



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GUANTE DE REHABILITACIÓN DE MANO
DERECHA PARA PERSONAS CON DISTROFIA MUSCULAR**

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

AUTOR: SEBASTIÁN EDUARDO CALDERÓN CUADROS

TUTOR: BYRON RICARDO ZAPATA CHANCUSIG

Quito – Ecuador

2024

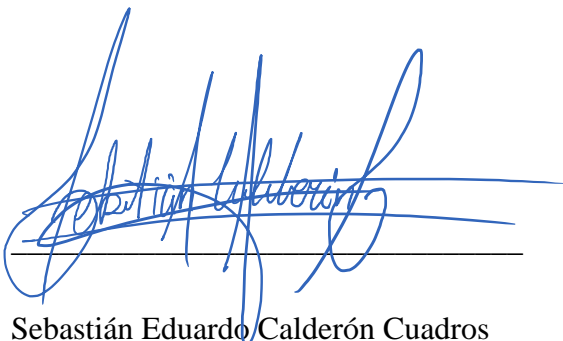
I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Sebastián Eduardo Calderón Cuadros con documento de identificación N°1723822704 manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 28 de febrero del año 2024

Atentamente,



Sebastián Eduardo Calderón Cuadros

1723822704

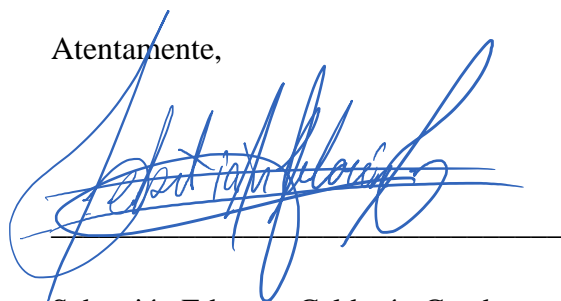
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Sebastián Eduardo Calderón Cuadros con documento de identificación N°1723822704, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Dispositivo tecnológico: “Diseño y Construcción De Un Guante De Rehabilitación De Mano Derecha Para Personas Con Distrofia Muscular ”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 28 de febrero del año 2024

Atentamente,



Sebastián Eduardo Calderón Cuadros

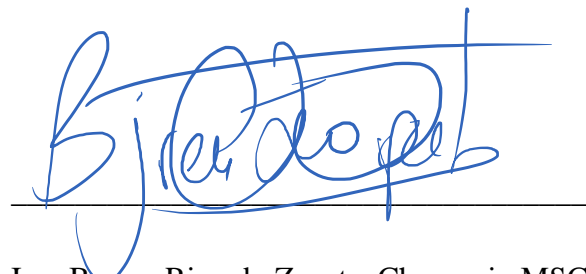
1723822704

III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Byron Ricardo Zapata Chancusig con documento de identificación N°1723724876, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GUANTE DE REHABILITACIÓN DE MANO DERECHA PARA PERSONAS CON DISTROFIA MUSCULAR, realizado por Sebastián Eduardo Calderón Cuadros con documento de identificación N°1723822704, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Byron Ricardo Zapata Chancusig MSC.

1723724876

IV. DEDICATORIA

A mis padres Eduardo, Liliana y a mi esposa Michelle, quienes formaron parte fundamental en mi carrera profesional, siendo un pilar en mi vida, brindándome todo su amor y apoyo incondicional en cada proceso para cumplir con todos mis objetivos y metas propuestas.

Son el claro ejemplo de superación, dedicación y esfuerzo que bajo trabajo duro se puede salir adelante y cumplir con el objetivo.

(Calderón S.)

V. AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios por haberme dado la vida y la sabiduría para completar exitosamente una etapa más de mi educación como profesional. También quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana por darme la oportunidad de continuar mi formación académica. No puedo dejar de mencionar a mis docentes, quienes han sido una parte fundamental en mi camino hacia la graduación, compartiendo sus valiosos conocimientos conmigo a lo largo de todo mi proceso educativo. Además, quiero agradecer de manera especial a mis padres, mi esposa y a toda mi familia, quienes me han brindado un apoyo incondicional durante toda esta etapa. Sus palabras de aliento y consejos han sido de gran ayuda para mí en la culminación de mi ciclo universitario.

(Calderón S.)

Contenido

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	4
IV. DEDICATORIA.....	5
V. AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
JUSTIFICACIÓN.....	17
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO I.....	19
1.1 Distrofia muscular	19
1.2 Síntomas de la distrofia muscular.....	19
1.3 Causas de la distrofia muscular	20
1.4 Factores de riesgo de la distrofia muscular	20
1.5 Complicaciones de la distrofia muscular.....	21
1.6 Tratamiento para la distrofia muscular.....	22
1.7 Dispositivos de ayuda en distrofia muscular	23
1.8 Anatomía de la mano.....	24
1.8.1 Movimientos de la mano.....	25

1.9	Tecnologías mecatrónicas para el desarrollo de prototipos.....	27
1.9.1	Neumática	27
1.9.2	Reguladora de presión.....	27
1.9.3	Bomba de aire	28
1.9.4	Sensor de presión MSP20N0040D	29
1.10	Dispositivos electrónicos	29
1.10.1	Arduino Uno.....	29
1.10.2	Válvula solenoide electrónica	30
1.10.3	Puente H L298N.....	30
CAPÍTULO II		32
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....		32
2.1	Alternativas de solución mecánica.....	32
2.1.1	Alternativa 1.....	32
2.1.2	Alternativa 2.....	33
2.1.3	Alternativa 3.....	33
2.1.4	Análisis de alternativas de diseño mecánico.....	34
2.2	Alternativas de material para el guante	35
2.2.1	Guante de algodón elástico	35
2.2.2	Guante con fibras kevlar	35
2.2.3	Guante de nylon	35
2.2.4	Análisis de alternativas para material del guante.....	36
2.3	Alternativas bombas de vacío	37
2.3.1	Mini bomba sumergible	37
2.3.2	Micro bomba ckv3712	37

2.3.3	Bomba de vacío replacement 12524.....	38
2.3.4	Análisis de alternativas para bomba de vacío	38
2.4	Alternativas de controladores.....	39
2.4.1	Raspberry Pi Pico.....	39
2.4.2	Arduino Uno	40
2.4.3	STM32	40
2.4.4	Análisis de alternativas controlador.....	41
CAPÍTULO III.....		43
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN		43
3.1	Diseño del guante	43
3.1.2	Confección del guante.....	44
3.2	Diseño del prototipo	45
3.4	Cálculo y selección de equipos	47
3.4.1	Cálculo de manguera.....	47
3.4.2	Diseño de soportes	49
3.5	Diagrama neumático y eléctrico.....	59
3.5.1	Simulación de sistema neumático.....	59
3.6	Sistema de control eléctrico	61
3.7	Diagrama de flujo del proceso	63
CAPÍTULO IV		67
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		67
4	Pruebas de movimiento.....	67
4.4	Prueba de apertura y cierre del mecanismo	67
4.5	Prueba de apertura y cierre del mecanismo en funcionamiento	69

4.6	Prueba de funcionamiento de sensor de presión.....	71
4.7	Costos	73
4.7.1	Costo elementos mecánicos	73
4.7.2	Costos elementos eléctricos	74
4.7.3	Costos elementos neumáticos	75
4.7.4	Mano de obra	75
4.7.5	Total de costos del Guante de Rehabilitación Muscular para DM	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		77
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....		79
ANEXOS.....		84
ANEXO 1		84
	Planos del Soporte 1.....	85
ANEXO 2		85
	Planos del Soporte 2.....	85
ANEXO 3		86
	Planos del Soporte.....	86
ANEXO 6		89
	Proyecto Armado	89
Figura 1. Standers y Bipedestación [17].....		23
Figura 2. Sistema Robótico Lokomat [18].....		24
Figura 3. Dispositivo Rapael [19].....		24

Figura 4. Anatomía mano [20].....	25
Figura 5. Movimiento de la Mano [20].....	26
Figura 6. Regulador de presión [22].	28
Figura 7. Bomba de Vacío [24].	28
Figura 9: Arduino Uno [29].....	30
Figura 10. Válvula Solenoide [30].....	30
Figura 11. Puente H L298N [30].	31
Figura 12. Mano Robótica por Cables [31].	32
Figura 13. Mano Robótica por Poleas [31].....	33
Figura 14. Mano Robótica por Mangueras [32].	34
Figura 15. Rasberry Pi Pico[36].	40
Figura 16. Arduino Uno [37].	40
Figura 17. STM32 [38].	41
Figura 18. Medidas para el guante [39].	43
Figura 19. Parte posterior del guante (a), parte delantera del guante (b).....	44
Figura 20. Diseño guante rehabilitador.	45
Figura 21. Gráfica Inflado con Usuario.	47
Figura 22. Manguera corrugada.	48
Figura 23. Medidas manguera corrugada.	48
Figura 24. Diseño del Soporte 1.	50
Figura 25. Medidas del Soporte 1.	50
Figura 26. Tensión en Soporte 1.....	51
Figura 27. Desplazamiento en Soporte 1.	52
Figura 29. Soporte 2.....	53

Figura 30. Medidas Soporte 2.....	53
Figura 31. Tensión Soporte 2.....	54
Figura 32. Desplazamiento Soporte 2.....	55
Figura 33. Factor de seguridad soporte 2.....	72
Figura 34. Soporte 3.....	56
Figura 35. Medidas Soporte 3.....	56
Figura 37. Desplazamiento Estático en el Soporte 3.	58
Figura 38. Factor de Seguridad Soporte 3.	58
Figura 39. Simulación Neumática del sistema de inflado y succión.	59
Figura 40. Diagrama eléctrico.	61
Figura 41. Diagrama de flujo del proceso.....	64
Figura 42. Prueba de Mecanismo Presión Positiva.....	67
Figura 43. Prueba de Mecanismo Presión Negativa.....	68
Figura 44 Ángulo en cierre de la mano (a), ángulo en apertura de la mano (b).	70
Figura 45 Apertura (a) y cierre (b) de Mano con el dispositivo.	70
Figura 46. Gráfica de vacío sin carga.	71
Figura47. Gráfica de inflado sin carga.....	71
Figura 48. Gráfica de vacío con carga.	72
Figura 49. Gráfica de Inflado con Usuario.	72
Tabla 1. Relación de la distrofia de Becker y Duchenne [12].	19
Tabla 2. Ventajas y desventajas de neumática [21]	27
Tabla 3. Especificaciones de Puente H [30].	31
Tabla 4. Calificación de alternativas del diseño mecánico.	34

Tabla 5. Ventajas de Material en Guantes	36
Tabla 6. Calificación de alternativas para Bombas.....	39
Tabla 7. Calificación de alternativas para controlador.	41
Tabla 8. Medidas para la construcción del guante.	43
Tabla 9. Materiales del guante.	44
Tabla 10. Partes del guante rehabilitador.....	45
Tabla 11. Propiedades de la resina.....	49
Tabla 12. Elementos Neumáticos.....	60
Tabla 13. Elementos electrónicos del guante rehabilitador.	62
Tabla 14. Ángulo de los dedos sin carga.	68
Tabla 15. Ángulo de los dedos con carga.	69
Tabla 16. Costos para la construcción mecánica.	73
Tabla 17. Costos para la construcción eléctrica.....	74
Tabla 18. Costos para elementos neumáticos.	75
Tabla 19. Costos mano de obra.....	75
Tabla 20. Total de Costos.	76

RESUMEN

Este proyecto tiene como propósito central el diseño y construcción de un guante rehabilitador destinado a mejorar la movilidad de la mano derecha en personas que sufren distrofia muscular. La necesidad de esta innovación se fundamenta en la pérdida de movilidad que enfrentan estas personas, buscando proporcionar una solución efectiva y de bajo costo.

La fase de diseño e implementación del guante involucró una investigación exhaustiva de mecanismos de rehabilitación disponibles en el mercado. Se realizó un análisis detallado de diversas opciones de materiales, accesorios y equipos para la construcción del dispositivo. La selección de estos componentes se basó en criterios de eficacia, seguridad y funcionalidad.

El uso del software de diseño SolidWorks facilitó la creación de diferentes partes que conforman la estructura del guante. Durante este proceso, se garantizó que cada componente cumpliera con los estándares de seguridad y resistencia apropiados para el material seleccionado, asegurando así la calidad y durabilidad del dispositivo. La efectividad del guante rehabilitador se someterá a pruebas en una persona afectada por distrofia muscular en la mano derecha. Estas pruebas se diseñarán para evaluar la mejora de la movilidad, la comodidad del usuario y la efectividad. Los resultados obtenidos de estas pruebas no solo validarán el correcto funcionamiento del guante, sino que también proporcionarán datos cruciales para futuras optimizaciones y mejoras.

Las conclusiones extraídas de las pruebas serán fundamentales para ajustar y perfeccionar el diseño, garantizando una solución efectiva.

Palabras claves: Distrofia muscular, neumática, fuerza, guante, rehabilitación.

ABSTRACT

This project aims to design and construct a rehabilitative glove with the central purpose of enhancing the mobility of the right hand in individuals suffering from muscular dystrophy. The necessity for this innovation is rooted in the mobility challenges faced by these individuals, with the goal of providing an effective solution.

The design and implementation phase of the glove involved a thorough investigation of rehabilitation devices available in the market. A detailed analysis of various options for materials, accessories, and equipment for the construction of the device was conducted. The selection of these components was based on criteria of effectiveness, safety, and functionality.

The use of SolidWorks design software was instrumental in creating the different parts that constitute the structure of the glove. During this process, it was ensured that each component met the appropriate safety and strength standards for the selected material, thereby ensuring the quality and durability of the device.

The effectiveness of the rehabilitative glove will undergo rigorous testing on an individual affected by muscular dystrophy in the right hand. These tests will be designed to assess improvements in mobility, user comfort, and overall effectiveness. The results obtained from these tests will not only validate the proper functioning of the glove but also provide crucial data for future optimizations and enhancements.

The conclusions drawn from the tests will be pivotal in refining and perfecting the design, ensuring an effective and personalized solution.

Keywords: Muscular Dystrophy, Pneumatics, Force, Glove, Rehabilitation.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PROBLEMA DE ESTUDIO

La distrofia muscular es un grupo de trastornos hereditarios, degenerativos, progresivos del músculo estriado, cuya manifestación cardinal es la debilidad de la musculatura estriada esquelética; en otras palabras, el músculo esquelético estriado es un tipo de tejido que funciona con la contracción voluntaria, es decir que se activa solamente cuando la persona quiere realizar un movimiento en específico [1].

Las causas que generan la distrofia y el músculo que será afectado pueden variar, sin embargo, el tratamiento de fisioterapia será el mismo en casos de reducción de la movilidad externa [2], por lo que, la fisioterapia realiza un tratamiento específico y especializado de la zona a mejorar y es fundamental para la recuperación del control voluntario del músculo, sin embargo, se busca dar solución al problema de tiempo y dinero al que los pacientes que se someten al tratamiento están expuestos, puesto que el costo de las terapias son elevadas [3], tomando en cuenta que se necesitan de varias consultas y constancia para ver resultados, proponiendo así, un guante de rehabilitación que será una inversión a largo plazo porque podrá ser usado las veces necesarias hasta ver resultados y sobre todo, los pacientes lograrán culminar el proceso de fisioterapia para la recuperación de movimiento de la mano desde sus hogares [4].

En el Ecuador existen dos posibles formas de acceder a terapias físicas: el sector público y privado, lamentablemente el Estado está saturado de pacientes que requieren no solamente de una terapia, sino también de operaciones, implementos médicos, medicinas, salarios entre otros. Esto hace muy difícil satisfacer las necesidades de cada persona, haciendo que muchas veces tengan que recurrir al sector privado. Los costos por 1 hora al día en terapia van desde los \$15 a \$55 diarios por hora dependiendo de la necesidad de cada persona. El paciente requiere de un tratamiento profesional al menos tres veces a la semana, esto representaría dependiendo del lugar aproximadamente \$180 al mes el precio más conveniente, el sueldo básico en el Ecuador es de \$460 [5], es decir una persona adulta tendría que arreglárselas para vivir con \$280 al mes, aunque no es posible generalizar la situación económica de todos, es la realidad que se viven la mayoría de los habitantes del país.

JUSTIFICACIÓN

La importancia del presente proyecto es de relevancia social porque busca dar una solución a las dificultades que conlleva la distrofia muscular en la mano derecha, mediante la planeación y ejecución de un guante rehabilitador que ayudará a que la pérdida de sensibilidad en la mano no avance tan aceleradamente a pesar de la edad y apoyará económicamente a los pacientes porque se buscará realizarlo con materiales resistentes y a su vez económicos, generando así un dispositivo accesible para la población en general [6].

Tendrá un programa definido que ayudará con los ejercicios a los pacientes que no tengan posibilidades para acceder a sesiones de rehabilitación con el terapeuta, debido a su alto costo e inclusive puede usarlo directamente la persona. El sistema nervioso tiene la capacidad, especialmente en las vías descendentes, de alterar la intensidad de las contracciones musculares cambiando el número de unidades motoras (espaciales) activadas o variando la frecuencia de eyección de su electricidad (tiempo) [7]. El guante creará la facilidad en la terapia manteniendo y aumentando la eficiencia de la misma, generando así un apoyo sustancial para mitigar los síntomas de la distrofia muscular y al ser un dispositivo de interfaz sencilla es de fácil comprensión para su correcto uso, los dispositivos están anatómicamente adaptados al cuerpo humano con sistemas de control de posición y velocidad, lo que garantiza que los pacientes realicen procedimientos seguros [8]. Por otro lado, el dispositivo será de apoyo al fisioterapeuta dado que pueden usarlo dentro de sus terapias y recomendarlo a los pacientes de bajos recursos para realizar la rehabilitación desde casa, haciendo que el fisioterapeuta únicamente revise los avances y mejoras, después de un tiempo de rehabilitación en casa [9].

El tema es personalmente relevante dado que se ha tenido la oportunidad de presenciar las dificultades de la distrofia muscular en una persona cercana y querida, por lo que, el guante rehabilitador si bien será de ayuda para la sociedad, también responderá a una necesidad urgente a tiempo real, brindando soluciones a corto y largo plazo. La preferencia por la mano derecha o la izquierda es la tendencia a usar la mano con más destreza y comodidad que la otra para tareas como escribir a máquina y lanzar. Aunque este porcentaje varía en todo el mundo, en los países

occidentales del 85 al 90% de las personas son diestras y del 10 al 15 % son zurdas, por este motivo se escogió realizar el dispositivo para la mano más propensa a sufrir algún tipo de lesión [10]

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un guante de rehabilitación muscular de la mano derecha para la distrofia muscular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estado del arte referente a distrofia muscular para obtener parámetros de diseño de un guante rehabilitador.
- Construir un guante mediante dispositivos mecatrónicos para la rehabilitación de mano derecha de personas con distrofia muscular.
- Realizar pruebas de funcionamiento del guante rehabilitador para comprobar su viabilidad a corto plazo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

El primer capítulo del presente trabajo tiene como objetivo proporcionar una justificación teórica para el tema seleccionado. En este capítulo se presentan las definiciones básicas que permiten comprender y contextualizar el tema a desarrollar, así como elementos mecánicos y electrónicos utilizados.

1.1 Distrofia muscular

La debilidad muscular progresiva y la disminución de la masa muscular son síntomas comunes en el grupo de enfermedades conocido como distrofia muscular (DM). Estas condiciones son el resultado de cambios genéticos que impactan en la generación de proteínas esenciales para preservar la salud muscular. La distrofia muscular presenta varios tipos, siendo la variedad más común la que se manifiesta en la infancia, principalmente en hombres. Sin embargo, existen otros tipos que no se desarrollan hasta la edad adulta [11].

1.2 Síntomas de la distrofia muscular

Las diversas variantes de distrofia muscular presentan signos y síntomas distintos para diferentes grupos musculares y grupos de edad [11]. Por ejemplo, la distrofia muscular de Becker presenta manifestaciones y síntomas semejantes a los de la distrofia muscular de Duchenne, detallados en la Tabla 1. Sin embargo, estos síntomas suelen ser menos severos y progresan más lentamente. Los síntomas suelen aparecer durante la adolescencia y pueden aparecer a finales de los veinte [11].

Tabla 1. Relación de la distrofia de Becker y Duchenne [12].

Relación de síntomas entre Becker y Duchenne

- Son causadas por defectos en genes responsables de la función muscular.
- Evolucionan con la niñez o adolescencia en su mayoría varones.
- Se caracterizan por debilidad física.
- El tratamiento de fisioterapia es similar.

1.3 Causas de la distrofia muscular

En la mayoría de los casos, las mutaciones genéticas que impactan las proteínas musculares son la causa de la distrofia muscular (DM), originando cambios en las secuencias de ADN. Estas mutaciones suelen transmitirse por herencia, aunque en ocasiones se producen de manera espontánea. En tales casos, los hijos de la persona afectada también pueden heredar estas mutaciones [13].

Si una mujer tiene un cromosoma x mutado y un cromosoma x no mutado, es posible que no tenga síntomas o que tenga una distrofia más leve que un hombre. Se la llama "portadora" porque tiene una mutación genética y puede transmitirla a sus hijos [13].

Debido a que los hombres tienen solo un cromosoma x, si tienen una mutación genética, a menudo tendrán síntomas de diabetes o tendrán efectos más graves que las mujeres [13].

Un problema de la DM es la rigidez muscular que se puede presentar después de un accidente cerebrovascular suele ser un signo de espasticidad que con el tiempo si no se trata llega a afectar gravemente la movilidad del músculo, Cuando se produce una lesión en la médula espinal, ya sea debido a otro traumatismo o una enfermedad, se genera una interrupción en la comunicación entre el cerebro y la médula espinal.[14].

1.4 Factores de riesgo de la distrofia muscular

La distrofia muscular no discrimina por edad ni raza, pero la forma predominante de la enfermedad, Duchenne, suele presentarse en niños pequeños. Aquellos con historial familiar de distrofia muscular tienen un mayor riesgo de desarrollar la enfermedad o transmitirla a su descendencia [11]. Como resultado, es importante tener en cuenta los antecedentes familiares al evaluar el riesgo de padecer la enfermedad.

La distrofia muscular puede tener diversos factores de riesgo, algunos de los cuales incluyen:

- **Edad:** aunque la distrofia muscular puede afectar a personas de cualquier edad, ciertas formas de la enfermedad suelen manifestarse en la niñez o adolescencia.

- **Género:** ciertas formas de distrofia muscular son más comunes en hombres que en mujeres.
- **Mutaciones genéticas:** algunas mutaciones genéticas pueden aumentar el riesgo de desarrollar la enfermedad.
- **Otras enfermedades:** determinadas afecciones, como enfermedades cardíacas o pulmonares, pueden aumentar el riesgo de complicaciones en personas con distrofia muscular

Es importante tener en cuenta que estos factores de riesgo no necesariamente significan que alguien desarrollará la enfermedad, sino que pueden aumentar la probabilidad de su aparición. Además, puede haber otros factores de riesgo que aún no se han identificado [11].

1.5 Complicaciones de la distrofia muscular

La debilidad muscular progresiva de la distrofia muscular puede causar varias complicaciones, entre ellas:

- Dificultad para caminar ya que a medida que los músculos se debilitan, algunas personas con distrofia muscular pueden experimentar dificultades para caminar y pueden necesitar una silla de ruedas para desplazarse.
- Dificultad para usar las manos debido a la debilidad muscular en los brazos y hombros puede dificultar la realización de actividades cotidianas que requieren fuerza o destreza manual.
- Acortamiento muscular o de tendones la debilidad muscular prolongada puede provocar acortamiento o contracción en los músculos y tendones, lo que puede limitar aún más la movilidad.

Es importante tener en cuenta que la gravedad y las complicaciones pueden variar dependiendo del tipo de distrofia muscular y cómo avanza la enfermedad.. El tratamiento adecuado puede ayudar a prevenir o aliviar estas complicaciones en la medida de lo posible [12].

1.6 Tratamiento para la distrofia muscular

La distrofia muscular constituye un conjunto de trastornos genéticos que impactan la función muscular y, hasta la fecha, carecen de una cura definitiva. No obstante, existen tratamientos disponibles que pueden contribuir a mejorar la calidad de vida de quienes sufren esta condición. [14]. Algunos de estos tratamientos son:

- **Terapia física:** Empezar la fisioterapia a puede contribuir a preservar la flexibilidad y fortaleza muscular. Además, se recomienda una combinación de actividad física y ejercicios de estiramiento. [14].
- **Terapia ocupacional:** La terapia ocupacional se presenta como un recurso beneficioso para asistir a las personas afectadas por distrofia muscular en la recuperación de habilidades motoras que puedan haberse visto perdidas y aprender a trabajar con músculos débiles [14].

Además, existen otros tratamientos útiles para tratar la espasticidad muscular, ya sea que por operaciones, derrames cerebrales u otras circunstancias tensionan los músculos y afectan su correcto funcionamiento, tales como:

- **Ejercicio de fisioterapia:** La neuro plasticidad es un mecanismo que utiliza el cerebro para regenerar y crear nuevas vías neuronales, y el ejercicio de fisioterapia es una forma de relajar los músculos y disminuir la espasticidad [15].
- **Ejercicio pasivo:** Consiste en usar el otro lado no afectado para activar la neuro plasticidad y reconectar el cerebro. Con la suficiente repetición, es posible recuperar algo de movimiento [15].
- **Ejercicio de rango de movimiento:** Es importante mover los músculos afectados varias veces al día dentro de su rango de movimiento para evitar que la tensión muscular empeore [15].
- **Férulas y órtesis:** Son elementos comúnmente utilizados para ayudar o reforzar las extremidades del cuerpo humano [15].

Es importante recordar que el tratamiento debe ser personalizado y adaptado a las necesidades individuales de cada persona con distrofia muscular. Un médico o fisioterapeuta puede recomendar el tratamiento más adecuado para cada caso específico [16].

1.7 Dispositivos de ayuda en distrofia muscular

Actualmente existen algunos dispositivos electromecánicos que logran ser de gran ayuda para las personas con DM, algunos se presentan a continuación:

- **Standers y Bipedestación:** Algunos individuos que sufren de diabetes mellitus pueden experimentar problemas para caminar o permanecer de pie, pero gracias a este dispositivo que ha sido creado con el propósito de brindar apoyo a las personas en una posición de pie parcial o completa, mediante el uso de un equipo de posicionamiento y soporte como se puede ver en la figura 1. De esta forma, el usuario puede obtener los beneficios de estar de pie, lo cual puede ser difícil de lograr por cuenta propia [17].



Figura 1. Standers y Bipedestación [17].

- **Rehabilitación funcional de la marcha a través de Lokomat:** Como se muestra en la figura 2 el Lokomat es un sistema robótico especialmente diseñado para la rehabilitación de la marcha en individuos que han sufrido daños neurológicos a nivel cerebral o de la médula espinal [18]. Con la ayuda de este dispositivo robótico, el equipo puede guiar al paciente para que reproduzca patrones de marcha fisiológicos durante períodos más prolongados y realizar un mayor número de repeticiones.



Figura 2. Sistema Robótico Lokomat [18].

- **Rapael smart glove:** El guante ha sido diseñado específicamente para inducir plasticidad neural en el paciente a través de ejercicios personalizados y específicos con un enfoque en la ludificación. Para lograr esto, el guante Rapael utiliza ejercicios tipo juego que son esenciales para su funcionamiento. Al utilizar el guante y vincularlo con la aplicación Rapae, el paciente es guiado a través de una serie de rutinas repetitivas que trabajan tendones y músculos específicos [19]. Estas rutinas de rehabilitación han sido desarrolladas por Neofect y se basan en ejercicios reales de fisioterapia, combinándolos con juegos divertidos y actividades cotidianas para motivar al paciente. De esta manera, se logra una rehabilitación más efectiva y agradable para el usuario [19]. En la figura 3 se puede apreciar la estructura del dispositivo.



Figura 3. Dispositivo Rapael [19].

1.8 Anatomía de la mano

El miembro superior humano está formado por una serie de huesos entre los que se encuentra la mano. La mano está formada por un total de 27 huesos, como se muestra en la figura 4. Este hueso

se divide en tres áreas principales. metacarpiano, 5 huesos; Una falange formada por 14 huesos. Además, los huesos del antebrazo, conocidos como radio y cúbito., conectan la mano con el resto del cuerpo [20].



Figura 4. Anatomía mano [20].

1.8.1 Movimientos de la mano

La mano humana puede realizar varios movimientos y esto gracias a la presencia de los dedos y principalmente del pulgar. Todos estos movimientos son posibles debido a las articulaciones falángicas y metacarpofalángicas. A continuación, se hace una descripción de varios de los movimientos de la mano donde se incluyen arcos y ángulos máximos de cada parte.

- **Flexión-extensión metacarpofalángica:** Tiene un rango de movimiento de 120° a 135° , que se desglosa en 90° de flexión y de 30° a 45° de extensión. [20].
- **Flexión-extensión interfalángica proximal:** El desplazamiento tiene un rango total de 100° , que se limita únicamente a la flexión, ya que normalmente no hay extensión en esta articulación [20].
- **Flexión-extensión interfalángica distal:** Este movimiento abarca un rango total de 90° a 100° , desglosado en 90° de flexión y de 0° a 10° de extensión [20].
- **Abducción-aducción de los dedos:** Este movimiento implica separar y juntar los dedos entre sí. En la abducción, los dedos deben separarse al menos 20° , mientras que en la aducción, los dedos se tocan entre sí [20].

- **Flexión-extensión total del pulgar:** Normalmente, Este movimiento posibilita que la punta del pulgar alcance la punta del meñique cuando ambos están flexionados [20].
- **Flexión-extensión metacarpofalángica del pulgar:** Esta acción tiene un rango de 50° de flexión sin ángulo de extensión [20].
- **Flexión-extensión interfalángica del pulgar:** Este gesto tiene un rango total de 90° a 110°, dividido en 90° de flexión y de 0° a 20° de extensión [20].
- **Abducción-aducción palmar del pulgar:** Esta dinámica tiene un rango total de 70° solo en flexión. Estos datos proporcionan información sobre los movimientos y rangos de movimiento característicos de la mano humana y su pulgar. [20]

En la figura 5 se ilustran los distintos movimientos descritos previamente.

- a) Movilidad de la articulación metacarpofalángica, abarcando tanto la flexión como la extensión.
- b) Movilidad de la articulación proximal interfalángica, abarcando la flexión y extensión.
- c) Amplitud de movimiento en la articulación distal interfalángica, incluyendo la flexión y extensión.
- d) Aducción y abducción de los dedos.

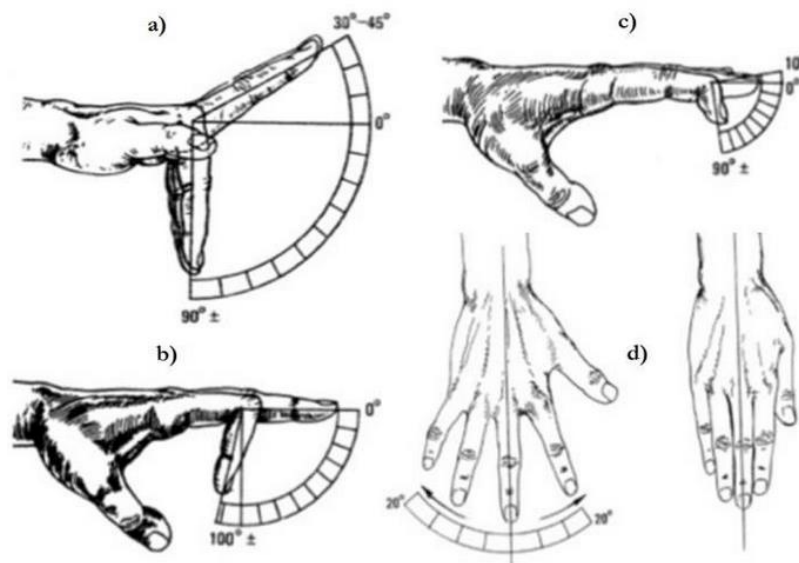


Figura 5. Movimiento de la Mano [20].

1.9 Tecnologías mecatrónicas para el desarrollo de prototipos.

Existen diferentes equipos y energías empleadas en la construcción de prototipos mecatrónicas las cuales forman una sinergia para generar el funcionamiento de los dispositivos.

1.9.1 Neumática

La neumática constituye una disciplina de la ingeniería dedicada a la investigación y aplicación de la tecnología que emplea aire comprimido como medio para la transmisión de energía, con el propósito de controlar y automatizar sistemas mecánicos. En términos simples, la neumática es el uso del aire comprimido para generar movimiento y energía en máquinas y sistemas industriales. El objetivo principal de la neumática es proporcionar un control preciso y eficiente de los equipos, lo que aumenta la productividad y reduce los costos de producción [21]. Los principales se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de neumática [21].

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">- Las máquinas neumáticas pueden ser de diversos tamaños y pesos, y pueden ser extremadamente veloces y potentes en su funcionamiento.- Fácil de almacenar.- No existe riesgo de explosión.- Bajo precio de sus elementos	<ul style="list-style-type: none">- Instalación costosa.- Puede generar ruidos molestos.- Disminuye el rendimiento con fugas.- Si el circuito es muy largo se pueden producir pérdidas considerables.

1.9.2 Reguladora de presión

Según se muestra en la Figura 6, el regulador tiene como función mantener constante la presión de entrada del aire debe regularse, siendo la presión de salida igual o ligeramente inferior a la presión del tanque o depósito. [22].

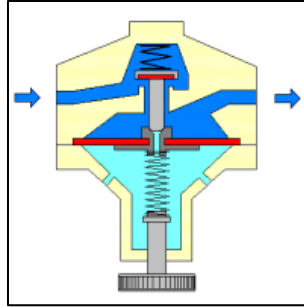


Figura 6. Regulador de presión [22].

1.9.3 Bomba de aire

Una bomba de aire es un dispositivo que se utiliza para crear y controlar el flujo de aire. Su función principal es comprimir aire y entregarlo a través de ductos o tuberías para su uso en diversas aplicaciones. Las bombas de aire pueden venir en muchos tipos y tamaños diferentes, desde pequeñas bombas portátiles hasta grandes sistemas industriales. Funcionan a través de un mecanismo que extrae aire a alta presión, lo que permite transportarlo de manera eficiente. Estas bombas pueden funcionar con electricidad, un motor de combustión interna o incluso manualmente. Algunas bombas de aire también pueden incorporar tecnología de control y regulación para ajustar la presión y el flujo de aire a las necesidades específicas de cada aplicación. [23]. En la figura 7 se puede ver una bomba de aire DC usada en los tensiómetros comerciales.



Figura 7. Bomba de Vacío [24].

1.9.4 Sensor de presión MSP20N0040D

Es un módulo de sensor que utiliza el chip AD de alta precisión para el muestreo y un sensor de presión de aire de 0-40KPa. Este producto permite la conexión de una manguera de 2.5 mm para detectar el nivel de aire [15], el mismo debe ir acompañado de un amplificador para que el controlador pueda recibir la señal que está censando, se muestra en la figura 8.

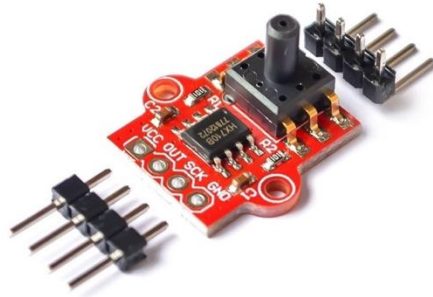


Figura 8: Sensor de Presión [26].

1.10 Dispositivos electrónicos

Un dispositivo electrónico es un objeto que utiliza circuitos y componentes electrónicos para realizar una función específica. Estos dispositivos pueden variar desde circuitos simples, como interruptores y sensores, hasta dispositivos más complejos, como computadoras, teléfonos móviles, televisores, sistemas de navegación y dispositivos médicos. La mayoría de los dispositivos electrónicos también contienen componentes digitales como microprocesadores y memoria que les permiten procesar y almacenar información [27].

1.10.1 Arduino Uno

El Arduino Uno, representado en la figura 9, es una placa de microcontrolador de código abierto y sencilla de utilizar. Está fundamentada en el microchip ATmega328P, destacándose como uno de los modelos más ampliamente adoptados en la familia de placas Arduino.

La placa Arduino Uno está equipada con una extensa variedad de pines de entrada/salida (E/S) digitales y analógicos, posibilitando la conexión y control de diversos componentes electrónicos, tales como sensores, actuadores y módulos de calor. El Arduino Uno está programado utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, que es una plataforma fácil de usar para

principiantes y proporciona una variedad de bibliotecas y ejemplos de código para facilitar el proceso de desarrollo [28]. En la figura 9 se presenta el controlador.

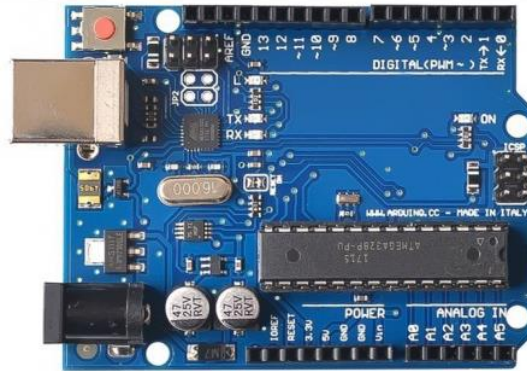


Figura 9: Arduino Uno [29].

1.10.2 Válvula solenoide electrónica

La válvula solenoide de escape de aire, generalmente abierta (N/O) y unidireccional, encuentra su principal aplicación en dispositivos médicos, como el esfigmomanómetro, así como en otros equipos, como aquellos utilizados en masajes, entre diversas utilidades [30]. Este dispositivo se muestra en la figura 10.



Figura 10. Válvula Solenoide [30].

1.10.3 Puente H L298N

Permite controlar la dirección y velocidad de hasta 2 motores DC. Facilita unir 2 canales en paralelo para obtener 1 canal con más capacidad de corriente. Al conectarse en paralelo, se debe

garantizar que ambos canales compartan siempre la misma polaridad y PWM o se podría dañar el puente H [30]. Esto se puede observar en la figura 11.

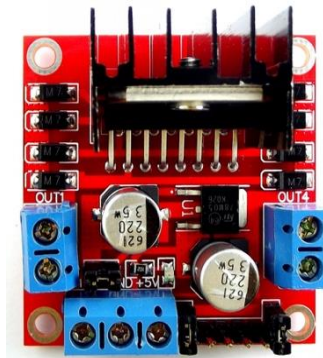


Figura 11. Puente H L298N [30].

En la tabla 3 se presentan las características básicas del puente H L298N.

Tabla 3. Especificaciones de Puente H [30].

Características	Descripción
Canales	2
Voltaje lógico	5V
Voltaje de potencia	5V-35V DC
Capacidad de corriente	2A
Potencia máxima	25W

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En esta sección, se exploran las posibles opciones que abordarán la principal dificultad identificada en el análisis. Este proceso facilitará la selección de la alternativa más adecuada para su implementación.

2.1 Alternativas de solución mecánica

2.1.1 Alternativa 1

En esta alternativa se plantea la implementación de cables conectados a un motor, junto con un sistema de control que posibilita la realización de diversos ejercicios. En la confección del exoesqueleto del dispositivo, se empleará la tecnología de impresión 3D, y la unión del mecanismo es desde la punta de los dedos a los motores. Aunque esta opción cumpliría eficazmente con la función principal de movilizar la mano, es importante señalar que podría haber una ligera disminución en la comodidad para el usuario. En la figura 12 se presenta una representación visual de una mano robótica con este sistema.



Figura 12. Mano Robótica por Cables [31].

2.1.2 Alternativa 2

Se propone un mecanismo que utiliza una serie de palancas y poleas conectadas a cada hueso del dedo. Este sistema permite la transmisión precisa del movimiento generado por los motores, logrando un control detallado sobre la movilidad de los dedos. Además, para adaptarse a diferentes tamaños de dedos, se integra la capacidad de ajustar los mecanismos mediante tornillos. La construcción mecánica del dispositivo se compone de una serie de eslabones alineados con los ejes de los dedos, asegurando una mayor eficiencia y precisión en los movimientos. La fabricación del mecanismo se llevará a cabo mediante impresión 3D, garantizando la creación de juntas y poleas con precisión y fiabilidad. La figura 13 ilustra un mecanismo que refleja estas características.

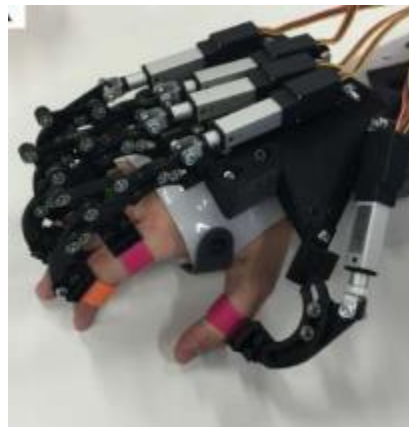


Figura 13. Mano Robótica por Poleas [31].

2.1.3 Alternativa 3

En esta propuesta, se sugiere la incorporación de un mecanismo neumático destinado a facilitar el movimiento de los dedos de la persona. Además, se plantea la implementación de un sistema de control automático mediante un microcontrolador para asegurar un funcionamiento eficiente. Esta alternativa puede ser fabricada de manera adaptable a diversos tipos de guantes que resulten cómodos para el usuario. Gracias a su diseño flexible, y su tamaño compacto lo convierte en una opción óptima para la portabilidad. La figura 14 ofrece una representación visual de una construcción con características similares.



Figura 14. Mano Robótica por Mangueras [32].

2.1.4 Análisis de alternativas de diseño mecánico

En la Tabla 4 se presentan diversos indicadores junto con sus respectivos porcentajes. En el proceso de evaluación de las opciones correspondientes, se asignó un valor de 1 para la calificación más baja y un valor de 10 para la calificación más alta.

Tabla 4. Calificación de alternativas del diseño mecánico.

Variables	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Ideal
Costo	5	4	8	10
Facilidad de Fabricación	6	5	9	10
Durabilidad	7	6	9	10
Peso	4	3	8	10
Puntuación Total	38	34	51	60
Puntuación Porcentual	63%	56%	85%	100

Los resultados del análisis de alternativas indican que la mejor opción con un 85% es la tercera alternativa. La alternativa 3 se destaca por su confiabilidad y facilidad de fabricación para el movimiento del dispositivo, lo que la convierte en la opción más adecuada.

2.2 Alternativas de material para el guante

Se presentarán a continuación los materiales mecánicos y neumáticos que se utilizarán en la construcción del guante rehabilitador.

2.2.1 Guante de algodón elástico

Estos guantes destacan por su textura suave y confortable al tacto, convirtiéndolos en una elección idónea para su uso prolongado. Su material no solo proporciona comodidad, sino que también contribuye a mantener las manos frescas y secas incluso durante periodos extensos de utilización. La combinación de estas características ofrece una experiencia más agradable para el usuario, promoviendo la comodidad y el bienestar a lo largo del tiempo de uso continuo [33].

2.2.2 Guante con fibras kevlar

El guante con fibras Kevlar se destaca por su excepcional resistencia a la abrasión, cortes y desgarros, confiriéndole una durabilidad notable. No obstante, es importante destacar que, a pesar de su fortaleza, presenta limitaciones en cuanto a flexibilidad, lo que puede afectar la destreza y la habilidad para realizar manipulaciones precisas. Aunque este guante es ideal en entornos donde la resistencia a condiciones adversas es primordial, se debe considerar cuidadosamente la naturaleza de las tareas que requieren una mayor flexibilidad y destreza manual [33].

2.2.3 Guante de nylon

Los guantes fabricados con nylon se destacan por su transpirabilidad, facilitando la circulación de aire para mantener las manos cómodas durante su uso. Además, ofrecen una excelente maniobrabilidad, permitiendo realizar tareas con destreza y precisión. Estas características hacen que los guantes de nylon sean una elección versátil y cómoda, especialmente en situaciones donde la comodidad y la agilidad son fundamentales [33].

2.2.4 Análisis de alternativas para material del guante

En la tabla 5 se muestra ver las diferentes ventajas de cada material junto a los indicadores con sus respectivos porcentajes. En el proceso de evaluación de las opciones correspondientes, se asignó un valor de 1 para la calificación más baja y un valor de 10 para la calificación más alta.

Tabla 5. Ventajas de Material en Guantes

Alternativas de Materiales				
	Algodón	Kevlar	Nylon	Ideal
Comodidad	10	7	6	10
Transpirabilidad	9	8	6	10
Absorción	5	7	6	10
Protección	6	8	7	10
Costo	10	4	5	10
Limpieza	6	7	8	10
Puntuación Total	46	41	38	60
Puntuación Porcentual	76%	68%	63%	100%

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5, se aprecia que la opción de emplear guantes de algodón es la más adecuada para las necesidades del dispositivo con un 76% superando con 8% a la alternativa más cercana. Esto se debe a que estos guantes cumplen con los requerimientos necesarios y proporcionan una mejor adaptabilidad al uso del dispositivo. En comparación con otras alternativas, los guantes de algodón obtienen un mejor desempeño en las pruebas realizadas. Por lo tanto, se considera que utilizar guantes de algodón es la opción más recomendada para garantizar la eficacia y seguridad del dispositivo.

2.3 Alternativas bombas de vacío

Las bombas de vacío son dispositivos mecánicos especialmente diseñados para extraer gases o líquidos de un determinado recipiente o sistema trasvasado de gases. Este proceso de flujo genera una diferencia de presión, medida en relación con la presión atmosférica o con un punto de operación específico. Este diferencial de presión posibilita mantener una presión subatmosférica en aplicaciones que lo demanden. [33].

2.3.1 Mini bomba sumergible

La mini bomba sumergible es ampliamente empleada en peceras, destacándose por su eficiencia energética capaz de manejar caudales que oscilan entre 80 y 120 L/h, este dispositivo, fabricado en plástico, presenta una vida útil de 500 horas [33]. Su preferencia en ambientes acuáticos se debe a su eficiencia operativa con bajo consumo de energía, garantizando un desempeño confiable y duradero en la gestión de entornos acuáticos como acuarios.

2.3.2 Micro bomba ckv3712

El modelo CKV3712 opera en un rango de 3 a 6 V, con la capacidad de generar un vacío de -70 kPa. Su flujo de aire oscila entre 2 y 4.5 L/min, y su nivel de ruido se sitúa en el rango de 40 a 60 dB, tiene un peso de 65g y su tamaño es de 6cm de largo por 3cm diámetro lo que la hace de fácil acople. Esta bomba encuentra aplicaciones en diversos dispositivos, como limpiadores nasales, envases al vacío y otros instrumentos de belleza. Se destaca por su longevidad, con una vida útil que supera las 500 horas [34]. Este modelo ofrece un rendimiento eficaz y versátil, siendo una elección confiable para aplicaciones que requieren generación de vacío y flujo controlado de aire.

2.3.3 Bomba de vacío replacement 12524

La Bomba de Vacío Replacement 12524 es una bomba empleada en uso doméstico, comúnmente incorporada en algunos refrigeradores. Con una potencia de 1/4 HP a 115 V, esta bomba posee una capacidad de 225 ml. Su utilidad es en entornos no comerciales, especialmente en el campo de la refrigeración, destaca por su capacidad para mantener condiciones óptimas en sistemas de almacenamiento de alimentos. Sin embargo, su tamaño y peso la hacen menos adecuada para un transporte continuo.

2.3.4 Análisis de alternativas para bomba de vacío

En la Tabla 6 se presentan diversos indicadores con sus respectivos porcentajes. En el proceso de evaluación de las opiniones correspondientes, se asignó un valor de 1 para la calificación más baja y un valor de 10 para la calificación más alta.

Después de realizar un análisis y la evaluación presentada en la tabla 6, se observa que la Micro Bomba cvk3712 es la alternativa más adecuada para satisfacer las necesidades y requerimientos específicos del dispositivo en cuestión con un 82% superando con 9% a la alternativa más cercana. Esto se debe a que, según los resultados y las puntuaciones obtenidas en la tabla 5, la 370 Micro Bomba muestra un alto rendimiento en términos de fuerza y versatilidad, lo que la convierte en la opción más eficiente para cumplir con los objetivos del proyecto.

Tabla 6. Calificación de alternativas para Bombas.

Alternativas Bombas				
	Mini bomba Sumergible	Micro Bomba cvk3712	Bomba Vacío Replacement 12524	Ideal
Versatilidad	9	9	4	10
Costo	9	8	5	10
Nivel de Ruido	7	8	5	10
Durabilidad	6	8	9	10
Mantenimiento	6	8	5	10
Puntuación Total	44	49	37	60
Puntuación Porcentual	73%	82%	62%	100%

2.4 Alternativas de controladores

A continuación, se detallarán los materiales mecánicos y neumáticos que se emplearán en la fabricación del guante rehabilitador.

2.4.1 Raspberry Pi Pico

La Raspberry Pi Pico representa una placa de desarrollo asequible y eficiente, desarrollada por la Fundación Raspberry Pi. Esta es una placa pequeña como se presenta en la figura 15, similar a un microcontrolador, pero con más funciones y capacidades [36].



Figura 15. Rasberry Pi Pico[36].

2.4.2 Arduino Uno

Una de las características más destacadas de Arduino Uno es su escalabilidad. Se pueden agregar tarjetas de expansión, conocidas como "shields", para incorporar funcionalidad adicional, como conectividad Wifi, Ethernet, pantallas LCD y más [37]. En la figura 16 se muestra el controlador Arduino Uno.

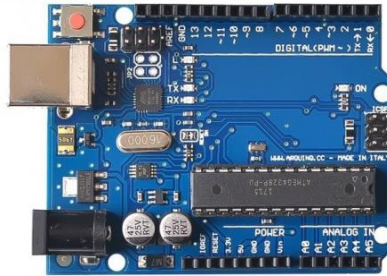


Figura 16. Arduino Uno [37].

2.4.3 STM32

La tarjeta de desarrollo STM32, también conocida como Blue Pill mostrada en la figura 17, es una placa de bajo costo que incluye el núcleo ARM® Cortex-M3 de 32 bits de alto rendimiento. Esta tarjeta es ideal para comenzar proyectos basados en el microcontrolador STM32 y cuenta con terminales header macho-macho que se pueden soldar fácilmente. La placa es de gran interés gracias a sus aplicaciones en la electrónica y en diversos proyectos, que abarcan desde la construcción de dispositivos domóticos hasta la programación de sistemas de control industrial. Además, la STM32 cuenta con una comunidad extensa de desarrolladores que comparten recursos y proyectos en línea, convirtiéndola en una herramienta valiosa y versátil para cualquier persona con interés en la programación y la electrónica. [38].

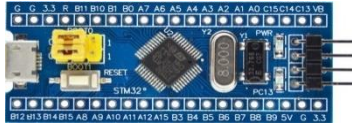


Figura 17. STM32 [38].

2.4.4 Análisis de alternativas controlador

En la Tabla 7 se presentan indicadores específicos junto con sus respectivos porcentajes. En el proceso de evaluación de las opiniones correspondientes, se asignó un valor de 1 para la calificación más baja y un valor de 10 para la calificación más alta.

Tabla 7. Calificación de alternativas para controlador.

Alternativas de Controladores				
	Raspberry Pi	Arduino Uno	STM32	Ideal
Capacidad de Procesamiento	8	7	8	10
Interfaz de Programación	7	9	7	10
Confiabilidad	8	8	8	10
Pines de conexión con periféricos	7	10	8	10
Costo	7	9	8	10
Puntuación Total	37	43	40	50
Puntuación Porcentual	74%	86%	80%	100%

Después de un análisis de las alternativas de controladores disponibles, se aprecia que el Arduino Uno es la opción más adecuada con un 86% superando con un 6% a la alternativa más cercana, siendo la que mejor se adapta para el uso en el dispositivo en cuestión. Sus características y funcionalidades son ideales para el proyecto, y su bajo costo lo hace una opción asequible. Además, la facilidad de uso y programación del Arduino Uno lo hacen una opción ideal para este proyecto de ingeniería.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

En este capítulo, se proporciona una descripción detallada del proceso de diseño e implementación de un guante rehabilitador destinado al tratamiento de la distrofia muscular. Se abordarán tanto el diseño mecánico como la implementación electrónica requeridos para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo.

3.1 Diseño del guante

Para el diseño del guante se basó en las medidas de la mano de una mujer de 87 años con distrofia muscular en la mano derecha a causa de una parálisis cerebral. Para que el guante se ajuste a las necesidades de la persona, se midió el ancho y la longitud de la mano. Además, se tomó el diámetro del dedo medio, como se representa en la figura 18.

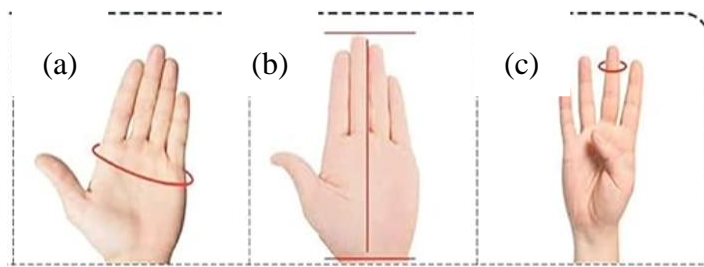


Figura 18. Medidas para el guante [39].

Las medidas obtenidas para el diseño del guante se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Medidas de para la construcción del guante.

Ancho de la mano (a)	Longitud de la Mano (b)	Diámetro del dedo medio (c)
18 cm	15,5 cm	5 cm

3.1.2 Confección del guante

Se tomaron diferentes moldes para asegurar que el guante sea cómodo y con las medidas de la tabla 8 que son específicas para una persona. En la figura 19a se evidencia el molde y 19b la confección final para el dispositivo. El material empleado para el guante es algodón elástico.

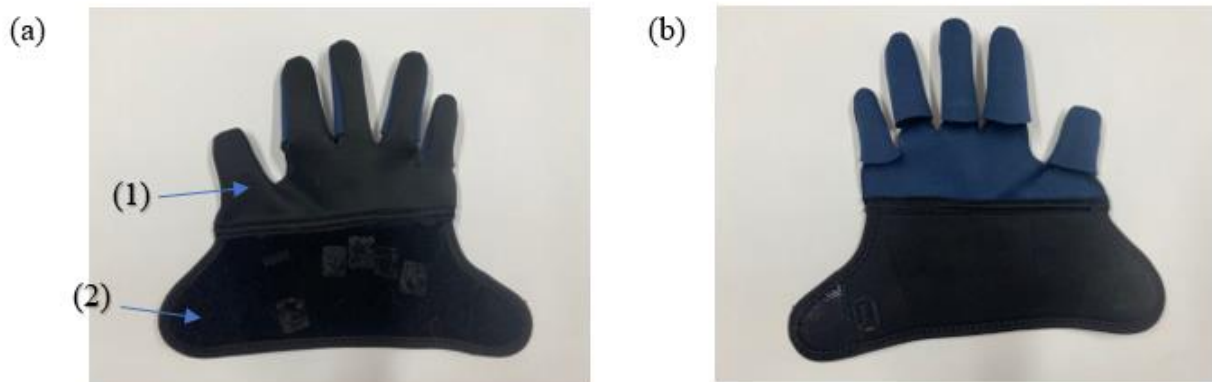


Figura 19. Parte posterior del guante (a), parte delantera del guante (b).

En la tabla 9 se detallan los materiales del guante.

Tabla 9. Materiales del guante.

Parte	Detalle
(1) Algodón flexible	Se emplea en las áreas de los dedos y la parte posterior de la mano.
(2) Velcro	Para la sujeción de la muñeca.

3.2 Diseño del prototipo

Después de análisis de alternativas se diseña el guante basado en dispositivos neumáticos. Para realizar el diseño se utiliza el software SolidWorks. Este diseño se presenta en la Figura 20.

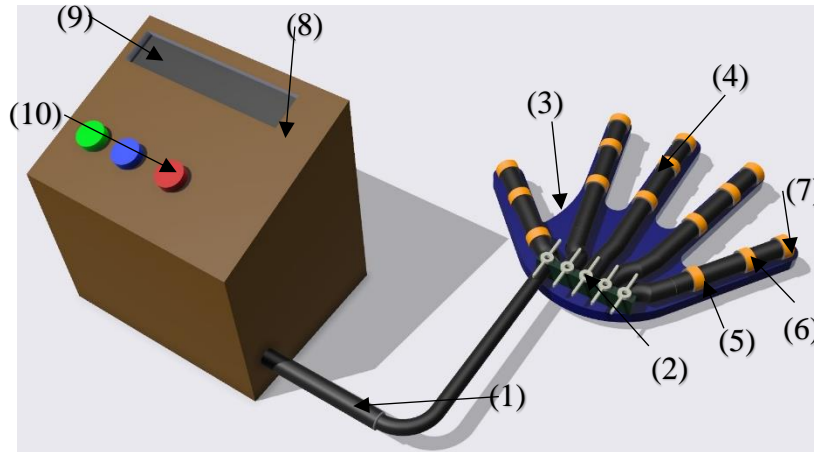


Figura 20. Diseño guante rehabilitador.

En la Tabla 10 se detalla los elementos que contiene el guante rehabilitador a construirse.

Tabla 10. Partes del guante rehabilitador.

Número	Elemento	Detalle
1	Manguera de Goma	Esta permitirá el paso de aire de la bomba a las válvulas del guante.
2	Válvulas de aire	Permite el paso de aire para cada dedo.
3	Guante	Base para colocarse el dispositivo.
4	Manguera Corrugada	Tubo flexible que se adapta a diferentes formas.

5	Soporte 1	Este soporte sirve como guía inicial de sujeción para el paso del aire.
6	Soporte 2	Se encuentra a lo largo de los dedos para dar mejor forma al movimiento.
7	Soporte 3	Se encuentra como sujeción final de la manguera.
8	Caja de control	Permite el manejo de diferentes funciones en el dispositivo.
9	Pantalla LCD	Permite la visualización de datos.
10	Botones	Permiten el manejo del dispositivo.

3.3 Fuerza necesaria para abrir la mano

La creación de este dispositivo se orientó hacia las necesidades específicas de una persona de 89 años afectada por distrofia muscular en su mano derecha debido a una parálisis cerebral, por su edad y condición requiere de una fuerza mayor para lograr la apertura su mano. En la figura 21 con la ayuda de un dinamómetro se mide la fuerza que requiere la persona.



Figura 21. Fuerza para apertura de un dedo.

Para que una persona normal pueda extender su mano se requiere de una fuerza de 2 lb mientras que para esta persona requiere de 5 lb para alcanzar a su apertura máxima, esto quiere decir que es más del doble que una persona promedio.

3.4 Cálculo y selección de equipos

Uno de los elementos de mayor relevancia a tener en cuenta es la manguera corrugada. Esta manguera desempeña una función principal que permite al dispositivo llevar a cabo el movimiento deseado de empuje y succión.

3.4.1 Cálculo de manguera

En la figura 22 se puede apreciar la manguera corrugada de caucho termoplástico que se utilizar para generar los movimientos de los dedos.

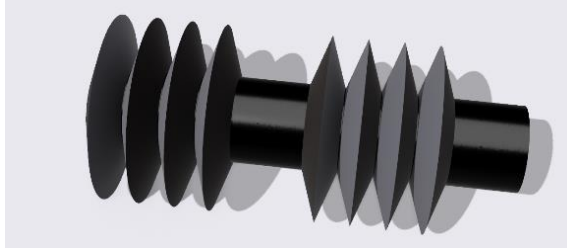


Figura 22. Manguera corrugada.

En la figura 23 se detallan las medidas que permitirá calcular la presión que pasa a través de la misma.

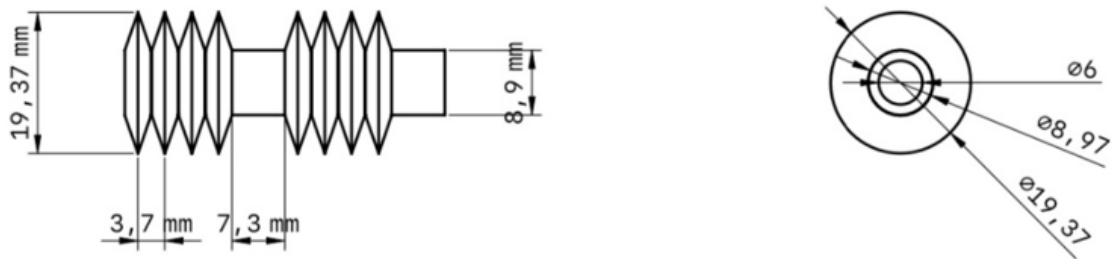


Figura 23. Medidas manguera corrugada.

Para determinar la presión del aire a través de la manguera corrugada se emplean la ecuación (1) que se presenta a continuación.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{0.12 \text{ N/mm}^2}{20 \text{ mm}} \quad (1)$$

$$P = 0.006 \text{ N/mm}^3$$

Donde:

- F: Presión del aire suministrado por la bomba cvk3712.
- A: Área máxima del diámetro de la manguera corrugada.

La presión máxima indicada por el fabricante es de 360 kPa, en la ecuación (2) se calcula el factor de seguridad [40].

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\text{Presión máxima}}{\text{Presión de trabajo}} \quad (2)$$

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{360 \text{ kPa}}{120 \text{ kPa}} = 3$$

Con el resultado del factor de seguridad presentado en la ecuación (2), se determina que la manguera está diseñada y evaluada para trabajar con una carga o presión tres veces mayor que la carga o presión máxima esperada durante su uso normal.

3.4.2 Diseño de soportes

Para la construcción de los soportes se diseña con un polímero de resina negra. En la tabla 11 se presentan las propiedades mecánicas para el diseño de los soportes.

Tabla 11. Propiedades de la resina.

Resistencia a la rotura por tracción	65 MPa
Módulo de tracción	2.6 GPa
Alargamiento	6 %
Módulo de flexión	2.2 GPa
Temperatura de flexión bajo carga a 0.45 MPa	73 C

En la figura 24 se muestra el sujetador inicial (soporte 1), el cual permite la sujeción en el inicio del guante y ayudará a direccionar el aire que pasará por la manguera.

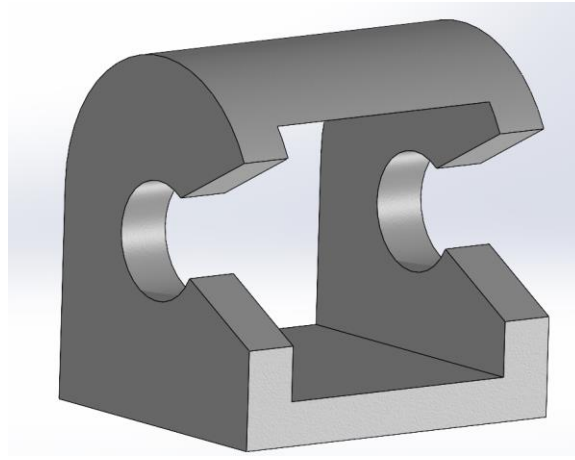


Figura 24. Diseño del Soporte 1.

En la figura 25 se presentan las medidas del soporte 1.

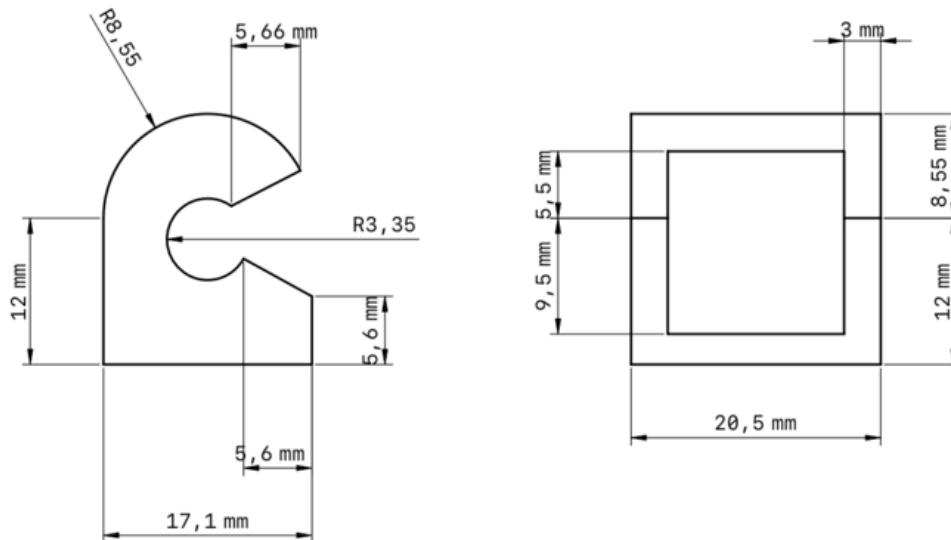


Figura 25. Medidas del Soporte 1.

Para calcular la presión que el elemento puede soportar, se emplea la ecuación (1) y se realiza la conversión de unidades necesaria para llevar a cabo los cálculos.

Para obtener la fuerza de la presión en N se hace uso de la ecuación (3).

$$Fuerza = 120000 \frac{N}{m^2} * 0.000242 m^2 \quad (3)$$

$$Fuerza = 29.04 N$$

Por lo tanto, con una presión de 120 kPa en el área de 242mm², la fuerza es de 29.04 N. En la figura 26 se presenta la simulación de tensiones en el soporte 1 al momento de someterse a una fuerza de 29.04 N que es la fuerza de empuje que ejerce la manguera sobre el soporte.

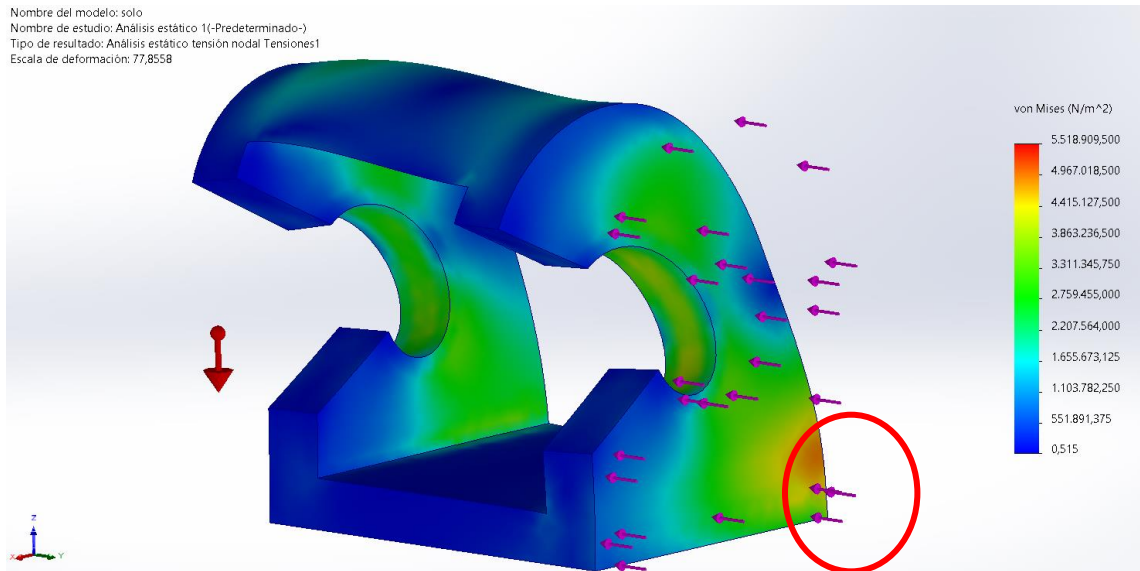


Figura 26. Tensión en Soporte 1.

Mediante la simulación se puede apreciar que la parte inferior derecha es la zona más afectada, dando un valor de 4.96 N/m² la escala de deformación máxima.

En la figura 27 se aprecia el desplazamiento estático del soporte 1 aplicando la misma fuerza de empuje.

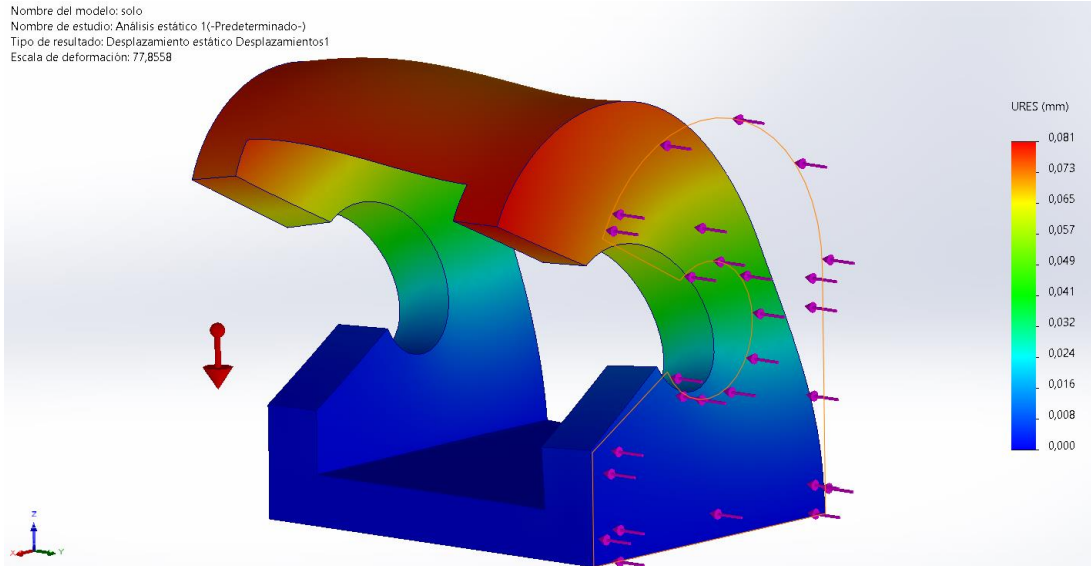


Figura 27. Desplazamiento en Soporte 1.

Como resultado de la simulación se presenta un desplazamiento máximo en la zona superior del soporte con un valor máximo de 0.081 mm, con lo cual se demuestra que el elemento tendrá una deformación mínima.

En la figura 28 se obtiene el factor de seguridad del soporte al ser sometido a la fuerza de 29.04 N/m².

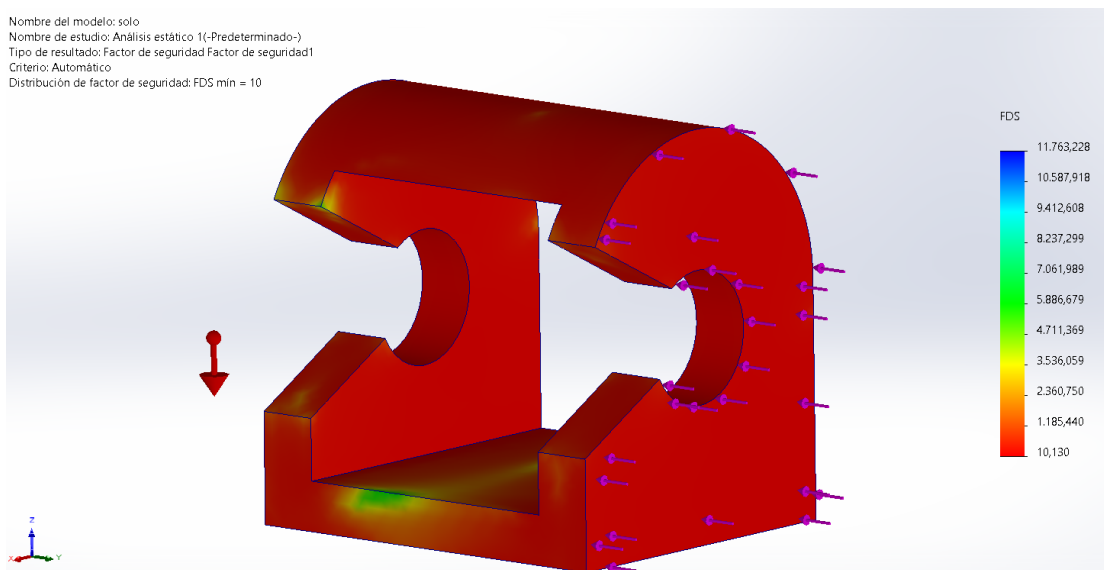


Figura 28. Factor de Seguridad en Soporte 1.

Mediante el análisis del factor de seguridad realizado por el software, se obtiene un valor de 10, lo cual indica que tanto el diseño como el material son adecuados y podrán soportar más de la fuerza a la que el soporte será sometido.

En la figura 29 se muestra el soporte 2, el cual se encuentra en varias posiciones a lo largo de la manguera, este permitirá una buena sujeción en la zona de los dedos del dispositivo.

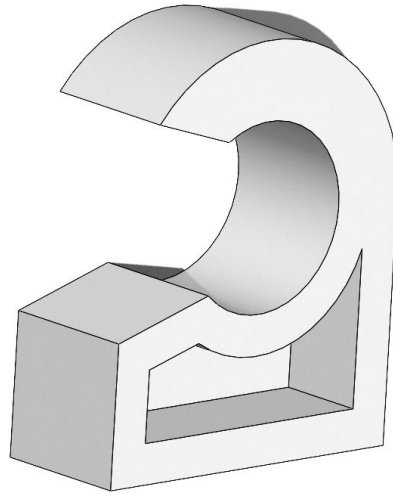


Figura 29. Soporte 2.

En la figura 30 se detallan las medidas del elemento.

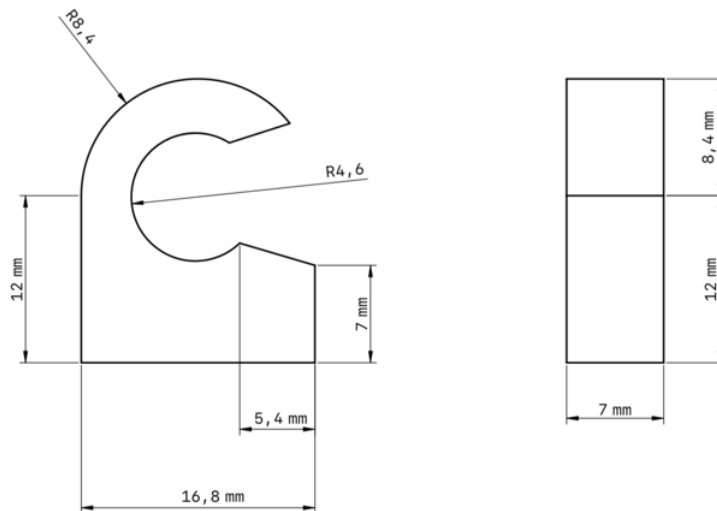


Figura 30. Medidas Soporte 2.

Para determinar la fuerza en este elemento se usará las mismas fórmulas y fuerza de 29.04 N/m² aplicada en el soporte 1, solo se modifica el área del soporte que en este caso es de 153.59 mm².

Para obtener la fuerza de la presión en N se aplica la ecuación (4).

$$Fuerza = 120000 \frac{N}{m^2} * 0.0001535 * m^2 \quad (4)$$

$$Fuerza = 18.43 N$$

En la figura 31 se aprecia la tensión a la que está sometido el soporte 2 con una fuerza de 18.43 N.

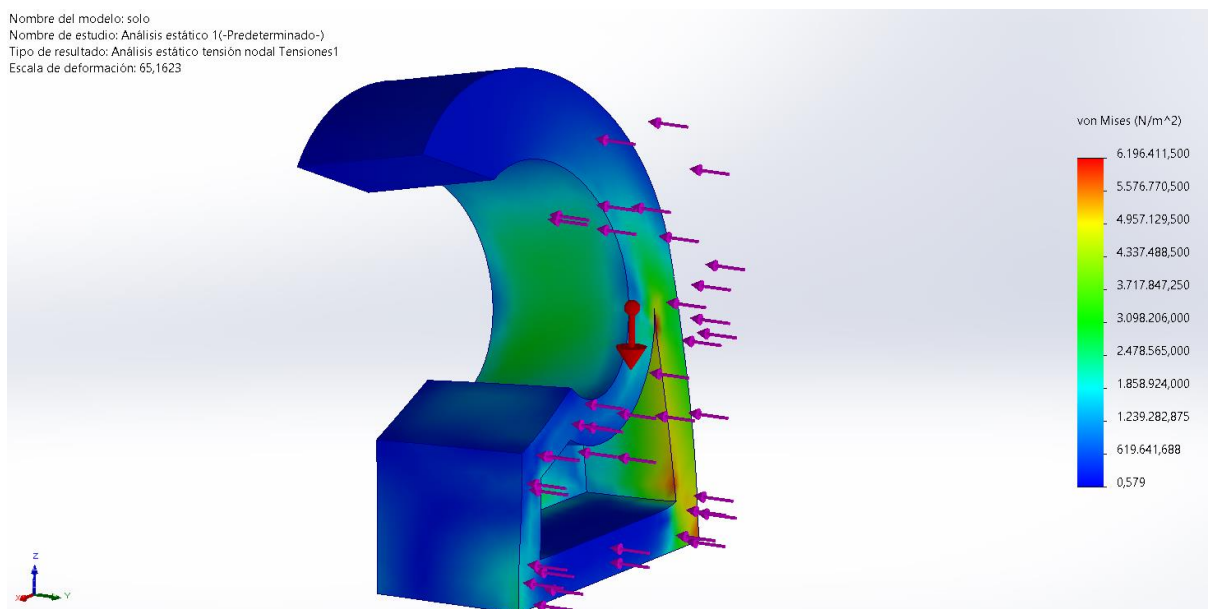


Figura 31. Tensión Soporte 2.

La simulación muestra una tensión máxima de 6.19 N/m² en la zona inferior derecha del elemento.

En la figura 32 se simula el desplazamiento estático máximo cuando se ejerce la misma fuerza al momento de inflar la manguera.

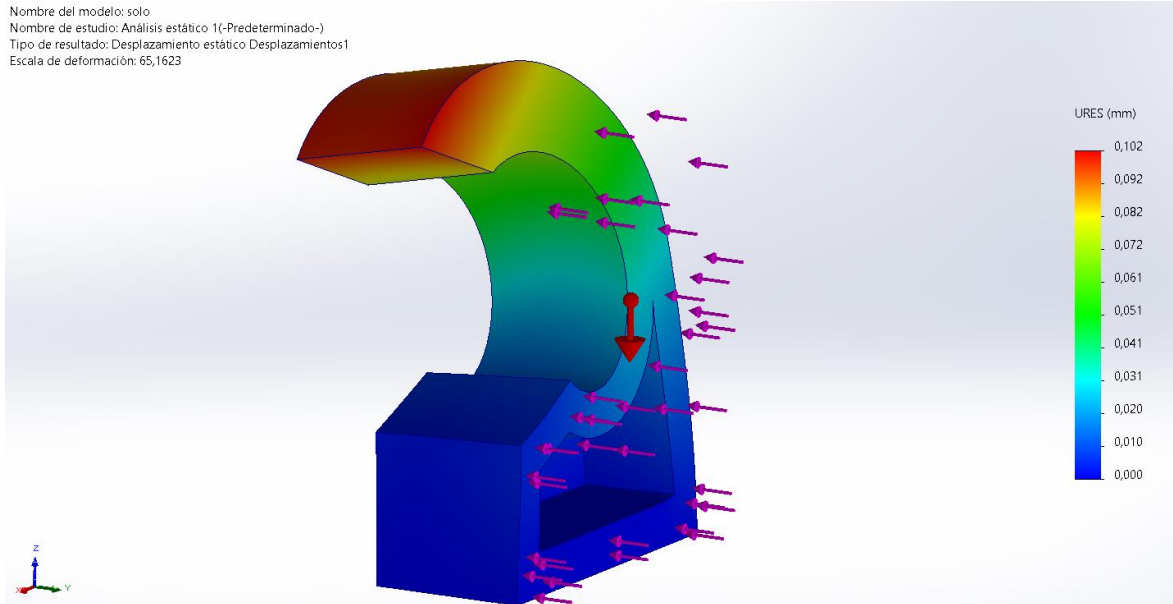


Figura 32. Desplazamiento Soporte 2.

La simulación del soporte 2 muestra que existe desplazamiento máximo de 0.102mm en la zona superior del elemento.

En figura 33 se simula el factor de seguridad del soporte 2.

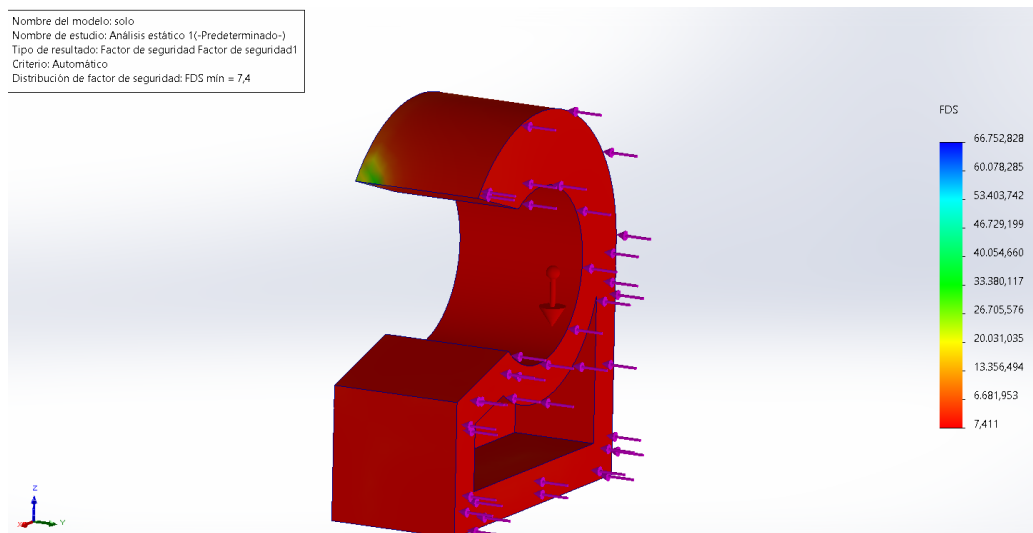


Figura 33. Factor de seguridad Soporte 2.

A través de la simulación, se obtiene un factor de seguridad de 7.4 en el soporte 2, indicando que podrá resistir con éxito un esfuerzo que supera el máximo al que será sometido.

En la figura 34 se presenta el soporte 3 que esta ubicado al final en cada punta de las mangueras, gracias a sus dos placas internas logra sujetarla para que no se recorra cuando se ejerzan fuerzas.

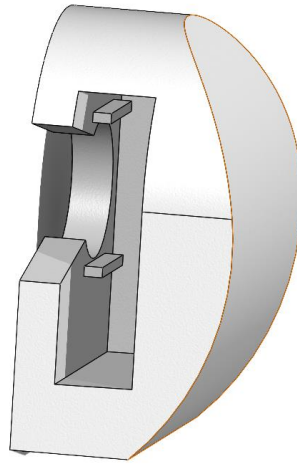


Figura 34. Soporte 3.

En la figura 35 se detallan las medidas del soporte 3.

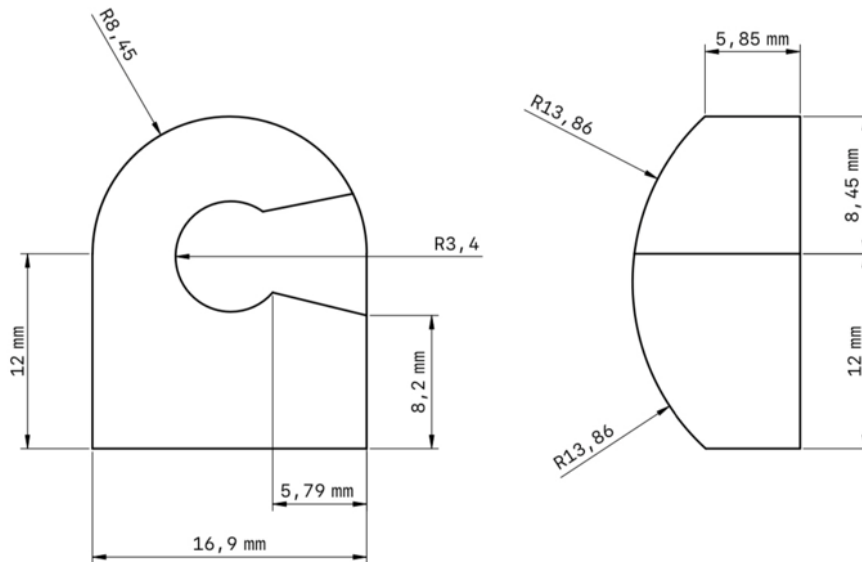


Figura 35. Medidas Soporte 3.

Se aplicarán las mismas fórmulas y fuerza de los soportes anteriores solo modificando el área que en este soporte es de 102.03 mm^2 . En la ecuación (5) se presenta el cálculo.

$$Fuerza = 120000 \frac{N}{m^2} * 0.00010203m^2 \quad (5)$$

$$Fuerza = 12.244 \text{ N}$$

En la figura 36 se puede evidenciar las tensiones en el soporte 3 cuando se ejerce una fuerza de 12.24 N.

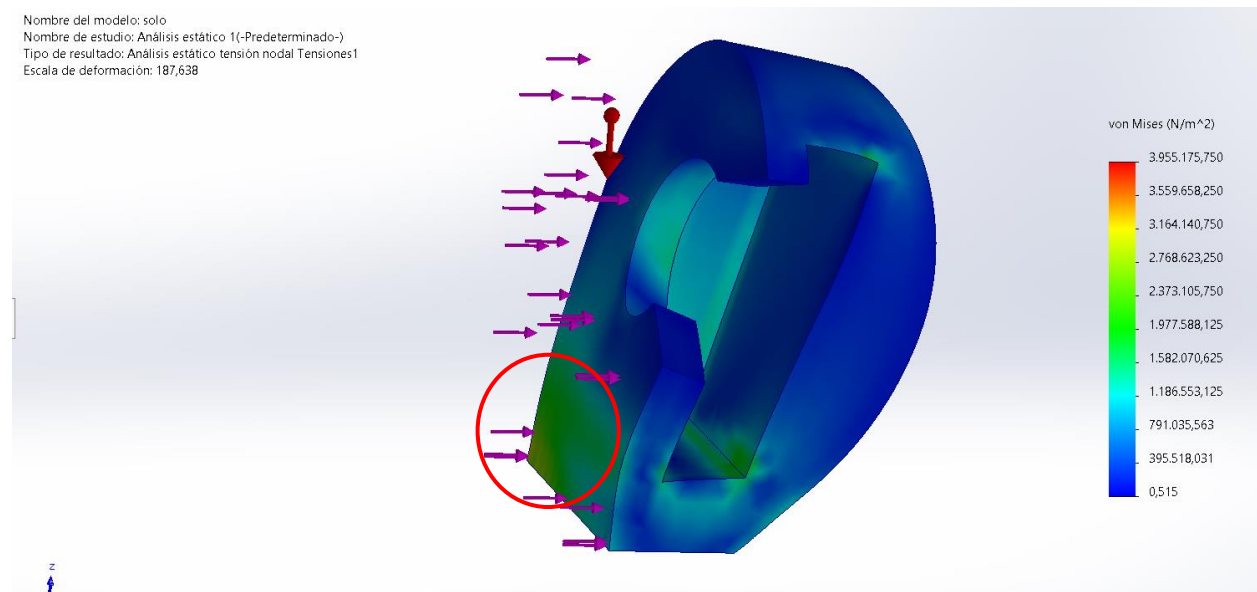


Figura 36. Tensión Soporte 3.

En el soporte 3 la tensión máxima obtenida es de 3.95 N/m^2 en la zona inferior.

En la figura 37 se simula el desplazamiento máximo que tendrá el soporte 3 al ser sometido a una fuerza 12.24 N.

Nombre del modelo: solo
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 187,638

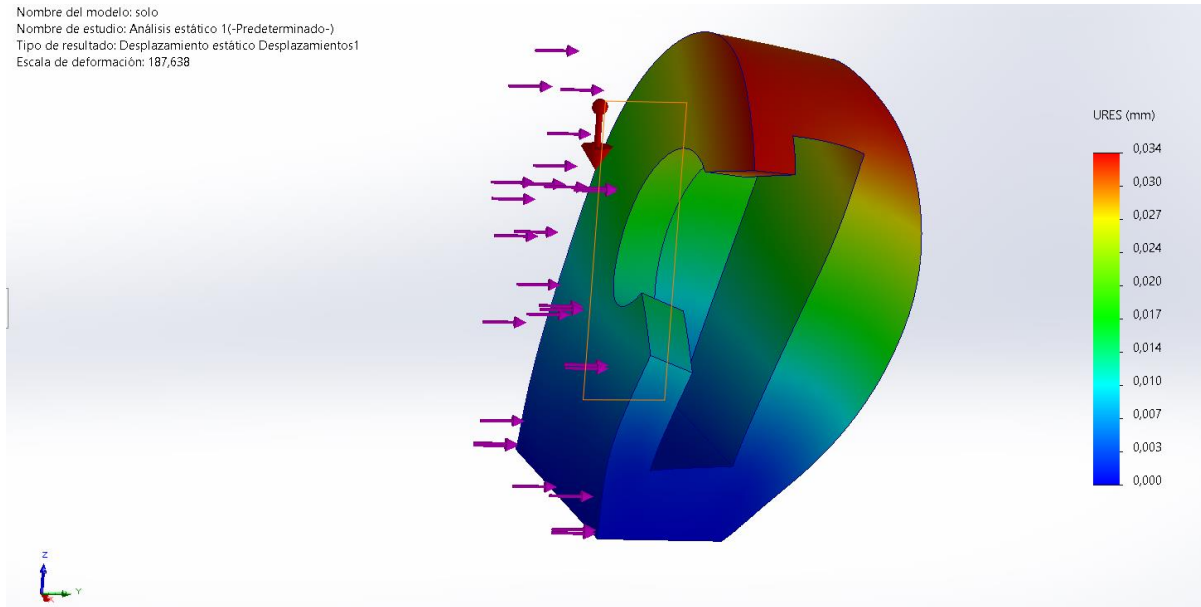


Figura 37. Desplazamiento Estático en el Soporte 3.

La simulación muestra que en la zona superior en rojo con un desplazamiento máximo de 0.034 mm. En la figura 38 se calcula el factor de seguridad cuando se aplica la misma fuerza de 0.034mm.

Nombre del modelo: solo
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 10

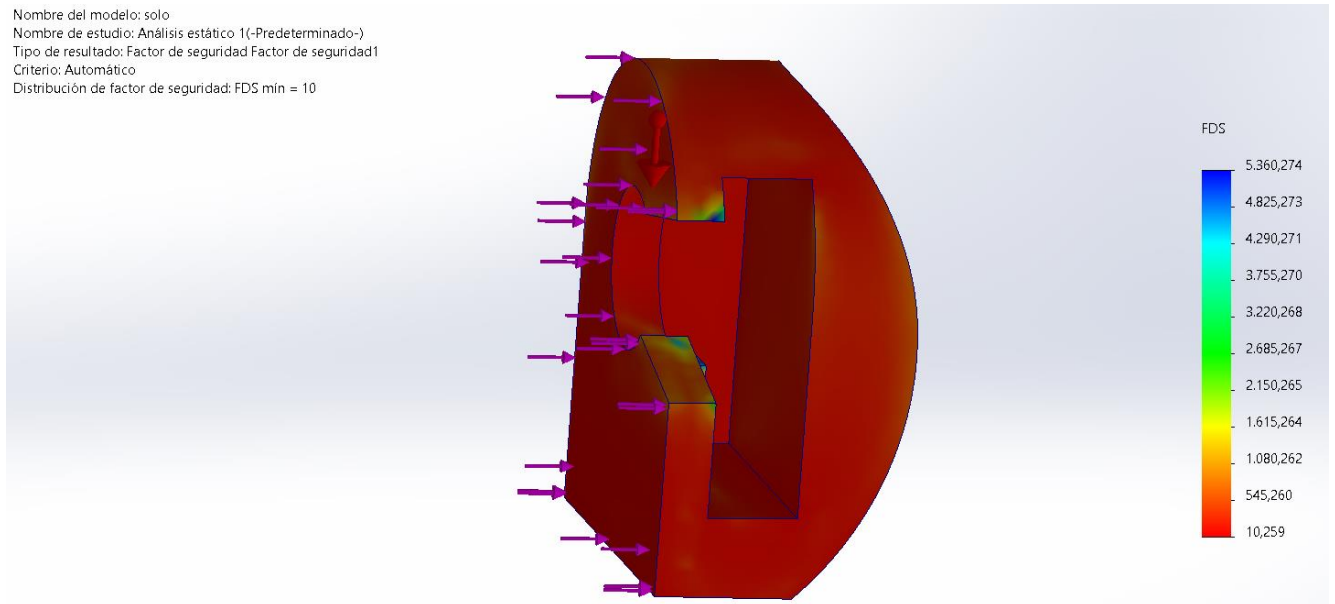


Figura 38. Factor de Seguridad Soporte 3.

La simulación muestra un factor de seguridad de 10 en el soporte 3, lo cual indica que soportará más del esfuerzo máximo aplicado.

3.4 Diagrama neumático y eléctrico

Se utiliza el software FluidSIM para realizar el análisis y la simulación del circuito neumático del guante rehabilitador. Este software facilita el diseño de los diagramas de manera más conveniente y sencilla. Por otro lado, para el diagrama electrónico se utiliza el software Proteus.

3.4.1 Simulación de sistema neumático

En la Figura 39 se presenta la simulación del sistema neumático mediante el uso del software FluidSIM. Las mangueras corrugadas se representarán a través del cilindro de doble efecto, donde la salida del cilindro simbolizará el inflado de las mangueras, y el retorno del cilindro que representa la succión de las mangueras. El control de la válvula 4/2 y la válvula selectora será gestionado mediante el puente H.

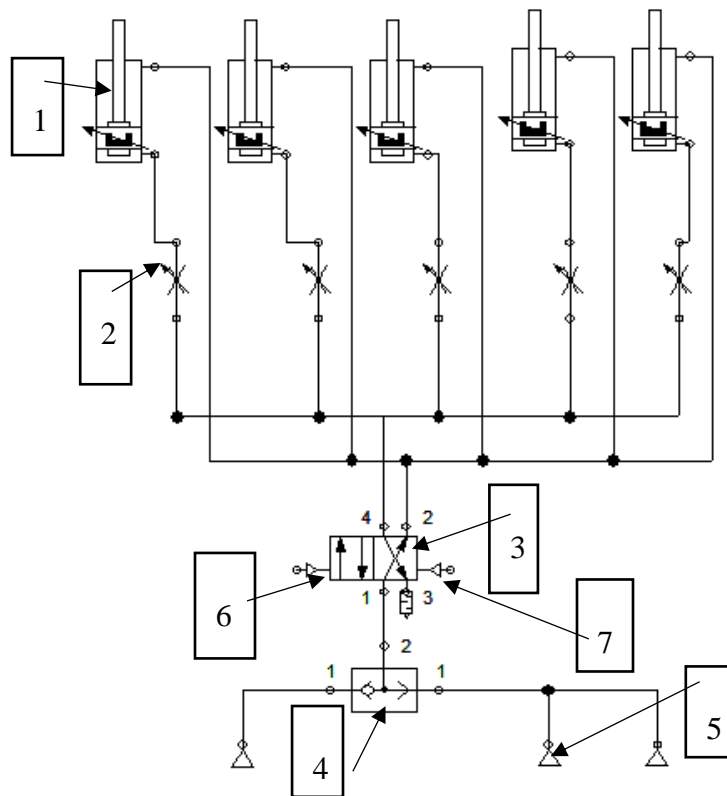


Figura 39. Simulación Neumática del sistema de inflado y succión.

En la tabla 12 se detallan los elementos neumáticos que aparecen en la simulación.

Tabla 12. Elementos Neumáticos.

Número	Elemento	Detalle
1	Cilindro Doble Efecto	Genera un movimiento bidireccional extendiéndose y retrayéndose al aplicar una presión neumática.
2	Válvula estranguladora	Controla el paso del fluido permitiendo controlar velocidad y presión.
3	Electroválvula	Mediante la activación electromagnética permite la apertura y cierre de manera controlada.
4	Válvula selectora	Dirige o redirige el fluido de un sistema según la posición de la válvula.
5	Fuente de aire	Suministra de aire comprimido para diversas aplicaciones en sistemas neumáticos.
6	Ingreso del aire	Entrada del flujo de aire para los actuadores
7	Succión del aire	Vacía la cavidad de los actuadores

3.5 Sistema de control eléctrico

Para el control de prototipo de guante rehabilitador se diseña el esquema del circuito eléctrico en la Figura 40, el cual está compuesto por un microcontrolador Arduino Uno, un puente H L298N, motores, solenoide, botones y una pantalla LCD con I2C. Estos componentes están alimentados por fuente de 5V y 2 a.

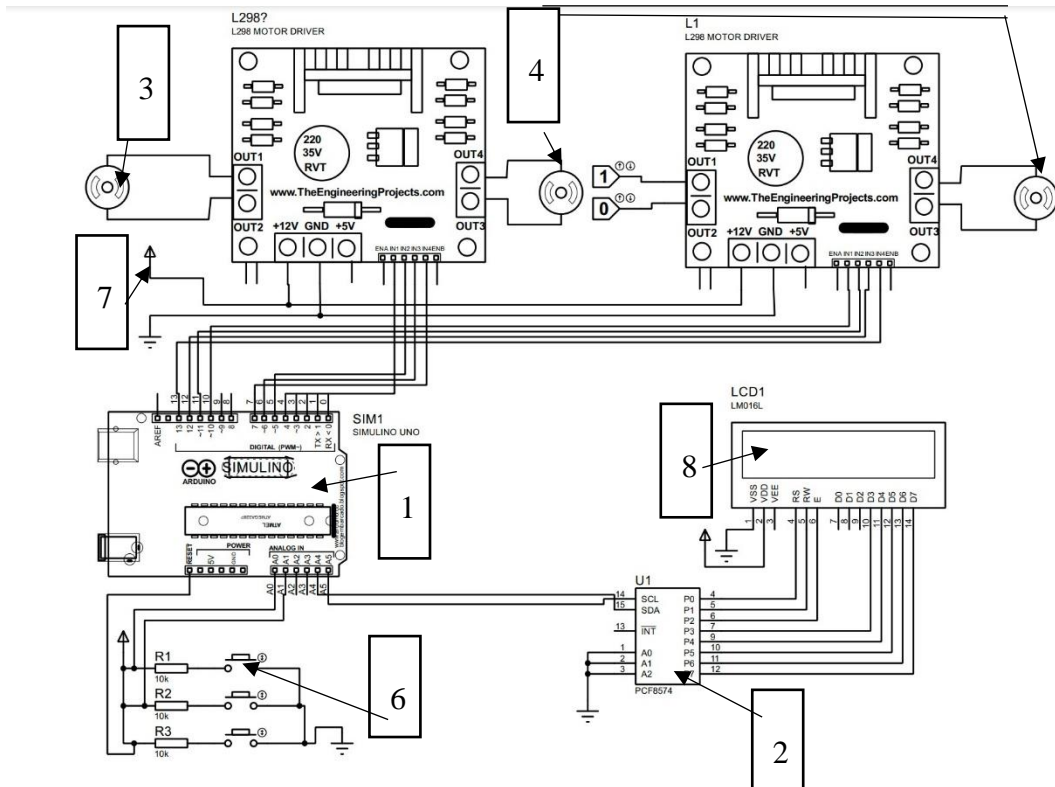


Figura 40. Diagrama eléctrico.

En la tabla 13 se detallan los elementos electrónicos del dispositivo.

Tabla 13. Elementos electrónicos del guante rehabilitador.

Número	Elemento	Detalle
1	Arduino Uno	Controla y alimenta diferentes dispositivos y toma decisiones de acuerdo a su programación
2	I2C	El I2C es un bus de comunicación que emplea dos líneas para la transmisión y recepción de datos, junto con otras dos líneas destinadas a la alimentación eléctrica.
3	Puente H L298N	Permite controlar la velocidad y el giro mediante señales TTL en motores DC.
4	Bomba de aire	Introduce aire de la atmósfera dentro de una cavidad y también tiene la capacidad de sacarlo.
5	Bombas de vacío	Extrae el aire de un espacio cerrado creando un vacío total o parcial, reduciendo la presión del sistema.
6	Botones	Permiten seleccionar las opciones para la rehabilitación.

7	Fuente	5V y 0.6 amperios, transforma la energía AC en DC para los componentes electrónicos.
8	Pantalla LCD	Permite la visualización del conteo de repeticiones que realiza el guante rehabilitador.

3.6 Diagrama de flujo del proceso

Un Diagrama de Flujo es una representación visual de un proceso algorítmico, ilustrando los pasos necesarios para resolver un problema de manera gráfica. Su adecuada elaboración es crucial, ya que sirve de base para la codificación en algún lenguaje de programación. Cuando el Diagrama de Flujo es completo y preciso, la transición hacia la escritura del código es más sencilla y directa.

Es esencial destacar que el Diagrama de Flujo muestra el sistema como una serie de procesos interconectados, representados por "Tuberías" y "Depósitos" de datos, que describen el flujo de información a través del sistema. En la Figura 41, se presenta de manera esquemática el algoritmo a través de un diagrama de flujo, que ilustra de manera clara y concisa el funcionamiento del sistema.

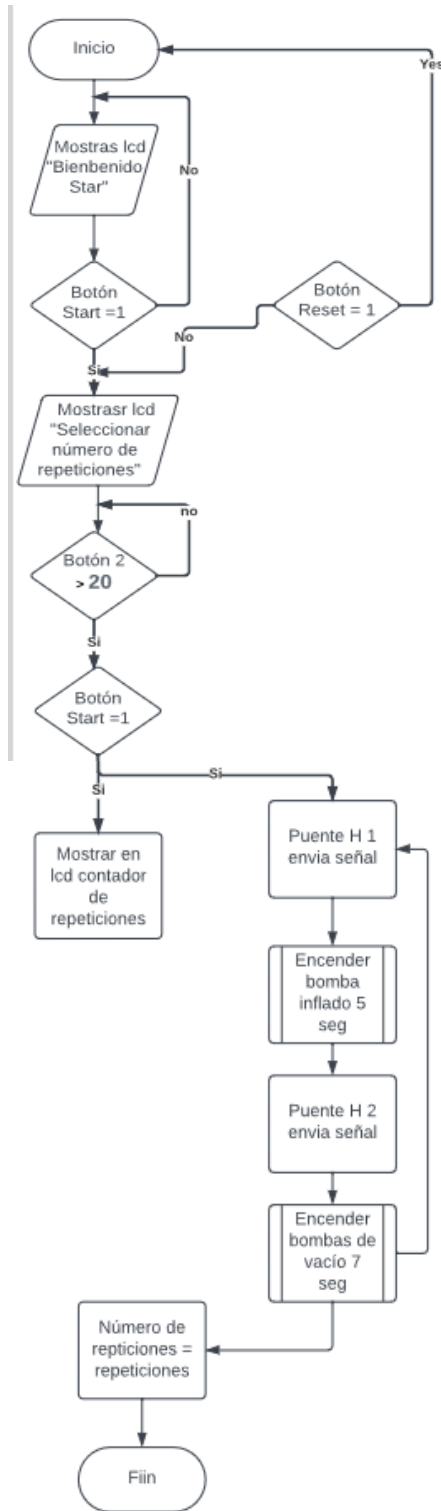


Figura 41. Diagrama de flujo del proceso.

Para el funcionamiento del dispositivo se lleva a cabo el siguiente proceso:

- Se inicia accionando el botón de encendido para alimentar cada elemento eléctrico y neumático.
- En pantalla aparecerán las palabras “Bienvenido” y “START”.
- La caja contará con 3 botones “START”, “CONTADOR” y “RESET”.
- Una vez presionado el botón de “START”, se muestra un menú para escoger el número de repeticiones que se desea realizar, tomando en cuenta que el máximo son 20 iteraciones.
- Después de seleccionar el número de repeticiones se mostrará en la pantalla el valor del contador de repeticiones escogidas, y el valor de repeticiones ejecutadas.
- Al seleccionar las variables del controlador, se envía la señal de activación al módulo de puente H L298N para el funcionamiento de las bombas.
- El tiempo de inflado tiene una duración de 5 segundos, después de este tiempo se desactiva la bomba de inflado y la válvula solenoide se abre para la salida del aire.
- Para las bombas de vacío su activación es de 7 segundos, después de este tiempo se desactivan y la válvula solenoide se cierra para que se active la bomba de inflado.
- Una vez finalizado las repeticiones el algoritmo regresa al menú principal para volver a escoger el número de repeticiones.
- El tercer botón de “RESET” tiene como función como detener el proceso. Al presionar este botón se regresará al primer menú de “Bienvenido” y “START”.

3.7 Implementación del guante rehabilitador

Tras completar los cálculos correspondientes a la parte mecánica y electrónica, se avanza a la fase de construcción y ensamblaje del guante rehabilitador para distrofia muscular, cuya representación visual se muestra en la Figura 42.

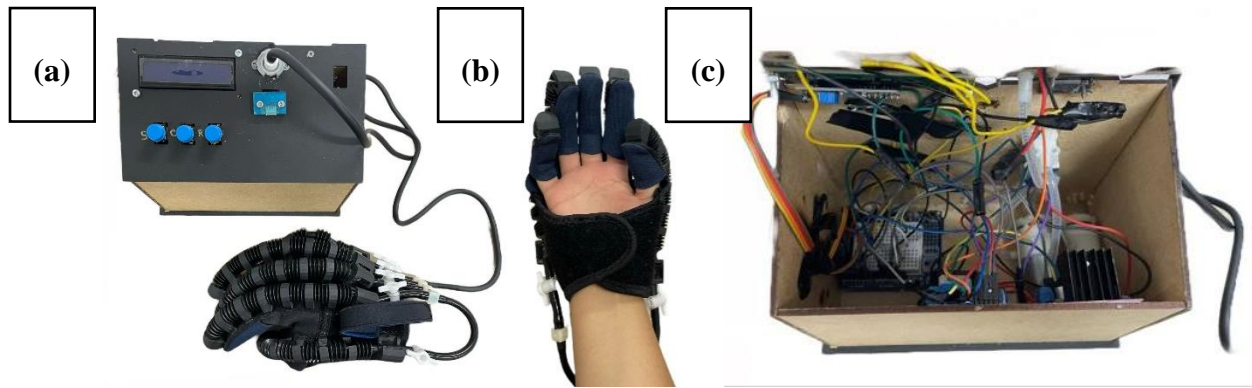


Figura 42. Implementación del dispositivo.

- En la figura 42 (a) se muestra la implementación final del dispositivo.
- En la figura 42 (b) se presenta una vista inferior del guante.
- En la figura 42 (c) se muestran las conexiones internas de la caja de control eléctrico y neumático.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se analizará el funcionamiento del dispositivo con la realización de varias pruebas.

4 Pruebas de movimiento

4.4 Prueba de apertura y cierre del mecanismo

Durante esta prueba se activa la bomba con un rango de presión positiva de 120 KPa y de presión negativa de 90 KPa. En la figura 43 se puede evidenciar el funcionamiento cuando las mangueras se inflan por circulación de aire.



Figura 43. Prueba de Mecanismo Presión Positiva.

En la figura 44 se ve el funcionamiento cuando las mangueras se succionan generando la apertura de la mano.



Figura 44. Prueba de Mecanismo Presión Negativa.

Mediante la realización de esta prueba se obtiene los ángulos de cada dedo tomando como punto 0 la palma de la mano y utilizando un goniómetro para la medida. Estos datos presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Ángulo de los dedos sin carga.

Dedo	Ángulo de apertura (grados)	Ángulo de cierre (grados)
Meñique	200	70
Anular	200	70
Medio	200	70
Índice	200	70
Pulgar	190	65

En la tabla 15 se presenta las pruebas de los ángulos para apertura y cierre con carga en el dispositivo, adquiridos mediante un goniómetro.

Tabla 15. Ángulo de los dedos con carga.

Dedo	Ángulo de apertura (grados)	Ángulo de cierre (grados)
Meñique	165	70
Anular	170	80
Medio	170	70
Índice	170	80
Pulgar	160	70

Estas pruebas muestran que el ángulo máximo de apertura en promedio para todos los dedos es de 167 grados, para el caso de cierre se obtiene un promedio de 74 grados.

4.5 Prueba de apertura y cierre del mecanismo en funcionamiento

Con la ayuda de un goniómetro se realizó la medida del ángulo de la mano cerrada y abierta de una persona con distrofia muscular, en la figura 45 se presenta la mano de la persona. Mediante esta prueba se obtiene que el ángulo de contracción entre la palma y los dedos es de 75 grados y 170 grados en apertura con la ayuda del dispositivo.

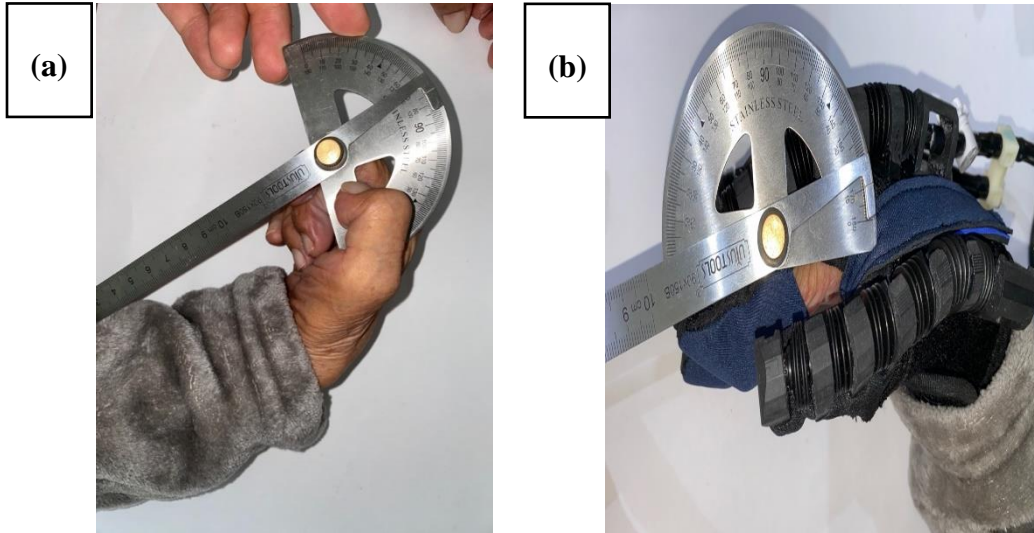


Figura 45. Ángulo en cierre de la mano (a), ángulo en apertura de la mano (b).

Al colocar el dispositivo en marcha, se puede comprobar el funcionamiento de del dispositivo con carga. La realización de esta prueba se muestra en la figura 46.

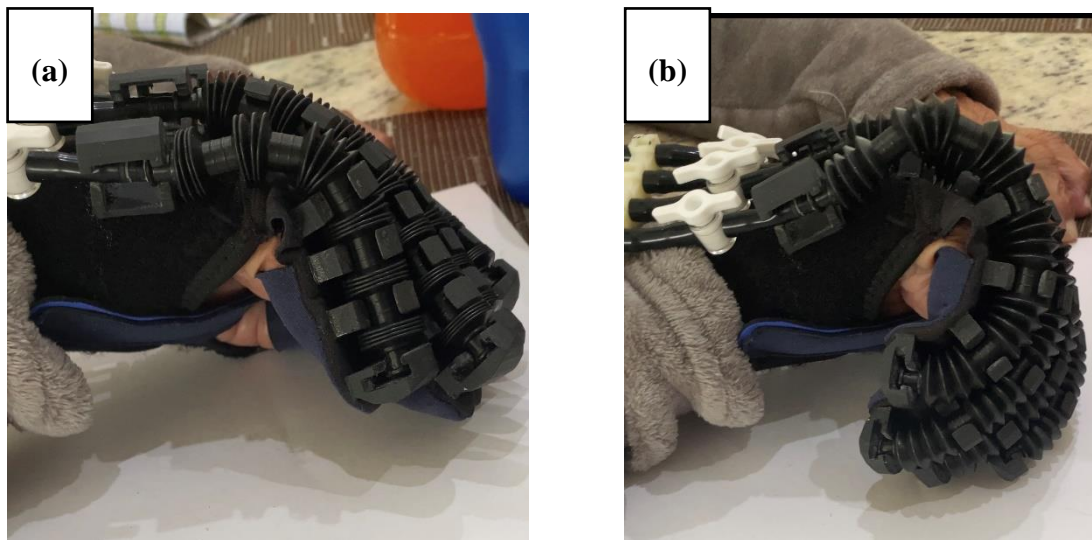


Figura 46 Apertura (a) y cierre (b) de Mano con el dispositivo.

4.6 Prueba de funcionamiento de sensor de presión

En la prueba realizada con el sensor, se utiliza la bomba conectada a través de una manguera para verificar la calibración. En la figura 47 se aprecia la gráfica del funcionamiento del vacío de las mangueras sin carga.



Figura 47. Gráfica de vacío sin carga.

Los datos censados muestran que la presión negativa llega a su máximo al cabo de 3 segundos aproximadamente de encendido, con un valor de -40 KPa.

En la gráfica 48 se muestra el inflado de las mangueras sin carga.

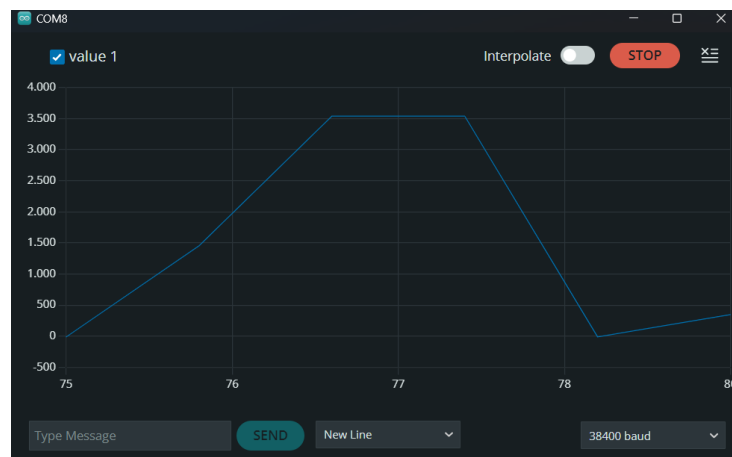


Figura48. Gráfica de inflado sin carga.

La bomba se demora 2 segundos y medio aproximadamente en inflar las mangueras por completo y llegar a su presión máxima de 35 KPa.

La figura 49 muestra la presión negativa cuando una persona de 79 años usa el dispositivo con distrofia muscular en la mano derecha.

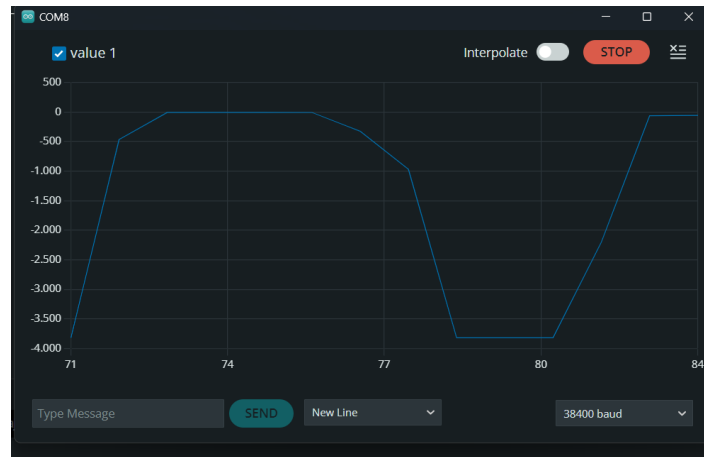


Figura 49. Gráfica de vacío con carga.

Para que las mangueras lleguen a su presión negativa máxima tomo un tiempo de 5 segundos y alcanza una presión de -40 KPa. En la figura 50 se muestra el inflado de las mangueras cuando una persona con distrofia muscular usa el dispositivo.



Figura 50. Gráfica de Inflado con Usuario.

La gráfica indica que se requieren 2.5 segundos para que las mangueras alcancen su presión máxima de 40 KPa. Este tiempo es comparativamente similar al necesario cuando las mangueras se inflan sin la intervención del usuario. Esto se debe a que el esfuerzo máximo se realiza al contraer las mangueras, ya que la mano genera resistencia durante este proceso.

4.7 Costos

Para la elaboración del dispositivo se han considerado diversos gastos tanto eléctricos, mecánicos y accesorios.

4.7.1 Costo elementos mecánicos

En la tabla 16 se detallan todos los elementos necesarios para la elaboración del prototipo.

Tabla 16. Costos para la construcción mecánica.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad (USD)	Precio Total (USD)
1	Tela de algodón flexible	5	5
1	Impresión 3D	0,15	15
		Total	20

4.7.2 Costos elementos eléctricos

En la tabla 17 se detalla los elementos necesarios para el control eléctrico.

Tabla 17. Costos para la construcción eléctrica.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad (USD)	Precio Total (USD)
2	Puente H	2,25	4,5
15	Cables	0,10	1,5
1	Sensor de Presión	9	9
3	Bomba de Aire	9	27
1	Pantalla LCD 16x2 con I2C	6,5	6,5
3	Botones	0,25	0,75
1	Fuente	1,5	1,5
1	Arduino	11	11
Total			61,75

4.7.3 Costos elementos neumáticos

En la tabla 18 se detallan los elementos neumáticos utilizados para la construcción del dispositivo

Tabla 18. Costos para elementos neumáticos.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad (USD)	Precio Total (USD)
1	Manguera 4mm	1,10 x m	1,1
1	Manguera corrugada 1m	8	8
Total			9.1

4.7.4 Mano de obra

El valor de mano de obra se lo ha tomado en cuenta a partir de un salario básico en el país que son \$700 dólares americanos, en la tabla 19 se detallan los costos.

Tabla 19. Costos mano de obra.

Mano de Obra	Horas	Valor por hora (USD)	Total (USD)
Diseño Mecánico	2 h	2,91	5,82
Diseño Eléctrico	2h	2,91	5,82

Diseño Neumático	1h	2,91	2,91
Construcción	5h	2,91	14,55
		Total	29.1

4.7.5 Total de costos del Guante de Rehabilitación Muscular para DM

Para obtener el valor total del Guante de Rehabilitación Muscular para DM se sumarán las tablas 16, 17, 18 y 19 como se puede apreciar en la tabla 20.

Tabla 20. Total de Costos.

Nombre del Costo	Valor (USD)
Construcción Mecánica	20
Construcción Eléctrica	61,75
Construcción Neumática	9.1
Mano de Obra	29,1
Total	119.95

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones de todo el proceso correspondiente a la construcción de un guante rehabilitador para distrofia muscular de mano derecha.

CONCLUSIONES

- Actualmente, se disponen de diversos tratamientos y terapias para mitigar la rigidez causada por esta condición, siendo la mayoría de ellos manuales y requiriendo la guía y supervisión de un especialista. Sin embargo, han surgido equipos automáticos que facilitan la rehabilitación en el hogar, ofreciendo a muchas personas una reducción significativa de la rigidez en comparación con los métodos manuales. No obstante, estos dispositivos son a menudo costosos y poco accesibles para individuos con recursos limitados. Tras la realización de este trabajo se obtiene un prototipo de guante rehabilitador con un costo de construcción de aproximadamente \$120, lo cual permite que sea un dispositivo accesible y permita brindar mejores oportunidades de tratamiento a pacientes afectados por la distrofia muscular.
- Tras analizar distintas alternativas para el prototipo de guante rehabilitador, se concluyó que la opción basada en neumática es la más adecuada para este proyecto. Esta preferencia se debe a que el sistema neumático permite la automatización a través de dispositivos electrónicos, lo que confiere al equipo características como ligereza, bajo costo y una velocidad de respuesta superior en comparación con otros prototipos.
- A través del análisis realizado con software CAD, se verificó que los diseños de los soportes impresos en resina presentan factores de seguridad de 10, 7.4 y 10, respectivamente, para cada uno de los tres soportes. Esta verificación asegura que el equipo es capaz de soportar las cargas a las que será sometido.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas demostraron que el guante posee un ángulo de apertura de 167 grados y un ángulo de contracción de 74 grados. Estos ángulos son óptimos para garantizar que las personas con distrofia muscular no experimenten movimientos forzados que puedan causar dolor, asegurando así un tratamiento más cómodo y seguro.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para trabajos futuros que el guante permita realizar cambios de ángulo de apertura y cierre.
- Se recomienda diseñar el guante con materiales que permitan ajustarse a diferentes tamaños de mano.
- Se recomienda implementar funciones para la rehabilitación basadas en tratamientos sugeridos por expertos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Earle, N., & Bevilacqua, J. A. (2018). Distrofias musculares en el paciente adulto. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 29(6), 599-610.
- [2] N. Basset. "Estudios y rehabilitación de los trastornos de la sensibilidad de la mano". *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S129329652145680X#preview-section-references> (accedido el 20 de enero de 2023).
- [3] C. Paredes, L. Pantoja y J. Acosta. "Diseño e implementación de un módulo electromecánico para la rehabilitación física de la mano derecha afectada como secuela de un ataque cerebrovascular". *SciELO Colombia- Scientific Electronic Library Online*.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072011000200007 (accedido el 20 de enero de 2023).
- [4] E. P Filiberto, & R. L. Díaz . Electrocardiografía en la distrofia muscular progresiva. Informe de tres hermanos. *Revista Cubana de Medicina*, 21(182). (2020)
- [5] A. Guzman. "SALARIO BÁSICO UNIFICADO 2022 – Almeida Guzmán & Asociados". Almeida Guzmán & Asociados – Firma de Abogados. <https://almeidaguzman.com/salario-basico-unificado-2022-2/#page-content> (accedido el 20 de enero de 2023).
- [6] Erazo-Torricelli, R. (2004). Actualización en distrofias musculares. *Revista Neurol*, 39(9), 860-871.
- [7] F. Ubassy. "Propuesta de protocolo: Tratamiento fisioterapéutico de la sensibilidad táctil en la mano en pacientes con quemadura de segundo grado profundo". *Inici*.
<http://repositori.uvic.cat/handle/10854/4626> (accedido el 20 de enero de 2023).
- [8] C. H. Guzmán Valdivia, A. Blanco Ortega, M.A. Oliver Salazar." Entendiendo la Mecatrónica en la Rehabilitación". *Cidenet*. 15 de marzo del 2013.
- [9] Moya, Roberto y Magal-Royo, Teresa. "Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano". *RiuNet repositorio UPV*.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/169189> (accedido el 20 de enero de 2023).
- [10] L. Ribeiro, & J. BASTANZO. La comunicación eficaz(No. 04; P90, R5.). *Urano*. (1994).

- [11] “Distrofia muscular,” *Mayoclinic.org*, 11-Feb-2022. [Online]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/muscular-dystrophy/symptoms-causes/syc-20375388>. [Accessed: 09-Apr-2023].
- [12] M. Rubin, “Distrofias musculares de Duchenne y Becker,” *Manual MSD versión para público general*. [Online]. Available: <https://www.msmanuals.com/es-es/hogar/salud-infantil/distrofias-musculares-y-trastornos-relacionados/distrofias-musculares-de-duchenne-y-becker>. [Accessed: 20-Apr-2023].
- [13] S. en Flickr, “¿Qué causa la distrofia muscular (DM)?,” <https://espanol.nichd.nih.gov/>. [Online]. Available: <https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/musculardys/informacion/causas>. [Accessed: 11-Apr-2023].
- [14] C. Cisneros, “Rigidez muscular después del ACV: causas y tratamientos para la espasticidad en ACV,” *Flint Rehab*, 04-Mar-2020. [Online]. Available: <https://www.flintrehab.com/es/espasticidad-en-acv/>. [Accessed: 11-Apr-2023].
- [15] S. en Flickr, “¿Cuáles son los tratamientos para la distrofia muscular (DM)?,” <https://espanol.nichd.nih.gov/>. [Online]. Available: <https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/musculardys/informacion/tratamientos>. [Accessed: 09-Apr-2023].
- [16] R. Spita, “Órtesis, prótesis, férulas y ayudas técnicas. ¿Cuáles son sus diferencias?,” *Ortopedia Técnica Vegueta*, 08-Jun-2019. [Online]. Available: <https://www.ortopediatecnicavegueta.es/articulos/diferencias-ortesis-protesis-ferulas-y-ayudas-tecnicas/>. [Accessed: 11-Apr-2023].
- [17] *Fbcdn.net*. [Online]. Available: https://scontent.fuio19-1.fna.fbcdn.net/v/t1.6435-9/73322484_508033626593352_686583056642867200_n.jpg?stp=dst-jpg_p526x296&_nc_cat=103&ccb=1-7&_nc_sid=0debeb&_nc_ohc=GJYA6VzLX5cAX_w4skH&_nc_ht=scontent.fuio19-1.fna&oh=00_AfA4Ad6EuUA4q4cb-kB8wc5LVyNDOZZ3_AbqO77vZqlQnA&oe=646FE2FA. [Accessed: 25-Apr-2023].
- [18] E. Neuron, “Rehabilitación funcional de la marcha a través de Lokomat,” *Neuronrehab Blog*, 27-Feb-2023. [Online]. Available:

- <https://neuronrehab.es/blog/blog/rehabilitacion-funcional-lokomat/>. [Accessed: 25-Apr-2023].
- [19] “Anatomía de la mano,” *Ucsd.edu*. [Online]. Available: <https://myhealth.ucsd.edu/Spanish/RelatedItems/85,P04195>. [Accessed: 06-Jun-2023].
- [20] N. Iasparra, “Seminario de,” *Chest*, p. 2018, 2015.
- [21] R. Serrano, “Ámbito científico-tecnológico. Módulo III (Optativo): Ampliación de Tecnologías. Principios de Neumática e Hidráulica,” 2016.
- [22] *Industrialesandes.co*. [Online]. Available: <https://industrialesandes.co/img/cms/BLOG1PROGRAM-PLC-FX1N-GX-DEVELOPER/blog-SIMBO%20NEUM--MANTENIMIENTO%20Y%20MEDICION--filtro.PNG>. [Accessed: 11-Apr-2023].
- [23] “Bombas de vacío y soplantes BECKER en España y Portugal :: ¿Qué tipos de bombas de vacío existen y cómo funcionan?,” *Becker-international.com*. [Online]. Available: <https://www.becker-international.com/es/es/que-tipos-de-bombas-de-vacio-existen-y-como-funcionan.htm/>. [Accessed: 11-Apr-2023].
- [24] *Electronilab.co*. [Online]. Available: <https://electronilab.co/tienda/sensor-presion-barometrica-mps20n0040d-0-40kpa/>. [Accessed: 12-Apr-2023].
- [25] J. Stincer, “Introducción a La Introducción a La Αποπτωσηξ,” *Br. J. Cancer*, no. 134, pp. 1–17, 2008, [Online]. Available: <http://www.revista.unam.mx/vol.7/num7/art55/int55.htm>.
- [26] J. Garrido, “019_Fundamentos de Arduino,” p. 75, 2016.
- [27] *Educaciontrespuntocero.com*. [Online]. Available: <https://www.educaciontrespuntocero.com/wp-content/uploads/2021/02/arduino-primaria.jpg>. [Accessed: 12-Apr-2023].
- [28] “Driver Puente H L298N 2A”. Naylamp Mechatronics - Perú. Accedido el 10 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>.
- [29] McCloy y D. Harris, *Robótica, una introducción*, México: Limusa, 1993. *Syrebo.com*. [En línea]. Disponible en:

- <https://es.syrebo.com/uploads/202132032/rehabilitation-robot-gloves07533615690.jpg>.
[Consultado: 10-ene-2024].
- [30] “Bombas de vacío y soplantes BECKER en España y Portugal :: ¿Qué tipos de bombas de vacío existen y cómo funcionan?,” *Becker-international.com*. [Online]. Available: <https://www.becker-international.com/es/es/que-tipos-de-bombas-de-vacio-existen-y-como-funcionan.htm>. [Accessed: 04-May-2023].
- [31] M. Zhou, Y. Wang, R. Xu, Q. Zhang, y D. Zhu, “Feed-forward control for magnetic shape memory alloy actuators based on the radial basis function neural network model”, *J. Appl. Biomater. Funct. Mater.*, vol. 15, núm. 1_suppl, pp. 25–30, 2017.
- [32] *Syrebo.com*. [En línea]. Disponible en: <https://es.syrebo.com/uploads/202132032/rehabilitation-robot-gloves07533615690.jpg>. [Consultado: 10-ene-2024].
- [33] S. B. Pérez, “¿De qué se fabrican los guantes de trabajo?”, *Prolaboral.com*, 25-abr-2022. .
- [34] “Mini Bomba De Agua Sumergible Dc 2.5 - 6v Arduino Pecera,” *Com.ec*. [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-518830661-mini-bomba-de-agua-sumergible-dc-25-6v-arduino-pecera-_JM. [Accessed: 04-May-2023].
- [35] “Bomba De Vacío Para Refrigeradora Todas Las Marcas 1/4 Hp”, *Com.ec*. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-524479746-bomba-de-vacio-para-refrigeradora-todas-las-marcas-14-hp-_JM. [Consultado: 15-ene-2024].
- [36] C. Pérez-Molina *et al.*, “Performance-centered adaptive curriculum for employment needs,” *ASEE Annu. Conf. Expo. Conf. Proc.*, pp. 1–21, 2013, doi: 10.18260/1-2--22347.
- [37] J. G. Carmenate, “Arduino Nano el capo de la familia Arduino Nano,” *Programar fácil con Arduino*, 30-Jun-2020.
- [38] “STM32F103C8T6 Tarjeta de Desarrollo Cortex M3,” *UNIT Electronics*. [Online]. Available: <https://uelectronics.com/producto/stm32f103c8t6-tarjeta-de-desarrollo-cortex-m3-blue-pill-stm32f103c/>. [Accessed: 06-May-2023].
- [39] M. Legrand, “¿Cómo elegir la talla de los guantes de protección?”, *Lebon Protection*, 13-ene-2022. [En línea]. Disponible en:

<https://www.lebonprotection.com/es/como-elegir-la-talla-de-los-guantes-de-proteccion/>.
[Consultado: 15-ene-2024].

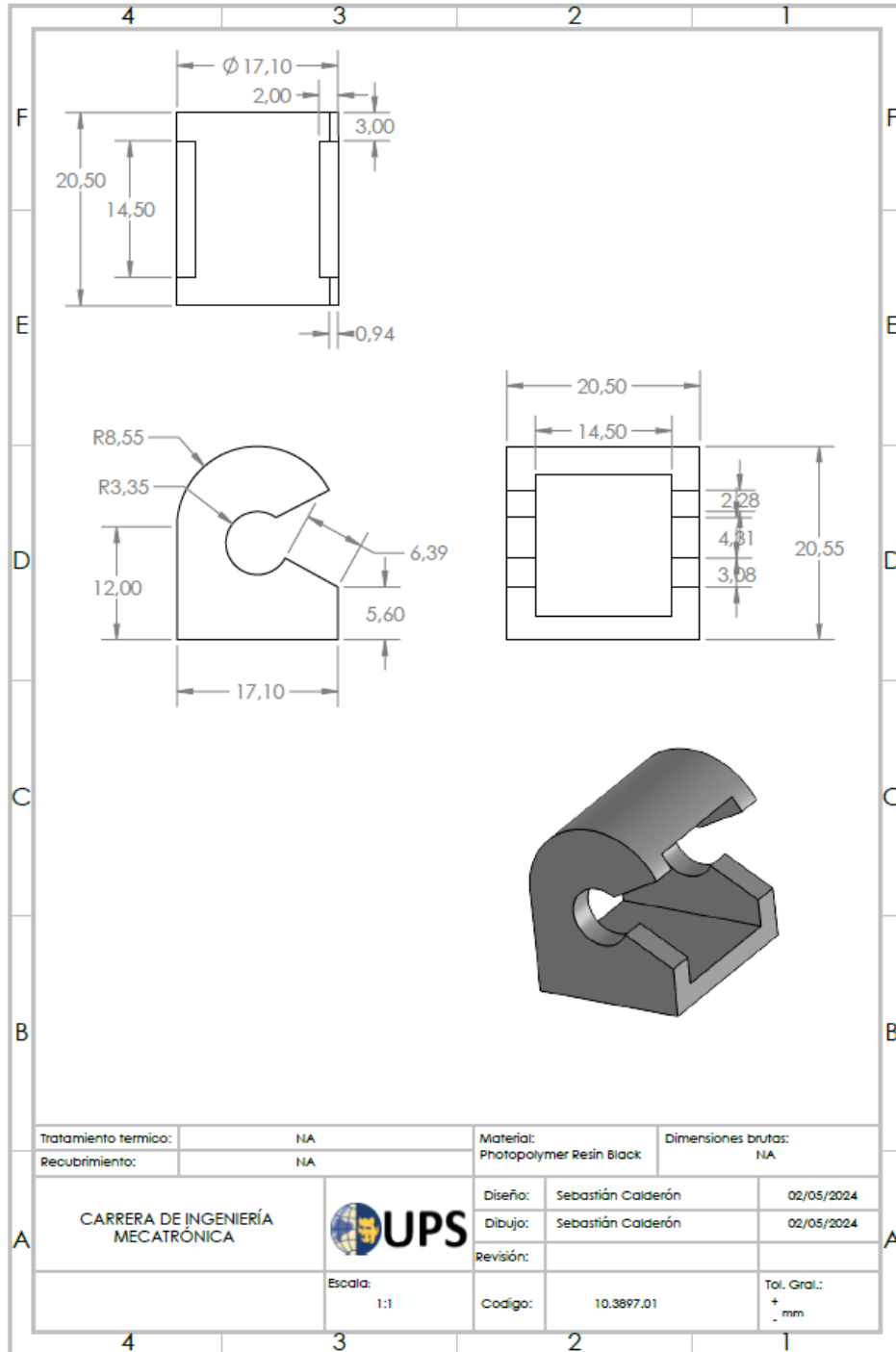
[40] Flexaust Inc, “Guía de materiales de manguera: tipos, resistencia química, propiedades”, *Flexaust.com*. [En línea]. Disponible en: <https://blog.flexaust.com/es/blog/gu%C3%ADa-de-materiales-de-manguera-tipos-resistencia-qu%C3%ADmica-propiedades>. [Consultado: 15-ene-2024].

[41] “Black Resin,” *Formlabs*. [Online]. Available: <https://formlabs.com/es/store/materials/black-resin/>. [Accessed: 17-Jan-2024].

ANEXOS

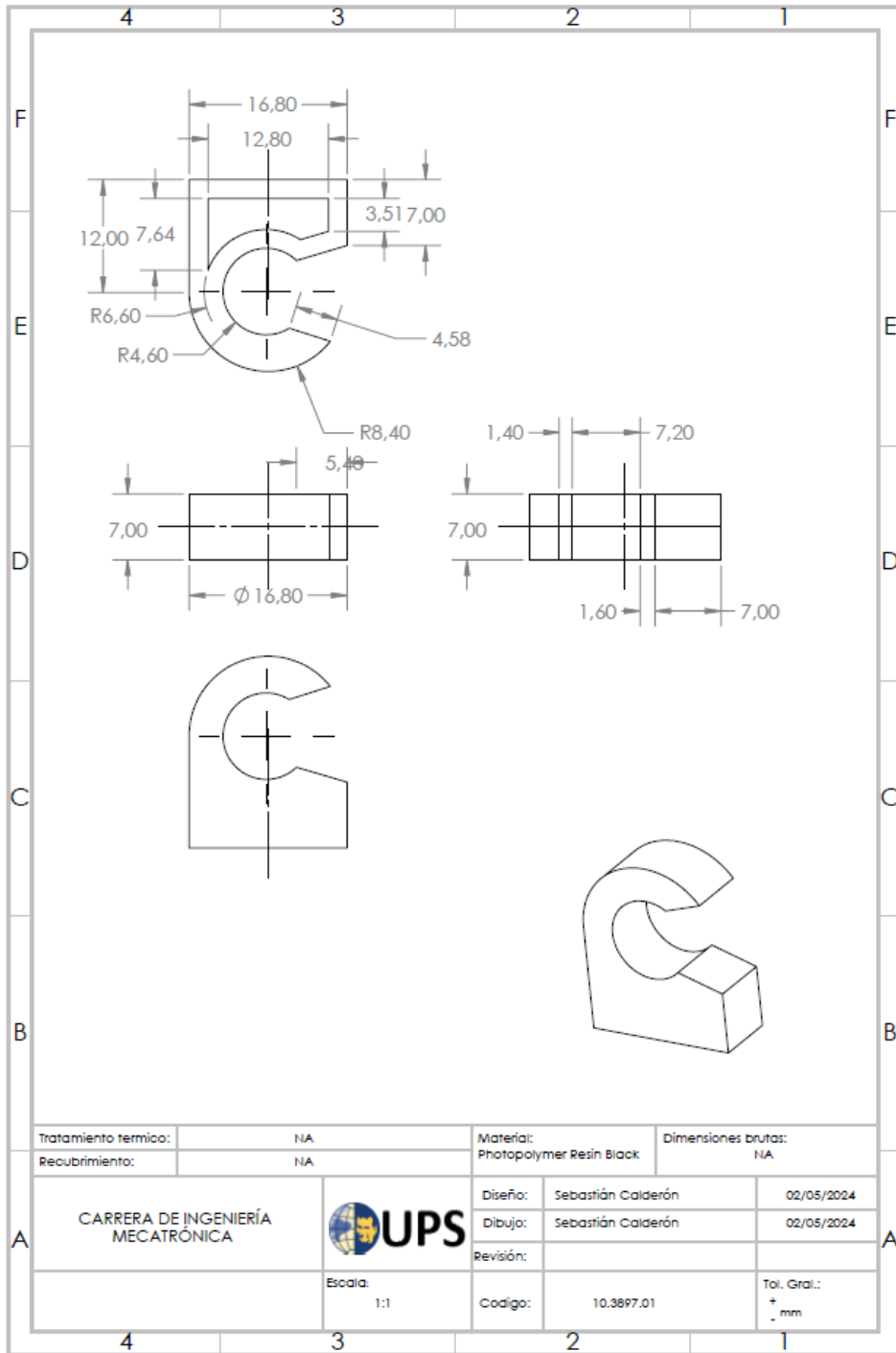
ANEXO 1

Planos del Soporte 1



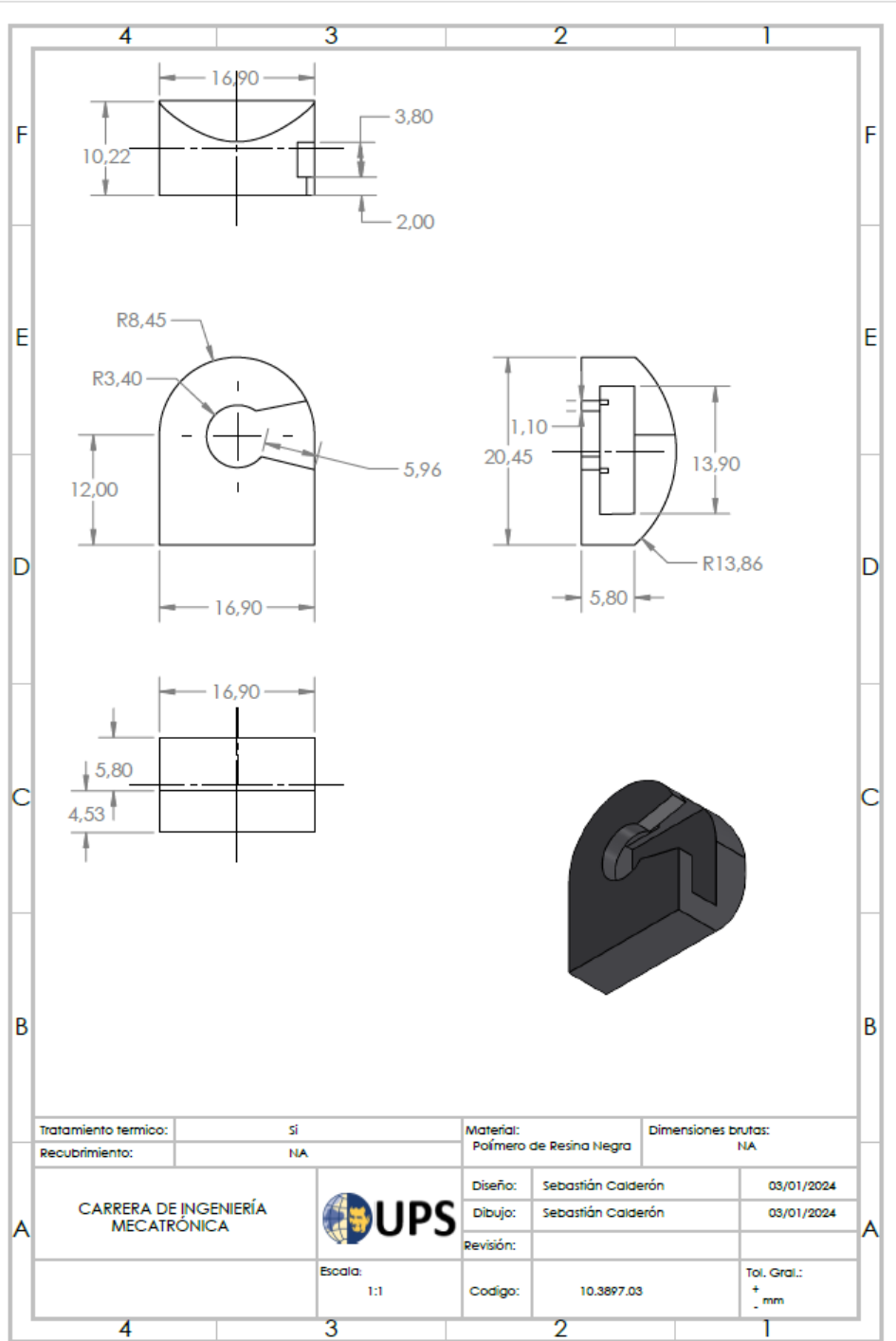
ANEXO 2

Planos del Soporte 2



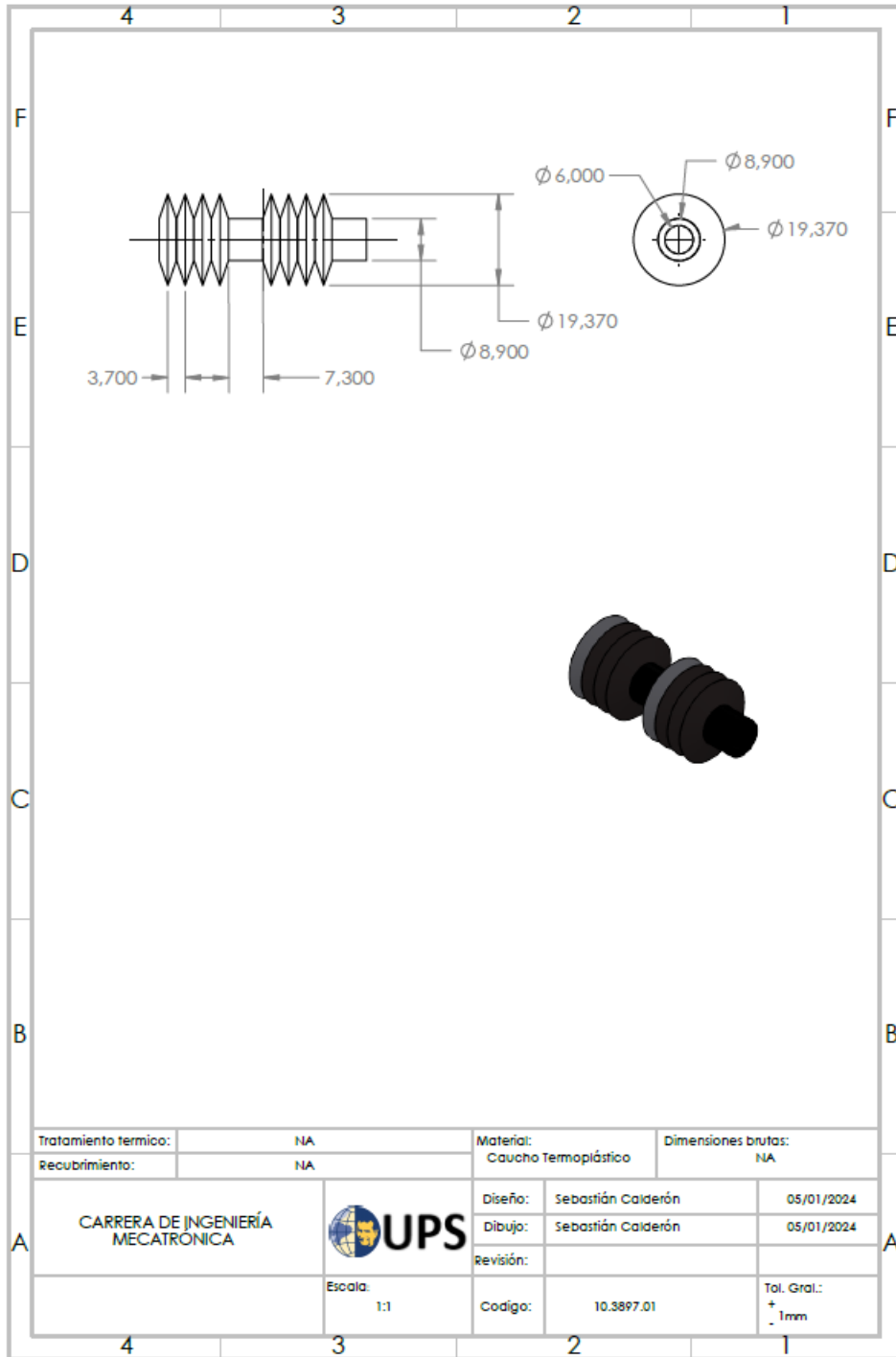
ANEXO 3

Planos del Soporte 3



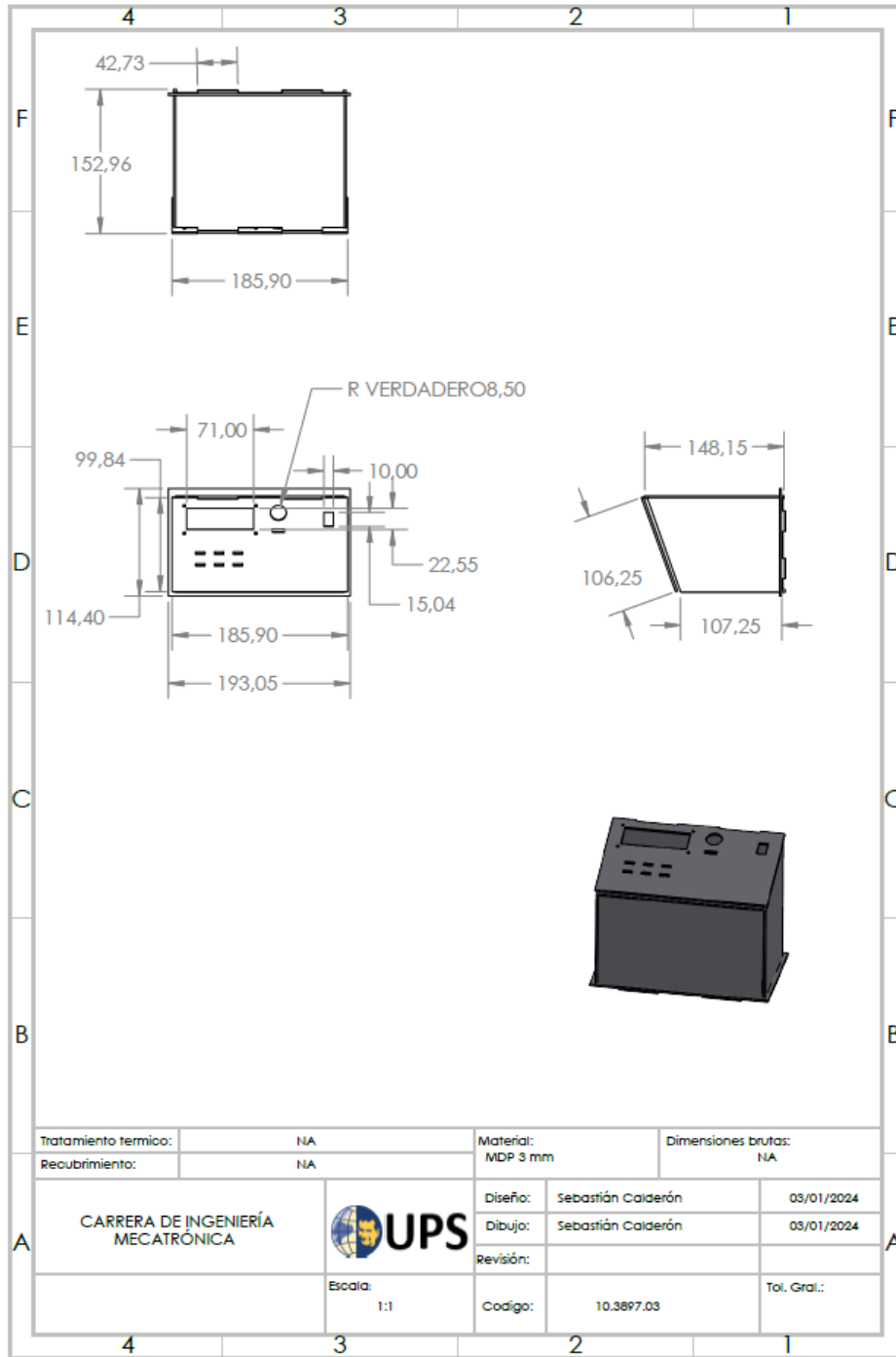
ANEXO 4

Planos Manguera Corrugada



ANEXO 5

Planos Caja



ANEXO 6

Proyecto Armado

