



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOUSE ADAPTADO AL MIEMBRO
SUPERIOR AFECTADO CON SECUELA DE MANO ESPÁSTICA**

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

AUTOR: KEVIN ISRAEL CUSHICAGUA GUAMAN

TUTOR: BYRON RICARDO ZAPATA CHANCUSIG

Quito – Ecuador

2023

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Israel Cushicagua Guaman con documento de identificación N° 1720027158 manifiesto que:

Soy el 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, 13 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



Kevin Israel Cushicagua Guaman

1720027158

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

Yo, Kevin Israel Cushicagua Guaman con documento de identificación N° 1720027158 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 Mouse Adaptado al Miembro Superior Afectado con Secuela de Mano Espástica”, 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 anteriores.

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, 13 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



Kevin Israel Cushicagua Guaman

1720027158

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 MOUSE ADAPTADO AL MIEMBRO SUPERIOR AFECTADO CON SECUELA DE MANO ESPÁSTICA, realizado por Kevin Israel Cushicagua Guaman con documento de identificación N° 1720027158, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivos tecnológicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Byron Ricardo Zapata Chancusig MSc.
1723724876

IV. AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres que me han dado la oportunidad de poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

Ellos que con su cariño y apoyo incondicional me han impulsado día a día a siempre perseguir mis sueños y metas sin importar con la dificultad que se me atraviere. También son los que me han amparado en lo económico y material para poder concentrarme y seguir adelante en los estudios y nunca abandonarlos.

Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino en la vida universitaria, a todos ellos quiero agradecer en especial a los docentes de la Carrera de ingeniería Mecatrónica que me han impartido sus conocimientos.

Kevin Israel Cushicagua Guaman

V. DEDICATORIA

A mis padres Giovanni y María y abuelos Manuel y Estela, quienes formaron parte fundamental en mi carrera profesional y 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.

Kevin Israel Cushicagua Guaman

VI. ÍNDICE DE CONTENIDO

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	iii
III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iv
IV. AGRADECIMIENTO.....	v
V. DEDICATORIA.....	vi
VI. ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
VII. ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
VIII. ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
IX. RESUMEN.....	xiv
X. ABSTRACT.....	xv
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	xvi
PROBLEMA DE ESTUDIO.....	xvi
JUSTIFICACIÓN.....	xvi
GRUPO OBJETIVO.....	xvii
OBJETIVOS.....	xvii
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	<i>xvii</i>
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	<i>xvii</i>
CAPÍTULO 1.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 HEMIPLEJIA ESPÁSTICA.....	1
1.2 DIFICULTADES MOTORAS EN LA HEMIPLEJIA ESPÁSTICA.....	1
1.3 MANO ESPÁSTICA.....	2
1.4 SIGNOS Y SÍNTOMAS DE MANO ESPÁSTICA.....	2
1.5 CLASIFICACIÓN DE LA POSICIÓN DE MANO ESPÁSTICA.....	3
1.6 MOVIMIENTOS DE LA MUÑECA.....	5
1.7 TECNOLOGÍA Y DISCAPACIDADES EN EXTREMIDADES SUPERIORES.....	6
1.8 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS DE ASISTENCIA PARA PERSONAS CON HEMIPLEJIA ESPÁSTICA.....	7

1.8.1	<i>Interfaces</i>	7
1.8.2	<i>Lectores de pantalla</i>	8
1.8.3	<i>Mouse de asistencia para pacientes con hemiplejía espástica</i>	8
1.9	COMPONENTES MECATRÓNICOS PARA EL DESARROLLO DE PROTOTIPOS	10
1.10	ARDUINO	11
1.11	ACELERÓMETRO	11
1.12	PULSADOR	12
1.13	IMPRESIÓN EN 3D ORINETADO A PROTOTIPO	12
CAPÍTULO 2	.....	14
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	.....	14
2.1	ALTERNATIVAS DE DISEÑO MECÁNICO	14
2.1.1	<i>Alternativa 1</i>	14
2.1.2	<i>Alternativa 2</i>	14
2.1.3	<i>Alternativa 3</i>	15
2.1.4	<i>Sistema de evaluación de criterios de diseño mecánico</i>	15
2.1.5	<i>Análisis de alternativas de criterios del diseño</i>	16
2.2	ALTERNATIVAS DE MATERIAL	16
2.2.1	<i>Alternativa impresión 3D resina</i>	16
2.2.2	<i>Alternativa impresión 3D filamento flexible y filamento PLA</i>	17
2.2.3	<i>Sistema de calificaciones para materiales</i>	17
2.2.4	<i>Análisis de alternativas para materiales</i>	18
2.3	ALTERNATIVAS DE CONECTIVIDAD	19
2.3.1	<i>Conectividad por cable USB</i>	19
2.3.2	<i>Módulo bluetooth HC-05</i>	19
2.3.3	<i>Sistema de calificaciones para conectividad</i>	20
2.3.4	<i>Análisis de alternativas para conectividad</i>	20
2.4	ALTERNATIVAS DE CONTROLADORES	21
2.4.1	<i>ATMEGA 16</i>	21
2.4.2	<i>Arduino UNO</i>	21
2.4.3	<i>Arduino NANO</i>	22
2.4.4	<i>Sistema de calificaciones para controladores</i>	22

2.4.5	<i>Análisis de alternativas para controladores</i>	23
2.5	ALTERNATIVAS DE ACELERÓMETROS	24
2.5.1	<i>Acelerómetro ADXL-335</i>	24
2.5.2	<i>Acelerómetro de 3 ejes KS943</i>	24
2.5.3	<i>Acelerómetro de 3 ejes MPU6050</i>	25
2.5.4	<i>Sistema de calificaciones para acelerómetros</i>	25
2.5.5	<i>Análisis de alternativas para acelerómetros</i>	26
CAPÍTULO 3	.....	27
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	.....	27
3.1	DISEÑO DEL PROTOTIPO	27
3.2	FILAMENTO FLEXIBLE (TPU)	27
3.3	FILAMENTO PLA (ÁCIDO POLI LÁCTICO)	27
3.4	DISEÑO DEL PROTOTIPO	28
3.5	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	30
3.6	ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL MOVIMIENTO DE LA MUÑECA DEL PACIENTE	30
3.7	DATOS RECOLECTADOS DEL PACIENTE MEDIDOS CON EL GONIOMETRO	31
3.8	DIAGRAMA DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	32
3.8.1	<i>Sistema de Control eléctrico</i>	32
3.8.2	<i>Diagrama de flujo control del proceso</i>	33
CAPITULO 4	.....	36
ANÁLISIS Y RESULTADOS	.....	36
4.1	RESULTADOS DE LOS MOVIMIENTOS DEL MOUSE	36
4.1.1	<i>Prueba de acelerómetro MPU 6050</i>	36
4.1.2	<i>Prueba del script en Python</i>	36
4.1.3	<i>Prueba de Funcionamiento del mouse con el paciente.</i>	37
4.1.4	<i>Prueba de botones derecho e izquierdo</i>	39
4.2	COSTOS	39
4.2.1	<i>Costos relacionados con la construcción de la estructura mecánica con impresión en 3D</i>	39
4.2.2	<i>Gastos asociados a los componentes electrónicos del mouse</i>	39
4.2.3	<i>Mano de Obra</i>	40

4.2.4	<i>Total, de costos del mouse adaptado al miembro superior afectado con secuela de mano espástica</i>	40
4.2.5	<i>Estudio para calcular el Valor Actual Neto (VAN)</i>	41
4.2.6	<i>Análisis para calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR)</i>	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		43
XI.	CONCLUSIONES	43
XII.	RECOMENDACIONES	44
XIII.	BIBLIOGRAFÍA	45
XIII.	ANEXOS	49
ANEXO 1	.....	49
	Código de programación del Mouse	49
ANEXO 2	.....	51
	Script de Python	51
ANEXO 3	.....	52
	Toma de medidas con el goniometro	52
ANEXO 4	.....	53
	Placa del sistema eléctrico	53
ANEXO 5	.....	54
	Ensamblaje de la impresión en 3D con la parte electrónica	54
ANEXO 6	.....	55
	Funcionamiento con el paciente	55
ANEXO 7	.....	56
	Planos Mecánicos	56

VII. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Sistema de calificación de criterios de diseño mecánico	15
Tabla 2	Calificación de alternativas del diseño	16
Tabla 3	Sistema de calificación de criterios de materiales	18
Tabla 4	Calificación de alternativas para materiales	18
Tabla 5	Sistema de calificación de criterios para conectividad	20
Tabla 6	Calificación de alternativas para conectividad	20
Tabla 7	Sistema de calificación de criterios para controladores	23
Tabla 8	Calificación de alternativas para controladores	23
Tabla 9	Sistema de calificación de criterios de acelerómetros	26
Tabla 10	Calificación de alternativas para acelerómetro	26
Tabla 11	Propiedades técnicas filamento TPU. [36].....	27
Tabla 12	Propiedades técnica filamento PLA. [37]	28
Tabla 13	Partes del modelado en 3D del prototipo de Mouse	29
Tabla 14	Partes del modelado en 3D del prototipo de Mouse	29
Tabla 15	Medidas del dispositivo.	30
Tabla 16	Datos tomados con el goniómetro al paciente.	31
Tabla 17	Datos tomados con el goniómetro a una persona normal.	32
Tabla 18	Datos obtenidos en artículos médicos [19].	32
Tabla 19	Costos de los accesorios para la construcción mecánica	39
Tabla 20	Costos de los accesorios electrónicos	40
Tabla 21	Costos Mano de Obra.....	40
Tabla 22	Costos totales del prototipo.....	40
Tabla 23	Tabla de cálculo del VAN.....	41
Tabla 24	Tabla de cálculo del TIR.....	42

VIII. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Paciente con mano espástica [8].....	2
Figura 2 Clasificación de posición de la mano espástica [7]	3
Figura 3 Clasificación de House. [17]	4
Figura 4 Grado V de House -Brackmann [17].....	4
Figura 5 Tipo III de Terzis-Monasterio [17]	5
Figura 6 Flexión y extensión [19].....	5
Figura 7 Abducción y aducción [19]	6
Figura 8 Interface de ayuda o asistencia [2]	8
Figura 9 Mouse de asistencia estándar adaptado [9]	9
Figura 10 Mouse de asistencia controlado por gestos [24].....	10
Figura 11 GlassOuse- mouse de asistencia inalámbrico [25].....	10
Figura 12 Placa de Arduino [9].....	11
Figura 13 Acelerómetro [30].	12
Figura 14 Pulsador [9].	12
Figura 15 Alternativa 1 impresión del modelo en 3D en Resina.....	14
Figura 16 Alternativa 3 impresión del modelo en 3D en PLA y Filamento Flexible.....	15
Figura 17 Conectividad por cable USB [9]	19
Figura 18 Módulo bluetooth HC-05 [32].....	19
Figura 19 ATMEGA 16.....	21
Figura 20 Arduino UNO	22
Figura 21 Arduino NANO	22
Figura 22 Acelerómetro ADXL 335	24
Figura 23 Acelerómetro de 3 ejes KS943 [36]	25
Figura 24 Acelerómetro de 3 ejes MPU 6050	25
Figura 25 Modelado en 3D de partes del mouse.	28
Figura 26 Medidas en la mano del paciente.	29
Figura 27 Modelado en 3D de partes del mouse.	30
Figura 28 Uso del Goniómetro en el paciente.	31
Figura 29 Sistema de Control Eléctrico	32
Figura 30 inicio de mouse con coordenadas iniciales.....	33
Figura 31 Diagrama de flujo del proceso mouse	34
Figura 32 graficas de ángulos del acelerómetro.	36

Figura 33 Script de Python.	37
Figura 34 Prueba cronometrada.	37
Figura 35 Prueba de inicio y llegada.	38
Figura 36 Prueba de cuadrado.	38
Figura 37 Funcionamiento de los botones R y L.	39

IX. RESUMEN

Con el objetivo de permitir el acceso a la tecnología de asistencia, este proyecto se centra en el diseño y construcción de un mouse adaptado al miembro superior afectado con secuela de mano espástica. La finalidad es brindar una herramienta de trabajo adaptada que permita la utilización de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en el Ecuador.

Para el desarrollo del diseño y construcción del prototipo del mouse, se inició con el estudio de varios mouses de asistencia para personas con secuela de mano espástica, basados en análisis de alternativas de materiales, acelerómetros y conectividad para la construcción. Estos conceptos se presentan en el capítulo 1.

Basado en los conceptos recopilados en el capítulo 1, se genera la propuesta de 3 alternativas para el diseño del prototipo de mouse. Estas propuestas son evaluadas mediante tablas de calificación de criterios, las cuales permitieron seleccionar la mejor alternativa para el desarrollo de este proyecto. Además, basado en los criterios de la tabla de calificación, se selecciona el mejor material, microcontrolador, conectividad y acelerómetro. Estas selecciones de alternativas se presentan en el capítulo 2.

Utilizando el software Blender, se diseñó el modelado en 3D para posteriormente realizar su correcta impresión en filamento flexible y PLA, los cuales fueron seleccionados mediante las tablas de calificación de materiales para este prototipo. Con el diseño del prototipo, se procede a la implementación en unión con los elementos mecatrónicos para el funcionamiento del prototipo. Este diseño y construcción se detalla en el capítulo 3.

Para validar el funcionamiento del prototipo de mouse, se llevaron a cabo múltiples pruebas con pacientes que padecen la enfermedad de mano espástica. Estas pruebas arrojaron resultados positivos, como se muestra en el capítulo 4, lo cual demuestra el funcionamiento del prototipo.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de este proyecto.

Palabras claves: Mouse, Mano espástica, Acelerómetro, Arduino, Impresión 3D, Filamento.

X. ABSTRACT

In order to enable access to assistive technology, this project focuses on the design and construction of a mouse adapted for the upper limb affected by spastic hand sequelae. The purpose is to provide an adapted work tool that allows the use of Information and Communication Technologies (ICT) in Ecuador.

For the development of the mouse prototype design and construction, we began with a study of several assistive mice for individuals with spastic hand sequelae, based on analysis of alternative materials, accelerometers, and connectivity for construction. These concepts are presented in Chapter 1.

Based on the concepts gathered in Chapter 1, a proposal for three alternatives for the mouse prototype design is generated. These proposals are evaluated using criteria rating tables, which allowed us to select the best alternative for the development of this project. Furthermore, based on the rating table criteria, the best material, microcontroller, connectivity, and accelerometer are selected. These alternative selections are presented in Chapter 2.

Using Blender software, the 3D modeling was designed to subsequently ensure proper printing in flexible filament and PLA. These materials were selected using the material rating tables for this prototype. With the prototype design in place, the implementation in conjunction with mechatronic elements for the prototype's operation is detailed in Chapter 3.

To validate the functionality of the mouse prototype, multiple tests were conducted with patients suffering from spastic hand disease. These tests yielded positive results, as shown in Chapter 4, demonstrating the prototype's functionality.

Finally, the conclusions and recommendations of this project are presented.

Keywords: Mouse, spastic hand, accelerometer, Arduino, 3D printing, filament.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PROBLEMA DE ESTUDIO

Debido a diversas circunstancias, como enfermedades maternas o accidentes, las personas experimentan la pérdida o reducción de sus habilidades motoras, lo cual dificulta la manipulación de ciertos dispositivos, como el mouse en el ámbito de la informática. Esta situación crea la necesidad de recurrir a la tecnología adaptativa para superar estas dificultades [1].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) [2] y el Banco Mundial han reconocido a las personas con discapacidad como uno de los colectivos marginados dentro de la sociedad. Estas personas enfrentan dificultades académicas y su capacidad para contribuir al desarrollo del país se ve restringida, lo que, a su vez, se traduce en altos índices de pobreza. Se estima que alrededor del 15% de la población global presenta algún tipo de discapacidad, y dentro de este grupo, el 3,8% se considera que tiene una discapacidad grave, como la tetraplejía.

En Ecuador, aproximadamente el 1.1% de la población experimenta una discapacidad física, lo que impide el fácil acceso a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Esta limitación les impide formar parte del mercado laboral, acceder a servicios públicos básicos e incluso tener oportunidades educativas, lo que a su vez limita su capacidad de contribuir de manera productiva a la sociedad [3].

JUSTIFICACIÓN

Acceder y utilizar la tecnología de asistencia se ha vuelto un desafío para las personas con discapacidad de este tipo. Sus limitaciones físicas en los miembros superiores dificultan el uso de dispositivos tecnológicos convencionales [4]. Por lo tanto, surge la necesidad de adaptar e implementar herramientas que les permitan superar estas limitaciones. De esta manera, sus impedimentos físicos no se convierten en un obstáculo para acceder y disfrutar de las experiencias y beneficios que la tecnología nos ofrece en la actualidad [5].

Como lo establece el Plan Nacional de Buen Vivir (2013-2017), uno de los objetivos establecidos, en particular en el objetivo 11, es la gestión de los recursos tecnológicos del país, centrándose en la automatización, el control industrial y la robótica. El propósito de esto es promover el aumento generalizado del bienestar de los habitantes, buscando beneficiar a la sociedad en su conjunto [6].

En consecuencia, se plantea la creación de un modelo de mouse que pueda beneficiar a las personas con discapacidad en sus extremidades superiores, especialmente aquellos que sufren

de mano espástica. Al utilizar este prototipo, estas personas podrán acceder al uso de las TIC, con el propósito de reducir el analfabetismo digital, disminuir la tasa de abandono escolar y aumentar las oportunidades laborales en Ecuador.

GRUPO OBJETIVO

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un mouse adaptado al miembro superior afectado con secuela de mano espástica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el grado de funcionalidad de la mano afectada mediante un estudio ergonómico para determinar los parámetros de construcción.
- Diseñar y construir el prototipo de mouse basado en acelerómetros para el manejo de herramientas de computación.
- Realizar pruebas de desempeño del mouse en el área ocupacional para verificar los resultados.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

En este apartado se expone una descripción de la justificación teórica, la cual tiene como objetivo proporcionar una comprensión de las definiciones fundamentales relacionadas con el tema abordado en el presente estudio.

1.1 HEMIPLEJIA ESPÁSTICA

La hemiplejia espástica es una condición neurológica en la que una parte del cuerpo experimenta parálisis o debilidad debido a lesiones ocurridas en el sistema nervioso central, particularmente en el cerebro [7]. Esta condición se desarrolla a raíz de lesiones en las áreas cerebrales encargadas del control del movimiento, como accidentes cerebrovasculares, lesiones cerebrales traumáticas, parálisis cerebral o enfermedades neurológicas.

Las personas con hemiplejia espástica experimentan rigidez y espasmos musculares en el lado afectado, lo que dificulta la movilidad y la coordinación [8]. Además de la reducción de la capacidad muscular, los individuos afectados pueden experimentar obstáculos al llevar a cabo tareas diarias y enfrentar dificultades relacionadas con la movilidad y el equilibrio.

El miembro superior tiende a verse más afectado que el miembro inferior en ciertos casos. Por lo que, los músculos anti gravitatorios son los más afectados, lo que resulta en una postura comúnmente inclinada o flexionada del brazo y la pierna [9].

1.2 DIFICULTADES MOTORAS EN LA HEMIPLEJIA ESPÁSTICA

En la hemiplejia espástica, se pueden observar diversas alteraciones motoras en el lado afectado del cuerpo. Estas implican una disminución de la fuerza muscular, lo cual dificulta los movimientos voluntarios. Además, los músculos en el lado afectado se vuelven rígidos y tensos, lo que complica la movilidad normal y puede manifestarse de forma constante o incrementar durante el movimiento. También es común la presencia de espasmos musculares involuntarios y repentinos que interfieren con el movimiento normal [10].

Esta condición puede afectar la coordinación y el control motor preciso, generando dificultades en actividades como el agarre de objetos o la ejecución de movimientos finos. En el caso del brazo, se aprecia que los músculos flexores permanecen constantemente contraídos, lo que dificulta realizar acciones como alejar el brazo del cuerpo y rotarlo hacia el exterior, al igual que, estirar el codo y la muñeca [11].

Además, se presenta dificultad para realizar la rotación de la palma hacia arriba y abrir la mano para separar los dedos. El pulgar tiende a estar flexionado y se encuentra dentro de la palma de la mano, lo que compromete considerablemente la manipulación. Por lo que, los patrones de

movimiento del miembro superior en la hemiplejia espástica pueden manifestarse en, un hombro aducto o rotado, codo flexo, antebrazo pronado, muñeca en flexión dorsal y mano en forma de garra con el pulgar incluido [12].

1.3 MANO ESPÁSTICA

La mano espástica se refiere a una condición médica en la cual los músculos de la mano experimentan rigidez y contracciones involuntarias. La espasticidad es un trastorno del movimiento que puede afectar diferentes partes del cuerpo, incluyendo la mano. Cuando se presenta en esta zona, provoca una pérdida de control y coordinación muscular, lo que dificulta los movimientos normales de los dedos y la mano en general [13].

Las personas que tienen mano espástica pueden enfrentar dificultades para abrir o cerrar la mano, realizar movimientos precisos o agarrar objetos de forma adecuada. Además, pueden mostrar una postura anormal de la mano, con los dedos flexionados o en posición de garra [14]. En la Figura 1 se presenta un ejemplo de alteración por mano espástica [8].



Figura 1 Paciente con mano espástica [8]

1.4 SIGNOS Y SÍNTOMAS DE MANO ESPÁSTICA

Es fundamental considerar que la intensidad de los síntomas puede ser diferentes y afectar a cada persona de manera distinta, pero de forma general, estos síntomas incluyen [5]:

- Rigidez muscular constante que dificulta la movilidad y flexibilidad de los dedos y la mano en general.
- Contracciones involuntarias de los músculos de la mano, lo que causa movimientos no deseados e incontrolables.
- Dificultad para abrir y cerrar completamente la mano con fuerza, lo que puede comprometer el agarre de objetos y realizar actividades que requieren precisión manual.
- Movimientos sin coordinación, lo que dificulta realizar acciones precisas con los dedos y la mano.

- Postura anormal de la mano, con los dedos flexionados o en posición de garra, lo que afecta aún más la función y capacidad de agarre.
- Espasmos dolorosos en algunos casos, que pueden causar molestias en la mano.
- Limitación en las actividades diarias, como vestirse, comer, escribir o realizar tareas domésticas.

1.5 CLASIFICACIÓN DE LA POSICIÓN DE MANO ESPÁSTICA

De acuerdo con la ubicación de la afectación [7], esta se clasifica en:

- Hemiplejía: Refiere a la condición médica que ocasiona la inmovilización completa o parcial de un hemisferio corporal. Causando afectación en los músculos y las funciones motoras, ya sea del lado derecho o izquierdo [15].
- Tetraplejía: Conocida también como cuadriplejía, es una condición en donde existe parálisis total o parcial de las extremidades, siendo caracterizada por la pérdida de la capacidad motora de los brazos, piernas y en ocasiones hasta del tronco [16].
- Diplejía: Es una condición neuromuscular que afecta principalmente a las extremidades inferiores, aunque en ocasiones causa debilidad en las superiores. Se caracteriza por una disfunción motora espástica, lo que implica músculos rígidos y tensos [13].
- Monoplejía: Refiere a una condición muscular caracterizada por la parálisis de una sola extremidad o grupo muscular en el cuerpo, es decir se limita a una sola parte del cuerpo.

En la Figura 2 se muestra la clasificación de la posición de mano espástica.



Figura 2 Clasificación de posición de la mano espástica [7]

Por otra parte, la clasificación de la mano espástica se basa en la posición y la función de la mano afectada [7]. Existen diferentes clasificaciones utilizadas para describir los patrones de deformidad y disfunción asociados con la mano espástica. A continuación, se mencionan algunas de las clasificaciones más comunes [17]:

- **Clasificación de House:** Esta clasificación divide la mano espástica en cuatro tipos según la posición de la mano y la función del pulgar. Los tipos incluyen:
 - Tipo I: Flexión de los dedos y el pulgar en posición de garra.
 - Tipo II: Flexión del pulgar y la aducción de los dedos.
 - Tipo III: Flexión de los dedos, pulgar extendido y abducción del pulgar.
 - Tipo IV: Mano cerrada con puño, con el pulgar afectado en posición de aducción y flexión.

En la Figura 3 se presenta la clasificación de tipo 1 a tipo 4 de House de la enfermedad.

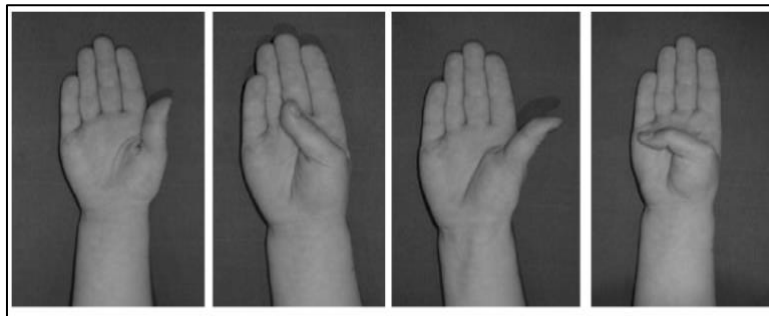


Figura 3 Clasificación de House [17]

- **Clasificación de House-Brackmann:** Esta clasificación se basa en la función del pulgar y los dedos. Los grados van del I al V, donde el grado I representa una función normal y el grado V indica la ausencia total de función.

En la Figura 4 se muestra el grado V de House-Brackman de la mano espástica.



Figura 4 Grado V de House -Brackmann [17]

- **Clasificación de Terzis-Monasterio:** Esta clasificación divide la mano espástica en tres tipos según la gravedad de la deformidad y la función del pulgar:
 - Tipo I: Deformidad leve, con función del pulgar conservada.
 - Tipo II: Deformidad moderada, con función del pulgar limitada.
 - Tipo III: Deformidad grave, con ausencia de función del pulgar.

En la Figura 5 se presenta la degradación tipo III de Terzis-Monasterio.



Figura 5 Tipo III de Terzis-Monasterio [17]

Cada categoría tiene el propósito de ofrecer una orientación para el diagnóstico y el tratamiento apropiado en correspondencia de las características particulares de cada paciente, por lo que pueden existir clasificaciones adicionales de acuerdo con distintos médicos y terapeutas, todas desarrolladas con el fin de categorizar la mano espástica [18].

1.6 MOVIMIENTOS DE LA MUÑECA

La muñeca es una parte del cuerpo humano formada por varios huesos los cuales permiten realizar diferentes movimientos. Dichos movimientos se los conoce como flexión – extensión; aducción, abducción y la circunducción. En cuanto a los ángulos que se forman al realizar estos movimientos, se tiene que, la flexión considera un ángulo de entre 10° y 80° hacia abajo, medidos con la palma en posición recta y estirada. De manera similar el movimiento de extensión, se considera entre 10° y 80° hacia arriba. En la Figura 6, se presenta los movimientos de flexión y extensión [19].

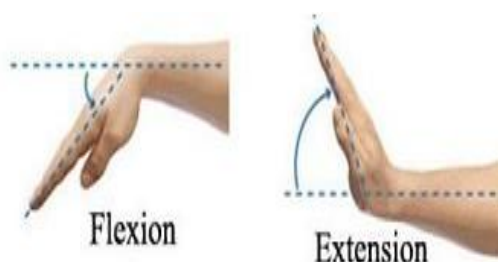


Figura 6 Flexión y extensión [19]

Para los movimientos de abducción, la muñeca presenta una inclinación radial, con una amplitud comprendida entre 15° y 25° . Mientras que, para el movimiento de aducción, la inclinación es cubital y la amplitud varía entre los 40° y 45° . Estos movimientos son observados en la Figura 7.

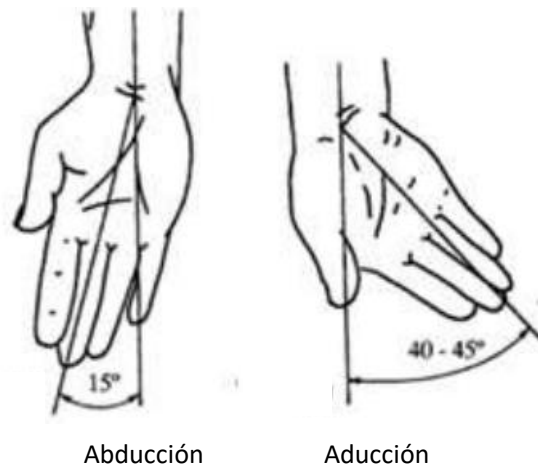


Figura 7 Abducción y aducción [19]

Las principales complicaciones y limitaciones de los pacientes con hemiplejia espástica en el movimiento de las muñecas se caracterizan por la pérdida de fuerza, afectando la capacidad para agarrar o levantar objetos. Así mismo, se puede observar dificultad motora fina, afectando los movimientos de aducción, abducción principalmente, esta limitación en los movimientos afecta la realización de tareas, como escribir, abrochar botones o la manipulación precisa de objetos. Adicional al dolor y la incomodidad por la que atraviesan los pacientes, actividades esenciales como asearse, comer o realizar tareas domésticas, se ven comprometidas [19]

1.7 TECNOLOGÍA Y DISCAPACIDADES EN EXTREMIDADES SUPERIORES

La limitación funcional en los miembros superiores implica limitaciones o dificultades en el funcionamiento de brazos, manos u otras partes, debido a lesiones, enfermedades o condiciones médicas. Estas pueden variar en su naturaleza y gravedad e incluyen amputaciones, parálisis cerebral, lesiones de médula espinal, artritis y enfermedades neuromusculares, entre otras [20]. Estas restricciones pueden afectar la capacidad de una persona para realizar actividades cotidianas, tales como vestirse, comer, escribir y utilizar herramientas o dispositivos electrónicos [15]. Las personas con condición de manos espásticas pueden enfrentar obstáculos al acceder a la tecnología debido a las limitaciones físicas que comprometen su habilidad para usar y controlar sus manos de manera precisa. Entre las principales dificultades incluyen:

- Manipulación de dispositivos: La falta de destreza o coordinación en las manos puede dificultar la manipulación de dispositivos electrónicos como teléfonos móviles, tabletas o computadoras. Por lo que, intentar interactuar con teclados, botones táctiles o pantallas puede resultar desafiante [21].
- Uso de interfaces estándar: Muchos dispositivos se encuentran diseñados para llevar a cabo su funcionalidad a través de movimientos con las manos, esto refiere el tamaño de

los botones, la sensibilidad táctil, o la necesidad de movimientos precisos que en algunos casos resultan imposibles de realizar [14].

- Acceso a funciones y asistencias técnicas: Aunque actualmente, la ayuda de la voz es una gran herramienta para el manejo de aplicaciones o dispositivos, lo cierto es que, no toda la tecnología ofrece este modelo, y en algunos casos, esta función no es precisa, por lo que, es necesario el acceso manual a las herramientas tecnológicas [22].
- Adaptaciones: en la mayoría de las situaciones, los individuos que padecen problemas en sus extremidades superiores, emplean adaptaciones para la movilidad de sus dedos y mano, sin embargo, esto resulta en costos elevados y que la mayoría no puede acceder a ellos.

Las dificultades mencionadas revelan los desafíos que enfrentan las personas con discapacidades en sus extremidades superiores, lo cual restringe su calidad de vida y produce un efecto perjudicial. Además, aspectos como las actividades educativas, el acceso a la información o los servicios en línea se convierten en aspectos a los que estos pacientes no pueden acceder [15].

1.8 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS DE ASISTENCIA PARA PERSONAS CON HEMIPLEJIA ESPÁSTICA

Las herramientas tecnológicas de asistencia son recursos tecnológicos desarrollados con el propósito de apoyar a las personas que padecen de hemiplejia espástica, ayudándolas a superar las limitaciones asociadas y a incrementar su autonomía en las tareas cotidianas. Estas herramientas son especialmente útiles para potenciar áreas como la capacidad de movimiento, comunicación y acceso a la tecnología[9]. A continuación, se presentan algunos ejemplos de los distintos tipos de herramientas tecnológicas de asistencia que pueden ser utilizadas por personas con hemiplejia espástica.

1.8.1 Interfaces

Existen interruptores diseñados para facilitar a las personas con hemiplejía espástica, el acceso y control de diversos equipos, como ordenadores, máquinas y juguetes. Estos interruptores actúan como una interfaz entre el paciente y el dispositivo, permitiendo activar o desactivar su funcionamiento [2]. Estas interfaces de asistencias, permiten que un paciente con hemiplejía espástica, sea capaz de controlar luces, televisores, teléfonos, entre otros dispositivos. Por otra parte, ciertos interruptores, se encuentran configurados para la selección de símbolos o palabras en un dispositivo de comunicación. Un modelo de interface sencillo es presentado en la Figura 8.



Figura 8 Interface de ayuda o asistencia [2]

Entre las interfaces o interruptores más comunes se encuentran [23]:

- Interruptores mecánicos: este grupo comprende palancas, pedales, almohadones e interruptores neumáticos.
- Interruptores electromagnéticos: aquí se encuentran interruptores infrarrojos y ópticos.
- Interruptores electromiográficos: estos sirven de apoyo y asistencia en el uso de prótesis biomédicas.
- Interruptores sónicos: su principio de funcionamiento es el ultrasonido.

1.8.2 Lectores de pantalla

Estos dispositivos son herramientas tecnológicas de asistencia que cuentan con funciones de navegación por voz, por lo que para personas con hemiplejía espástica contribuye en el acceso a software o contenido digital, ya que, no requiere el uso de manos [10]. Estos dispositivos otorgan una vida más independiente, mejorando su calidad y rompiendo las limitaciones a la tecnología por la falta de capacidad de manipulación de un ratón o teclado.

1.8.3 Mouse de asistencia para pacientes con hemiplejía espástica

El propósito primordial del mouse es trasladar los movimientos de la mano sobre una superficie plana hacia el dispositivo. El software, conocido como controlador, convierte estos movimientos en desplazamientos del puntero en la pantalla, teniendo en cuenta diferentes parámetros. Al utilizar el mouse, su ubicación se corresponde con la del cursor en la pantalla. Si se desplaza el mouse sobre una superficie, el cursor replica dichos movimientos [9].

Un mouse de asistencia facilita la interacción con la tecnología a personas con dificultades de control fino, causadas por espasticidad muscular. Este dispositivo otorga funciones especiales permitiendo la interacción con el ordenador de forma práctica. Cada mouse puede ser diseñado con fines de apoyar en necesidades específicas, por lo que, puede presentar distintas características, pero en general, debe incluir características como [10]:

- **Diseño ergonómico:** Debe presentar una forma que se adapte a la mano, y a la vez evite la fatiga y tensión muscular.
- **Sensibilidad ajustable:** Debe permitir ajustar la sensibilidad del movimiento, con el fin de facilitar el control del puntero en pantalla.
- **Asistencia:** Entre las características de asistencia, estos mouses suelen presentar la opción de bloquear automáticamente o reducir la velocidad del cursor con el fin de mejorar la precisión.

De igual forma, es necesario considerar las funciones básicas del mouse, como deslizar o arrastrar hacia cualquier parte de la pantalla; hacer clic, aspecto que se refiere a la acción de presionar y soltar; y doble clic, haciendo alusión a la acción de aplastar y soltar [9].

En ese sentido, se considera importante revisar algunos ejemplos de mouse de asistencia para personas con hemiplejía espástica. Para ello, se trae a colación el trabajo de Bastelleros [9], quien desarrolló un mouse de asistencia, partiendo de un mouse estándar o convencional, y realizó las adaptaciones correspondientes, retirando la placa madre del mouse e identificando los pulsadores derecho e izquierdo, luego de ello, y colocando adaptaciones exteriores a los pulsadores, los cuales permitieron manejar la computadora a medida de las necesidades del paciente. En la Figura 9 se presenta el mouse de asistencia adaptado para personas con discapacidad.



Figura 9 Mouse de asistencia estándar adaptado [9]

De igual forma, se revisa el mouse de asistencia, diseñado por Jaramillo[24] quien, en su trabajo de investigación, diseñó un mouse de asistencia, cuyo funcionamiento se dio a base del control de gestos y movimientos de la cabeza. El equipo constó de un acelerómetro y electrodos superficiales que capturaban los gestos y los convertía en comandos ejecutables en la computadora. Para la estructura, el investigador uso como base un casco de seguridad, tal como se aprecia en la Figura 10.



Figura 10 Mouse de asistencia controlado por gestos [24]

Finalmente, se presenta el dispositivo GlassOuse, que es un tipo de mouse bluetooth. En realidad, este mouse es usado como gafas, y diseñado especialmente para personas con movilidad 0 en las manos, o que han sufrido de amputaciones. El funcionamiento de este mouse, se basa en los movimientos ejercidos por la cabeza, ayudando a las personas en el control de la computadora, la televisión, celulares u otros dispositivos, que puedan ser enlazados. Este dispositivo, consta de sensores de movimientos con una alta sensibilidad, para detalles precisos y delicados, el peso del dispositivo es menor a 50 gramos y la batería puede durar hasta 7 días sin recargarse. Este es uno de los mejores dispositivos de asistencia que se encuentran en el mercado y se muestra en la Figura 11.

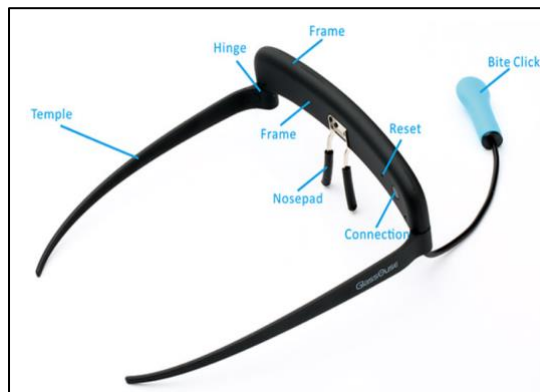


Figura 11 GlassOuse- mouse de asistencia inalámbrico [25]

1.9 COMPONENTES MECATRÓNICOS PARA EL DESARROLLO DE PROTOTIPOS.

Los prototipos mecatrónicos se encuentran conformados por diferentes elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos y sistemas de embebidos, lo cuales forman una sinergia para el funcionamiento de los prototipos. A continuación, se describen algunos elementos empleados para el diseño de equipos a nivel de prototipo.

1.10 ARDUINO

Arduino es una plataforma de código abierto que combina los componentes físicos como los programas informáticos con el fin de fomentar el progreso de iniciativas electrónicas interactivas. Está compuesto por una placa de circuito impreso que incluye un microcontrolador programable y múltiples pines de entrada/salida que posibilitan la interconexión y la regulación de diversos elementos electrónicos [26].

Esta placa es compatible con una amplia gama de sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos, lo que la hace versátil para desarrollar proyectos en áreas como la electrónica, la robótica o la domótica. Adicional, proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) que facilita la programación de la placa a través de un lenguaje de programación con base en Wiring, junto con una biblioteca de funciones predefinidas. [27].

Arduino se destaca por su accesibilidad y facilidad de uso, lo que ha permitido que personas con diferentes niveles de experiencia en electrónica puedan aprender y crear proyectos de manera sencilla. También ha fomentado una comunidad activa de usuarios y desarrolladores que comparten conocimientos, tutoriales y proyectos, lo que contribuye al crecimiento y la innovación continua en el ámbito de la electrónica y el prototipado rápido [9]. La Figura 12, muestra la representación visual de una placa Arduino, detallando sus componentes.

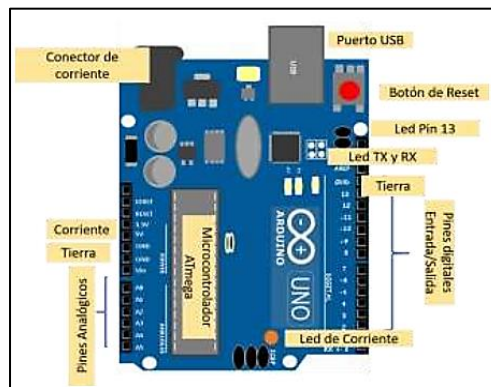


Figura 12 Placa de Arduino [9]

1.11 ACELERÓMETRO

Es un dispositivo utilizado para detectar y medir la aceleración lineal o la inclinación de un objeto. Su función principal consiste en detectar los cambios en la velocidad de movimiento en una o varias direcciones y convertirlos en señales eléctricas proporcionales a la aceleración [28].

La tecnología subyacente del acelerómetro se basa en la fuerza ejercida sobre una masa en respuesta a la aceleración. Para medir los cambios en la posición de dicha masa y, por ende, la

aceleración, se emplean tecnologías como piezoeléctricos, capacitores o sistemas microelectromecánicos (MEMS) [29].

Los acelerómetros tienen una amplia gama de aplicaciones, en dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes, tabletas y consolas de videojuegos, se utilizan para detectar la orientación del dispositivo y cambiar automáticamente la orientación de la pantalla. También se emplean en sistemas de navegación inercial, donde se combinan con giroscopios para medir la velocidad y la posición de un objeto en movimiento. Además, se utilizan en equipos deportivos, vehículos, dispositivos médicos y otras muchas aplicaciones en las que se requiere medir la aceleración o la inclinación [30]. La Figura 13 exhibe la presentación de la placa de un acelerómetro.

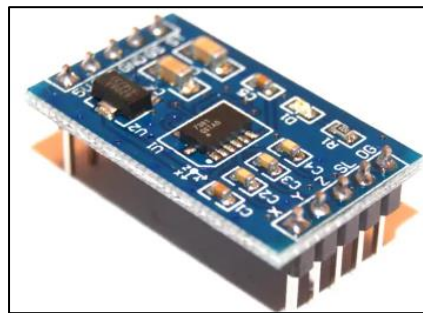


Figura 13 Acelerómetro [30]

1.12 PULSADOR

Un botón pulsador es un interruptor o dispositivo de comunicación que se utiliza para permitir o detener el flujo de electricidad. A diferencia de los interruptores tradicionales, el botón realiza esta función solo cuando se presiona, es decir, no se queda fijo en una posición [9]. La Figura 14 exhibe la presentación del pulsador.



Figura 14 Pulsador [9]

1.13 IMPRESIÓN EN 3D ORINETADO A PROTOTIPO

La fabricación en tres dimensiones, conocida como impresión en 3D o fabricación aditiva, es un procedimiento en el que se construyen objetos tridimensionales a partir de un modelado digital. La tecnología de impresión en 3D aumentado en los últimos años y se utiliza

ampliamente en diversos campos, incluida la fabricación de prototipos. Esto es realmente útil en industrias como la fabricación, el diseño de productos, la arquitectura la ingeniería, donde se requiere probar y validar ideas. [21]

El proceso de impresión en 3D para la creación de prototipos generalmente implica los siguientes pasos:

- Creación del modelo digital: Se crea un diseño tridimensional utilizando un software de modelado en 3D.
- Preparar la maquina y calibrar conjunto con el filamento a utilizar ya que varían en los materiales (PLA, FLEXIBLE, ABS, PETG, ETC.).

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se examinan diversas alternativas para enfrentar el desafío principal del análisis, lo cual contribuirá a identificar la opción más adecuada a implementar.

2.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO MECÁNICO

2.1.1 Alternativa 1

Esta alternativa sugiere utilizar una configuración o diseño específico con base en una estructura sólida a través de un microcontrolador ATMEGA 16 y un acelerómetro ADCL -335 para asistir los movimientos de la mano con cierto grado de movilidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta alternativa utiliza materiales de resina que pueden limitar la movilidad de la mano. Como resultado, el uso periódico de la resina puede causar molestias al paciente. Además, la rigidez del diseño puede afectar la precisión del acelerómetro y potencialmente causar molestias periódicas al paciente. Se muestra una aproximación del modelado de esta alternativa en la Figura 15.

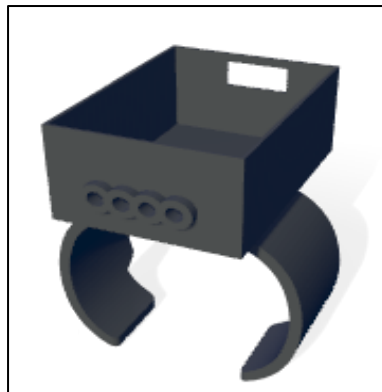


Figura 15 Alternativa 1 impresión en Resina.

2.1.2 Alternativa 2

Esta alternativa propone emplear una configuración rígida, que consta de un microcontrolador Arduino UNO y un acelerómetro de 3 ejes KS943 que ayuda en los movimientos de la mano con un poco más de libertad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este enfoque presenta un tamaño considerable que puede afectar la comodidad del usuario y la funcionalidad del prototipo. Por otra parte, el costo de esta alternativa sería más elevado debido a los precios individuales de sus componentes, situación que lo coloca en desventaja frente a las opciones 1 y 3. Un enfoque de esta alternativa se encuentra representada en la Figura 15.

2.1.3 Alternativa 3

En esta alternativa, se plantea la utilización de dos estructuras, una de ellas siendo de naturaleza rígida que iría ubicada encima de la mano, y una flexible, que se colocaría alrededor de la muñeca, la parte flexible será fabricada con un tipo de filamento que no interfiera con la movilidad. El microcontrolador propuesto para esta opción es un Arduino NANO, junto con un acelerómetro MPU 6050 que contribuye a los movimientos ejecutados por la mano. En ese sentido, esta alternativa satisface el prototipo dado que no generaría molestias al usarlo. A su vez, la conectividad se realizará a través de cable USB, para reducir el tamaño del prototipo y disminuir el peso debido al uso de baterías. En la figura 16 se opta por una estrategia bimaterial, y el esquema del diseño se muestra a continuación.

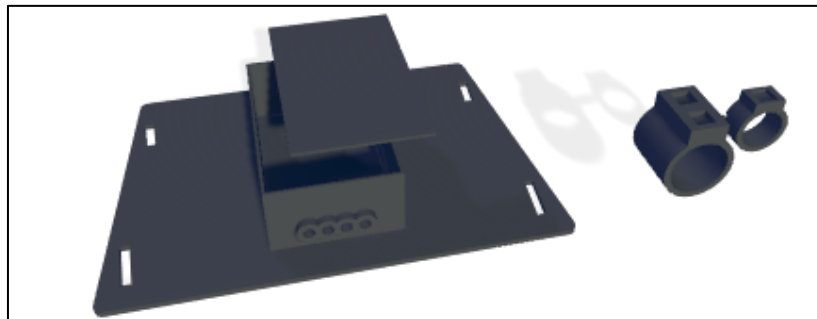


Figura 16 Alternativa 3 impresión del modelo en 3D en PLA y Filamento Flexible.

2.1.4 Sistema de evaluación de criterios de diseño mecánico

La Tabla 1 presenta las diversas puntuaciones que destacan los criterios más favorables de cada una de las alternativas más viables, con el objeto de considerar su posible implementación.

Tabla 1 Sistema de evaluación de criterios de diseño mecánico

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Costo de construcción	Costosa	Normal	Económica
Implementación	Compleja	Normal	Fácil
Operación	Difícil	Normal	Fácil
Confiabilidad	Mala	Normal	Buena
Confort y movilidad	Regular	Buena	Excelente

2.1.5 Análisis de alternativas de criterios del diseño

La Tabla 2 presenta los diferentes criterios con sus respectivos porcentajes, empleando el número 1 como la calificación de menor valor y el valor más alto en el análisis se designa con el número 10 como calificación máxima.

Tabla 2 Calificación de opciones de diseño

Í T E M	CRITERIO	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	IDEAL
		1	2	3	Rango 8-10
		Calificación			
1	Costo de impresión	2	6	8	10
2	Implementación	4	7	9	10
3	Durabilidad	4	7	8	10
4	Confiabilidad	5	7	9	10
5	Aplicación	5	6	8	10
	Sumatorio C.	20	33	42	50
	Índice porcentual	0.4	0.66	0.84	1
	Orden de selección	40%	66%	84%	100%

Los resultados obtenidos indican que la opción 3 es la más adecuada según lo observado, puesto que, todos sus parámetros de costo de impresión, implementación, durabilidad, confiabilidad y aplicación se encuentran ponderados con valores entre 8 y 10. Lo que la ubica en un 84%, presentando una marcada ventaja frente a las opciones 1 y 2. Esto puede deberse a que, en términos de implementación, la alternativa 3 presenta dos estructuras, una fija que se ubicaría por encima de la muñeca y una flexible alrededor, otorgándole mayor libertad y por lo tanto, mayor durabilidad y confiabilidad. Otra razón importante para ser la ideal, es su versatilidad al ofrecer una característica inalámbrica y una carga que no dependa de un cable de conexión permanente.

2.2 ALTERNATIVAS DE MATERIAL

A continuación, se presentan los materiales que serán utilizados en el diseño, los cuales incluyen tanto materiales rígidos como flexibles.

2.2.1 Alternativa impresión 3D resina

La resina es un tipo de material natural o sintético, sin embargo, para las impresiones en 3D la resina empleada es sintética, es decir que es creada a través de procesos químicos y es líquida,

por lo cual, al someterse a exposición de luz ultravioleta se vuelve sólida [31]. Por otra parte, la impresión en 3D es un proceso de fabricación que luego de la creación de un modelo digital en tres dimensiones, el proceso implica la división del objeto en capas delgadas, que posteriormente son enviados a una impresora 3D especializada en trabajar con este tipo de material [9].

En cuanto a la propuesta, si bien el material es considerado como viable dentro del campo de la biomédica, es necesario considerar aspectos como la rigidez del material, lo cual puede generar restricciones en la movilidad de la mano y a su vez ocasionar molestias en el usuario. Así mismo, la resistencia del material y su durabilidad, es decir la degradación de este, puede variar en función de la calidad. Finalmente, en caso de trabajar con este material es necesario que se hagan múltiples pruebas que garanticen la compatibilidad y seguridad, a fin de evitar algún tipo de irritación en la piel o molestias debido a su rigidez.

2.2.2 Alternativa impresión 3D filamento flexible y filamento PLA

Considerando que esta opción contempla el desarrollo de dos estructuras una flexible y una rígida, dentro de la misma, se proponen dos materiales: el filamento flexible para la pieza alrededor de la muñeca y el filamento PLA para la caja que se ubicará encima de la muñeca.

Por un lado, se tiene el filamento flexible, compuesto de polímeros termoplásticos como el poliuretano termoplástico (TPU) o el elastómero termoplástico (TPE). Ambas composiciones presentan una estructura molecular especial, misma que refiere a la capacidad de recuperar su forma original luego de una deformación o alargamiento de material [31]. Por otra parte, el filamento PLA o de ácido poli láctico, es un bioplástico que se deriva de recursos naturales como la remolacha y la caña de azúcar, y sería empleado en la parte rígida de la estructura [31]. Entre sus principales beneficios se encuentra, la facilidad de este material para su impresión, su rigidez compatible con el requerimiento actual, y que, es biodegradable, por lo que, lo convierte en un amigo del ambiente.

En síntesis, esta alternativa propone el uso del filamento flexible por sus características de elasticidad para la estructura que se ubica alrededor de la muñeca, y el filamento PLA puesto que su rigidez y fácil manejo de impresión lo convierten en el ideal para la estructura que se ubica encima de la mano, finalmente, sus características de biodegradabilidad, afirman la decisión de optar por estos materiales [9].

2.2.3 Sistema de calificaciones para materiales

La Tabla 3 muestra los criterios tomados en cuenta para el análisis y selección del mejor material, así como las valoraciones que le permiten a dicho material encontrarse dentro de un

rango y posteriormente facilitar su elección. Entre los criterios considerados para describir sus propiedades se encuentran la elasticidad, la flexibilidad, la resistencia, la facilidad al momento de la impresión, y su compatibilidad con el proyecto, en donde esta última refiere a la capacidad de adaptarse a las necesidades del prototipo.

Tabla 3 Sistema de calificación de criterios de materiales

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Tiempo de vida	Mínima	Normal	Elevada
Flexibilidad	Mínima	Normal	Elevada
Resistencia	Poca	Normal	Elevada
Manipulación	Poca	Normal	Buena
Costo	Caro	Normal	Económico

2.2.4 Análisis de alternativas para materiales

La Tabla 4 muestra una lista de criterios junto con sus respectivos porcentajes de ponderación, utilizando una escala de calificación de 1 a 10. El valor 1 refleja la calificación más baja, mientras que el valor 10 indica la calificación más alta en el análisis.

Tabla 4 Calificación de alternativas para materiales

Í T E M	CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	IDEAL
		Resina	Filamento TPE y PLA	Rango 8-10
1	Tiempo de vida	6	8	10
2	Flexibilidad	1	9	10
3	Resistencia	3	7	10
4	Manipulación del material	4	8	10
5	Costo	3	9	10
Sumatorio C.		17	41	50
Índice porcentual		0.34	82%	1
Orden de selección		34%	82%	100%

En correspondencia con las puntuaciones proporcionadas, se tiene que la combinación de filamento TPE y LPA es la más acertada para el presente proyecto. Esto se debe a que el filamento TPE contiene la flexibilidad y elasticidad requerida para la construcción de estructura que va alrededor de la muñeca, mientras que, el filamento PLA brinda la rigidez necesaria para la parte que se ubica encima de la muñeca. Esto en conjunto, permite que la opción sea compatible con lo que el prototipo requiere.

2.3 ALTERNATIVAS DE CONECTIVIDAD

2.3.1 Conectividad por cable USB

El estándar USB cuenta con cuatro vías distintas para la transferencia de datos. Estas incluyen dos conductores de alimentación y dos conductores de señal trenzados. La transferencia de datos se lleva a cabo utilizando conectores D+ y D-, mientras que los conectores Vbus y Gnd se encargan de suministrar energía al dispositivo USB [9]. En la Figura 17 se muestra la representación visual de un cable USB.



Figura 17 Conectividad por cable USB [9]

2.3.2 Módulo bluetooth HC-05

Este módulo es un pequeño dispositivo transmisor/receptor TTL que fue diseñado para su uso en comunicaciones a través de RS232. El mismo, da paso a la transmisión y recepción de datos utilizando tecnología Bluetooth, sin la necesidad de cables para establecer la conexión entre los dispositivos que se desean comunicar. Sin embargo, no todos los dispositivos cuentan con conexión bluetooth, lo que podría dificultar su aplicación. La Figura 18 muestra el bluetooth HC-05 [32].

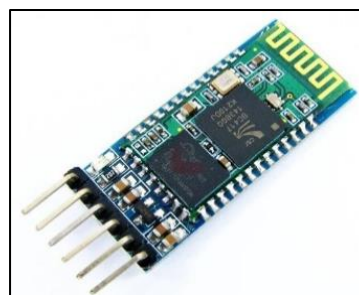


Figura 18 Módulo HC-05 [32]

2.3.3 Sistema de calificaciones para conectividad

En la Tabla 5 se muestran diversos criterios junto con sus respectivos porcentajes, utilizando una escala de calificación del 1 al 10. En esta escala, el valor 1 corresponde a la calificación más baja, mientras que el valor 10 indica la calificación más alta en el análisis para cada criterio.

Tabla 5 Sistema de calificación de criterios para conectividad

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Velocidad de comunicación	Lenta	Normal	Rápida
Tiempo de uso	Corto	Normal	Largo
Distancia	Corta	Normal	Larga
Compatibilidad con computadoras	Poca	Normal	Buena
Facilidad de conexión	Difícil	Normal	Fácil
Confiabilidad	Regular	Buena	Excelente

2.3.4 Análisis de alternativas para conectividad

En la Tabla 6 se presenta una enumeración de criterios junto a sus respectivos porcentajes, empleando una escala de calificación que abarca desde 1 hasta 10. El valor 1 corresponde a la calificación más baja, mientras que el valor 10 indica la calificación más alta para cada criterio.

Tabla 6 Calificación de alternativas para conectividad

Í T E M	CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	IDEAL
		Cable USB	Bluetooth HC-05	Rango 8-10
1	Velocidad de comunicación	8	6	10
2	Tiempo de uso	9	3	10
3	Distancia	8	5	10
4	Compatibilidad con computadoras	8	4	10
5	Facilidad de conexión	9	3	10
6	Confiabilidad	7	6	10
Sumatorio C.		49	27	50
Índice porcentual		0.98	54	1
Orden de selección		98%	54%	100%

En correspondencia con las valoraciones proporcionadas, se tiene que la alternativa correspondiente al cable USB es la que se ajusta a las necesidades del prototipo, esto se debe a su robustez y principalmente a velocidad de transmisión y accesibilidad que le proporciona al proyecto.

2.4 ALTERNATIVAS DE CONTROLADORES

2.4.1 ATMEGA 16

El ATMEGA16-16AU es un microcontrolador de 8 bits con base en la arquitectura AVR RISC, es reconocido por su alto rendimiento y bajo consumo de energía. Cuenta con una capacidad de memoria flash programable de 16kB, 1kB de SRAM, 512B de EEPROM y un convertidor A/D de 10 bits con 8 canales. Además, incluye una interfaz JTAG integrada que permite la depuración en chip. En la Figura 19 se presenta el ATMEGA 19 [33].

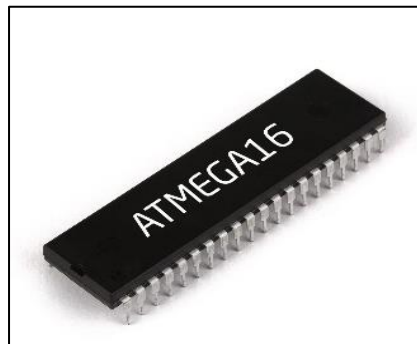


Figura 19 ATMEGA 16 [33].

2.4.2 Arduino UNO

El Arduino UNO es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P como núcleo central. Esta placa cuenta con 14 pines digitales configurables como entradas o salidas, de los cuales 6 pueden funcionar como salidas PWM. Además, incorpora 6 entradas analógicas, un cristal de 16 MHz, una interfaz USB, un conector jack para la alimentación, terminales para la programación ICSP y un botón de reset.

El Arduino UNO integra todos los elementos electrónicos esenciales para el correcto funcionamiento del microcontrolador. Por lo que, solo se necesita conectar la placa a una fuente de energía mediante el puerto USB o a través de un adaptador AC-DC. A continuación, la Figura 20 se exhibe la placa de Arduino UNO [34].



Figura 20 Arduino UNO [34]

2.4.3 Arduino NANO

El Arduino Nano es un microcontrolador compacto de la familia de placas Arduino. En comparación con otros modelos de Arduino, se distingue por su tamaño reducido, lo que convierte en una iniciativa especialmente idónea para prototipos con restricciones de espacio. Al igual que otras placas Arduino, el Nano utiliza un microcontrolador ATmega328P y ofrece funciones similares, como pines digitales y analógicos para la conexión de sensores y actuadores, así como la programación a través del entorno de desarrollo Arduino.

Cuenta con una interfaz USB para la comunicación con la computadora y la carga de programas. Además, debido a su versatilidad y tamaño compacto, el Arduino Nano se utiliza ampliamente en proyectos de electrónica, robótica, domótica, biomédica y más [35].

Gracias a su versatilidad, tamaño compacto, capacidades de comunicación y funcionalidades, el Arduino Nano se posiciona como la elección óptima para el desarrollo del proyecto. La Figura 21 muestra la representación visual de la placa Arduino Nano.

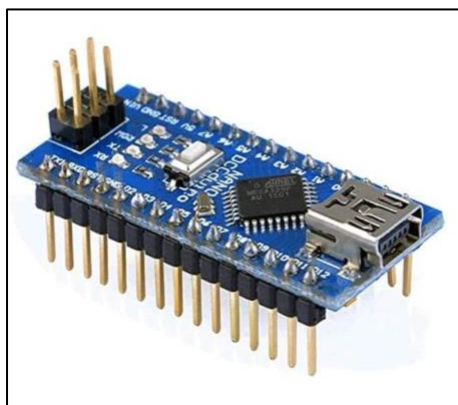


Figura 21 Arduino NANO [35]

2.4.4 Sistema de calificaciones para controladores

La Tabla 7 muestra las diferentes calificaciones con el fin de identificar los criterios más favorables de cada alternativa.

Tabla 7 Sistema de calificación de criterios para controladores

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Costo de controlador	Costosa	Normal	Económica
Tamaño	Grande	Mediano	Pequeño
Programación	Compleja	Normal	Sencilla
Robustez	Poca	Normal	Buena
Confiabilidad	Regular	Buena	Excelente

2.4.5 Análisis de alternativas para controladores

La Tabla 8 despliega una enumeración de criterios con sus respectivos porcentajes, utilizando una escala de calificación de 1 al 10. En esta escala, el valor 1 representa la calificación más baja, mientras que el valor 10 indica la calificación más alta para cada criterio.

Tabla 8 Calificación de alternativas para controladores

Í T E M	CRITERIO	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	IDEAL
		1	2	3	Rango 8-10
		ATMEGA 16	ARDUINO UNO	ARDUINO NANO	
1	Costo del controlador	4	4	9	10
2	Tamaño	2	1	10	10
3	Programación	1	6	9	10
4	Robustez	2	8	8	10
5	Confiabilidad	3	8	9	10
Sumatorio C.		12	27	45	50
Índice porcentual		0.24	0.54	90	1
Orden de selección		24%	54%	90%	100%

En concordancia con las puntuaciones dadas, se aprecia que la alternativa que propone trabajar con el Arduino Nano es la mayor puntuada, y esto se debe principalmente a que este controlador se ajusta al tamaño requerido, incluyendo una robustez deseada para el proyecto y empleando una programación sencilla.

2.5 ALTERNATIVAS DE ACELERÓMETROS

A pesar de tener la misma finalidad de medir la aceleración, los acelerómetros se diferencian entre sí debido a los diferentes mecanismos utilizados. Por lo tanto, a continuación, se enumeran diversas alternativas de acelerómetros disponibles.

2.5.1 Acelerómetro ADXL-335

Este módulo está equipado con un acelerómetro ADXL335 de 3 ejes y se suministra con condensadores de desacoplo para garantizar un rendimiento óptimo. Fue creado con el propósito de ser utilizado en una diversidad de proyectos que abarquen desde el uso de microcontroladores hasta aplicaciones en el campo de la robótica.

El ADXL335 es un acelerómetro que produce una señal de voltaje en proporción a la aceleración que experimenta en cada uno de sus tres ejes. Estas señales, se pueden convertir en datos digitales utilizando microcontroladores como PIC, Atmel o Arduino y sus entradas analógicas. Entre las desventajas de este acelerómetro se encuentra el ruido entregado, por lo que se recomienda la implementación de un filtro digital adicional con el fin de conseguir lecturas con mayor estabilidad y precisión. En la Figura 22 se presenta el acelerómetro ADXL 335 [28]

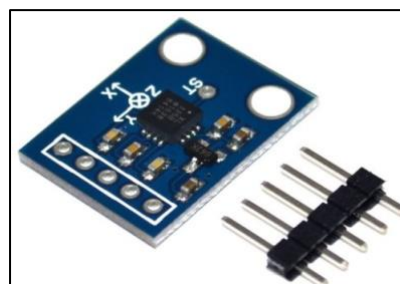


Figura 22 Acelerómetro ADXL 335 [28]

2.5.2 Acelerómetro de 3 ejes KS943

El acelerómetro de tres ejes KS943, es fabricado por METRA, una empresa alemana, y está diseñado para medir la aceleración y vibración en una amplia gama de frecuencias, llegando hasta los 19 kHz [36].

A diferencia de la versión anterior, esta serie cuenta con salida IEPE. Dado que es un acelerómetro piezoeléctrico, se requiere un acondicionador especial IEPE de al menos tres canales para poder conectar este acelerómetro, ya que realiza mediciones en tres ejes. La forma de la pieza es cuadrada, fabricado en acero inoxidable, con un eje hueco para su fijación.

Este modelo es de bajo perfil, puesto que, presenta solo 11 mm de espesor, lo que permite su instalación en aplicaciones con espacio reducido. Además, el conector está ubicado de forma radial para facilitar su montaje. En la Figura 23 se presenta el acelerómetro de 3 ejes KS943.



Figura 232 Acelerómetro de 3 ejes KS943 [36]

2.5.3 Acelerómetro de 3 ejes MPU6050

El MPU6050 es un sensor de 6 grados de libertad (DoF) que integra un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes, mayormente utilizado en aplicaciones de estabilización. El acelerómetro registra las distintas magnitudes de aceleración en los ejes X, Y, Z y adicional, gracias al giroscopio, se cuenta también con las velocidades angulares. Por lo que, es importante tener en cuenta el sentido que indica la dirección de los ejes, con el fin de evitar errores en el signo de las aceleraciones durante su interpretación [37].

El módulo hace uso del protocolo I2C para establecer la comunicación, esto lo hace compatible con la mayoría de los microcontroladores. En la placa, los pines SCL y SDA ya cuentan con una resistencia pull-up incorporada, lo que facilita la conexión directa con el controlador. Por la robustez del módulo MPU 6050, dado que brinda a la vez los beneficios de un giroscopio, es que se lo considera como la mejor opción para el prototipo. En la Figura 24 se presenta el módulo MPU 6050 [37].

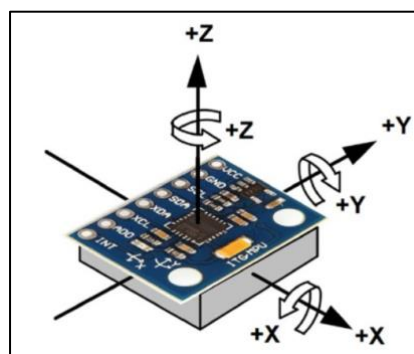


Figura 24 Acelerómetro de 3 ejes MPU 6050 [37]

2.5.4 Sistema de calificaciones para acelerómetros

En la Tabla 9, se presenta una clasificación de las diferentes calificaciones con el objetivo de distinguir los acelerómetros que son más viables para su implementación.

Tabla 9 Sistema de calificación de criterios de acelerómetros

CRITERIO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 8-10
Precisión	Mínima	Normal	Elevada
Compatibilidad de controladores	Baja	Normal	Elevada
Tamaño	Grande	Normal	Pequeño
Costo	Caro	Normal	Económico
Manejo de ruido	Regular	Buena	Excelente

2.5.5 Análisis de alternativas para acelerómetros

La Tabla 10 muestra una variedad de criterios junto con sus respectivos porcentajes, empleando una escala de calificación del 1 al 10. El valor 1 representa la calificación más baja, mientras que el valor 10 indica la opción óptima para el proyecto.

Tabla 10 Calificación de alternativas para acelerómetro

Í T E M	CRITERIO	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	IDEAL
		1	2	3	Rango 8-10
		ADXL-335	KS943	MPU6050	
1	Precisión	2	4	8	10
2	Compatibilidad de controladores	1	4	9	10
3	Tamaño	1	4	8	10
4	Costo	3	6	9	10
5	Manejo de ruido	2	5	8	10
Sumatorio C.		9	23	42	50
Índice porcentual		0.18	0.46	0.84	1
Orden de selección		18%	46%	84%	100%

De acuerdo con las valoraciones proporcionadas, se aprecia que la alternativa de acelerómetro MPU 6050 es la que cumple con los requisitos de la investigación actual. Esto se debe a sus características de buen manejo ruido, precisión, el contar con un acelerómetro y giroscopio incluido para una mayor precisión de movimientos y maniobras, y finalmente el tamaño y el costo lo convierten en el adecuado.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se describen de manera exhaustiva el desarrollo y la ejecución de un mouse para personas con hemiplejia espástica. Se aborda tanto el diseño mecánico como la implementación electrónica necesarios para asegurar su funcionamiento adecuado.

3.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Una vez realizado el análisis de alternativa de material se optó por la opción número 3 donde ocuparemos dos materiales para las dos estructuras una en filamento flexible, que se colocaría alrededor de la muñeca para que no interfiera con la movilidad, y una de ellas siendo rígida en PLA que iría ubicada encima de la mano con todos los implementos electrónicos dentro.

3.2 FILAMENTO FLEXIBLE (TPU)

El filamento TPU es un material termoplástico flexible, capaz de soportar impactos y con una notable resistencia a diversos productos químicos. Es voluble y se utiliza ampliamente en distintos campos industriales diferentes en especial las médicas, la propiedad más notoria de este filamento es su flexibilidad.

Las características técnicas de este material se encuentran detalladas en la Tabla 11.

Tabla 11 Características técnicas filamento TPU. [36]

Características	
Durabilidad	Alta
Fuerza	Alta
Flexibilidad	Muy alto
Resistencia	
Resistencia ala abrasión	Alto
Resistencia química	Medio alto
Resistencia al agua	Medio
Temperaturas	
La temperatura de la boquilla	220-250 °C

3.3 FILAMENTO PLA (ÁCIDO POLI LÁCTICO)

Este material es el más común utilizados en impresión 3D, este polímero termoplástico biodegradable y biocompatible, cuya fabricación se realiza a partir de recursos renovables como el almidón este se obtiene de diferentes fuentes como el maíz, la tapioca la caña de

azúcar. Es uno de los polímeros que es más popular en el ámbito de las industrias ya que es el más ecológico que el resto de alternativas y el más barato.

Las propiedades técnicas de este material se observan en a Tabla 12.

Tabla 12 Propiedades técnica filamento PLA. [37]

Propiedades	
Tª Fusión	200-215 °C
Tª cama caliente	0-40 °C
Facilidad de impresión	Muy alta
Resistencia	Alta
Rigidez	Muy alta
Resistencia al impacto	Muy baja

3.4 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Después de realizar el estudio del material y enfocarse en el paciente de 11 años de edad, se procede al diseño del prototipo utilizando el software Blender. Este software de diseño y modelado en 3D proporciona una gran variedad de herramientas y funcionalidades para crear contenido visual en tres dimensiones. Después de una revisión de cada una de las partes, estas serán impresas en 3D con el objetivo de construir e implementar el prototipo.

En la Figura 25 se visualiza el modelo en 3D del prototipo, mostrando en detalle sus componentes. Adicionalmente, en el Anexo 7 se incluyen los diversos planos empleados para la fabricación.

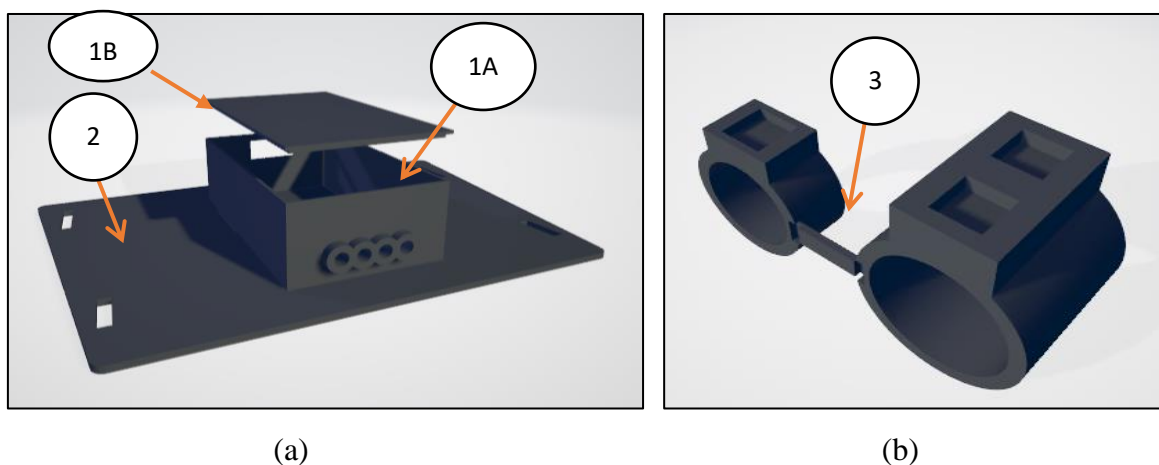


Figura 25 Modelado en 3D de partes del mouse.

En la Tabla 13 se presentan las medidas tomadas al paciente con mano espástica.

Tabla 13 Partes del modelado en 3D del prototipo de Mouse

Medidas del paciente	Medidas
Muñeca	12.2 cm alrededor de la muñeca
Dedo índice 2 medidas	Radio de 9 y radio de 6.75
Grosor de la mano	6cm

En la figura 26 se muestran las medidas presentadas en la Tabla 13.

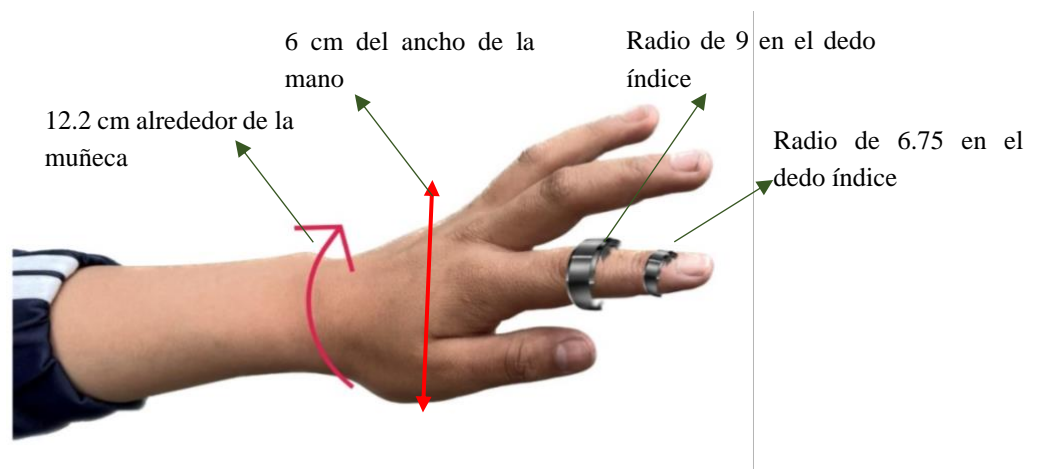


Figura 26 Medidas en la mano del paciente.

En la Tabla 14, se enumeran los componentes que contiene el mouse.

Tabla 14 Partes del modelado en 3D del prototipo de Mouse

Número	Parte	Detalle
1	Caja y tapa	Esta caja y tapa se realizará en filamento PLA va contener toda la placa de la parte electrónica y se sobre montará encima del filamento flexible.
2	Base muñeca	Permite acoplarse a la muñeca para la fijación del equipo electrónico, este será construido con el filamento flexible que gira alrededor de la muñeca.
3	Anillos	Estos dos anillos irán en el dedo índice el cual serán colocados con pulsadores y permitirán la simulación del clic derecho e izquierdo del mouse.

En la Tabla 15 se presentan las medidas del dispositivo y en el Anexo 7 se adjunta más a detalle los planos.

Tabla 15 Medidas del dispositivo.

Número	Parte del dispositivo	Medidas
1A	Caja	7.5 cm de longitud * 4.5 cm de anchura y 2.7 cm de altura
1B	Tapa	4.5 cm de ancho * 7.5 cm de largo
3	Anillos	Radio de 9 y radio de 6.75
2	Base Muñeca	15.6 cm de ancho * 15.05 cm de largo

3.5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Después de ensamblar cada parte del prototipo previamente diseñada y en conjunto con la parte electrónica, su versión fina quedaría como se muestra en la Figura 27. El prototipo final tiene un peso de 88 gramos.



(a)



(b)

Figura 27 Modelado en 3D de partes del mouse.

3.6 ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL MOVIMIENTO DE LA MUÑECA DEL PACIENTE

Para obtener los grados de movimiento de la muñeca, se optó por utilizar un goniómetro. El goniómetro tiene como propósito en el campo médico evaluar la posición de una articulación, lo cual implica un enfoque estático utilizado para valorar y medir de manera objetiva la limitación de movimiento de una articulación específica, en este caso, la muñeca.

En la Figura 28 se observa cómo se utiliza el goniómetro en el paciente para medir los ángulos de la muñeca.

- Flexión
- Extensión
- Abducción
- Aducción
- Pronación
- Supinación



Figura 28 Uso del Goniómetro en el paciente.

3.7 DATOS RECOLECTADOS DEL PACIENTE MEDIDOS CON EL GONIOMETRO

En Tabla 16, se presenta los datos recopilados utilizando un goniómetro. Se tomaron tres mediciones para cada grado de movimiento de la muñeca en el paciente, con el fin de obtener un promedio que represente aproximadamente el rango de movimiento en cada muestra.

Tabla 16 Datos tomados con el goniómetro al paciente.

Muestra	Flexión	Extensión	Abducción	Aducción	Pronación	Supinación
1	62°	57°	14°	20°	84°	90°
2	60°	60°	14°	19°	86°	90°
3	62°	60°	15°	20°	86°	90°
Media	61,3°	59°	14,3°	19,7°	85,3°	90°

En la Tabla 17 se exponen los resultados obtenidos en la medición de los ángulos de movimiento de la muñeca en una persona sin el síndrome de mano espástica.

Tabla 17 Datos tomados con el goniómetro a una persona normal.

Muestra	Flexión	Extensión	Abducción	Aducción	Pronación	Supinación
1	78°	70°	24°	44°	88°	90°
2	80°	68°	24°	42°	90°	90°
3	78°	70°	24°	45°	90°	90°
Media	78,7	69,3	24,0	43,7	89,3	90

En la tabla 18 se presentan los ángulos promedios para el movimiento de muñeca basado en artículos médicos.

Tabla 18 Datos obtenidos en artículos médicos [19].

Muestra	Flexión	Extensión	Abducción	Aducción	Pronación	Supinación
1	80°	70°	25°	45°	90°	90°

3.8 DIAGRAMA DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

Para crear el esquema electrónico del mouse, se emplea el programa Fritzing, el cual facilita el diseño de los diagramas de forma intuitiva y realista.

3.8.1 Sistema de Control eléctrico

En la Figura 29 se presenta el diagrama esquemático del circuito eléctrico, el cual integra un microcontrolador Arduino Nano, un acelerómetro MPU 6050 y tres pulsadores. En el Anexo 4 se encuentra la representación física del sistema de control eléctrico debidamente ensamblado

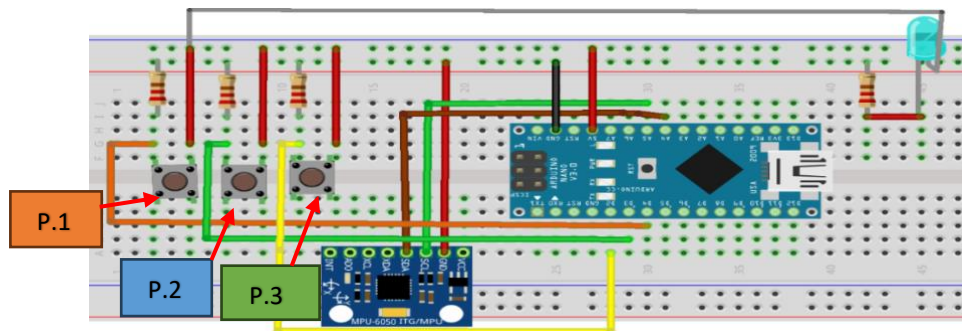


Figura 29 Sistema de Control Eléctrico

A continuación, se describen los elementos principales del circuito.

- **Arduino:** El microcontrolador se utiliza para transmitir y recibir señales del acelerómetro y los pulsadores, además de tener el control total sobre el prototipo.
- **Acelerómetro MPU 6050:** Funciona para detectar la orientación del dispositivo. Estos datos se utilizan para determinar el movimiento bidimensional (X y Y) del mouse en conjunto con el script de Python. El mouse inicia sus coordenadas desde el punto 0 en el que se encuentra al presionar el pulsador habilitador.

En la Figura 30 se muestra la inicialización de las coordenadas X, Y. Los valores asignados al presionar el pulsador P1 son 0,0.



Figura 30 inicio de mouse con coordenadas iniciales.

- **Pulsadores:** Se utiliza para enviar una señal o activar una función específica cuando se presiona en nuestro prototipo utilizamos 3 pulsadores que son:
 - Pulsador 1 (P. 1): Sirve para habilitar el mouse.
 - Pulsador 2 (P. 2): Empleado para dar clic derecho.
 - Pulsador 3 (P. 3): Para dar clic izquierdo.
- **Led:** Se emplea principalmente para indicar que el pulsador habilitador está siendo presionado.

3.8.2 Diagrama de flujo control del proceso

La Figura 31 muestra el diagrama de flujo para el sistema de control del mouse, el cual fue implementado mediante la interacción entre Arduino y Python.

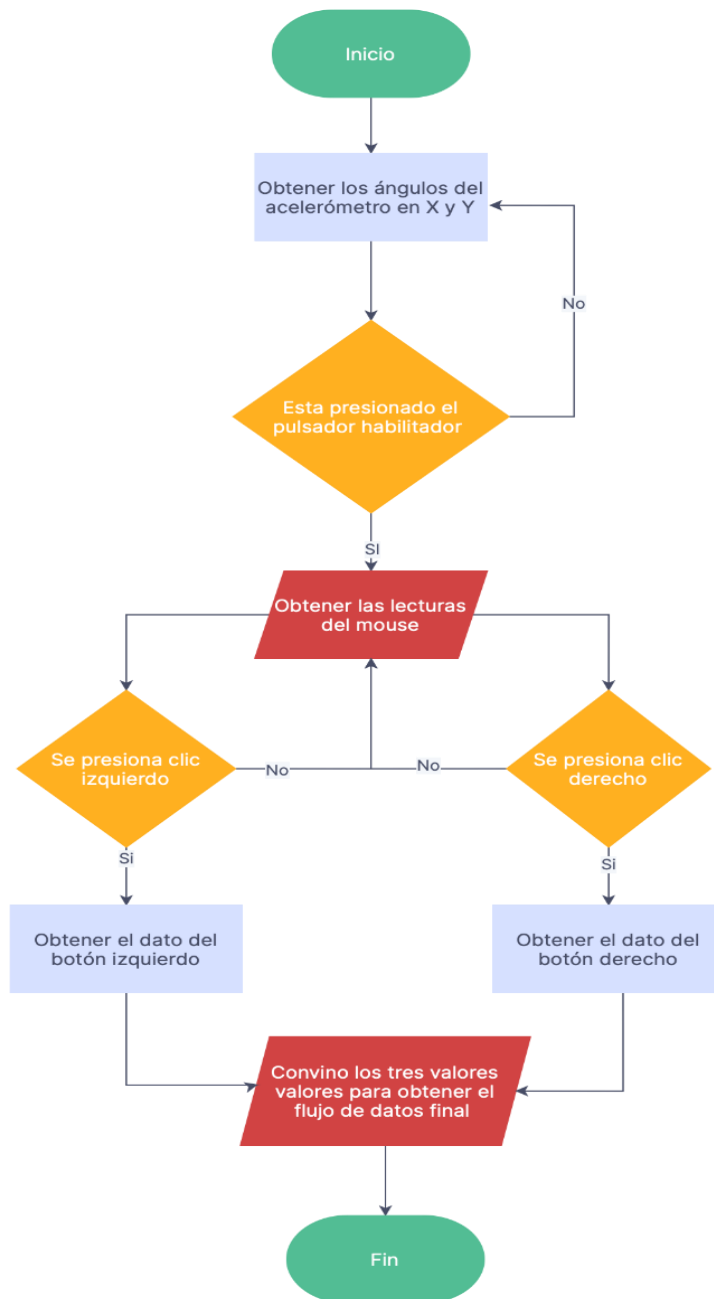


Figura 31 Diagrama de flujo del proceso mouse

Para el proceso del mouse se lleva a cabo el siguiente proceso:

- Inicio del sistema: Se carga el programa en el microcontrolador Arduino y se inicia el entorno de desarrollo Visual Studio Code, que es el editor utilizado para el lenguaje de programación Python.
- Calibración del acelerómetro y obtención de valores iniciales: Una vez iniciado Visual Studio Code, el programa realiza una calibración del acelerómetro y genera los primeros resultados como son las condiciones iniciales (valores X y Y).

- Utilización del acelerómetro como dispositivo de puntero: Una vez obtenidos los valores iniciales, el acelerómetro puede utilizarse como un dispositivo de puntero o mouse. Sin embargo, antes de que el puntero se mueva dentro de la pantalla, es necesario presionar el botón habilitador correspondiente.
- Después de activarse el botón habilitador, el programa obtendrá todos los datos dentro del Arduino como son: Los movimientos del sensor acelerómetro y los dos botones que se utilizan como clic derecho e izquierdo.
- En el caso de presionarse otro botón que no sea el habilitador, se determinará si se presionó el botón 2 (P.2) o el botón 3 (P.3). Donde el botón 2 cumplirá la función de clic izquierdo y el botón 3 la función de clic derecho.

CAPITULO 4

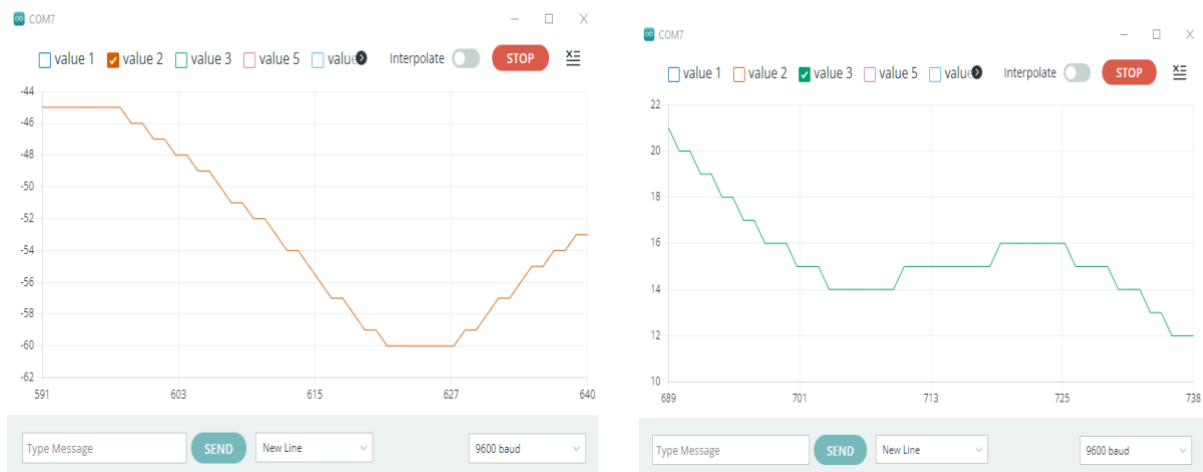
ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza un análisis exhaustivo del funcionamiento del mouse a través de la implementación de pruebas de movimiento con el paciente. Estas pruebas se llevan a cabo con el objetivo de evaluar y examinar de manera rigurosa el rendimiento y la eficacia del mouse en términos de su respuesta, precisión y adaptabilidad a las necesidades del paciente.

4.1 RESULTADOS DE LOS MOVIMIENTOS DEL MOUSE

4.1.1 Prueba de acelerómetro MPU 6050

Para esta prueba se emplea una conexión con acelerómetro para poder obtener los ángulos de inclinación del mismo, como se puede apreciar en las Figuras 32 (a) que muestra el movimiento en el eje X y la Figura 32 (b) que muestra el movimiento en el eje Y. El código simplemente corrige y procesa los datos del MPU 6050, enviándolos a la computadora a través de una comunicación en serie.



(a)

(b)

Figura 32 graficas de ángulos del acelerómetro.

4.1.2 Prueba del script en Python

En la figura 33 está el script de Python que lee los datos y mueve el mouse según el ángulo de inclinación del sensor.

```

TERMINAL  PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE

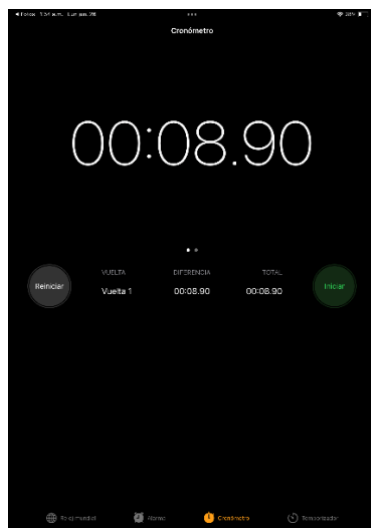
PS C:\Users\hp\Desktop\Prueba1> & C:/Users/hp/AppData/Local/Programs/Python/Python311/python.exe
['STRIM']
['']
['=====']
['Calculating gyro offsets']
['DO NOT MOVE MPU6050...']
['Done!']
['X : -4.45']
['Y : -5.19']
['Z : 0.87']
['Program will start after 3 seconds']
['=====DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']
['DATAL', '5', '1']

```

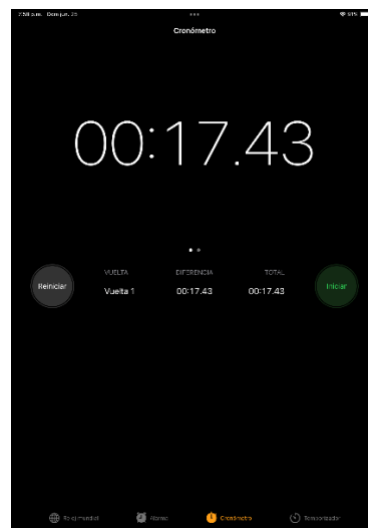
Figura 33 Script de Python.

4.1.3 Prueba de Funcionamiento del mouse con el paciente.

En la Figura 34 se realizó una prueba con cronómetro en la cual se puso a prueba al paciente para llegar de un punto específico a otro. En la Figura 34 (a) se muestra el tiempo que tarda una persona normal en llegar de un punto dado a otro, mientras que en la Figura 34 (b) se representa el tiempo que el paciente demora en llegar de un punto a otro.



(a)



(b)

Figura 34 Prueba cronometrada.

En la Figura 35 se muestra la línea de color rojo que representa el punto de inicio y llegada. A continuación, se encuentra el trazo de color morado, el cual representa el movimiento realizado

por una persona sin problemas en la mano utilizando el mouse. Por otro lado, las líneas amarillas corresponden al trazo realizado por el paciente durante la prueba, la cual se llevó a cabo cronometrando el tiempo.

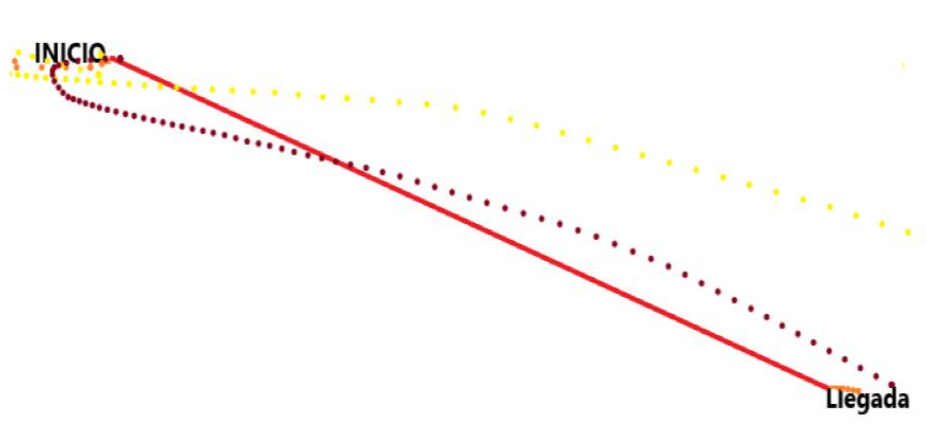


Figura 35 Prueba de inicio y llegada.

En la Figura 36 se presenta la prueba de realizar un cuadrado mediante el mouse. La línea roja representa la forma correcta, la línea verde corresponde a una persona sin la enfermedad de mano espástica, y la línea anaranjada muestra el resultado de la prueba realizada con el paciente que tiene la enfermedad.

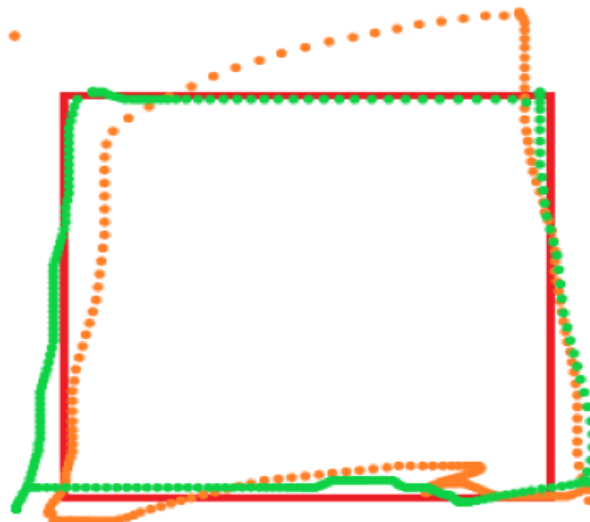


Figura 36 Prueba de cuadrado.

4.1.4 Prueba de botones derecho e izquierdo

En esta prueba, se le pidió que abriera y cerrara carpetas, como se muestra en la Figura 37 (a) y (b).



(a)



(b)

Figura 37 Prueba de botones R y L.

4.2 COSTOS

En la elaboración de este prototipo se han considerado diversos costos, que incluyen la construcción de la estructura mecánica y los distintos componentes electrónicos necesarios.

4.2.1 Costos relacionados con la construcción de la estructura mecánica con impresión en 3D

En la Tabla 19 se enumeran los distintos materiales utilizados en la construcción de la estructura del mouse.

Tabla 19 Costos de impresión 3d

Cantidad	Descripción	Precio por impresión en 3D	Precio total
1	Filamento Flexible	25	25
1	Filamento PLA	20	20
TOTAL			45

4.2.2 Gastos asociados a los componentes electrónicos del mouse

La Tabla 20 contiene una descripción detallada de los accesorios electrónicos utilizados en el control del prototipo.

Tabla 20 Costos de los accesorios electrónicos

Cantidad	Descripción	Precio por unidad [usd]	Precio total [usd]
1	Arduino Nano	12.00	12.00
1	MPU-6050	4	4
1	Placa de circuito	1	1
1	Led	0.5	0.5
4	Resistencias	0.50	0.50
1	Cable de timbre	3	3
1	Cable USB	5	5
TOTAL			26

4.2.3 Mano de Obra

Para determinar el costo del trabajo en el proyecto, se considera una cantidad equivalente a un salario básico, estimado en alrededor de 500 dólares, según las indicaciones del Ministerio del Trabajo, detalladas en la tabla 21.

Tabla 21 Costos Mano de Obra

Mano de Obra	Horas	Valor por Hora [usd]	Total [usd]
Diseño de la estructura	12	3.12	37.44
Construcción	8	3.12	24.96
TOTAL			62.4

4.2.4 Total, de costos del mouse adaptado al miembro superior afectado con secuela de mano espástica

Para calcular el costo total del ratón adaptado al miembro superior afectado por secuelas de mano espástica, se suman los valores totales de las Tablas 19, 20 y 21, tal como se indica en la Tabla 22.

Tabla 22 Costo global del prototipo

Nombre del costo	Valor [\$]
Construcción Mecánica	45.00
Construcción Electrónica	26.00
Mano de Obra	62.4
Total	133.4

4.2.5 Estudio para calcular el Valor Actual Neto (VAN)

Para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), se utiliza la siguiente fórmula (Ecuación 1). En esta fórmula, se ingresan los flujos de efectivo, la inversión inicial de 400 dólares y la tasa de rendimiento del 25%, lo que nos brinda el resultado final del análisis.

$$VAN = -A + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5}$$

$$VAN = -400 + \frac{133.4}{(1+0.25)^1} + \frac{133.4}{(1+0.25)^2} + \frac{133.4}{(1+0.25)^3} + \frac{133.4}{(1+0.25)^4} + \frac{133.4}{(1+0.25)^5} \quad (1)$$

$$VAN = -41.28$$

Donde:

$A =$ Es la inversión inicial

$F1, F2, \dots, F5 =$ Son el flujo de caja

$i =$ La tasa de descuento

Para evaluar la rentabilidad del proyecto, se utiliza Microsoft Excel, que proporciona los datos necesarios para el análisis, como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23 Calculo del Valor Actual Neto

Rentabilidad	25	%	
Inversión	-400	\$	
Año	Saldo actualizado acumulado	Saldo actualizado 25%	FLUJO NETO
0	0	0	-400
1	-160	240	300
2	496	256	400
3	428.46	172.46	336.84
4	310.43	137.96	336.84
5	248.34	110.37	336.84
		VAN	516.81

4.2.6 Análisis para calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Asimismo, mediante el uso de la aplicación Microsoft Excel, se obtuvieron los cálculos de la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales se encuentran detallados en la Tabla 24.

Tabla 24 Tabla de cálculo del TIR

Rentabilidad	25	%		
Inversión	-400		\$	
Año	Saldo actualizado acumulado	Saldo actualizado 25%	FLUJO NETO	
0	0	0	-400	
1	-160	240	300	
2	496	256	400	
3	428.46	172.46	336.84	
4	310.43	137.96	336.84	
5	248.34	110.37	336.84	
		TIR	80%	

A partir de los cálculos realizados, se concluye que la rentabilidad del proyecto alcanza el 80%, lo cual supera la tasa de rentabilidad del 25% obtenida en el cálculo del VAN.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto, las cuales fueron obtenidas a medida que se llevó a cabo la construcción del mouse adaptado al miembro superior afectado con secuela de mano espástica y se basaron en los objetivos específicos establecidos durante el desarrollo del proyecto de titulación.

XI. CONCLUSIONES

- Considerando los resultados obtenidos del paciente en comparación con una persona sin la enfermedad, se observó una disminución del 17,4% en la movilidad en flexión, un 10,3% menos en extensión, un 9,7% menos en abducción, un 24% menos en aducción, un 4% menos en pronación y una movilidad igual al 0% en supinación, que es comparable a una persona sin problemas. En última instancia, el enfoque ergonómico y el uso del goniómetro permiten abordar de manera precisa y efectiva las necesidades del paciente, proporcionándole soluciones adaptadas mediante el prototipo de mouse.
- Se realizaron las mediciones de la muñeca del paciente, como se puede observar en la Tabla 14, para diseñar un prototipo a medida destinado a un niño de 11 años. El prototipo final tiene un peso total de 88 gramos. Para este propósito, se utilizaron dos tipos de materiales: la caja y la tapa se imprimieron en filamento PLA, mientras que la base de la muñeca se fabricó en filamento flexible para proporcionar comodidad y permitir el acople hacia la muñeca del paciente. Además, se incorporaron anillos con pulsadores hechos de filamento flexible, los cuales se colocarán en el dedo índice. Esta combinación de materiales y diseño personalizado proporciona una experiencia más ergonómica, reduciendo el estrés y la fatiga asociados con el uso prolongado de un mouse convencional.
- Este prototipo personalizado ofrece una solución adaptada a las necesidades específicas del paciente, mejorando tanto su comodidad como su capacidad para utilizar herramientas de computación de manera efectiva. Validando los resultados obtenidos en las figuras 27 y 28, estas pruebas proporcionaron una evaluación objetiva y realista para el uso del mouse enfocado a pacientes con mano espástica.

XII. RECOMENDACIONES

- A pesar de que el peso total del mouse es de 88 gramos y sus dimensiones son de 7,5 cm de longitud, 4,5 cm de ancho y 2,7 cm de altura., resulta ser un prototipo que ocupa mucho espacio en la muñeca. Debido a esto, se recomienda trabajar con tecnología SMD para reducir el tamaño y mejorar la ergonomía del paciente.
- Se recomienda que la conectividad sea de manera inalámbrica, lo cual permite mejorar el movimiento y ampliar el área de control del mouse.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Y. Pinzón-Bernal, B. Díaz-López, Y. R. Herrera-Sánchez, L. F. Mendoza-Cardozo, A. Z. López-Vázquez, y M. L. Camacho-Pérez, “Aplicación móvil de realidad virtual para el entrenamiento de la mano espástica”, *Revista Ecuatoriana de Neurología*, vol. 30, n° 3, 2022, doi: 10.46997/revecuatneurol30300100.
- [2] OMS Organización Mundial de la Salud, “Tecnología de asistencia”, 2018. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology> (accedido 12 de junio de 2023).
- [3] J. Castellanos-Ruiz, M. Pinzón-Bernal, y E. Giraldo-Samboní, “Aplicación de Realidad Virtual Para Tratamiento de la Mano Espástica en la Hemiplejía. Revisión Sistemática.”, *Revista Ecuatoriana de Neurología*, vol. 29, n° 2, 2020, doi: 10.46997/revecuatneurol29200067.
- [4] M. Valencia-Buitrago, A. Duque-Alzate, M. Y. Pinzón-Bernal, y J. Castellanos-Ruiz, “Efectividad del modelo de reaprendizaje motor para la recuperación de la mano espástica del adulto con hemiplejía. Revisión sistemática y metaanálisis”, *Rehabilitacion (Madr)*, vol. 52, n° 3, 2018, doi: 10.1016/j.rh.2018.01.002.
- [5] J. Castellanos-Ruiz, M. Pinzón-Bernal, D. A. Morera-Salazar, y J. P. Eljadue-Mejía, “Terapia en espejo para el tratamiento de la mano espástica del adulto con hemiplejía. Revisión sistemática.”, *Revista Mexicana de Neurociencia*, vol. 18, n° 2, 2017.
- [6] Consejo Nacional de Planificación, “Plan Nacional del Buen Vivir”, 2017. Accedido: 13 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades
- [7] U. Rafael y P. Liendo, “Clasificación de la marcha hemipléjica utilizando las características difusas de los indicadores cinemáticos en tobillo, rodilla y cadera”, vol. 41, n° 9, 2016.
- [8] J. Castellanos-Ruiz, M. Y. Pinzón-Bernal, E. J. Giraldo-Samboní, J. Castellanos-Ruiz, M. Y. Pinzón-Bernal, y E. J. Giraldo-Samboní, “Aplicación De Realidad Virtual Para Tratamiento De La Mano Espástica En La Hemiplejía. Revisión Sistemática”, *Revista Ecuatoriana de Neurología*, vol. 29, n° 2, pp. 67–77, 2020, doi: 10.46997/REVECUATNEUROL29200067.
- [9] K. Ballesteros, “Implementación de un mouse adaptado para habilitar el miembro superior afectado con secuela de hemiplejía espástica por parálisis cerebral en usuarios de 8 a 14 años, en el INSFIDIMen el periodoseptiembre 2019 a febrero 2020”, 2020. Accedido: 13 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21518/1/T-UCE-0020-CDI-334.pdf>

- [10] C. Meneses-Castaño, Y. Peñaloza-Peñaranda, M. Y. Pinzón-Bernal, y J. Castellanos-Ruíz, “Aplicación de la terapia robótica para la función motora de la mano del adulto con hemiplejía. Revisión sistemática y metanálisis”, *Fisioterapia*, vol. 40, n° 1, 2018, doi: 10.1016/j.ft.2017.08.001.
- [11] E. Giraldo, “Efectividad de la realidad virtual para el tratamiento de la mano espástica en el adulto con hemiplejía. Revisión Sistemática”, *J Chem Inf Model*, vol. 53, n° 9, 2019.
- [12] L. Merchán Van Hilten y R. P. Romero-Galisteo, “Terapia de movimiento inducido por restricción en hemiplejía infantil. Revisión sistemática de la literatura”, *Fisioterapia*, vol. 41, n° 1, 2019, doi: 10.1016/j.ft.2018.11.002.
- [13] J. F. García-Vázquez, A. Skiadopoulos, B. Caro-Puértolas, y K. Gianikellis, “Análisis cinemático tridimensional de la marcha en pacientes con diplejía espástica”, *Rehabilitacion (Madr)*, vol. 52, n° 1, 2018, doi: 10.1016/j.rh.2017.09.004.
- [14] M. Gárriz Luis, R. Sánchez-Carpintero Abad, M. Alegre Esteban, y S. Tejada Solís, “Rizotomía dorsal selectiva: revisión bibliográfica de esta técnica para el tratamiento de la espasticidad en la parálisis cerebral infantil”, *Rev Neurol*, vol. 66, n° 11, 2018, doi: 10.33588/rn.6611.2017434.
- [15] D. M. Rivera Rujana, L. A. Tovar Ruíz, S. J. Jacome Velasco, y A. F. Villaquirán Hurtado, “Descripción de la discapacidad y sus determinantes en personas con hemiparesia/hemiplejía del suroccidente de Colombia”, *Hacia la Promoción de la Salud*, vol. 27, n° 2, 2022, doi: 10.17151/hpsal.2022.27.2.6.
- [16] López José, “Tetraplejía: causas, tratamientos y cuidados | Sunrise Medical”, *Sunrisemedical*, 2018.
- [17] E. De Salamanca Celada, G. Meli, B. Fröehner, R. Urcelay, y M. Gutzke, “Tratamiento quirúrgico de la mano espástica”, 2005.
- [18] C. Rivas *et al.*, “Distribución de patrones espásticos en extremidad superior posterior a un daño de motoneurona superior”, *Rev Chil Neuropsiquiatr*, vol. 59, n° 3, pp. 204–217, sep. 2021, doi: 10.4067/S0717-92272021000300204.
- [19] W. Caldas y C. Castillo, “Desarrollo de un mecanismo de muñeca con dos grados de libertad para una prótesis biomecánica de mano”, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2018. Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16532/1/UPS-CT008027.pdf>
- [20] J. C. Ocampo y J. C. Ocampo, “Discapacidad, Inclusión y Educación Superior en Ecuador: El Caso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”, *Revista latinoamericana de educación inclusiva*, vol. 12, n° 2, pp. 97–114, nov. 2018, doi: 10.4067/S0718-73782018000200097.

- [21] J. E. J. Ruiz, “Mouse Para Personas Con Discapacidad En Sus Extremidades Superiores Controlado Por Medio De Movimientos De Cabeza Y Gestos”, *IOSR Journal of Economics and Finance*, vol. 3, nº 1, 2016.
- [22] M. Blasco-Giménez, E. Carretero-Rodríguez, y D. P. Cruzado, “Calidad de vida y autonomía en las actividades de la vida diaria en personas con lesión medular”, *Revista Terapia Ocupacional Galicia*, vol. 18, nº 1, 2021.
- [23] R. J. Pozo-Sánchez, A. P. Gómez-Zoquez, J. Medrano-Montero, P. A. Curay-Carrera, y D. M. Abalco Farinango, “Análisis biocinemático de la marcha en pacientes con hemiplejía”, *Podium. Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*, vol. 17, nº 3, 2022.
- [24] J. Jaramillo, “MOUSE PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES SUPERIORES CONTROLADO POR MEDIO DE MOVIMIENTOS DE CABEZA Y GESTOS”, Universidad Técnica de Ambato.
- [25] Amazon, “GlassOuse V1.4 Ratón inalámbrico Bluetooth manos libres para jugadores, personas con discapacidades ”, 2022.
- [26] A. S. Ismailov y Z. B. Jo’rayev, “Study of arduino microcontroller board”, *Science and Education Scientific Journal*, vol. 3, nº 3, 2022.
- [27] J. Susilo, A. Febriani, U. Rahmalisa, y Y. Irawan, “Car parking distance controller using ultrasonic sensors based on arduino uno”, *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, nº 5, 2021, doi: 10.18196/jrc.25106.
- [28] M. A. Jasso-Juárez, I. Hernández-Bautista, J. J. Carbajal-Hernández, J. Francisco Mosiño, y R. Santiago-Montero, “Reconocimiento y clasificación de vehículos implementando un acelerómetro digital”, *Research in Computing Science*, vol. 148, nº 1, 2019, doi: 10.13053/rcs-148-1-5.
- [29] A. M. Labraña *et al.*, “Comparación entre el auto-reporte de actividad física y la medición con acelerómetro según factores sociodemográficos”, *Revista chilena de nutrición*, vol. 47, nº 4, 2020, doi: 10.4067/s0717-75182020000400620.
- [30] C. W. Yin, N. Y. Sien, L. A. Ying, S. F. C. M. Chung, y D. Tan May Leng, “Virtual reality for upper extremity rehabilitation in early stroke: A pilot randomized controlled trial”, *Clin Rehabil*, vol. 28, nº 11, pp. 1107–1114, nov. 2014, doi: 10.1177/0269215514532851.
- [31] S. Gómez, B. Ramón, y R. Guzmán, “Análisis modal de material compuesto de resina bioepoxy/fibra de fique”, *Entre ciencia e ingeniería*, vol. 12, nº 23, 2018, doi: 10.31908/19098367.3706.
- [32] PROMETEC, “Módulo bluetooth HC-05”, <https://www.prometec.net/bt-hc05/>, 2021.

- [33] UNIVERSIDAD DEL PAÍS VAZCO, “ATMEGA 16”, http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/web_avr/archivos/Otros%20AVRs/ATmega/ATmega16.htm, 2020.
- [34] Arduino.CC, “Arduino UNO”, <https://arduino.cl/arduino-uno/>, 2021.
- [35] Arduino.CC, “Arduino NANO”, <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>, 2020.
- [36] Sensing Sensores de medida, “Acelerómetro de tres ejes KS943”, <https://sensores-de-medida.es/catalogo/acelerometro-de-3-ejes-mmf-ks943/>, 2021.
- [37] Naylam Mecatrónica, “MPU 6050 Acelerómetro y giroscopio”, https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html, 2022.