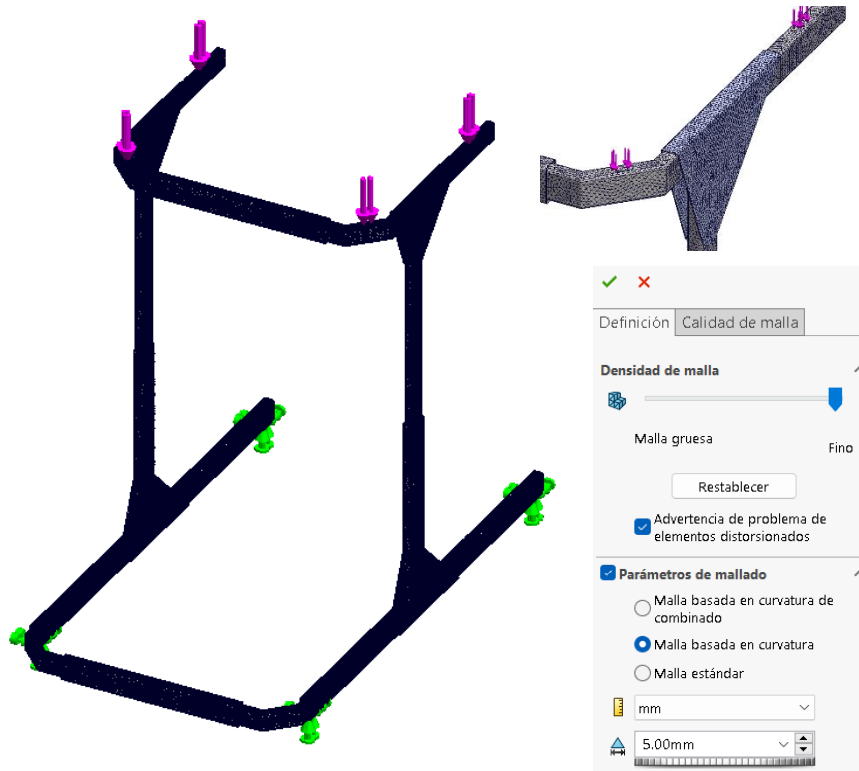


ELABORADO POR: AUTORES.

4.4.5.1. Aplicación de la mallada configuración máxima.

El mallado usado en este análisis debido a la geometría de la estructura es el basado en curvatura con especificación en tipo de mallado fino como se muestra en la Ilustración 46.

Ilustración 46. Tipo de malla aplicada.



ELABORADO POR: AUTORES.

El tipo de mallado fino garantiza resultados más precisos en el análisis en la Tabla 23, se muestra la información concerniente al tipo de malla usada.

Tabla 23. Información de malla.

Designación	Característica
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño máximo de elemento	5 mm

Tamaño mínimo del elemento	2.5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

FUENTE: SOLIDWORKS.

De modo que para poder analizar a detalle la información del mallado podemos ver en la Tabla 24, factores como número de nodos, número de elementos entre otros.

Tabla 24. Información de malla detalles.

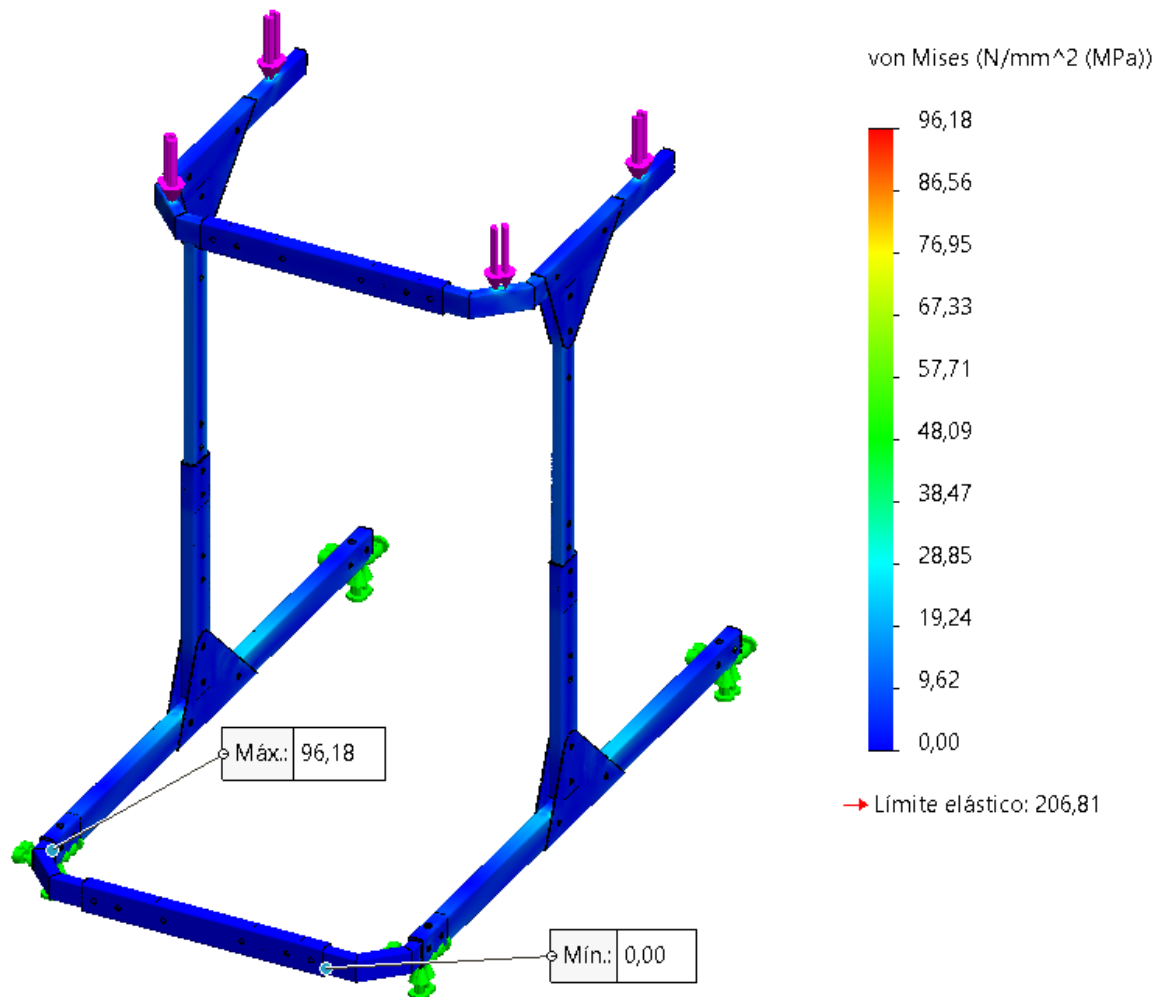
Designación	Característica
Número total de nodos	1143882
Número total de elementos	576181
Cociente máximo de aspecto	177,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	66,7
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,605
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:01:11

FUENTE: SOLIDWORKS.

4.4.5.2. Resultados simulación tensión de Von mises límite máximo.

Como se puede apreciar en la Ilustración 47 el análisis los puntos críticos en función a la carga establecida la sección roja es donde se presenta la deformación en la estructura sin superar el límite elástico del material AISI 304 y con un desplazamiento que no es superior a un milímetro esto gracias a los apoyos colocados en la estructura con la aplicación de fuerza por encima del valor máximo de masa corporal de los pacientes siendo este de 889,95 N, aun seleccionado este valor para el análisis se comprobó que la máquina puede soportar más carga que la establecida ya que el análisis se llevó a cabo considerando al paciente con el valor más alto de masa corporal de la institución.

Ilustración 47. Simulación de resultados de tensión de Von Mises.



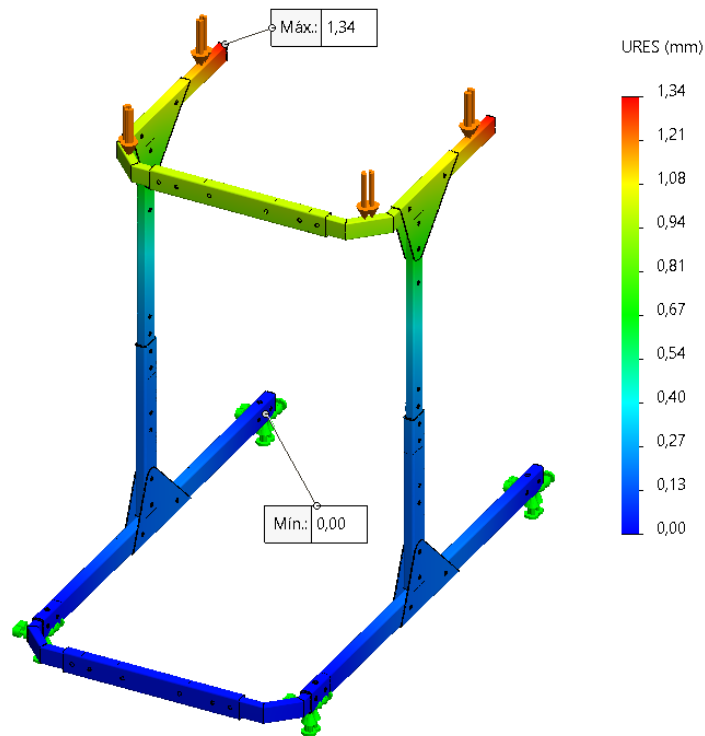
ELABORADO POR: AUTORES.

Nota: a pesar de no haber superado el límite elástico del material se puede evidenciar en las zonas con decoloración alejada al tono azul las cuales son los elementos y en donde se sitúan los puntos críticos del análisis que son las áreas de aplicación de fuerza y el centro del perfil que se encuentra alejado de los puntos de apoyo que en el caso de esta máquina serían las ruedas en esta sección se encuentra el límite máximo alcanzado por el diseño en función a la carga.

4.4.5.3. Resultados simulación del desplazamiento máximo límite máximo.

Por otro lado, durante el desplazamiento se marcan las secciones de la estructura que sufrirán deformaciones, como se muestra en la Ilustración 48, las cuales no son consideradas excesivas ya que son imperceptibles a simple vista. Además, como el límite elástico del material no se ha sobrepasado, la estructura se deforma temporalmente y luego regresará a su estado original.

Ilustración 48. Simulación de resultados del desplazamiento.



ELABORADO POR: AUTORES.

En esta configuración, los puntos críticos se localizan en la sección más alejada de las zonas de apoyo, ya que la dimensión del perfil se extiende más de 60 cm. Los refuerzos actuales en la estructura son perfiles verticales que se ubican en la sección donde se sujeta el arnés de seguridad.

La sección en la que se puede evidenciar los puntos críticos se encuentra en la parte de atrás del perfil superior en donde se evidencia que mientras más alejado de la tonalidad azul se

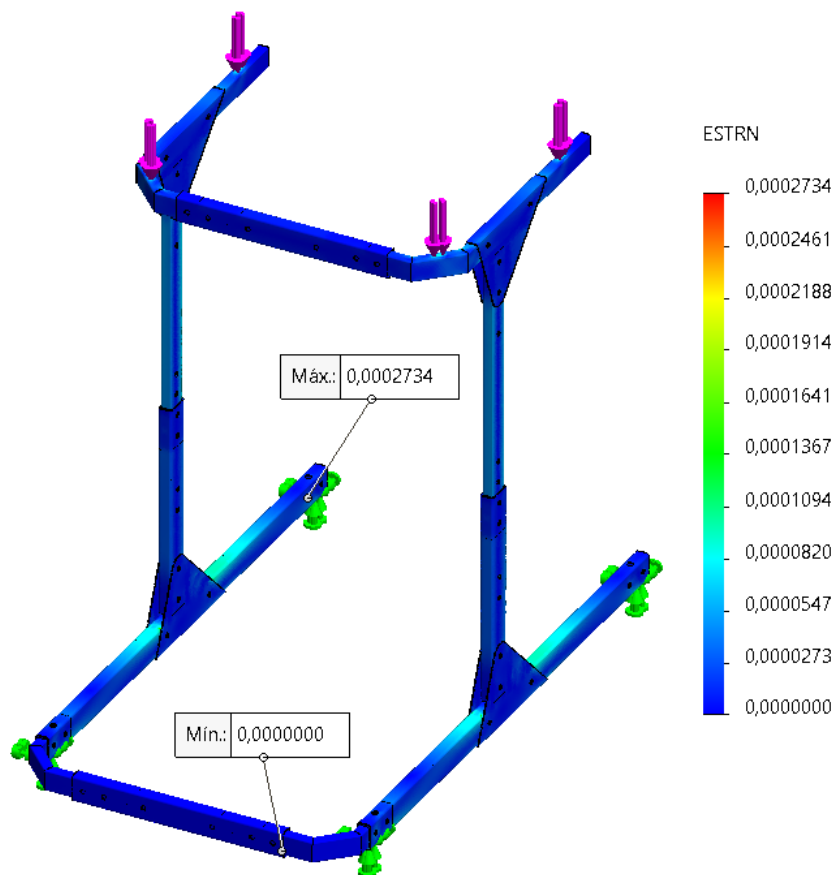
encuentra, más cerca estará de la deformación es decir solo la parte superior presenta mayor esfuerzo.

La deformación en función al desplazamiento se encuentra en la parte superior de la estructura esto dado que las cargas se aplicaron en esta sección, como se evidencia en la gráfica la deformación es mínima en su configuración máxima, y se disipa de forma gradual a medida que se acerca a los refuerzos.

4.4.5.4. Resultados deformaciones máxima.

Para la deformación unitaria tenemos valores de 0,0002734 y como se aprecia en la Ilustración 49, los puntos críticos se encuentran en las uniones cerca de los refuerzos se aprecian con mayor intensidad en los perfiles inferiores

Ilustración 49. Deformación configuración máxima.



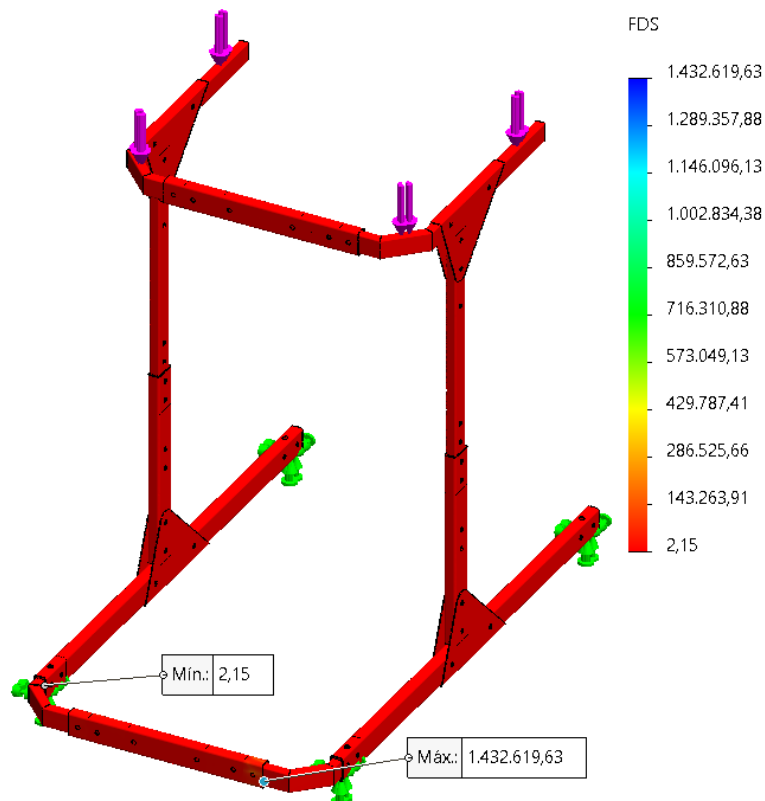
ELABORADO POR: AUTORES.

Nota: En la representación del resultado obtenido para la deformación unitaria nótese que los puntos en donde existe deformación se aprecian colores más claros acercándose al rojo que sería la representación del valor máximo.

4.4.5.5. Resultados del factor de seguridad longitud máxima.

En el análisis del factor de seguridad se puede decir que mientras más lejos de la unidad se encuentre tendrá mayor posibilidad de carga en el caso de esta configuración su factor de seguridad mínimo es de 2,83 lo que indica que puede soportar el doble de la carga establecida en el diseño es decir está dentro de los parámetros como se muestra en la Ilustración 50.

Ilustración 50. Factor de seguridad de la configuración máxima.

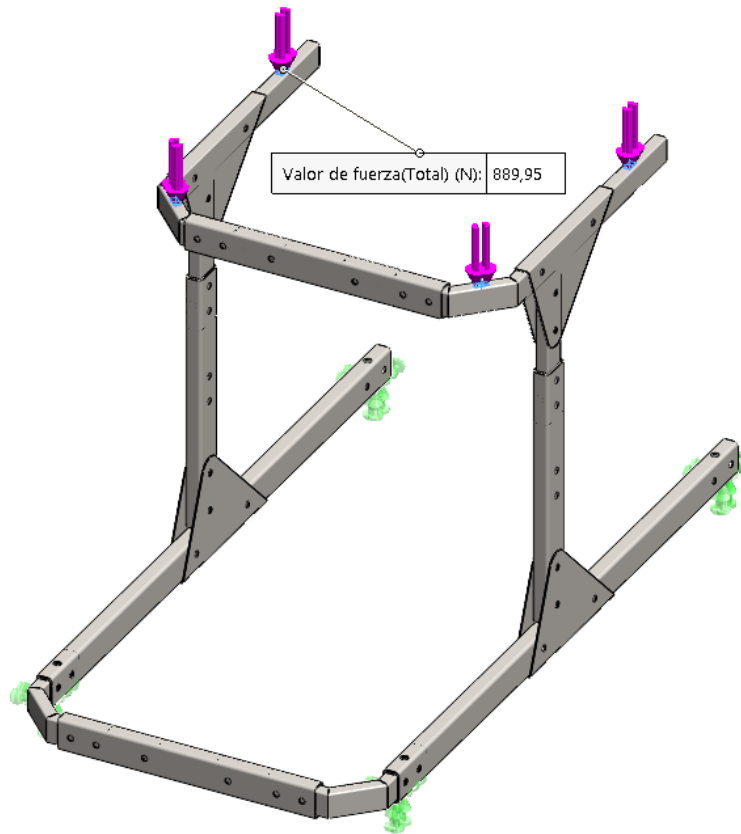


ELABORADO POR: AUTORES.

4.4.6. Resultados de la simulación del diseño regulable límite mínimo.

La siguiente configuración presentada en la Ilustración 51 es la representación de la máquina en su longitud mínima los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 27 las cargas se proyectan de forma vertical en color morado mientras que los apoyos o sujeciones se lo puede apreciar en la parte inferior de color verde.

Ilustración 51. Geometría de la máquina de diseño desmontable límite mínimo.



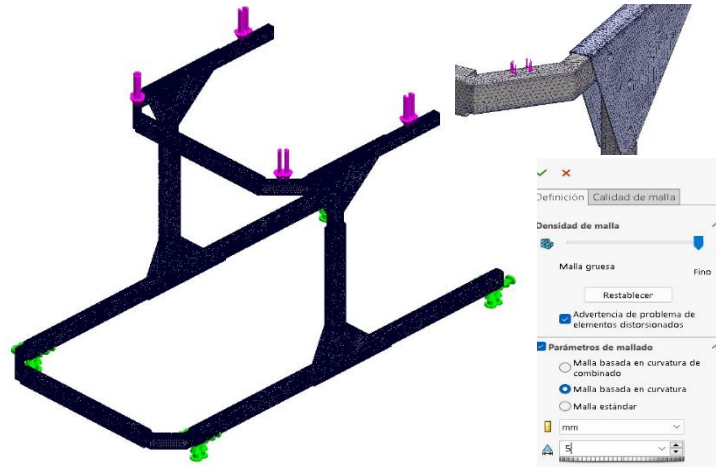
ELABORADO POR: AUTORES.

La aplicación de la fuerza está designada como un valor total para cada uno como es el mismo análisis con diferentes configuraciones de longitud para la altura para poder apreciar de mejor forma véase la Ilustación 44 y 45 en donde se aprecia de mejor forma la designación de las sujeciones y la ubicación de las fuerzas.

4.4.6.1. Aplicación de la mallada configuración mínima.

El mallado usado en este análisis debido a la geometría de la estructura es el basado en curvatura con especificación en tipo de mallado fino como se muestra en la Ilustración 52.

Ilustración 52. Mallado usado en el análisis.



ELABORADO POR: AUTORES.

El mallado usado en este análisis debido a la geometría de la estructura es el basado en curvatura con especificación en tipo de mallado fino usando el método jacobiano.

El tipo de mallado fino garantiza resultados más precisos en el análisis en la Tabla 25 se muestra la información concerniente al tipo de malla usada.

Tabla 25. Información de malla configuración mínima.

Designación	Característica
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño máximo de elemento	5 mm
Tamaño mínimo del elemento	2,5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

FUENTE: SOLIDWORKS.

De modo que para poder analizar a detalle la información del mayado podemos ver en la Tabla 26, los factores como número de nodos, número de elementos entre otros.

Tabla 26. Información de malla detalles.

Designación	Característica
Número total de nodos	1146647
Número total de elementos	577502
Cociente máximo de aspecto	177,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	66,6
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,598
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:02:20

FUENTE: SOLIDWORKS.

En la Tabla 27, se muestran los resultados a detalle del análisis realizado en la simulación con el software SolidWorks.

Tabla 27. Resultados de esfuerzos para el diseño regulable configuración mínima.

Diseño estructural [mm]	Lím. de fluencia Max. [MPa]	Lim. de fluencia del Material [MPa]	Def. [mm]	Def. unitaria	FS min	Material
Perfil rectangular	89,81	206,81	0,54	0,0002683	2,3	AISI 304
	85,09	170	0,51	0,0002206	2	AISIS 316L
	85,02	292	0,49	0,0002142	3,4	201 AISI Rec.

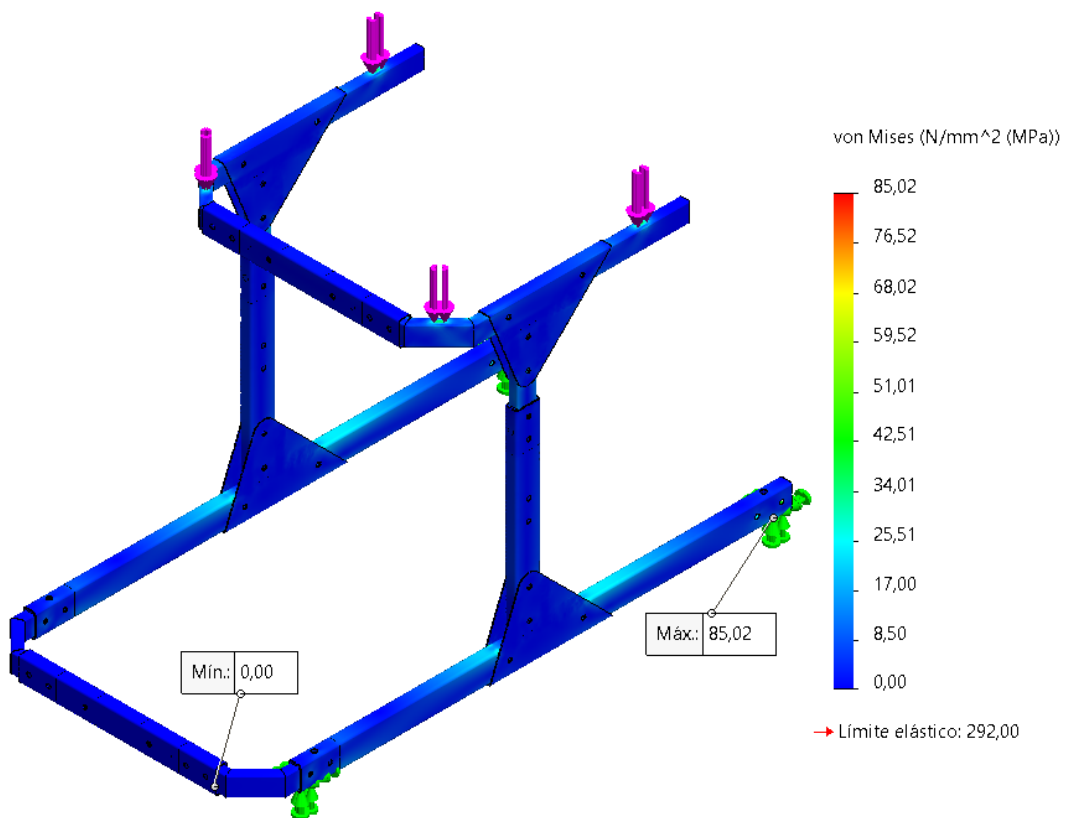
ELABORADO POR: AUTORES.

En este análisis se considera una estructura con longitud mínima de trabajo, la cual cuenta con una dimensión de 0,65 m entre perfiles y una altura de 0,75 m desde el perfil superior hasta el suelo, con un ancho mínimo de 0,51 m. Esto la hace adecuada para ser utilizada en áreas pequeñas y anchas como para el ingreso a una máquina caminadora.

4.4.6.2. Resultados simulación tensión de Von mises límite mínimo.

En esta configuración a diferencia de la anterior los puntos críticos se encuentran situados más cercanos a los apoyos laterales al encontrarse en su límite mínimo las condiciones del diseño mejora significativamente debido que al ser una estructura modular regulable los perfiles tenderán a encontrarse en un punto lo que ayudará soportar de mejor forma la carga aplicada como se muestra en la Ilustración 53.

Ilustración 53. Resultados tensión de Von Mises configuración mínima.



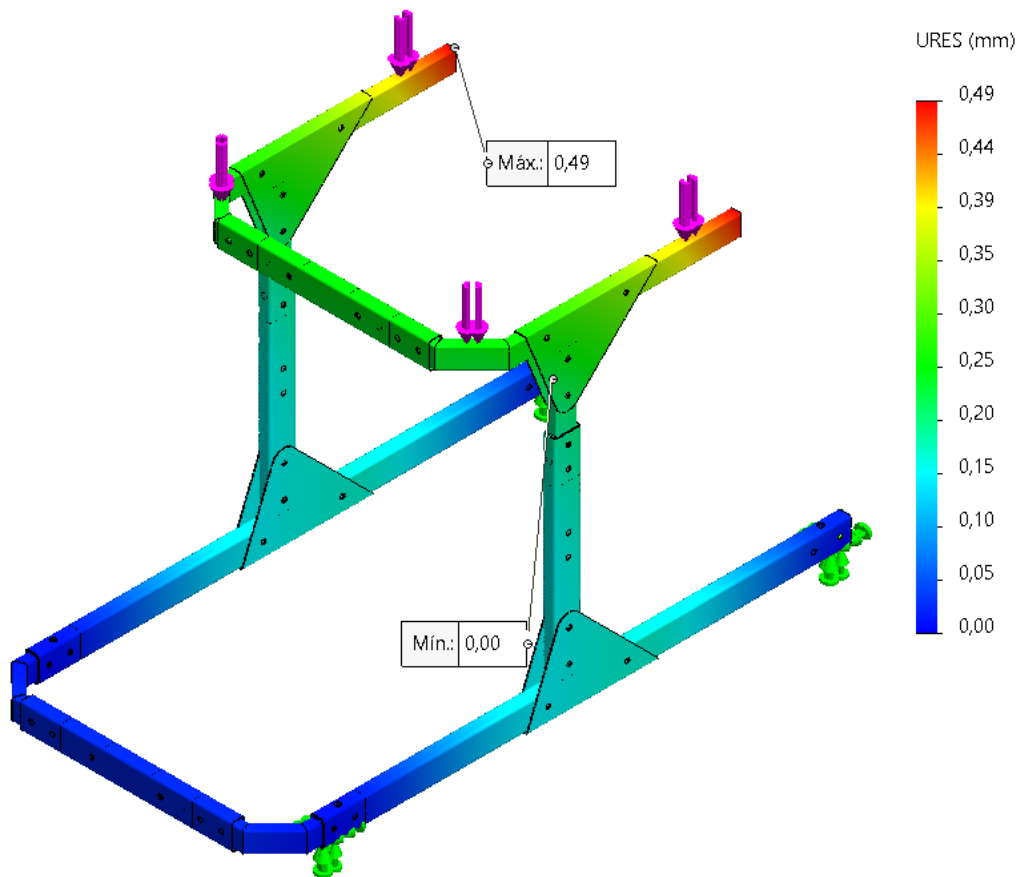
ELABORADO POR: AUTORES.

Nota: En este caso el límite elástico del material no es superado por lo que el diseño es funcional con la carga aplicada y al ser un valor de menos del doble del establecido se puede aplicar una carga mayor a la indicada.

4.4.6.3. Resultados simulación del desplazamiento máximo configuración mínima.

El desplazamiento máximo en esta configuración se presenta en el mismo punto que en la configuración anterior pero el desplazamiento es mínimo siendo de 0,49 mm esto debido a que al minimizar la longitud aumenta la capacidad de soportar la carga aplicada como se muestra en la Ilustración 54.

Ilustración 54. Resultados del desplazamiento configuración mínima.



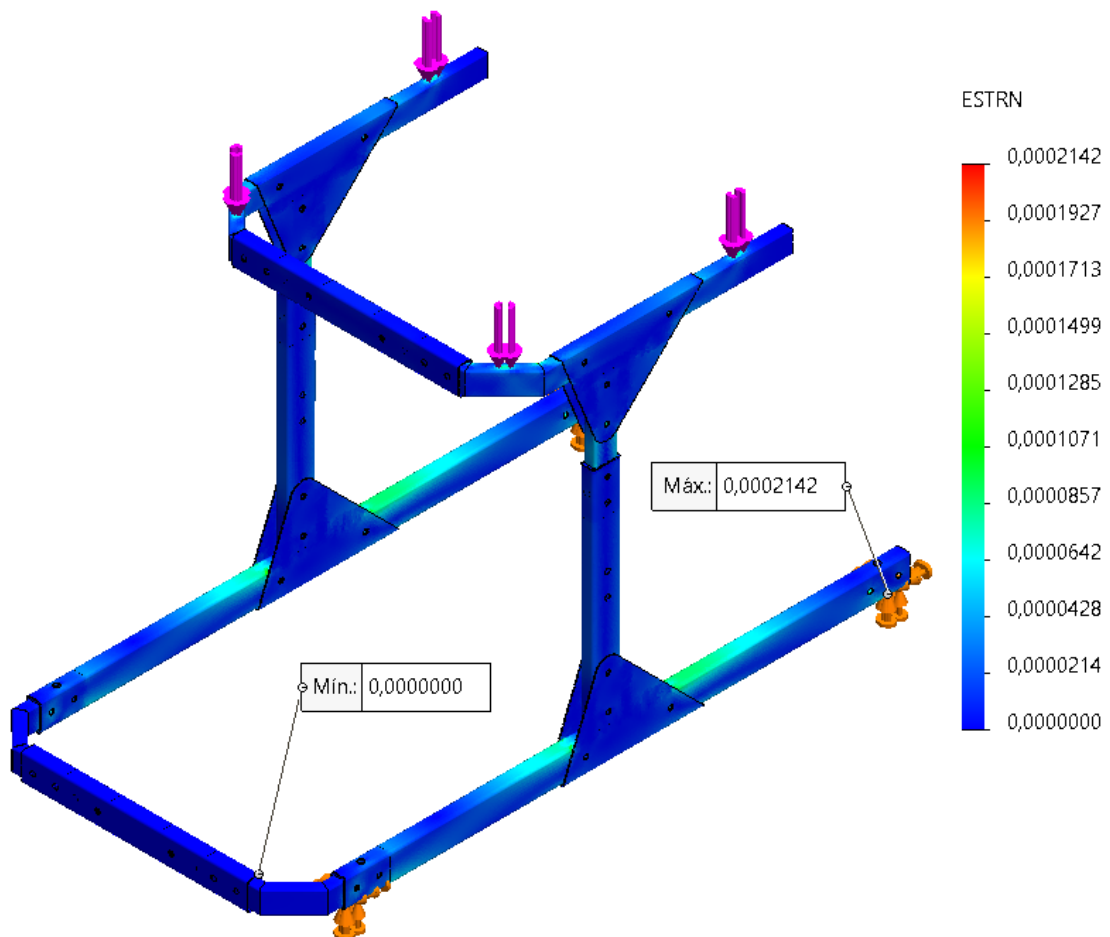
ELABORADO POR: AUTORES.

Con la aplicación de la carga se puede apreciar que esta se distribuye a lo largo de la estructura y a medida que se acerca a los puntos de apoyo se va disipando por lo que la deformación se encontrara en la parte posterior de la máquina, dado que los perfiles se separan en esta sección.

4.4.6.4. Resultados de la deformación.

Para la deformación unitaria tenemos valores de 0,0002142 y como se aprecia en la Ilustración 55 los puntos críticos se encuentran en las uniones cerca de los refuerzos se aprecian con mayor intensidad en los perfiles inferiores.

Ilustración 55. Deformación unitaria configuración mínima.

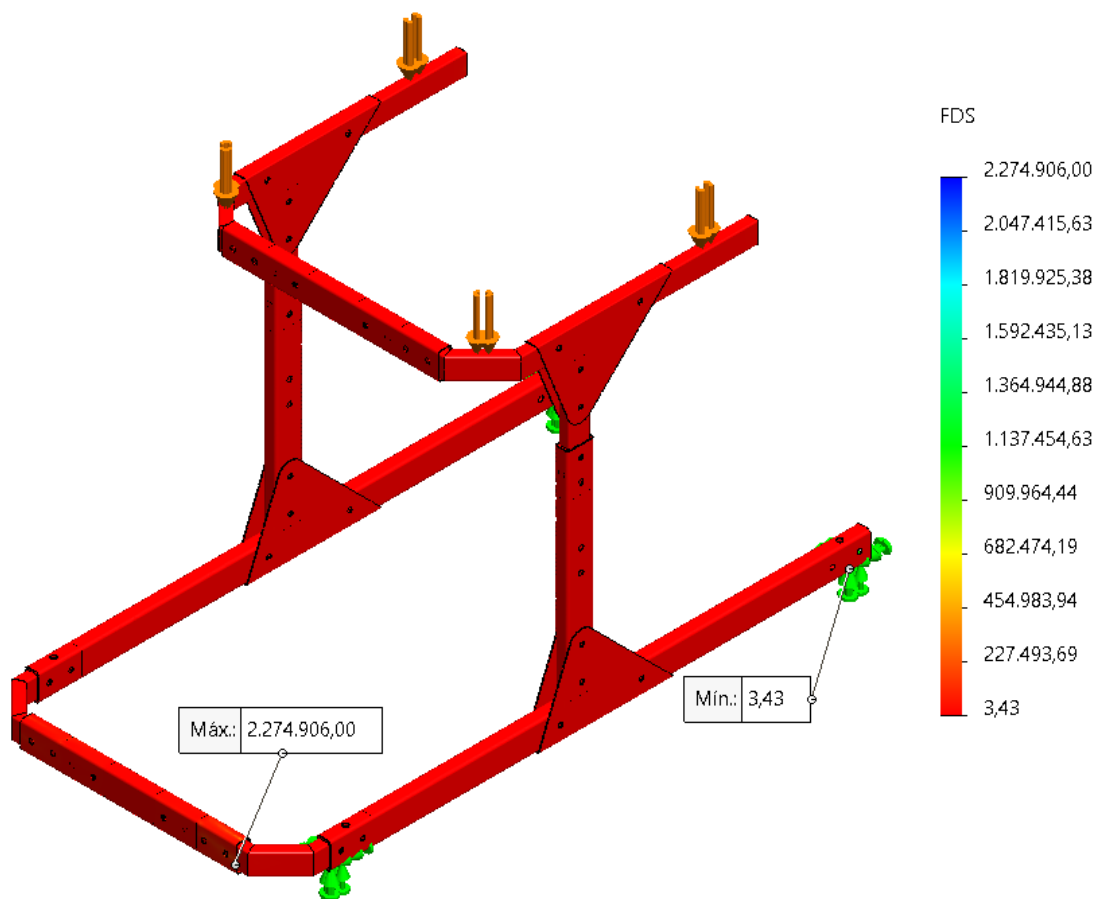


ELABORADO POR: AUTORES.

4.4.6.5. Resultados del factor de seguridad longitud mínima.

En el análisis del factor de seguridad se puede decir que mientras más lejos de la unidad se encuentre tendrá mayor posibilidad de carga en el caso de esta configuración su factor de seguridad mínimo es de 3,43 lo que indica que puede soportar el doble de la carga establecida en el diseño es decir está dentro de los parámetros como se muestra en la Ilustración 56.

Ilustración 56. Factor de seguridad configuración mínima.



ELABORADO POR: AUTORES.

Se puede evidenciar una ligera marca de colores en la parte final del perfil inferior frontal pero como se aprecia en la barra de colores esta se encuentra aún por arriba de la unidad que es el factor crítico para un diseño encontrándose esta zona en un rango aceptables dentro del diseño.

4.4.6.6. Resultados de lime máximo de carga aplicada en la máquina.

Los datos de carga propuestos en el análisis corresponden a la masa corporal máxima de uno de los pacientes de la fundación, pero con el fin de saber el límite máximo de la carga que puede soportar la máquina se realizaron análisis con cargas mayor a la especificada mismas que se presentarán en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultados de carga máxima aplicable a la máquina de rehabilitación.

Fuerza aplicada [N]	Límite de fluencia Max. [MPa]	Lim de fluencia del Material [MPa]	Deformación. [mm]	Deformación unitaria	FS min	Material
889,95	96,18		1,34	0,0002734	2,2	
1900	177	206,81	2,87	0,0005052	1,2	AISI 304
2000	187		3,02	0,0005318	1,1	
2200	205		3,32	0,00058510	1,01	

ELABORADO POR: AUTORES.

Con este resultado se puede evidenciar que la carga máxima que soportaría la máquina es de 2000 (N), esto dado que el resultado del límite de fluencia es el más cercano al del material considerando el margen del factor de seguridad que aún es mayor a la unidad con un valor de 1,1 y una deformación de 3,02 mm de la estructura se considera este valor como carga máxima admisible, aplicable a la máquina de rehabilitación.

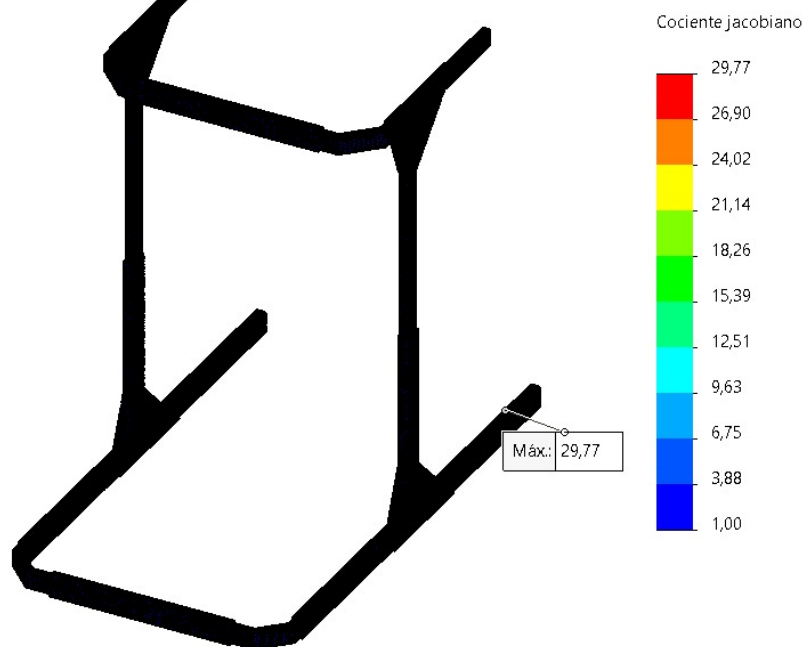
4.4.6.7. Mallado aplicado en el análisis.

El tipo de malla usada en el análisis es una malla basada en curvatura esto tomando en cuenta la geometría del perfil usado con una dimensión de mallado con un valor de 5 mm esto considerando los recursos del ordenador de trabajo aun así se obtuvieron resultados favorables en función al número de elementos analizados y la geometría de la malla usando el método de cociente jacobiano que genero triángulos perfectamente adaptados a la estructura.

El resultado del análisis muestra si el diseño generado es estable o si existen restricciones que limitan el movimiento de sus elementos en el análisis. Si el cociente jacobiano es menor que uno, significa que el diseño es estable y que las restricciones son suficientes para mantener las partes en su posición. Por otro lado, si este es mayor que uno, significa que existen restricciones insuficientes que limitan el movimiento del diseño por lo que no será factible el análisis debido a que los resultados tendrán un margen de error alto.

En la Ilustración 57, se muestra cómo se genera el mallado usando el método del análisis jacobiano y cómo se acopla a la estructura.

Ilustración 57. Mallado usando el método del cociente jacobiano.



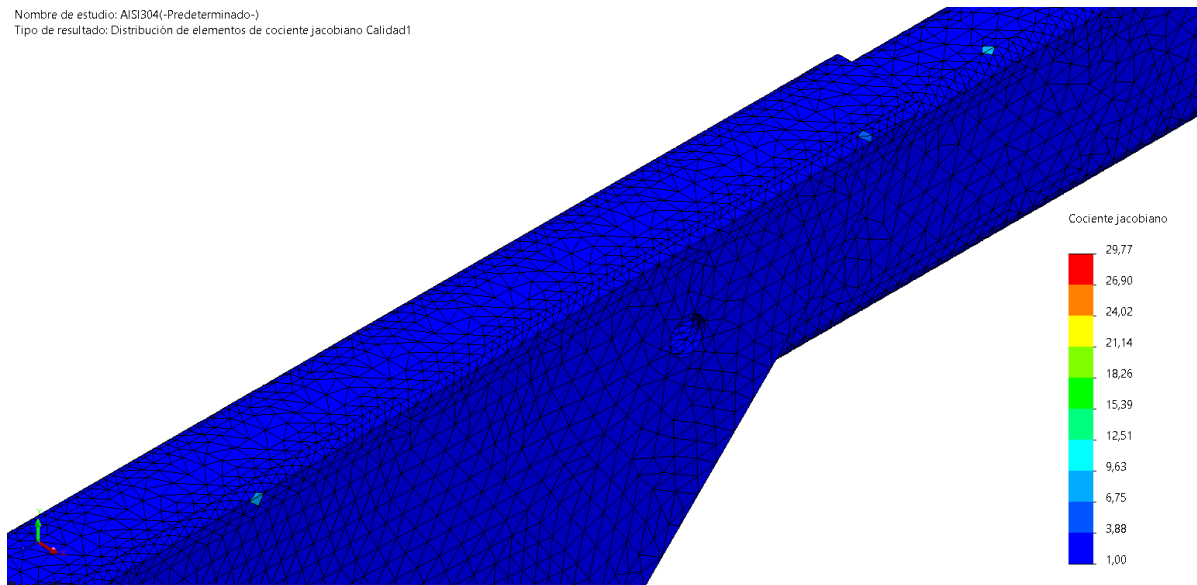
ELABORADO POR: AUTORES.

En este caso al ser un mallado fino no se aprecia en su totalidad, pero podemos identificar cual es el valor máximo que corresponde a un valor de 29,77 y el mínimo de 1 más adelante se explica en donde se encuentran los puntos alejados de la unidad y cuál es el promedio en el resultado obtenido.

En la Ilustración 58, se puede apreciar como los triángulos están acoplados casi perfectamente a la estructura salvo en las partes en donde existen curvaturas y en las perforaciones estos resultados se marcan con un azul más claro.

Ilustración 58. Zoom para identificar la geometría del mallado.

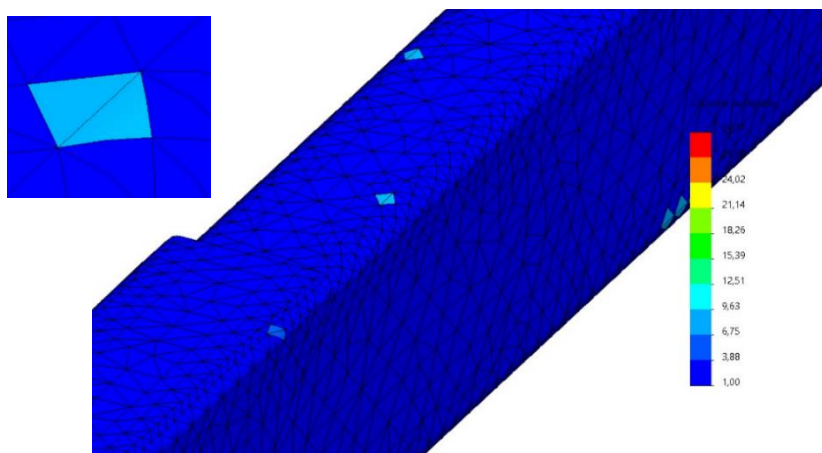
Nombre de estudio: AISI304(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Distribución de elementos de cociente jacobiano Calidad1



ELABORADO POR: AUTORES.

Se puede apreciar cómo se distribuye el mallado por toda la estructura de modo uniforme en esta parte existen pequeñas geometrías que no se acoplaron perfectamente, pero sin embargo en la tabla de resultados presentada en la Ilustración 60, se observa que mayor son los números cercanos a la unidad tal y como lo especifica la condición para este tipo de mallado.

Ilustración 59. Geometría que no cumplió con las condiciones de mallado.



ELABORADO POR: AUTORES

En la Ilustración 59 se muestra un zoom de las imperfecciones en el mallado las cuales resultan ser mínimas tomando en cuenta el número de datos analizados y la geometría de la máquina.

En la Ilustración 60 se puede apreciar los diferentes resultados obtenidos del análisis estadístico que nos brinda SolidWorks en este caso se puede apreciar los valores máximos y mínimos junto con el valor de la media cuadrática este valor es el que se repite con más frecuencia.

Ilustración 60. Resumen del diagnóstico de mallado.

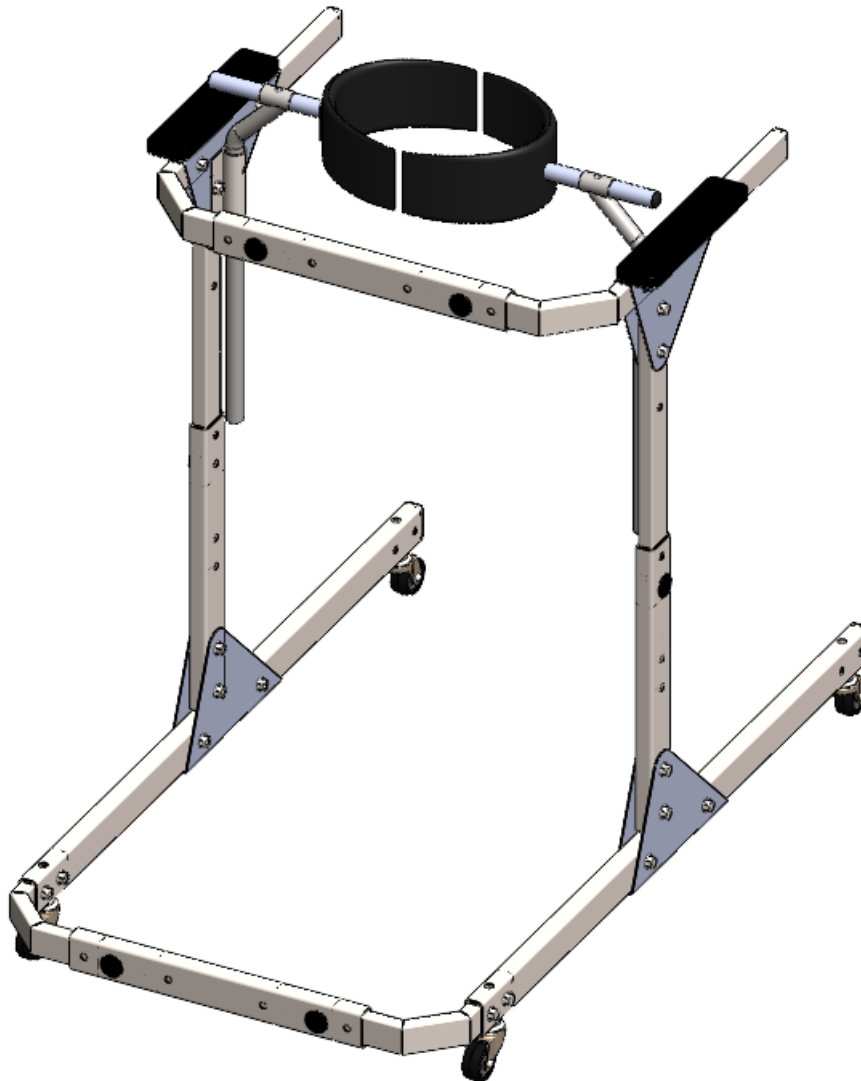
Resumen		
	Valor	Unidad
Suma:	681923,50	
Avg	1,18	
Máx.	29,77	
Mín.	1,00	
Valor RMS (media cuadrática)	1,34	

Este resultado sugiere el resultado del mallado se encuentra dentro de los parámetros de diseño considerando la denominación 1 – 30, que sitúa a la unidad como el valor ideal de mallado y al 30 con un valor crítico que puede afectar el resultado del análisis y considerando que el valor que más se repite es el más cercano a la unidad.

4.4.6.8. Diseño estructural de la máquina de rehabilitación.

En la Ilustración 61, se muestra el diseño estructural de la máquina de rehabilitación para personas con problemas de movilidad.

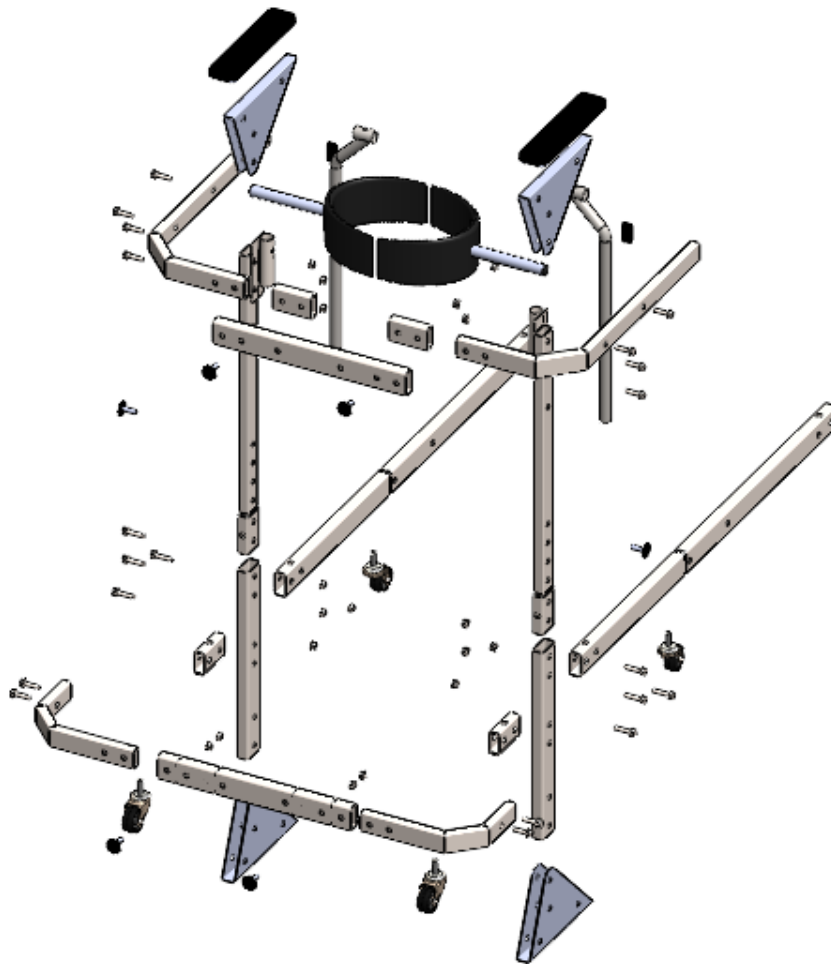
Ilustración 61. Diseño estructural de la máquina de rehabilitación.



FUENTE: AUTORES.

En la Ilustración 62, se aprecia una vista explosionada de cada uno de los componentes de la máquina de rehabilitación.

Ilustración 62. Vista explosionada del diseño.



FUENTE: AUTORES.

La máquina consta de 12 perfiles estructurales rectangulares de 2 medidas diferentes una de 50X25x1,5 mm y 40X20x1,5 mm, para la estructura de la máquina y 4 perfiles tubulares uno de 22 mm y de 25,4 mm el elemento de seguridad para el área torácica del cuerpo, 4 ruedas dos unidireccionales con frenos incluido y dos multidireccional sin frenos, 1 arnés de seguridad y apoyabrazos, para los elementos de sujeción cuenta con 20 pernos con tuerca y arandelas para garantizar la sujeción de los perfiles.

4.5. Proceso de manufactura.

El proceso de manufactura consta de varias fases consideran que esta solo se puede llevar a cabo si se cumplen los demás pasos señalados en la Figura 6 que hace referencia al diagrama del procedimiento ubicada en la metodología de este documento, una vez cumplidos todos los pasos previos a la manufactura se puede empezar a construir. Las fases de la manufactura constan de pasos a seguir para conseguir un equipo funcional para cual se deberá realizar lo siguiente:

4.5.1. Fase de selección y adquisición del material.

En esta fase se procede a revisar los resultados obtenidos en el diseño de la máquina llevado a cabo en el software SolidWorks, con el fin de revisar que el diseño sea aceptable con las condiciones de carga establecida, una vez corroborado este dato se procede a buscar el perfil de AISI 304 véase el Anexo 13 en donde se presenta la evidencia de la selección del perfil para el diseño, el cual se adquirió en dos lugares diferentes, el traslado del material se lo realiza considerando las medidas de seguridad dado que la tubería cuenta con una longitud de 6 m, la tubería de acero inoxidable viene con un plástico protector para cuidar su apariencia. Proceso de obtención del material:

- Selección
- Adquisición de material
- Transporte

4.5.2. Fase de adecuación de área herramientas y equipos de seguridad.

Se revisan las herramientas, conexiones y equipos de seguridad antes de iniciar con la construcción tales como:

- **Gafas de seguridad:** Elemento con el objetivo de proteger la vista del operador de agentes externos las cuales se encuentran en el Anexo 4.

- **Guantes:** Protegen las manos del operador de cortes o limallas de acero se visualiza en el Anexo 4.
- **Overol industrial:** Protege el cuerpo del operador de agentes químicos se visualiza en el Anexo 4.
- **Botas:** Que son elementos que evitan lesiones en los pies del operador se visualiza en el Anexo 4.

Para el uso y selección de herramientas se tienen las siguientes:

- **Amoladora:** Que permite retirar la limalla del perfil, permite realizar cortes y pulir se visualiza en el Anexo 5.
- **Cortadora de metal de 14 in:** Permite realizar corte preciso de forma recta o diagonal se visualiza en el Anexo 5.
- **Taladro de banco:** Permite realizar perforaciones precisas en el material se visualiza en el Anexo 5.
- **Taladro de mano:** Permite realizar perforaciones en el metal revise el Anexo 5.
- **Soldadora MMA:** Ideal para aplicar uniones de soldadura de tipo cordón o punto se visualiza en el Anexo 5 para el uso de esta máquina se debe tener un casco para soldar así se evitan las lesiones en la vista.

4.5.3. Fase de construcción de la máquina de rehabilitación.

En esta fase se procede a realizar los cortes teniendo en cuenta los planos generados en el software CAD SolidWorks. Una vez cortados los perfiles según las dimensiones establecidas se procede a eliminar las limallas generadas por el corte, luego de esto se realizan las perforaciones de cada uno de los perfiles el proceso de soldadura solo aplica para los perfiles frontales por su geometría el resto de la estructura se fijará con sujeciones empennadas los perfiles regulables cuenta con guías de deslizamiento que ayudan a la máquina a adaptarse a cualquier estructura, cada perfil cuenta con medidas diferentes con la ayuda de la cortadora de metal de 14 in de uso vertical para obtener cortes más exactos, el taladro de pedestal para realizar las perforaciones para las longitudes de la máquina, se plantea el uso de una soldadora del tipo MMA, con electrodos 308 L especial para acero inoxidable en total la máquina está compuesta por 12 perfiles cortados unidos con pernos de acero inoxidable para garantizar su resistencia a la corrosión el material debe ser perfilado y pulido para eliminar riesgos por cortes a los usuarios esto debido a que al ser un material resistente genera viruta que pueden provocar lesiones físicas en el paciente.

Para los refuerzos se usó chapa metálica la cual fue doblada según se especifica en los planos cada perfil es un elemento de regulación por lo que es importante que cuente con las dimensiones adecuadas para el ingreso de otro perfil con menor dimensión, los apoyabrazos son elementos adicionales al igual que el arnés de seguridad, las ruedas y los tapones para los orificios de los perfiles, para fijar estos perfiles se optó por usar pernos y tuercas de 9 mm, para lo cual se procedió a cubrir la cabeza de los pernos destinados a la regulación de los perfiles para facilitar su ajuste, para el ensamble de esta máquina es necesario contar con herramientas como llaves de tuercas o dados de 13 mm.

4.5.4. Costo de manufactura.

Los costos de manufactura son los valores de los materiales usados en la materialización de la máquina, tomando en cuenta los valores comerciales de los aceros inoxidables y de los demás materiales con el fin de obtener un valor total con el fin de garantizar la accesibilidad de la máquina de rehabilitación en la Tabla 29 podemos evidenciar estos valores.

Tabla 29. Costo de manufactura de la máquina.

Cantidad	Unidades	Detalle	Valor unitario	Valor total
			[\$]	[\$]
Material para la estructura				
4	m	Perfil rectangular 25x50x1,5 mm	40	40
3	m	Perfil rectangular 20x40x1,5 mm	25,5	25,5
1,5	m	Perfil circular 22x1,5 mm	6,5	6,5
1,5	m	Perfil circular 25,4x1,5 mm	6,5	6,5
32	Unidades	Pernos 5/16 in	0,15	4,8
32	Unidades	Tuercas 5/16 in	0,1	3,2
12	Unidades	Pernos regulables 5/16 in	0,4	4,8
4	Unidades	Tapones 25x50	0,25	1
2	Unidades	Tapones 20x40	0,2	0,4
1	lb	Electrodo 308 L	10	10
2	Unidades	Ruedas con frenos	4,50	9
2	Unidades	Ruedas sin frenos	4	8
Materiales para el proceso de manufactura				
3	Unidades	Brocas de cobalto	9,50	28,5
2	Unidades	Disco de corte 150 mm	2	4
1	Unidad	Disco de corte de 9 in	4	4
1	Unidad	Dado de 13 mm	1,5	1,5
1	Unidad	Ratchet	5	5
2	Unidades	Llaves de tuerca 13 mm	3	6
Material para el arnés				
1	m	Tela tipo lona para forro	12	12
0,5	m	Tela tipo cuerina	8	8

1	m	Tela para forro	3	3
12	Unidades	Binchas de seguridad	0,1	1,2
4	Unidades	Binchas de seguridad	0,05	0,2
1	Unidad	Hilo	0,75	0,75
Servicios básicos usados				
1	---	Luz	15	15
Mano de obra				
2	----	-----	180	360
Total				486,5

ELABORADO POR: AUTORES.



Considerando cada uno de los valores que intervienen directamente en la manufactura se puede apreciar que el costo total de la máquina incluyendo la mano de obra es baja siendo este de 486,5 \$ en comparación a otros equipos existentes en el mercado este valor se reduce si se considera otro tipo de material e incluso otro tipo de perfil, aunque esto puede aumentar el valor de la mano de obra, esto debido al acabado del material o si se usa materiales de mejor calidad que suelen ser más costosos. Estos valores incluyen cada uno de los accesorios que conforman la máquina como son los dos arneses de seguridad, el forro protector de los perfiles y las herramientas para su desmontaje.



Una forma adicional de reducir el costo de manufactura es la producción en masa de la máquina, esto reduce el costo al adquirir los materiales para la construcción al por mayor, y el coste de fabricación también puede reducirse al automatizar el proceso. Estos valores no son fijos dado el alza de precio que se presentan en los materiales estructurales férricos, esto sugiere que puede variar con el tiempo o cualquier otro factor que afecte la economía de la población.

Al comparar los precios y las características de las máquinas de rehabilitación sobre la marcha que existen en el mercado se evidencia varios aspectos importantes que justifican la implementación del diseño planteado es este estudio, uno de los factores es el alcance, la mayoría de máquinas de rehabilitación sobre la marcha cuentan con limitaciones es decir

están diseñadas para un grupo determinado de personas son regulables en un solo sentido el cual está definido de forma vertical, son parcialmente modulares y las cargas que soportan no superan las 200 lb, sus precios se encuentran en un rango de 900 y 3000 dólares esto depende del diseño y los elementos con los que cuenta, es evidente que en el área de la rehabilitación los equipos o máquinas pueden llegar a ser costosos dado la aplicación para la cual están destinados estos elementos, mientras más aplicaciones tenga el equipo más elevado será su costo de producción. También se consideran los accesorios repuestos y herramientas que por lo general en algunos equipos se venden por separado para así obtener más ganancias en la Tabla 30, se muestran algunas máquinas de rehabilitación existentes en el mercado con sus respectivos costos, en comparación con la máquina de este proyecto.

Tabla 30. Comparación de precios.

Modelo	Aspecto	Características	Precio [\$]
Entrenador sobre la marcha trekker youth TK3000		<ul style="list-style-type: none"> • Altura ajustable 74cm - 99 Cm en incrementos de 1" 2,5Cm. • Las ruedas anti vuelco. • Frenos individuales por rueda. • Palanca direccional que permite ir hacia delante como hacia atrás. • Ancho: 67 cm • Ancho entre manillares: 46 cm • Peso máximo de soporte: 200 Lb o 90,72 Kg 	1046,78
Andador Infantil Grillo RI-OR-107		<ul style="list-style-type: none"> • Altura soporte torácico 60 a 76 cm • Altura soporte pélvico 42 a 61 cm • Longitud total 74,5 cm • Ancho de los soportes 19 a 25 cm • Altura de usuario 75 a 95 cm • Peso dispositivo 15,4 Kg • Carga máxima 35 Kg o 77,16 lb • Regulable en sentido vertical 	2203,59

Andador Activall		<p>Talles según altura del paciente:</p> <p>XS: de 0,70 a 1 m.</p> <p>S: de 1 a 1,30 m.</p> <p>M: de 1,10 a 1,50 m.</p> <p>L: de 1,20 a 1,70 m.</p> <p>Regulación vertical</p> <p>• Regulación del soporte torácico</p> <p>• Arnés de seguridad</p> <p>Capacidad máxima 200 lb o 90,72 Kg</p> <p style="text-align: right;">1369,57</p>
Máquina de rehabilitación sobre la marcha		<p>• Regulación horizontal máximo hasta 69 cm mínimo 55 cm</p> <p>• Regulación vertical máxima hasta 100 cm mínima 65 cm</p> <p>• Carga máxima 400 lb o 181,44 Kg</p> <p>• Regulación del soporte torácico</p> <p>• 2 arnés de soporte</p> <p>• Recubrimiento protector</p> <p>• Peso de la máquina 14,5 Kg</p> <p style="text-align: right;">500 \$</p>

ELABORADO POR: AUTORES.

4.5.4.1. Ventajas de la máquina de rehabilitación sobre la marcha.

Además de ser la más económica de este grupo seleccionado es la que soporta mayor carga por el tipo de material usado en su estructura además de esto brinda la posibilidad de regularse de forma horizontal como vertical ideal para adaptarse a cualquier tipo de estructura y máquina como son caminadoras de bandas y cercos paralelos, gracias a su gran resistencia se puede garantizar la seguridad del paciente, se acopla a estaturas de hasta 50 cm mínimo gracias a su cinta reguladora, cuenta con perfiles modulares fácil de ensamblar y reemplazar de ser el caso lo que facilita el mantenimiento y alarga su tiempo de vida útil, es fácil de transportar, y su costo de venta al público es accesible.

4.6. Discusión.

Los resultados del análisis del diseño indican que, aunque ninguno de los tres materiales seleccionados superó el límite de elasticidad, la elección se basó en tres factores principales: propiedades, disponibilidad comercial y precio. En otras palabras, se consideró la adaptación del diseño a los requisitos del paciente para garantizar su seguridad y comodidad en lugar de buscar la mayor resistencia o la menor deformación. El material elegido, el AISI 304, se adaptó mejor a estos requisitos y resultó ser el más adecuado, mientras que el AISI 316 L y el AISI 201 presentaron costos adicionales y dificultades de adquisición. Por otro lado, la geometría se seleccionó teniendo en cuenta factores económicos y la resistencia del perfil bajo cargas aplicadas, mientras que los accesorios se eligieron en función de la resistencia y el precio de adquisición.

El diseño de la máquina de rehabilitación para personas con problemas de movilidad se basó en una metodología que consideró las variables críticas que afectan el resultado final, cumpliendo con las normas y condiciones de diseño. Se realizó un análisis del desplazamiento en los puntos críticos mediante el software CAD SolidWorks. El arnés de seguridad se diseñó ergonómicamente para resistir las cargas aplicadas, y las sujeciones del arnés se distribuyeron en cuatro puntos para minimizar la deformación en los perfiles más largos. La máquina es ajustable y se adapta a la antropometría del paciente y su capacidad para flexionar sus miembros inferiores, incluyendo el porcentaje de movilidad.

El diseño del arnés de seguridad se basó en modelos existentes, teniendo en cuenta el precio comercial de los elementos destinados para el área de rehabilitación. Dado que estos elementos son costosos, se compararon los valores de manufactura de cada uno de ellos para garantizar la seguridad y el confort del paciente.

El mallado como se evidencia es el proceso que permite el seccionamiento o división de la geometría en pequeños fragmentos este método es considerado como elementos finitos, el mallado brinda un resultado más cercano al real mientras más fino este se acercar al valor real con respecto al resultado del análisis este puede llegar a variar de forma significativa en el estudio lo que puede generar errores en los valores obtenidos para el diseño planteado, si se aplica de forma correcta los resultados serán precisos, mejor detallados, y confiables lo

cual permitirá que este se moldee a la geometría designada, para el análisis se usó una mallado basado en curvatura de 5 mm esto debido a que el equipo no pudo generar el mallado más fino sin sobrecalentarse en ese caso se pudo determinar que el equipo o computador también es un factor que puede afectar el resultado ya que al no poder generar la malla más fina el resultado aún puede variar.

En el análisis realizado al mallado se identificaron secciones en las que la malla usando el método jacobiano contaba con valores cercanos a 29,77 el cual es el límite máximo al que puede llegar el mallado esto representaría un riesgo para el análisis si se considera la frecuencia con la que se repite este valor pero dado que el resultado obtenido en el resumen del diagnóstico de malla se aprecia que el valor que se repite con más frecuencia es el 1,18 con una media cuadrática de 1,32 considerando la cantidad de datos analizados correspondientes a la dimensión de la malla, también se considera que a menor longitud de mallado mayor serán los datos obtenidos para el resultado y más cercano a la realidad con un porcentaje de error bajo .

Para la manufactura y diseño de la máquina de rehabilitación se tomaron en cuenta factores ya mencionados como requerimiento de los usuarios costos y geometría, para la geometría se considera el diseño modular regulable que a diferencia de otros equipos existentes no se igualan al diseño de modo que esta máquina de rehabilitación tiene la capacidad de acoplarse a otros equipos como son la caminadora de banda, y la caminadora paralela esto hace que este equipo sobresalga en el área de rehabilitación, además cuenta con medidas de seguridad que garantizan que el paciente no sufrirá lesiones en su uso.

Para el tema del precio de la máquina es menor al de los equipos de rehabilitación existentes en el mercado, esto debido a que cada elemento que conforma una máquina de rehabilitación tiene costos superiores a los 100 dólares, esto considerando el arnés, la estructura y cualquier otro elemento adicional, por otro lado, la máquina de rehabilitación regulable tiene un valor de manufactura de 486,5 dólares siendo este un valor accesible al público.

El uso del perfil fue seleccionado de acuerdo a los requerimientos de la fundación dado que una de las condiciones de diseño era la modularidad de la máquina, es decir que pueda desmontarse en su totalidad que sea regulable longitudinalmente, en sentido horizontal como

vertical, si bien el perfil circular es una opción ideal para este tipo de máquina el diseño se limita en las sujeciones dado que la mayoría de diseños de máquinas con perfiles circulares usan más la unión soldada que la empernada lo que reduce el espacio para su transporte además que al tratarse de paciente con discapacidad también se debe tomar medidas de seguridad como el recubrimiento de los perfiles con el fin de evitar lesiones.

Teniendo en cuenta la trayectoria de la terapeuta y su conocimientos adquiridos en el área de rehabilitación se determinó que la recuperación del paciente no solo depende de la rehabilitación física en función a la rutina de la terapia, existen casos en los que el paciente necesita tener una autonomía total o parcial sin depender directamente del terapeuta, esto le brinda un enfoque diferente a la persona con limitada movilidad logrando que este se esfuerce un poco más y esto se ve reflejado en su historial médico pacientes por afectaciones graves han reducido significativamente su tiempo de recuperación con el uso de equipos que le brindan autonomía, estos resultados aumentan la probabilidad de recuperación del paciente, de esta forma las nuevas tecnologías enfocadas al área de rehabilitación representan un logro más al área de la medicina ayudando a personas con problemas motrices en sus extremidades inferiores a realizar actividades que antes les resultaba difícil de realizar.

Las cargas usadas en el análisis corresponden a la masa corporal de los pacientes más el 10% del valor para el diseño es decir que mientras no se supere el límite elástico del material y su factor de seguridad se encuentre por encima de la unidad la máquina soporta cargas mayores a la del análisis y para esto se analiza de forma que el valor máximo de la carga corresponde a 2000 N que la que más se acerca al límite elástico del material con un factor de seguridad mayor a la unidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- La incorporación de nuevas tecnologías ha mejorado significativamente los métodos de rehabilitación para personas con limitaciones de movilidad en las extremidades inferiores. Estos avances han reducido el tiempo de recuperación de los pacientes y les han brindado mayor autonomía, disminuyendo la necesidad de supervisión constante por parte de los terapeutas, además los equipos se adaptan fácilmente a los avances tecnológicos como es el caso de la máquina de rehabilitación diseñada.
- La máquina se adaptó a las necesidades del paciente para garantizar su seguridad, comodidad y rentabilidad, considerando la antropometría de la persona y porcentaje de movilidad. Además, al considerar los requisitos de diseño, como la geometría estructural, la facilidad de desmontaje y la cantidad de elementos, así como los grados de movilidad y facilidad de desplazamiento del equipo se obtuvieron resultados óptimos como es el factor de seguridad mínimo, que superó la unidad al ser de 6,8 aunque estas variables aumentaron el costo de manufactura considerablemente.
- Por medio del cálculo se pudo obtener los diagramas de momento flector máximo que dio como resultado 212 Nm y una fuerza cortante de 44,5 N en la estructura, también se identificaron la forma de distribución de la carga en la estructura, para las sujeciones emperradas el factor de seguridad es de 2 el resultado obtenido para el diámetro del perno es bajo debido a la distribución de la carga en función al número de pernos, dado este resultado se procedió a seleccionar un diámetro diferente como es el M 8.
- La simulación permitió identificar los puntos críticos de la máquina, ubicados en la parte más alejada de los apoyos verticales de la estructura. En la configuración más larga, se observó un mayor desplazamiento en comparación con la configuración más corta, en la cual el desplazamiento disminuyó significativamente. Este comportamiento se debe a que, al aumentar la sección longitudinal, el perfil es más propenso a deformarse de manera elástica, por lo que se requiere un refuerzo frontal en la máquina. Además, al tener un doble perfil, el factor de seguridad varía según la configuración de la máquina.

5.2. Recomendaciones.

- Es recomendable explorar las nuevas tecnologías, como la realidad virtual, la inteligencia artificial y las estructuras robóticas, que actualmente tienen un alto índice de aceptación y aplicación en el área de la rehabilitación, para mejorar el proceso. Además, se debe considerar la implementación de elementos de control y monitoreo instantáneo que ayudan a llevar un registro del avance del paciente en su terapia de recuperación.
- Es importante tener presente que cualquier tipo de tecnología utilizada debe ser segura, efectiva y accesible para todas las personas, independientemente de su porcentaje de movilidad en sus piernas.
- El material seleccionado debe ser aplicables con fines médicos y los aceros inoxidable son ideal para estos trabajos esto debido a que al estar expuesto al contacto directo con los pacientes estos no deben ser nocivos para la salud, y su resistencia a la corrosión es mayor a la de cualquier otro acero al igual que sus propiedades mecánicas, se debe analizar detalladamente el diseño que se va a implementar teniendo en cuenta la facilidad de obtención de los perfiles dado que al tratarse de acero inoxidable suelen ser escasos.

5.3. Bibliografía.

- [1] M. Rosales., «ACTIVIDAD FÍSICA Y DISCAPACIDAD,» *MHSalud*, vol. 4, nº 2, p. 5, 2007.
- [2] V. Simón Gómez-López, «Parálisis cerebral infantil,» *SciELO*, vol. 76, nº 1, p. 10, 2013.
- [3] K. S. Lona, «Lesión Medular por Grupos Poblacionales,» de *Lesión Medular: Guía para el manejo integral del paciente con LM crónica*, Madrid, ASPAYM-Madrid, 2004, pp. 84-113.
- [4] J. Claudia Patricia Henao-Lema, « Lesiones medulares y discapacidad: revisión bibliográfica.,» *SciELO*, vol. 10, nº 2, p. 16, 2010.
- [5] Fisiosenior, «Fisiosenior.es,» 2023. [En línea]. Available: <https://fisiosenior.es/lesion-medular-fisioterapia-en-todas-sus-fases/>.
- [6] A. Gonzales, «Lesiones Medulares no Traumáticas: Etimología, Demografía clínica.,» *ORIGINAL BREVE Med Exp Salud Publica*, vol. 1, p. 6, 2011.
- [7] Jose, «Stanford Medicine,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=spinalcordinjury-85-P04278>.
- [8] T. Rattay, «Non-motor symptoms are relevant and possibly treatable in hereditary spastic paraplegia type 4 (SPG4),» *Journal of Neurology*, vol. 267, nº 1, pp. 369-379, 2020.
- [9] H. van Hedel, «Clinical utility of the over-ground bodyweight-supporting walking system Andago in children and youths with gait impairments.,» *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* , vol. 18, nº 29, pp. 2-20, 2021.
- [10] D. J. K. FINK, «Paraplejía espástica hereditaria.,» *Informes actuales de neurología y neurociencia*, vol. 6, nº 1, pp. 65-67, 2006.
- [11] M. Pinheiro, «Paraplejia: qué es, tipos y principales causas,» 01 2023. [En línea]. Available: <https://www.tuasaude.com/es/paraplejia/>. [Último acceso: 06 02 2023].
- [12] E. Buloz, «Paraplejia Espástica Heredofamiliar,» Caracas, 2015.
- [13] P. C. Olazabal, «Parálisis flácida aguda,» *REV NEUROL*, Lima Perú, 2002.
- [14] D. Duzey, «Rehabilitación de pacientes con paraplejia,» 2016.
- [15] Mayo Clinic, «Lesiones de la médula espinal,» 02 10 2021. [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>. [Último acceso: 06 02 2023].
- [16] P. G. Parajuá, «Psicopatología en pacientes con lesión medular,» *Revista Digital de Medicina Psicosomática y Psicoterapia*, vol. VI, nº 2, 09 2016.
- [17] KARMA España, «Paraplejia: Causas, tratamiento y cuidados,» 04 06 2020. [En línea]. Available: <https://www.karmamobility.es/2020/06/paraplejia-causas-tratamiento-y-cuidados/#:~:text=Hay%20dos%20causas%20principales%20para,mielitis%20transversa%2C%20tumores%20y%20otras..> [Último acceso: 06 02 2023].
- [18] M. Fernando Ortiz, *Medicina Física y Rehabilitación*, Bogotá D. C.: El Manual moderno (Colombia) S. A. S, 2016.
- [19] E. Cazorla, «Rehabilitation Technology: Assistance from Hospital to Home,»

- Hindawi*, vol. 2019, nº 1431509, p. 8, 2019.
- [20] L. Carmenate Milián, «Manual de medidas antropométricas,» *Saltra*, vol. 18, nº 1, pp. 1-72, 2014.
- [21] C. Flores, «Ergonomía para el diseño. Teoría y práctica: Diseño,» 2001. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68428/secme-22717.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 11 02 2023].
- [22] G. M. ADRIANA, «Google academico CONCEPTOS ANTROPOMÉTRICOS BÁSICOS.,» 2009. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68428/secme-22717.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 11 02 2023].
- [23] R. Nariño Lescay, «Análisis comparativo de las tecnologías para la captación de las dimensiones antropométricas,» *Revista Eia*, vol. 1, nº 26, pp. 47-59, 2016.
- [24] M. H. Luengo, *Antropometría y diseño*, Mérida: Universidad de los Andes, 2004.
- [25] G. A. IMELDA, «"ANTECEDENTES DE LA ANTROPOMETRÍA.",» 2020. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67397/secme-1623.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 11 02 2023].
- [26] H. Montesinos-Correa, «Growth and anthropometry: clinical application,» *Acta pediátrica de México*, vol. 35, nº 2, pp. 159-165, 2014.
- [27] N. G. Vallejo., *Evaluación de la capacidad física.*, Madrid: Copyright, 2013.
- [28] G. M. ADRIANA, «CONCEPTOS ANTROPOMÉTRICOS BÁSICOS,» 2016. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68428/secme-22717.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 11 02 2023].
- [29] T. «Growth references for weight, height, and body mass index for Ecuadorian children and adolescents aged 5-19 years,» *Arch Argent Pediatr*, vol. 2, nº 118, pp. 117-124, 2020.
- [30] S. Martín, *Guía Práctica para LESIONADOS MEDULARES*, MADRID: Copyright, 2002.
- [31] A. Donati, «Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients,» nº 6, p. 10, 2016.
- [32] Piqueros, «Lescer,» julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.lescer.es/centro-de-rehabilitacion-neurologica-madrid/proceso-de-rehabilitacion/>.
- [33] L. H. d. Souza, «Clinical features of electric powered indoor/outdoor wheelchair users with spinal cord injuries: A cross-sectional study,» p. 124, 2018.
- [34] P. Penalva, «Terapia robótica con el exoesqueleto H2 en la rehabilitación de la marcha en pacientes con lesión medular incompleta.,» *Una experiencia clínica. Rehabilitación*, vol. 54, nº 2, pp. 87-95, 2020.
- [35] Y. Xin, «Dynamic Optimization Design of Cranes Based on,» nº 8376058, p. 19, 2017.
- [36] P. la Rosa, «EFICACIA Y SEGURIDAD DE LA ACUPUNTURA Y KINESIOTERAPIA EN LA REHABILITACIÓN DEL PACIENTE CON GONARTROSIS,» *MULTIMED*, vol. 14, nº 3, p. 15, 2010.

- [37] V. Toledo, «Fisioterapia y rehabilitación,» 12 04 2021. [En línea]. Available: <https://www.fisioterapiavtoledo.com/noticia/fisioterapia-y-rehabilitacion/27/>.
- [38] M. Systems, «Lesión de la médula espinal y rehabilitación de la marcha,» p. 7, 2011.
- [39] P. G. Parajuá, «Psicopatología en pacientes con lesión medular,» vol. VI, nº 2, 2016.
- [40] Á. H. Martínez, «La rehabilitación terapéutica a pacientes parapléjicos: impacto desde las tecnologías. PODIUM,» *Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*, vol. 12, nº 1, pp. 21-30, 2017.
- [41] SCHOOL OF MEDICINE, «orthopaedics.unm.edu,» 2022. [En línea]. Available: https://orthopaedics.unm.edu/pt/common/reach-clinic-flyers/reach%20brochure_ortho%20spanish%20-%20new%20location.pdf.
- [42] T. G. Izquierdo, Bases teóricas y fundamentos de la fisioterapia., Buenos Aires: Médica Panamericana, 2007.
- [43] R. Ramírez, «Estudio sobre el empleo de la mecanoterapia y la terapia ocupacional en la rehabilitación de pacientes con enfermedad de Parkinson,» *Revista científica especializada en Ciencias de la Cultura Física y del Deporte*, vol. 19, nº 4, pp. 103-111, 2022.
- [44] L. Graber, Ortodoncia: principios y técnicas actuales., Barcelona : Elsevier Health Sciences., 2017.
- [45] F. G. R. E. H. C. A. & F. C. K. M. Vidal Pérez, «Satisfacción del usuario por un trato digno en las Áreas de Terapia Ocupacional y Mecanoterapia del Centro de Rehabilitación y Educación Especial del Estado de Tabasco.,» *Revista de sanidad militar*, vol. 72, nº 1, pp. 24-31, 2018.
- [46] K. Larrucea San Martin, Efectos de la mecanoterapia fija en ortodoncia sobre las propiedades protectoras de la saliva y la fuerza masticatoria en sujetos sanos, de bajo o mediano riesgo cariogénico, Chile: Universidad de Talca, 2016.
- [47] A. Frizera, «Estudio y Caracterización de la Cinemática de los Pies en Marcha Asistida con Andadores,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 6, nº 4, p. 11, 2009.
- [48] F. Vega, «Rehabilitación,» 2019.
- [49] V. Yáñez, «“EL USO DEL ANDADOR EN EL DESARROLLO DE LAS DESTREZAS,» Ambato, 2018.
- [50] B. V. Group, «MedicalEXPO,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.medicalexpo.es/prod/lode/product-69134-537815.html>.
- [51] Y. Han, «Walker robot structural design and performance analysis,» de *Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference*, Shanghai China, IAEAC, 2019, pp. 934 - 935.
- [52] E. a. A. A. Chaparro, «Beneficios de la sistematización del diseño mecánico hasta el proceso de manufactura,» *Informador Técnico*, vol. 53, nº 1, pp. 13-18, 1996.
- [53] RMS Rehabilitation Manufacturing Services, «rms-rehab,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.rms-rehab.co.uk/grillo>.
- [54] Ó. Vanina Costa, «Development and Clinical Validation of,» de *TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, Madrid, EMB, 2022, p. 1340.
- [55] M. Nor Akmal Alias, «The Efficacy of State of the Art Overground Gait

- Rehabilitation Robotics: A Bird's Eye View,» de *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, Tokyo, Japan, ELSEVIER, 2016, p. 366.
- [56] P. Alvial, «Uso de tecnología en rehabilitación.,» *Accessed*, vol. 1, n° 9, p. 7, 2022.
- [57] P. Dhanashree Upganlawar, «Comprehensive Rehabilitation of Post-Operative Paraplegic Patient: A Case Report,» *National library of medicine*, p. 10, 18 10 2022.
- [58] G. Eloy Urendes, «HYBRID: Ambulatory Robotic Gait Trainer with HYBRID: Ambulatory Robotic Gait Trainer with,» *sensors*, p. 21, 2019.
- [59] D. Fernando Cando, «Respuesta de la ENSANUT 2018,» *Estudios Temáticos INEC*, vol. 3, n° 3, p. 44, 2018.
- [60] CONADIS, «Estadísticas de Discapacidad,» Consejo Nacional para la igualdad de discapacidades - CONADIS, 01 2022. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: 14 12 2022].
- [61] X. G. a. W. Z. Mingda Miao, «A Construction Method of Lower Limb Rehabilitation Robot,» *applied sciences*, vol. 2, n° 11, p. 19, 2021.
- [62] A. A. Jareño, «Síndrome del arnés,» *Universidad Zaragoza*, vol. 1, n° 1, p. 40, 2018.
- [63] P. O. Vega, «Ergonomía en trabajos verticales,» *Técnicas de prevención*, vol. 1, n° 1, p. 6, 2018.
- [64] Petzl Access the inaccessible, «Asiento para arneses VOLT,» 2022. [En línea]. Available: <https://petzl.com.ec/producto/asiento-para-arneses-volt/>.
- [65] Proalt Blog, «Arneses de Asiento.,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.proalt.es/arneses-asiento/>.
- [66] I. NTE, «STEEL SHEET, ZINC-COATED (GALVANIZED) OR ZINC-IRON ALLOY-COATED (GALVANNEALED) BY THE HOT-DIP PROCESS.,» First Edition, Quito, 2009.
- [67] E. D. PADILLA, «Aplicaciones de los aceros inoxidable.,» *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, vol. 2, n° 3, pp. 11-22, 1999.
- [68] C. Arcia Asdrubal, «Resistencia de vigas esbeltas de acero inoxidable bajo cargas concentradas mediante elementos finitos,» *Dialnet*, vol. 16, n° 2, pp. 61-70, 2017.
- [69] R. Lopez, «Soldabilidad en aceros inoxidable y aceros disímiles,» *Scientia et technica*, vol. 13, n° 34, pp. 273-278, 2007.
- [70] J. Bautista-Ruiz, «Propiedades mecánicas de películas híbridas (orgánico-inorgánico) sobre acero inoxidable 304.,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 10, n° 19, pp. 47-54, 2011.
- [71] S. A. Leal Alanís, Caracterización de aceros inoxidable y estudio de su resistencia mecánica y conformabilidad., Universidad Autónoma de Nuevo León, 2011.
- [72] KUZU S.L., «Acero Inoxidable AISI 304: Propiedades y características,» 2020. [En línea]. Available: <https://kuzudecoletaje.es/acero-inoxidable-aisi-304-propiedades-y-caracteristicas/>. [Último acceso: 26 1 2023].
- [73] S. A. L. ALANIS, «CARACTERIZACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES Y ESTUDIO DE,» de *Familia de los aceros inoxidable a partir del 304*, SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, 2011, p. 21.

- [74] «Propiedades mecánicas,» 2023. [En línea]. Available: https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable-304/?gclid=EAIaIQobChMIuf-co7rm_AIVF8yGCh3ZpwQ4EAAAYASAAEgIMEvD_BwE.
- [75] O. Di Graci, «Dureza en aceros aisi 304 laminados en tibio y en caliente.,» *Rev. Lat. Met. Mater*, vol. 1, n° 1, pp. 237-248, 2009.
- [76] Importaceros, «Propiedades Químicas,» 2023. [En línea]. Available: https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable-304/?gclid=EAIaIQobChMIuf-co7rm_AIVF8yGCh3ZpwQ4EAAAYASAAEgIMEvD_BwE.
- [77] P. Juan C, «Anisotropy evaluation of the mechanical properties on Cold Rolled AISI 304 stainless steel,» *REVISTA INGENIER'LA UC*, vol. 19, n° 1, pp. 1-10, 2011.
- [78] E. D. Padilla, «Aplicaciones de los aceros inoxidable.,» *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, vol. 2, n° 3, pp. 11-22, 1999.
- [79] M. Ibarra Fernández, *Los aceros inoxidables: fabricación y aplicaciones.*, copyright, 2015.
- [80] J. Marulanda Arevalo, «Análisis de soldabilidad de aceros inoxidables con aceros de medio y bajo carbono por SMAW,» *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 22, n° 35, pp. 91-100, 2013.
- [81] PANEL, «Blog Panyacanalaods,» 23 10 2021. [En línea]. Available: <https://panyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/>.
- [82] A. Tipan, «Estudio comparativo de comportamiento tensil en tracción y flexión del acero estructural ASTM A500,» *Investigación Tecnológica IST Central Técnico*, p. 12, 2020.
- [83] R. L. Mott, *Diseño de elementos de Máquinas*, México: Pearson, 2006.
- [84] A. Kassimali, «Introducción al Análisi Estructural,» de *Análisis estructural.* , Quinta ed., Mexico, Cengage Learning, 2015, p. 18.
- [85] L. a. R. A. Juárez., *Fundamentos de análisis estructural*, vol. 6, España: McGraw-Hill, 2006.
- [86] D. A. Linero, *Introducción al comportamiento lineal elástico.*, Primera ed., Bogotá: Dirección de investigación sede Bogotá, 2013.
- [87] Malasia store, «malasiastore.com,» 2022. [En línea]. Available: https://www.malasiastore.com.ar/MLA-913451551-balanza-digital-bano-para-personas-corporal-pies-180kg-_JM.
- [88] Pacifiko, «Herramientas y Mejoras del Hogar,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.pacifiko.com/compras-en-linea/cinta-metrica-de-fibra-de-vidrio-60-metros-stanley&pid=ZDE3MTQ1Y2>.
- [89] Importaceros, «Tubo rectangular estructural y grandes dimensiones,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-rectangular-estructural-y-grandes-dimensiones/>.
- [90] Ferrocortes S.A.S, «Acero Inoxidable,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ferrocortes.com.co/acero-inoxidable/>.
- [91] F. J, «Economipedia,» 16 noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/materia-prima.html>. [Último acceso:

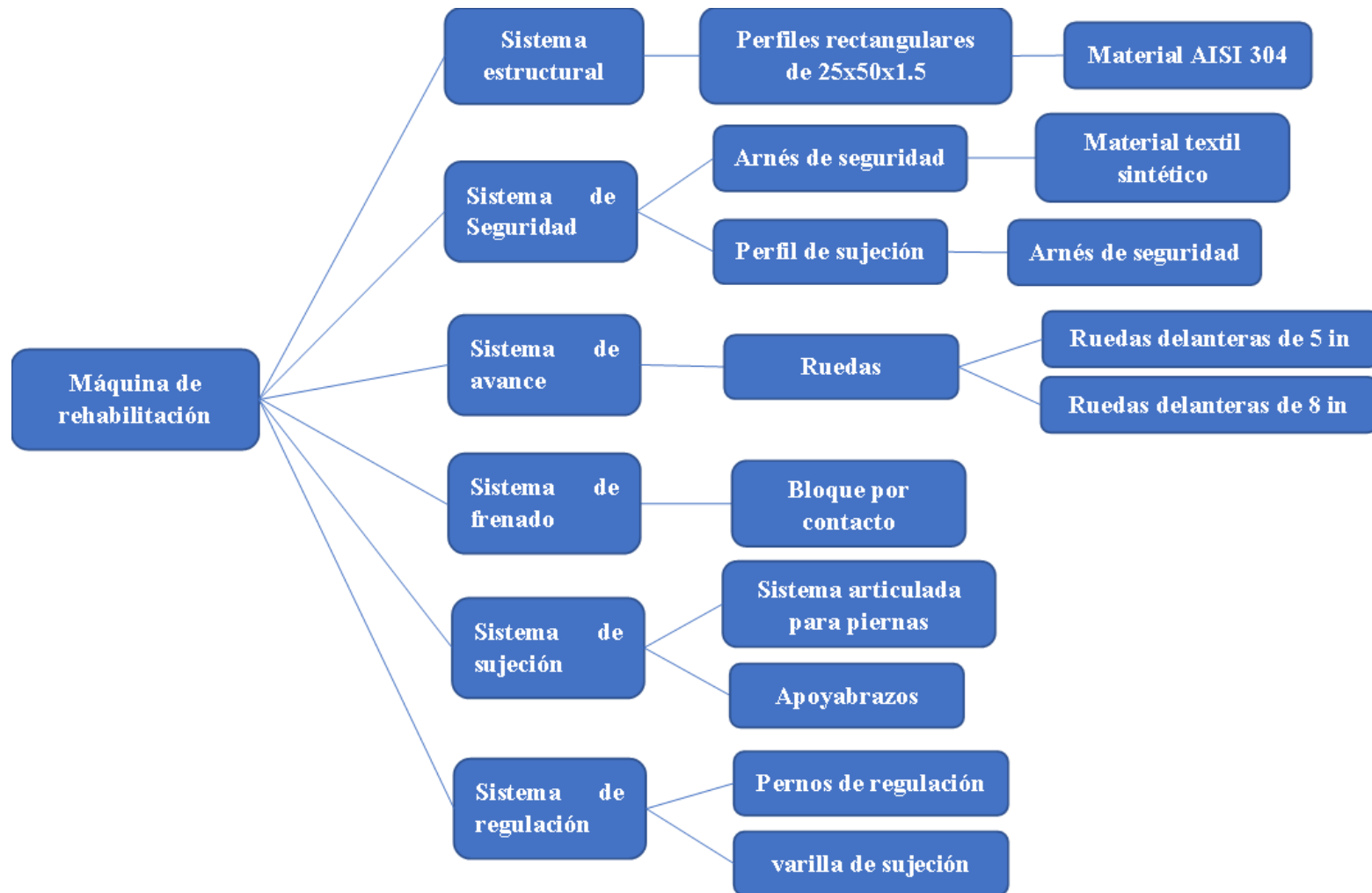
- agosto 2022].
- [92] Desconocido, «Significados,» [En línea]. Available: <https://www.significados.com/diagnostico/>. [Último acceso: 16 agosto 2022].
- [93] G. Comunicación, «Galileo,» diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.galileo.edu/trends-innovation/optimizacion-fortaleza-ingeniero-administrativo/>.
- [94] B. S. López, «Ingeniería Industrial,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/que-es-el-estudio-de-tiempos/>. [Último acceso: 16 Agosto 2022].
- [95] B. Salazar, «Ingeniería Industrial,» 2019. [En línea]. Available: <https://kanbantool.com/es/guia-kanban/tiempo-de-ciclo#:~:text=El%20tiempo%20de%20ciclo%20es,su%20capacidad%20general%20de%20entrega..> [Último acceso: 2022].
- [96] A. Álvarez, «Lean Construcción,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/qu%C3%A9-es-y-en-qu%C3%A9-consiste-la-filosofía-kaizen-pasos-y-ejemplos.> [Último acceso: agosto 2022].
- [97] J. Francisco, «economipedia,» junio 2018. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/rendimiento.htmlhttps://economipedia.com/definiciones/rendimiento.html>. [Último acceso: Agosto 2022].
- [98] O. A. C. Rivera, Estudio de tiempos y movimientos en el proceso de producción de una industria manufacturera, Guatemala, 2005.
- [99] «Software del sol,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sdelsol.com/glosario/estudio-de-tiempos-y-movimientos/>. [Último acceso: agosto 2022].
- [100] D. B. Parra, Análisis de tiempos y movimientos en el proceso de producción de vapor de una empresa generadora de, México, 2020.
- [101] G. R, Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo, México: McGraw Hill, 2005.
- [102] B. Salazar, «Ingeniería Industrial,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/herramientas-para-el-estudio-de-tiempos/>. [Último acceso: Agosto 2022].
- [103] B. S. López, «Ingeniería Industrial,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/procesos-industriales/que-es-un-proceso-industrial/#:~:text=Un%20proceso%20es%20comprendido%20como,llegar%20a%20un%20resultado%20preciso..> [Último acceso: Agosto 2022].
- [104] B. Salazar, «Ingeniería Industrial,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/valoracion-del-ritmo-de-trabajo/>. [Último acceso: agosto 2022].
- [105] «Ingeniería Industrial,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/valoracion-del-ritmo-de-trabajo/>. [Último acceso: Agosto 2022].
- [106] B. S. Lopez, «Ingeniería Industrial,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/calculo-del-tiempo-estandar-o-tiempo-tipo/>. [Último acceso: 2022].
- [107] «Ingenioempresa,» 2018. [En línea]. Available:

- <https://www.ingenioempresa.com/takt-time/>. [Último acceso: 2022].
- [108] «Lean Manufacturing,» 2018. [En línea]. Available: <https://leanmanufacturing10.com/takt-time-tiempo-ciclo-definicion-ejemplos>. [Último acceso: 2022].
- [109] C. A. Bernal, Metodología de la investigación, México, 2014.
- [110] R. Rojas, Investigación científica, España: Trillas, 2019.
- [111] C. Marte, «Ambit,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ambit-bst.com/blog/c%C3%B3mo-hacer-un-value-stream-mapping-vsm#:~:text=El%20mapa%20de%20flujo%20de,hasta%20su%20entrega%20al%20cliente..> [Último acceso: 2022].
- [112] «Questionpro,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/blog/es/diagrama-de-pareto/>. [Último acceso: 2022].
- [113] B. S. Lopez, «Ingeniería industrial,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/nivel-sigma-y-dpms/>. [Último acceso: 2022].
- [114] «Mecalux esmena,» 21 enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.mecalux.es/blog/takt-time#:~:text=Takt%20Time%3A%20definici%C3%B3n,satisfacer%20la%20demanda%20del%20cliente..> [Último acceso: noviembre 2022].
- [115] «ZFOAM,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.zfoam.com/espumas-polietileno-que-son-y-para-que-sirven/#:~:text=Aplicaciones%20de%20la%20espuma%20de%20polietileno&text=Fabricaci%C3%B3n%20de%20packaging,ac%C3%BAstico%2C%20y%20contra%20la%20humedad.> [Último acceso: 2022].
- [116] M. & S. J. L. Rajadell, Lean Manufacturing La Evidencia de una Necesidad, España: Ediciones Díaz de santos, 2010.
- [117] J. H. y. A. Idoipe, Lean manufacturing conceptos y técnicas de implementación, Madrid, 2013.
- [118] B. DÍAZ GARAY, Disposición de planta, Lima: Segunda, 2014.
- [119] C. y. B. L. FERNÁNDEZ COLLADO, Metodología de la Investigación, Mc Graw Hill , 2014.
- [120] F. A. Durán, Ingeniería de métodos: Técnicas para el manejo eficiente de los recursos en organizaciones fabriles, Guayaquil, 2007.
- [121] B. Niebel, Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo, México: Mc Graw Hill, 2010.
- [122] S. Shingo, Una revolución en la producción: Sistema SMED, Madrid: Routledge, 2017.
- [123] J. A. Ruíz, Mejora de métodos y tiempos de fabricación, Barcelona: Marcombo, 2012.
- [124] P. Alvial, «Uso de tecnología en rehabilitación.,» *Accessed*, nº 9, p. 7, 2022.
- [125] ISSN, «El origen de los histogramas,» *Revista Estadística Española*, pp. 29-35, 2017.

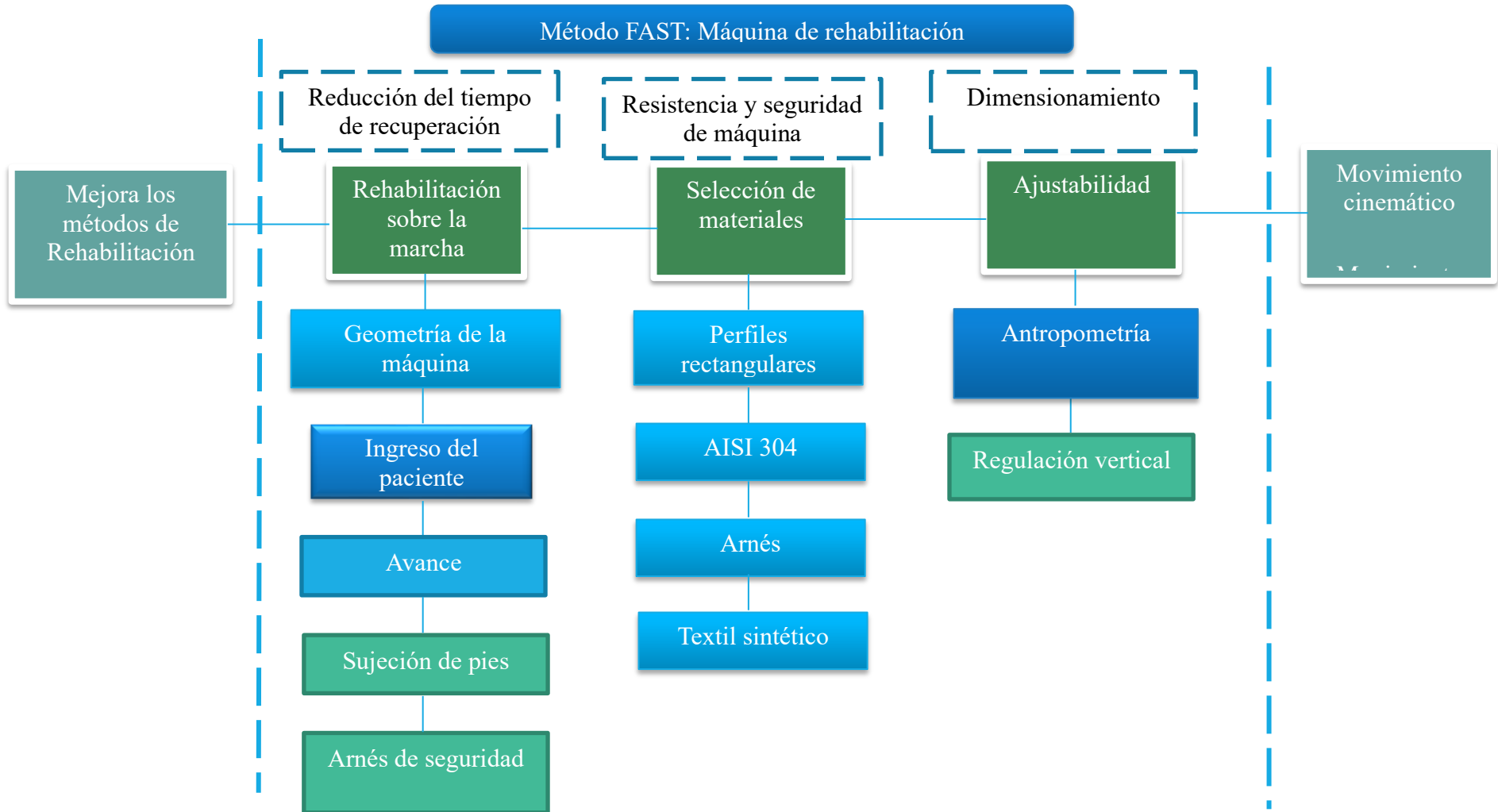
CAPÍTULO VI

ANEXOS


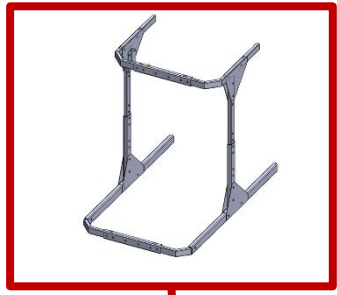








Anexos 1. Metodología árbol de funciones aplicado en la máquina de rehabilitación.



Anexos 2. Aplicación del método Fast en el diseño de la máquina de rehabilitación.



Anexos 3. Método de la matriz morfológica usada en la máquina de rehabilitación.



Designación	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Geometría de la estructura				
Arnés de seguridad				
Tipo de Material	 AISI 304	AISI 316L	AISI 201 recocido (SS)	
Perfiles	Cuadrado	 Rectangular	Cilíndrico	Mixto

<p>Sistema de avance</p>				
<p>Sistema de sujeción de extremidades</p>				 <ul style="list-style-type: none"> • Double-layer sponge • Fits the skin • Soft and skin-friendly • Multiple steel plates • Better fixing effect
<p>Sistema de frenado</p>	<p>Freno en 2 ruedas bloqueo de pies</p>	<p>Freno en las 4 ruedas bloqueo de manos</p>	<p>Freno en las 4 ruedas bloqueo mixto</p>	<p>Sin bloqueo de ruedas</p>

Anexos 4. Equipos de seguridad.


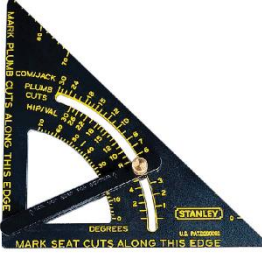

<p>Gafas de seguridad.</p> 	<p>Guantes de protección.</p> 
<p>Overol industrial.</p> 	<p>Botas industriales.</p> 

Anexos 5. Máquinas herramientas usadas.

<p>Amoladora DEWALT 4 $\frac{1}{2}$ in 800W.</p> 	<p>Cortadora de Metales 14 in 2200W DeWalt.</p> 
<p>Taladro de banco.</p>	<p>Taladro de mano.</p>

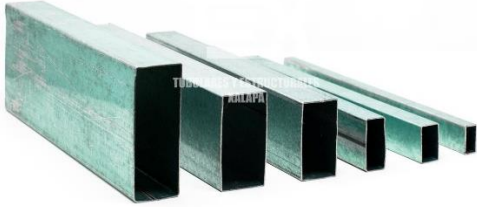



	
<p>Soldadora MMA</p> 	<p>Lijadora circular.</p> 

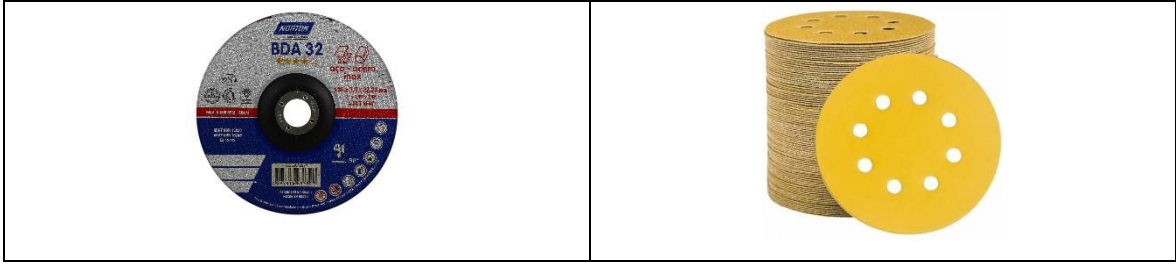
Anexos 6. Herramientas utilizadas en el proceso.

<p>Escuadra.</p> 	<p>Escuadra angular.</p> 
<p>Escuadra magnética.</p> 	<p>Punzón.</p> 
<p>Caja de datos.</p>	<p>Llaves de tuercas.</p>

	
<p>Pinza de presión.</p> 	<p>Brocas.</p> 

Anexos 7. Materiales.

<p>Perfilería rectangular AISI 304.</p> 	<p>Plancha de Acero AISI 304.</p> 
<p>Sujeciones Empernadas.</p> 	<p>Electrodos E308L.</p> 
<p>Disco de corte y de pulir.</p>	<p>Discos lija.</p>



PROCESO DE MANUFACTURA.

Anexos 8. Selección y compra del perfil.



Anexos 9. Seccionamiento del perfil en función a las medidas del plano.



Anexos 10. Corte de la sección inferior de la máquina de rehabilitación.



Anexos 11. Cortes de la sección central de la máquina de rehabilitación.



Anexos 12. Corte de la sección superior de la máquina de rehabilitación.



Anexos 13. Perfiles cortados.



Anexos 14. Arreglo del corte.



Anexos 15. Extracción de limalla de acero.



Anexos 16. Medición de los perfiles a cortar y doblar.



Anexos 17. Seccionamiento del perfil 40x20x1,5.



Anexos 18. Perfil seccionado.



Anexos 19. Corte del perfil seccionado.



Anexos 20. Doblado del perfil.



Anexos 21. Perfiles cortados y doblados.



Anexos 22. Perforación de los perfiles estructurales.



Anexos 23. Marcar las planchas para los refuerzos.



Anexos 24. Corte de los refuerzos de perfil.



Anexos 25. Proceso de lijado y pulido de los elementos.



Anexos 26. Proceso de soldadura.



Anexos 27. Proceso de desbaste del exceso de soldadura.



Anexos 28. Ensamble de los perfiles.



Anexos 29. Perfiles ensamblados.



Anexos 30. Montaje de los perfiles laterales de la máquina.



Anexos 31. Diseño del arnés de seguridad.



Anexos 32. Arnés de seguridad.



Anexos 33. Vista lateral máquina de rehabilitación.



Anexos 34. Regulación de la máquina en función a la antropometría del paciente.



Anexos 35. Prueba de funcionamiento de la máquina.



Anexos 36. Vista frontal máquina de rehabilitación.



PLANOS