



**Modelado de un diseño 3d de una prótesis transradial controlada a través de comandos
por voz**

Autor(a):

Yuri Marcela Martinez Jimenez

Sofia Valentina Sarmiento Porto

Trabajo de grado como prerrequisito para la obtención de grado de

Ingeniería biomédica

Director(a):

Javier Burgos Vergara

Facultad de Ingeniería

Programa de ingeniería biomédica

Barranquilla

2024



**Modelado de un diseño 3d de una prótesis transradial controlada a través de comandos
por voz**

Autor(a):

Yuri Marcela Martinez Jimenez

Sofia Valentina Sarmiento Porto

Director(a):

Javier Burgos Vergara

Facultad de Ingeniería

Programa de ingeniería biomédica

Barranquilla

2024

ÍNDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3. OBJETIVOS	13
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
4. JUSTIFICACION	14
5. MARCO TEORICO.....	15
5.1. Prótesis Transradiales: Una Perspectiva Nacional.....	17
6. MARCO CONCEPTUAL	18
6.1. Amputaciones de las extremidades superiores:	18
6.3. Huesos:.....	18
6.4. Músculos:.....	19
6.5. Nervios:.....	19
6.6. Arterias:.....	19

6.7. Venas:	20
6.8. Arcos venosos palmares:.....	20
6.9. Muñeca:.....	20
6.10. Codo:.....	20
6.11. Articulación del codo.....	21
6.12. Movimientos	21
6.13. Amputación de miembros superiores.....	22
6.14. Duelo en personas con discapacidad.....	25
6.15. Pérdidas de funciones psicofísicas importantes y pérdidas médicas	27
7. METODOLOGIA.....	33
7.1. Metodología del desarrollo de software:.....	33
7.2. Antropometría de la mano y parámetros de diseño.	34
7.3. Antropometría de la mano.	34
Tabla 1-1: medidas generales de la mano.	34
Tabla 1-2: Longitud de las falanges de la mano.	34
7.4. Especificaciones de la prótesis.....	35
Tabla 1-3: Matriz morfológica.....	35
Ilustración 1-1: Función primaria de la prótesis	37
Ilustración 1-2: Descripción de funcionalidad.....	38
7.6. Diseño mecánico.....	38

Tabla 1-4: Medida de la falange de cada dedo de la mano.	39
Tabla 1-5: Medida de los metacarpos de la mano.....	39
Ilustración 1-3: Mecanismo de la mano.....	40
Ilustración 1-4: Piezas para el ensamble de la mano.	41
Ilustración 1-6: Ensamble de la prótesis.	43
Tabla 1-6: Cantidad de piezas para ensamble de la mano.	44
Ilustración 1-7: Representación de la vista frontal de la palma.	45
7.6. Selección de los actuadores	45
7.7. Parámetros de la funcionalidad.....	46
7.7.1. Parte electrónica.....	46
Tabla 1-7: Característica del servomotor	46
7.7.1.1. Servomotor.....	47
Tabla 1-8: Característica del servomotor	47
7.7.1.2. Módulo de voz	48
7.7.1.3. Arduino	49
Tabla 1-10: Característica del Arduino.....	49
7.8.1. Parte mecánica.	49
Tabla 1-11: parte mecánica de la prótesis.....	50
7.8.2. Parámetros de trabajo de la mano	50
Tabla 1-12: Ángulos de trabajo.....	50

7.8.3. Comandos	51
Tabla 1-13: Lista de comandos.	51
7.8.4. Diagrama del circuito.....	52
Ilustración 1-8: Ensamble de la prótesis.	53
Ilustración 1-9: Ensamble de los componentes.....	53
7.8.5. Programación	54
7.8.5.1. Procedimiento para programar el módulo de voz.	54
RESULTADOS.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS.....	60

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-1: medidas generales de la mano.....	34
Tabla 1-2: Longitud de las falanges de la mano.....	34
Tabla 1-3: Matriz morfológica.....	35
Tabla 1-4: Medida de la falange de cada dedo de la mano.....	39
Tabla 1-5: Medida de los metacarpos de la mano.....	39
Tabla 1-6: Cantidad de piezas para ensamble de la mano.....	44
Tabla 1-7: Característica de los componentes.....	46
Tabla 1-8: Característica del servomotor.....	47
Tabla 1-9: Característica del módulo de voz.....	48
Tabla 1-10: Características de Arduino.....	49
Tabla 1-11: parte mecánica de la prótesis.....	50
Tabla 1-11: Ángulos de trabajo.....	50
Tabla 1-12: Lista de comandos.....	51

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Función primaria de la prótesis.....	37
Ilustración 1-2: Descripción de funcionalidad.....	38
Ilustración 1-3: Mecanismo de la mano.....	40
Ilustración 1-4: Piezas para el ensamble de la mano.....	41
Ilustración 1-5: Ensamble de la mano.....	42
Ilustración 1-6: Ensamble de la prótesis.....	43
Ilustración 1-7: Representación de la vista frontal de la palma.....	45
Ilustración 1-8: Ensamble de la prótesis.....	52
Ilustración 1-9: Ensamble de los componentes.....	53

RESUMEN

Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una prótesis avanzada para personas con amputaciones transradiales. La prótesis se diseñará utilizando tecnología 3D y estará equipada con un sistema de control basado en comandos de voz, lo que permitirá a los usuarios realizar una amplia gama de movimientos de manera intuitiva y natural.

Cuya principal finalidad es mejorar la calidad de vida de las personas con amputaciones transradiales al proporcionarles una prótesis que sea cómoda, funcional y fácil de usar. El diseño 3D permitirá una personalización precisa para adaptarse a las necesidades individuales de cada usuario, mientras que el control por voz eliminará la necesidad de interfaces físicas complicadas, brindando una experiencia de usuario más fluida y accesible.

El proceso de desarrollo del proyecto incluirá la investigación de tecnologías avanzadas, la implementación de algoritmos de reconocimiento de voz y la integración de sistemas de control electrónico.

Se espera que este proyecto no solo contribuya al avance de la tecnología de prótesis, sino que también tenga un impacto positivo en la vida diaria de las personas con discapacidades, al proporcionarles una herramienta innovadora y efectiva para mejorar su movilidad y autonomía.

ABSTRACT

This This project focuses on the development of an advanced prosthesis for people with transradial amputations. The prosthesis will be designed using 3D technology and will be equipped with a control system based on voice commands, allowing users to perform a wide range of movements intuitively and naturally.

Whose main purpose is to improve the quality of life of people with transradial amputations by providing them with a prosthesis that is comfortable, functional and easy to use. 3D design will allow for precise customization to suit each user's individual needs, while voice control will eliminate the need for complicated physical interfaces, providing a more seamless and accessible user experience.

The project development process will include research into advanced technologies, implementation of voice recognition algorithms, and integration of electronic control systems.

It is expected that this project will not only contribute to the advancement of prosthetic technology, but also have a positive impact on the daily lives of people with disabilities, by providing them with an innovative and effective tool to improve their mobility and autonomy.

1. INTRODUCCIÓN

Una prótesis transradial es un dispositivo diseñado para personas que han sufrido una amputación en la región del antebrazo, específicamente a través del radio y la ulna. Su propósito es reemplazar la extremidad perdida y restaurar funciones básicas como el agarre y la manipulación de objetos.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), más de 20,000 personas pierden extremidades anualmente en el mundo, siendo un 15% de estas amputaciones transradiales. Sin embargo, solo alrededor de 1,500 prótesis son producidas por programas públicos, lo que deja a la mayoría de la población sin acceso adecuado a este tipo de atención. (Autor: Ana Rodríguez Vera • 2021)

En Colombia, la situación no es diferente. Según el proceso de revisión y consulta para la modificación de la resolución 1319 de 2010, se estima que mensualmente se producen 9000 Ortesis y 652 Prótesis en el país, cubriendo apenas el 38% de las amputaciones anuales. Además, no se cuenta con datos precisos sobre cuántas de estas prótesis son para la mano o el brazo.

Las opciones disponibles para los pacientes amputados incluyen las prótesis comerciales fabricadas por empresas privadas. Sin embargo, estas suelen ser costosas y no siempre satisfacen las necesidades, preferencias y nivel de actividad del usuario. Algunas se enfocan en mejorar la apariencia y la simetría del cuerpo, mientras que otras priorizan la funcionalidad, permitiendo movimientos más complejos y naturales controlados por el usuario.

Para abordar esta necesidad, se presenta un modelo tridimensional de una prótesis de extremidad superior, que se controla mediante un sistema de comandos de voz. Este modelo cuenta con micrófonos que permiten al usuario dictar órdenes o movimientos a ejecutar. El

sistema, a su vez, interpreta estos comandos de voz para llevar a cabo las principales funcionalidades de la prótesis, proporcionando una solución innovadora y accesible para las personas con discapacidad física de este tipo. (Investigador de la UAG Patenta Prótesis Que Funciona Con Comando de Voz, s. f.)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad un alto porcentaje de la población colombiana presenta una limitación física, el censo realizado por el Dane para el 2022, publicado el 30 noviembre del mismo año, registra que 3.134.037 habitantes del país padecen alguna discapacidad, siendo el 7,1% de la población nacional; adicional a eso se estima que un 5% de esa población sufrió algún tipo de amputación y que el 0,8% nacieron sin una o más extremidad.

Sumada a eso la Asociación Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación estima que la incidencia de amputación en el país es de 200 a 300 personas por cada 100 mil habitantes.

Ahora bien, ¿Cómo se puede abordar de manera efectiva el desafío de la limitada funcionalidad y dependencia de prótesis estáticas para personas con amputaciones de extremidades superiores en Colombia? La falta de versatilidad y adaptabilidad de las prótesis tradicionales no solo afecta la realización de actividades cotidianas, sino que también reduce significativamente la calidad de vida y la independencia de los usuarios. ¿Cuáles podrían ser soluciones innovadoras y accesibles para superar estos obstáculos?

Por lo que una de las mejores alternativas para abordar esta problemática sería el diseño de una prótesis mecánica que les permita a las personas con amputaciones de mano - brazo recuperar su autonomía.

3. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GENERAL

Modelar una prótesis transradial controlada por voz en s un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D solidworks.

3.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un modelo 3D de la prótesis y sus componentes.
- Determinar los movimientos que se quieren realizar por medio de la prótesis (flexión-extensión y abducción-aducción de la mano).
- Definir un procedimiento estandarizado para comprender el movimiento mecánico de las prótesis por medio de comandos de voz.

4. JUSTIFICACION

La implementación de una prótesis mecánica transradial representa una oportunidad trascendental para abordar las necesidades fundamentales de las personas con amputaciones en los brazos, proporcionando soluciones innovadoras que impacten positivamente su calidad de vida y promuevan su independencia en las actividades cotidianas.

En el contexto colombiano, donde la infraestructura y los recursos para el desarrollo biomédico son limitados, este proyecto adquiere una importancia aún mayor. Actualmente, el país enfrenta desafíos significativos en la atención y el apoyo a personas con discapacidades físicas, y la disponibilidad de tecnologías accesibles y efectivas es fundamental para abordar estas necesidades de manera integral.

La relevancia de este proyecto radica en varios aspectos:

1. Mejora de la calidad de vida: La prótesis transradial ofrecerá a las personas con amputaciones una mayor autonomía y participación en sus actividades diarias, lo que contribuirá a su bienestar emocional y social.
2. Avance en bioingeniería: Al introducir un enfoque innovador, como los comandos de voz en las prótesis, este proyecto contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la bioingeniería, generando nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo tecnológico en Colombia.
3. Impacto social: La exposición y el abordaje de temas de investigación biomédica en el país no solo beneficiarán a las personas con discapacidades, sino que también fortalecerán el entorno académico y científico, fomentando una cultura de innovación y colaboración interdisciplinaria.

4. Necesidad local: Dada la escasez de centros de desarrollo biomédico en Colombia, este proyecto se posiciona como una respuesta concreta a una necesidad urgente en el ámbito de la salud y la rehabilitación.

5. MARCO TEORICO

El desarrollo y evolución de las prótesis han sido fundamentales para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades físicas, permitiéndoles recuperar funciones perdidas y reintegrarse a la sociedad de manera más activa y funcional, entre los diferentes tipos de prótesis, las prótesis transradiales han ganado especial atención tanto a nivel internacional como nacional debido a su capacidad para restaurar la funcionalidad del brazo y la mano con un enfoque centrado en la comodidad y la movilidad del usuario.

Desde la época de las antiguas pirámides hasta la Primera Guerra Mundial, el campo de la protésica se ha transformado en un sofisticado ejemplo de la resolución del hombre por mejorar.

La historia de la protésica se extiende a lo largo de los siglos, desde sus inicios rudimentarios hasta las tecnologías avanzadas de hoy en día. Desde los antiguos egipcios, que utilizaban prótesis simples hechas de fibras, hasta las prótesis computarizadas de hoy en día, ha habido un constante progreso y desarrollo.

En la antigüedad, los egipcios fueron pioneros en el campo de la protésica, creando extremidades artificiales para proporcionar una sensación de integridad a las personas amputadas. A lo largo de los siglos, diversas civilizaciones han contribuido con avances en este

campo, desde la pierna de hierro y bronce descubierta en Italia hasta las prótesis elaboradas con técnicas más avanzadas durante el Renacimiento.

Durante el Renacimiento, hubo un resurgimiento en el interés por la protésica, con prótesis más elaboradas hechas de hierro, acero, cobre y madera. Personajes como Ambroise Paré introdujeron procedimientos de amputación modernos y diseñaron prótesis más funcionales. A medida que avanzaba el tiempo, se produjeron mejoras significativas, como la invención de la pierna anatómica del Doctor Bly y la introducción de materiales más livianos como el aluminio.

En tiempos más recientes, como durante la Guerra Civil Estadounidense y las Guerras Mundiales, la necesidad de prótesis aumentó drásticamente, lo que llevó a más innovaciones y avances en el campo. La demanda de mejoras por parte de los veteranos impulsó el desarrollo de prótesis más livianas y funcionales, utilizando tecnologías como los microprocesadores y la robótica.

Hoy en día, las prótesis son más avanzadas que nunca, con materiales modernos y tecnología de vanguardia que permiten una funcionalidad y una apariencia más realistas. Desde las primeras prótesis rudimentarias hasta las sofisticadas prótesis computarizadas, la historia de la protésica es un testimonio del ingenio humano y la perseverancia en la búsqueda de soluciones para las dificultades físicas. (Amputee Coalition, 2018)

Prótesis Transradiales: Una Visión Internacional

A nivel internacional, el desarrollo de las prótesis transradiales ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, países como Estados Unidos, Alemania, Japón y otros líderes en tecnología médica han estado a la vanguardia en la investigación, diseño y fabricación de prótesis transradiales avanzadas, estas prótesis se caracterizan por su diseño ergonómico,

materiales innovadores y tecnología de punta, que ofrecen a los usuarios una amplia gama de movimientos y funcionalidades además, la colaboración internacional entre instituciones académicas, empresas y profesionales de la salud ha contribuido al intercambio de conocimientos y la mejora continua de las prótesis transradiales, esto ha llevado a la creación de prótesis más personalizadas y adaptadas a las necesidades específicas de cada usuario, así como a una mayor accesibilidad y disponibilidad en todo el mundo.

5.1.Prótesis Transradiales: Una Perspectiva Nacional

En el ámbito nacional (Colombia), el desarrollo de las prótesis transradiales ha sido impulsado por avances en la investigación biomédica, la ingeniería biomédica y la colaboración entre instituciones académicas, hospitales y empresas especializadas en dispositivos médicos. En países, se han establecido programas y centros especializados en el diseño, fabricación y adaptación de prótesis transradiales para satisfacer las necesidades de la población local.

Los avances en la tecnología de fabricación aditiva, la biomecánica y la neuroprótesis han permitido el desarrollo de prótesis transradiales más personalizadas, ligeras y funcionales, se han implementado programas de rehabilitación integral que incluyen entrenamiento físico, terapia ocupacional y apoyo psicológico para garantizar una adaptación exitosa y una integración efectiva de las prótesis en la vida diaria de los usuarios.

El desarrollo de las prótesis transradiales a nivel internacional y nacional ha sido un proceso dinámico y multidisciplinario que ha mejorado significativamente la calidad de vida de las personas con amputaciones de brazo y mano, sin embargo, aún existen desafíos y oportunidades para seguir avanzando en este campo, y es fundamental continuar invirtiendo en investigación,

innovación y acceso equitativo a estas tecnologías para beneficiar a una mayor cantidad de personas en todo el mundo.

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1. Amputaciones de las extremidades superiores:

6.2. Mano y antebrazo:

La mano humana es la parte más distal de la extremidad superior y es un producto extraordinario de la evolución humana. Es tan fuerte como para permitir a los escaladores enfrentarse a cualquier montaña, pero también lo suficientemente precisa como para ejecutar los movimientos más finos, como el dibujo y las operaciones quirúrgicas.

La mano está formada por 27 huesos a los que se insertan varios músculos. También contiene una red compleja de nervios y vasos que la inervan y vascularizan. Los movimientos de la mano son posibles gracias a sus músculos extrínsecos e intrínsecos. Los músculos intrínsecos son solo parcialmente responsables de toda su amplitud de movimiento. En realidad, los contribuyentes principales son los músculos extrínsecos, es decir, los músculos del antebrazo. Estos músculos proyectan sus tendones hacia la mano a través de una estructura anatómica igualmente compleja y flexible, llamada muñeca.

6.3. Huesos:

- Carpianos: escafoides, semilunar, piramidal, pisiforme, trapecio, trapezoide, hueso grande (capitado), hueso ganchoso.

- Metacarpianos: base, cuerpo, cabeza.
- Falanges: proximal, media, distal.

6.4. Músculos:

- Músculos tenares: abductor corto del pulgar, m. aductor del pulgar, m. flexor corto del pulgar, m. oponente del pulgar.
- Músculos hipotenares: abductor del meñique, m. flexor corto del meñique, m. oponente del meñique, palmar corto.
- Músculos cortos de la mano: lumbricales, interóseos palmares, interóseos dorsales.

6.5. Nervios:

- Nervio mediano y sus ramos (nervios digitales palmares comunes y propios): inervan predominantemente a los músculos tenares.
- Nervio radial: inerva la piel de la parte lateral del pulgar.
- Nervio ulnar y sus ramos (superficial, profundo y dorsal): inervan los músculos hipotenares y metacarpianos.

6.6. Arterias:

Todas las arterias son ramas de las arterias ulnar y radial. Estas incluyen: arcos palmares (superficial, profundo), arterias digitales palmares (comunes, propias), red carpiana dorsal, arterias metacarpianas dorsales, arterias digitales dorsales, arteria principal del pulgar.

6.7. Venas:

Red venosa dorsal de la mano: red principal de drenaje venoso de la mano (también recibe la sangre venosa de la palma a través de las venas perforantes). Da lugar a las venas cefálicas y basílica.

6.8. Arcos venosos palmares:

Reciben las venas metacarpianas palmares y digitales. Drenan en las venas radiales y ulnares.

6.9. Muñeca:

Es capaz de realizar diversos movimientos como la flexión, la extensión, la abducción y la aducción. También facilita el paso de los tendones y de diversas estructuras neurovasculares desde el antebrazo hacia la mano

6.10. Codo:

La articulación del codo es una articulación sinovial que se encuentra en el miembro superior entre el brazo y el antebrazo. Este es el punto de unión de tres huesos: el húmero del brazo, el radio y la ulna (cúbito) del antebrazo.

La articulación del codo se clasifica estructuralmente tanto como una articulación sinovial como una compuesta, ya que existen dos articulaciones en esta unión. Las articulaciones sinoviales, también llamadas diartrosis, son articulaciones móviles libres. Las caras articulares de los huesos en estas uniones están separadas entre sí por una capa de cartílago hialino. Los movimientos suaves son gracias al líquido sinovial, que es altamente viscoso y actúa como lubricante.

Una cápsula fibrosa envuelve la articulación, y está revestida internamente por una membrana sinovial. Las articulaciones sinoviales pueden ser también clasificadas según su función. La articulación del codo es funcionalmente una bisagra (gínglino), ya que permite el movimiento en un solo plano (uniaxial).

6.11. Articulación del codo

- Tipo: Gínglino
- Huesos: Húmero, radio, ulna
- Ligamentos: Ligamento colateral ulnar, ligamento colateral radial, ligamento anular, ligamento cuadrado
- Irrigación: Proximal a la articulación del codo: arteria colateral ulnar, arteria colateral radial, arteria colateral media.
- Distal a la articulación del codo: arteria recurrente radial, arteria recurrente ulnar

(Mano y Muñeca (Anatomía), 2023)

6.12. Movimientos

- Flexión: músculos bíceps braquial, braquial, braquiorradial
- Extensión: músculo tríceps braquial
- Correlaciones clínicas: Fracturas, epicondilitis, artritis, venopunción

(Autor: Dra. Cinthia Serrano • 2023)

6.13. Amputación de miembros superiores

La amputación es una intervención quirúrgica que extirpa todo o parte de un miembro o extremidad (extremidades exteriores). Estos son algunos tipos comunes de amputación o pérdida de extremidades:

- Amputación del brazo.
- Amputación de la mano.
- Amputación por debajo de la rodilla, extirpando la parte inferior de la pierna, el pie y los dedos del pie.
- Amputación por encima de la rodilla, extirpando parte del muslo, la rodilla, la espinilla, el pie y los dedos del pie.
- Amputación de dedos.
- Amputación del pie.
- Amputación del dedo del pie.

La amputación es la ausencia de una parte o toda la extremidad, de causa traumática o no traumática, esta deficiencia anatómica se acompaña de disminución de la capacidad funcional de la persona alterando su rol en la sociedad y además del indudable impacto psicológico, personal y familiar. El problema es abordado por el equipo multidisciplinario de rehabilitación, cuyo objetivo principal es lograr la máxima funcionalidad global y el uso adecuado de la prótesis, de manera que permita al individuo ser independiente en sus actividades diarias e integrarse a su rol familiar, social y laboral, En Reino Unido se calcula que existen aproximadamente 4 500 amputados primarios cada año, 70% por enfermedades vasculares, 17% por traumatismos (accidentes de tránsito y laborales), 3% por malformaciones congénitas y 10% por otras enfermedades. En los Estados Unidos se producen unas 43 000 nuevas amputaciones mayores

cada año, casi todas se deben a vasculopatía y el 90% afecta a los miembros inferiores, En un estudio en el Hospital Universitario Virgen del Rocío, Sevilla, se encontró que las amputaciones afectaban más a varones; 81% eran del miembro inferior; la causa más frecuente fue la traumática en las amputaciones de miembro superior, mientras que la vascular fue en las del miembro inferior.

En nuestro país en un estudio en 1993 sobre "prevalencia de la deficiencia, discapacidad y minusvalía" se encontró que la prevalencia de la Deficiencia músculo esquelética por amputación fue 0,25% (5), pero no conocemos las características clínicas y epidemiológicas de los pacientes amputados, como edad, sexo, procedencia, ocupación, grado de instrucción, características socioeconómicas y sus características clínicas, como etiología de la amputación, nivel y tipo de amputación, características y complicaciones del muñón de amputación, enfermedades intercurrentes y complicaciones y ayudas biomecánicas .Autor: Farro, L., Tapia, R., Bautista, L., Montalvo, R., & Iriarte, H. (2012). Características clínicas y demográficas del paciente amputado. *Revista Médica Herediana*, 23(4), 240-243.

Impacto físico, emocional y social de las amputaciones de extremidades superiores en la vida diaria de los individuos:

Debido a la alta incidencia y repercusiones biopsicosociales, las amputaciones se consideran un problema de salud pública en España y en todo el mundo (International Diabetes Federation [IDF], 2012; Hawkins et al., 2016). El número de usuarios con amputación en el mundo occidental mantiene un incremento anual debido fundamentalmente al envejecimiento de la población y consiguiente aumento de la prevalencia de problemas crónicos, como diabetes y enfermedad vascular periférica. Existe una estimación de 5.000 amputaciones anuales de miembro inferior siendo el 80-90% de estas debidas a una enfermedad obstructiva

crónica (Morgadeet al., 2016), y entre 40 y 85% están relacionadas con problemas vasculares vinculados con la diabetes (World Health Organization [WHO], 2012; 2014). A nivel mundial, las principales causas de amputación son de origen vascular, siendo la diabetes la patología primaria más frecuente, seguida de causas de origen traumático, oncológico y ocupacional. España es el segundo país del mundo, por detrás de Estados Unidos, con más amputaciones de miembros inferiores a causa de la diabetes tipo 2 (Muñoz, 2018). A nivel epidemiológico, la amputación en extremidades superiores tiene una prevalencia menor que la de extremidades inferiores, que representan el 85% de todas las amputaciones. Cabe mencionar que las amputaciones se presentan en mayor medida en hombres que en mujeres. La amputación de miembro superior está relacionada con la adultez y traumas ocurridos en accidentes laborales y de tráfico, mientras que las amputaciones de las extremidades inferiores, en mayor medida son, en mayor medida, producto de enfermedades vasculares periféricas y se presentan en una población con edad superior a los 60 años (Mosaku et al., 2009). Como resultado, la pérdida o resección de un miembro puede tener diversas consecuencias que van más allá de la dificultad de estabilidad postural, coordinación, alteraciones en la piel o en el muñón. A menudo coexisten otros tipos de problemas que, aunque no influyen directamente en la forma física del usuario, son igualmente importantes: dificultad en la realización de las actividades de la vida diaria, limitación en sus ocupaciones o problemas emocionales por la afectación psicológica del miembro (Unwin, 2000; Ospina y Serrano, 2009). Existe una alta prevalencia de problemas psicológicos de las personas que han sido amputadas, principalmente depresión, ansiedad, estrés por traumático y alteración de la imagen corporal. Las personas con amputación tienen muchos retos que deben asumir dados los múltiples cambios que viven: el duelo por el miembro perdido, las

dificultades en el funcionamiento físico, la pérdida de habilidades y de autonomía, los cambios a nivel de las relaciones sociales, la adaptación a una prótesis, las sensaciones dolorosas, los cambios en las actividades diarias y en el panorama laboral y por ende en el estatus económico (Mesquita, 2021). Además, pueden sufrir alteraciones en la autoimagen, el autoconcepción y la autoestima, en parte como resultado de una resistencia e insatisfacción de la imagen corporal alterada y de la discapacidad (Mesquita, 2021). da Luz, S. C. T., dos Santos, K. P. B., De Castro, S. G., Moreno, C. M., de Souza, J. B., Lacunza, C. V., ... & Villamor, P. M. (2023). Testimonios de españoles amputados de extremidades durante el aislamiento social por la pandemia de la COVID 19: impactos en la movilidad física. Cuadernos de Psicología del Deporte, 23(3).

6.14. Duelo en personas con discapacidad

Duelo es un conjunto de procesos psicológicos y psicosociales que siguen a la pérdida de una persona con la que el sujeto en duelo, el deudo, estaba psicosocialmente vinculado (Tizón, 2004). Sin embargo, Freud (1915), describe al duelo como “la reacción frente a la pérdida de una persona amada o de una abstracción puesta en su lugar, como la patria, la libertad, un ideal, etc.”

Así mismo consideraba que, en esencia, los síntomas del duelo eran similares a los de la melancolía, la depresión severa:

- Un profundo y doloroso abatimiento
- Retirada de los intereses del mundo externo
- Pérdida de la capacidad de amar
- Inhibición de la actividad

De acuerdo con (Tizón, 2004), el proceso de duelo es el conjunto de cambios psicológicos y psicosociales, fundamentalmente emocionales, por los que se elabora internamente la pérdida; es un conjunto de emociones, representaciones mentales y conductas vinculadas con la pérdida afectiva, la frustración o el dolor.

Klein (1935-1940), hace referencia que la manera de afrontar las pérdidas y de realizar la labor de duelo, dependerá de tres experiencias vitales.

- Haber tenido y vivenciado buenas experiencias infantiles de ser cuidado, de haber experimentado una buena relación con el mundo exterior, de confianza hacia el mismo, lo que reanuda en una mayor confianza de afrontar las pérdidas y de reestablecer un equilibrio en su mundo interior.
- Haber experimentado el predominio de los sentimientos amorosos hacia los demás y hacia uno mismo, sobre los sentimientos de frustración, de cólera, odio y rabia que harán perder los sentimientos de confianza y aceptación realista, sustituyéndolos por sentimientos de desconfianza, generándose ansiedades paranoides hacia el mundo externo y de desconfianza de la propia bondad.
- Y que haya experimentado la capacidad de reparar el daño efectuado a los demás y el padecido internamente, lo que estimulará sentimientos de confianza y resignación ante las pérdidas y una disposición para trabajar en su aceptación.

La negación funciona como amortiguador después de una noticia inesperada e impresionante, permite recobrar al paciente y, con el tiempo, movilizar otras defensas, menos radicales.

Generalmente la negación es una defensa provisional y pronto será sustituida por una aceptación

parcial. Cuando no se puede seguir manteniendo la primera fase de negación, es sustituida por sentimientos de ira, rabia, envidia y resentimiento.

La tercera fase es útil para el paciente, aunque solo durante breves periodos de tiempo. En realidad, el pacto es un intento de posponer los hechos; incluye un premio “a la buena conducta”, además fija un plazo de vencimiento impuesto por un mismo y la promesa implícita de que el paciente no pedirá nada más si se le concede este aplazamiento. Cuando el paciente desahuciado no puede seguir negando su enfermedad, cuando empieza a tener más síntomas, no puede seguir haciendo al mal tiempo buena cara. Su insensibilidad o estoicismo, su ira y su rabia serán pronto sustituidos por una gran sensación de pérdida. Cuando la depresión es un instrumento para prepararse a la pérdida inminente de todos los objetos de amor, entonces los ánimos y las seguridades no tienen tanto sentido para facilitar el estado de aceptación. Si un paciente ha tenido bastante tiempo y se le ha ayudado a pasar por las fases antes descritas, llegará a una fase en la que

6.15. Pérdidas de funciones psicofísicas importantes y pérdidas médicas

Este tipo de pérdidas es una fuente de cambios aparatosos del sistema familiar, hasta el extremo de que se han demostrado alteraciones endocrinas notables. Las pérdidas por mutilaciones, amputaciones o pérdidas corporales funcionales súbitas, accidentales o quirúrgicas son pérdidas corporales siempre inesperadas y difíciles de elaborar. A nivel psicológico afectan tanto a las relaciones como al self propio, al esquema corporal, y, además, al propio narcisismo. En lo social, afecta a las capacidades relacionales y laborales. En biológico, al sistema nervioso central, así como el musculoesquelético o el visceral necesitan toda una serie de adaptaciones. su “destino” no le deprimirá ni le enojará (Ross, 2005). Autor: Valero, C. Z. V., Gómez-Escobar, G., Hernández, E. E. R., & Jaramillo, F. G. (2017). Estudio sobre el duelo en personas con

amputación de una extremidad superior o inferior. Revista electronica de psicología Iztacala, 20(1), 34-56.

Prótesis transradial

Desarrollo de una prótesis transradial externa

Una prótesis es una estructura elaborada la cual tiene como objetivo suplantar una parte o la totalidad de un miembro o extremidad del cuerpo humano, lo mismo que relevar la movilidad perdida de dicha extremidad, sin descuidar el aspecto físico de la persona.

Las prótesis mioeléctricas son mecanismo accionado por actuadores que se accionan a través de señales que se adquieren por medio de agujas intramusculares superficiales o por medio de electrodos ubicados en el muñón del paciente, este mecanismo de prótesis es cada día más admitido por los pacientes con amputación de mano, debido a que provee un mejor desempeño y proporciona una mayor funcionalidad para el paciente que la emplea, debido a que su control es más simple. Algunas áreas del saber y temáticas relacionadas con el desarrollo de prótesis externas que se han identificado son las siguientes:

- Acompañamiento y preparación psicológica-biomédica para pacientes amputados en procesos de rehabilitación mediante el uso de prótesis.
- Desarrollo de prótesis externas para pacientes con amputación de miembro superior.
- Técnicas de modelación y prototipado 3D.
- Adaptación y control de actuadores en prótesis de miembro superior a partir de señales mioeléctricas.

Prótesis de mano pasivas

Las prótesis pasivas no tienen movimientos y solo cubren el aspecto estético del miembro amputado, son conocidas como prótesis estéticas debido a que solo se encargan de mejorar la apariencia física, en la elaboración de este tipo de prótesis se utilizan polímeros como PVC rígido, látex flexible o silicona, estos materiales son utilizados debido a su bajo peso y porque demandan poco mantenimiento, debido a que no cuentan con piezas móviles.

Los componentes utilizados para su elaboración están prefabricados y existen en diferentes tamaños y formas para adaptarse a las diferentes tallas y sexo.

Las prótesis pasivas tienen los dedos en posición de reposo, pulgar en posición neutral y flexión de las articulaciones, los cuatro últimos dedos en discreta flexión, algunos modelos tienen un refuerzo en el interior de los dedos, en material maleable, que permite modificar la posición de éstos.



Figura tomada de: PROTESIS SILICONA HDS PARA AMPUTACIÓN PARCIAL DE MANO | EMO- Especialidades médico ortopédica.

Prótesis Mecánicas

Las prótesis mecánicas son dispositivos con mecanismo de apertura y cierre conectados con cables y cintas de fijación atados al cuerpo y se abren o cierran a voluntad por la tensión

efectuado por el tensor. Estos modelos de prótesis son eficaces, sin embargo, tienen restricciones a la hora de ejecutar los movimientos. Sus movimientos se basan en el estiramiento de una cuerda mediante un arnés para su apertura o cierre. Los movimientos de apertura y cierre se realizan solo con la relajación del músculo gracias a un resorte, la señal mecánica es adquirida mediante la utilización de un miembro del cuerpo diferente como el codo u hombro. Las dimensiones de la prótesis y la cantidad de ligas varían de acuerdo con los requerimientos de cada paciente.

Estas piezas se recubren para brindar un aspecto más estético, sin embargo, está limitada al sujetar objetos relativamente grandes y redondos debido a que el recubrimiento puede afectar la sujeción. Debido a que el accionar de este tipo de prótesis depende de alguna extremidad del cuerpo, es indispensable que el paciente posea como mínimo un movimiento general de: expansión del pecho, prehensión y elevación del hombro, abducción y aducción escapular y flexión glenohumeral.



Figura tomada de: Ortopedia Verástegui. (2023, 30 noviembre). Prótesis de Mano.

Prótesis Eléctricas

Las prótesis eléctricas se implementan mediante en el uso de motores eléctricos, que permite ser operados por medio de servo-controles, pulsadores o interruptores, este tipo de prótesis requiere de movimientos mecánicos para activar los sistemas electrónicos, sus principales desventajas son su reparación, su costo, su peso y el cuidado de su uso en lugares húmedos. La mayoría de prótesis eléctricas son diseñadas en forma de gancho para poder obtener un buen agarre de objetos rápidamente y con precisión.

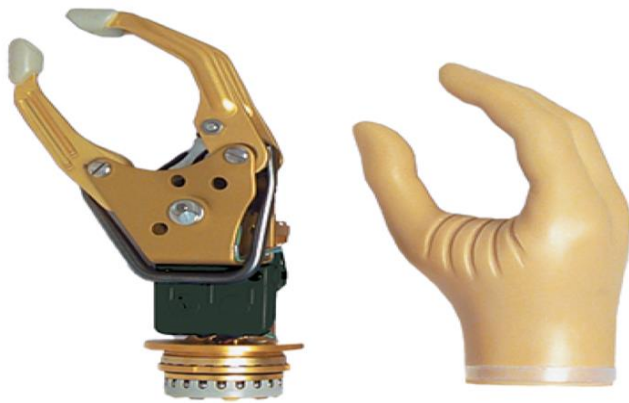


Figura tomada de: (Mano Eléctrica Digital Twin Hand | COT By SIT, s. f.)

Prótesis mioeléctricas

Las prótesis mioeléctricas fueron desarrolladas en base a la biónica, la cibernética, la robótica y la mecatrónica. Son prótesis eléctricas controladas mediante comandos activados por señales mioeléctricas obtenidas de los músculos del paciente. Las prótesis mioeléctricas actualmente son las de mayor utilidad en el mundo, esto porque poseen buenas características estéticas y pueden tener un porcentaje elevado de precisión y fuerza.

El control mioeléctrico es posiblemente el cuadro de control más divulgado. Su fundamentación está orientada a que cada que un músculo en el cuerpo se retrae o se flexiona, se origina una pequeña señal eléctrica (EMG) que es formada por la interacción química en el

cuerpo. Dicha señal es demasiado pequeña (5 a 20 μV) [6, 7] y se adquiere con el uso de electrodos superficiales que se ponen en contacto con la superficie de la piel. Este tipo de mecanismo tiene como virtud que sólo requieren que el paciente flexione sus músculos para dominarla, a diferencia de las prótesis controladas por el cuerpo que necesitan un movimiento general, además se elimina el arnés de suspensión. Autor: Romero Muñiz, E. F. (2018).

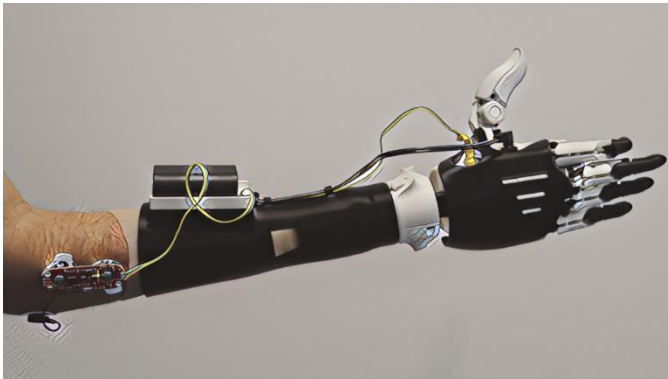


Figura tomada de: PROTESIS SILICONA HDS PARA AMPUTACIÓN PARCIAL DE MANO | EMO - Especialidades médico ortopédicas. (s. f.).

La información que se proporciona sobre las amputaciones de las extremidades superiores es muy detallada y abarca varios aspectos importantes, desde la anatomía y fisiología hasta las implicaciones físicas, emocionales y sociales de estas amputaciones además, explora diferentes tipos de prótesis disponibles y cómo han evolucionado a lo largo del tiempo para mejorar la calidad de vida de las personas amputadas.

La descripción de la mano y el antebrazo destaca la complejidad de esta parte del cuerpo humano y cómo su pérdida puede afectar significativamente la funcionalidad y la vida cotidiana de una persona. También proporciona detalles sobre la estructura anatómica, los nervios, los músculos y la vascularización de la mano, lo que ayuda a comprender la complejidad de diseñar prótesis efectivas, luego al abordar las amputaciones de extremidades superiores en general, se

discuten las causas, la epidemiología y el impacto biopsicosocial de estas lesiones, destacamos la importancia de un enfoque multidisciplinario en la rehabilitación de personas amputadas y cómo el proceso de duelo puede influir en su recuperación y adaptación a la vida con una prótesis.

Finalmente, describimos varios tipos de prótesis disponibles, desde las pasivas hasta las mioeléctricas, y cómo cada una tiene sus propias ventajas y desventajas en términos de funcionalidad, estética y control, esta amplia gama de opciones muestra cómo la tecnología ha avanzado para proporcionar soluciones cada vez más efectivas para las personas con amputaciones de extremidades superiores.

7. METODOLOGIA

La metodología por utilizar consiste en revisar la información y los experimentos ya realizados en el área de discapacidad en las extremidades del brazo. A partir de estas se planea identificar áreas de mejora en términos de facilidad de uso, para luego proponer argumentos para optimizar esos aspectos.

7.1. Metodología del desarrollo de software:

esta metodología se enfocará en supervisar y dirigir la operación de dispositivos electrónicos, diseñando secuencias de comandos o patrones de voz para el control de la prótesis transradial y a su vez facilitará esta comunicación mediante la programación de microcontroladores y sistemas de reconocimiento de voz.

7.2. Antropometría de la mano y parámetros de diseño.

7.3. Antropometría de la mano.

Para el desarrollo de una prótesis transradial se hace indispensable evaluar las dimensiones de una mano promedio colombiana, por lo que se tomó como referencia el documento **dimensiones antropométricas de las manos y su relación con la fuerza de agarre en una población administrativa de la ciudad de Bogotá, Colombia (Rodríguez L, Vargas S; 2019)**

Tabla 1-1: medidas generales de la mano.

Parámetros	Valores reportados
Largo de la mano	194.61 mm
Longitud de la palma de la mano	105.41 mm
Anchura de la mano sin pulgar	96.65 mm
Anchura de la mano con pulgar	105.72 mm

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

Las dimensiones de las falanges de igual manera se obtuvieron del documento anteriormente descrito. Los valores reportados se relacionan al promedio de un personal (la muestra) de edades entre los 18 y los 24 años, las dimensiones corresponden a la evaluación de una mano diestra. La cual se presenta en la tabla 1-2. Valores que se tomaron como referencia para la construcción del modelado de la prótesis.

Tabla 1-2: Longitud de las falanges de la mano.

Longitudes de las falanges mm			
Dedos	Falange Proximal	Falange Medial	Falange Distal

Pulgar	45±6	N/A	38±4
Índice	56±11	34±7	28±3
Medio	60±13	35±8	28±2
Anular	56±11	32±6	27±3
Meñique	42±10	26±5	27±3

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.4. Especificaciones de la prótesis

La prótesis debe estar diseñada con ciertas características y requisitos específicos, para garantizar que cumpla con las necesidades del usuario. En este caso, el enfoque principal es asegurar que la prótesis no solo tenga un aspecto agradable, sino que también sea altamente funcional, lo que significa que pueda mejorar la calidad de vida del usuario y ayudarlo a realizar sus actividades diarias de manera eficiente.

7.4.1. Matriz morfológica

A continuación, Se creó una tabla morfológica para ilustrar las diversas combinaciones posibles que podrían dar lugar a la prótesis funcional con diferentes modos de activación.

Tabla 1-3: Matriz morfológica.

Modelos			
	https://support.google.com/legal/answer/3463239?hl=es-419	https://davidmvs.github.io/protesis3d/assets/img/portfolio/protesis/cyborg.jpg	https://www.printopal.com/wp-content/uploads/2022/01/002-1977x726.png
	Prótesis mecánicas:	Prótesis mioeléctricas:	Prótesis estéticas:

Tipo			
	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQx8JljqnuhSLZuSOR4pAIXs7Ergk-clEPNyvXRC998g&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQ0jhxqFwoTCNDxl_CW7YU_DFOAAAAAdAAAAABAR	https://www.google.com/url?sa=i&url=https://ps%3A%2F%2Fwww.tec.ac.cr%2Ffen%2Fproyecto-s%2Fprotesis-mioelectrica-transradial-costo&psig=A0vVaw1g14EspoOy3dpajlIdXir&ust=1714677829754000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQ0jhxqFwoTCNDxl_CW7YU_DFOAAAAAdAAAAABAR	https://multiayudasortopedicas.com/wp-content/uploads/2020/07/transradial-protesis-multiayudasortopedicas.jpg
Accionamiento			
	https://www.google.com/url?sa=i&url=https://ps%3A%2F%2Finvestigacion.pucp.edu.pe%2Fgrupos%2Fgrah%2Fproyecto%2Fdesarrollo-protesis-robotica-multifuncional-mano&psig=A0vVaw1IaspPg1NkRhollJGRlfbN&ust=1714678376725000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQ0jhxqFwoTCNjmu6Y7YU_DFOAAAAAdAAAAABAE	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ9Shfp1rkzj12stiqEJR_VEWy6S_z2xibBPG-PYzg0dA&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQ0jhxqFwoTCNjmu6Y7YU_DFOAAAAAdAAAAABAE	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRruDX4A5BrnG4ehB8zy_ncEEIMqv7gicoi_N6gm5o6dA&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQ0jhxqFwoTCNjmu6Y7YU_DFOAAAAAdAAAAABAE
Materiales	Titanio y acero inoxidable	Aleaciones de aluminio	Plásticos: Como el polipropileno, polietileno y poliuretano
			
	https://odontologos.com.co/assets/images/news/2020-05-22_124138implan_un.jpg	https://d25le99hzfu32g.cloudfront.net/uploads/aluminio-featured-min.png	https://metalplasticas.com/wp-content/uploads/2020/05/POLIURETANO.png

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.4.2. Resultado de la matriz:

Después de evaluar las opciones presentadas en la matriz, se decidió seleccionar un diseño mecánico con un sistema de accionamiento mediante cuerdas. Este diseño incluye dedos

individuales para garantizar una sujeción óptima, y se optó por un mecanismo de accionamiento mecánico para lograr un agarre más preciso y controlado.

7.5. Análisis de funcionalidad.

La prótesis tiene una función principal, que es abrir y cerrar, mientras que las funciones secundarias son aquellas que ayudan a realizar este movimiento. Una vez que se define el trabajo que realizará la prótesis y sus funciones principales y secundarias, se elabora un diagrama que muestra estas funciones en dos niveles: nivel 0 para la función principal y nivel 1 para las funciones secundarias.

Cada cuadro en el diagrama representa una función, y dentro de cada cuadro hay dos tipos de entradas y salidas: control y energía, dependiendo de lo que requiera esa función específica. Este enfoque nos ayuda a comprender cómo interactúan las distintas partes de la prótesis para lograr su funcionalidad completa. El diagrama funcional de nivel 0 para esta prótesis transradial muestra estas interacciones de manera visual y clara.



Ilustración 1-1: Función primaria de la prótesis

Realizado por: Martínez, Y.; Sarmiento, S. 2024

En la función principal, las señales que entran son la energía eléctrica y la señal de control, que es básicamente el inicio del funcionamiento de la prótesis.

En el nivel 1, se detallan las funciones necesarias para lograr el funcionamiento global de la prótesis en el nivel 0. Es decir, en este nivel se describen todas las acciones secundarias que son necesarias para que la prótesis pueda abrir y cerrar correctamente.



Ilustración 1-2: Descripción de funcionalidad.

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.6. Diseño mecánico

Según (Jaworski y Karpiński, 2017), se puede describir la mano humana mecánicamente como un sistema con entre 20 y 26 grados de libertad (DOF), donde cada grado de libertad representa un tipo específico de movimiento de la articulación. Siguiendo la investigación de (Cobos, Ferre, Sánchez Uran, Ortega y Pena, 2008), y adoptando un enfoque simplificado para la interfaz de la prótesis, se optó por utilizar articulaciones rotacionales de 1 DOF para cada falange, mientras que la zona metacarpiana se mantuvo fija en el diseño.

Basándonos en lo mencionado previamente, se estableció un modelo mecánico que consta de 15 grados de libertad, como se muestra en la ilustración 1-3. adjunta.

A continuación, se determinan las medidas que tendrá las falanges y los metacarpos:

- **Medidas de las falanges (para cada dedo):**

Tabla 1-4: Medida de la falange de cada dedo de la mano.

Pulgar		Índice		Medio		Anula		Meñique	
Falange	Medida (mm)	Falange	Medida (mm)	Falange	Medida (mm)	Falange	Medida (mm)	Falange	Medida (mm)
L1	38±4	L1	28±3	L1	28±2	L1	27±3	L1	27±3
L2	N/A	L2	34±7	L2	35±8	L2	32±6	L2	26±5
L3	38±4	L3	56±11	L3	60±13	L3	56±11	L3	42±10

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

- **Medidas de los metacarpos:**

Tabla 1-5: Medida de los metacarpos de la mano.

Los metacarpos	Medida de las falanges (mm)
L4	104.61 mm
L5	93.51 mm
L6	83.51 mm
L7	45.50 mm
L8	35.75 mm
L9	26.66 mm
L10	35.94 mm
L11	13.91 mm
L12	11.34 mm
L13	23.25 mm

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

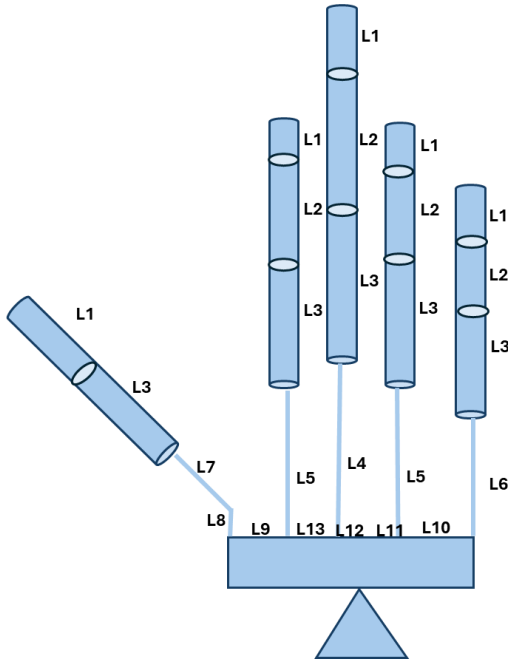


Ilustración 1-3: Mecanismo de la mano.

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

El ángulo de inclinación de la articulación CMC (carpometacarpiana) del pulgar se estableció en 45°, basado en el promedio observado en reposo (Taboadela, 2007). Se decidió tratar los metacarpos como una única entidad sin movimiento, diseñando esta parte de la mano como una pieza sólida.

Para el diseño de las falanges, se utilizó el software SolidWorks, dentro del cual se estructuraron los dedos como unidades independientes.

A continuación, se pueden apreciar todos los componentes se diseñaron utilizando el Software SolidWorks. En la **ilustración 1-4.** se pueden observar cada una de las piezas diseñadas.

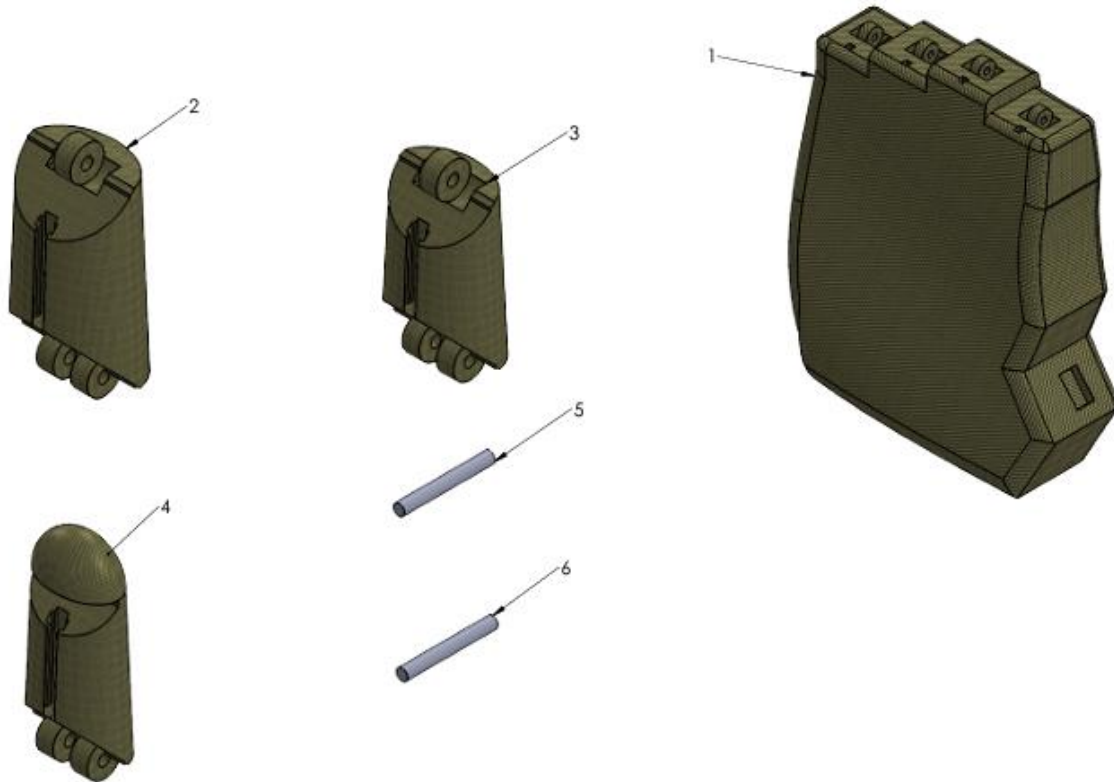


Ilustración 1-4: Piezas para el ensamble de la mano.

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024



Ilustración 1-5: Ensamble de la mano.

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

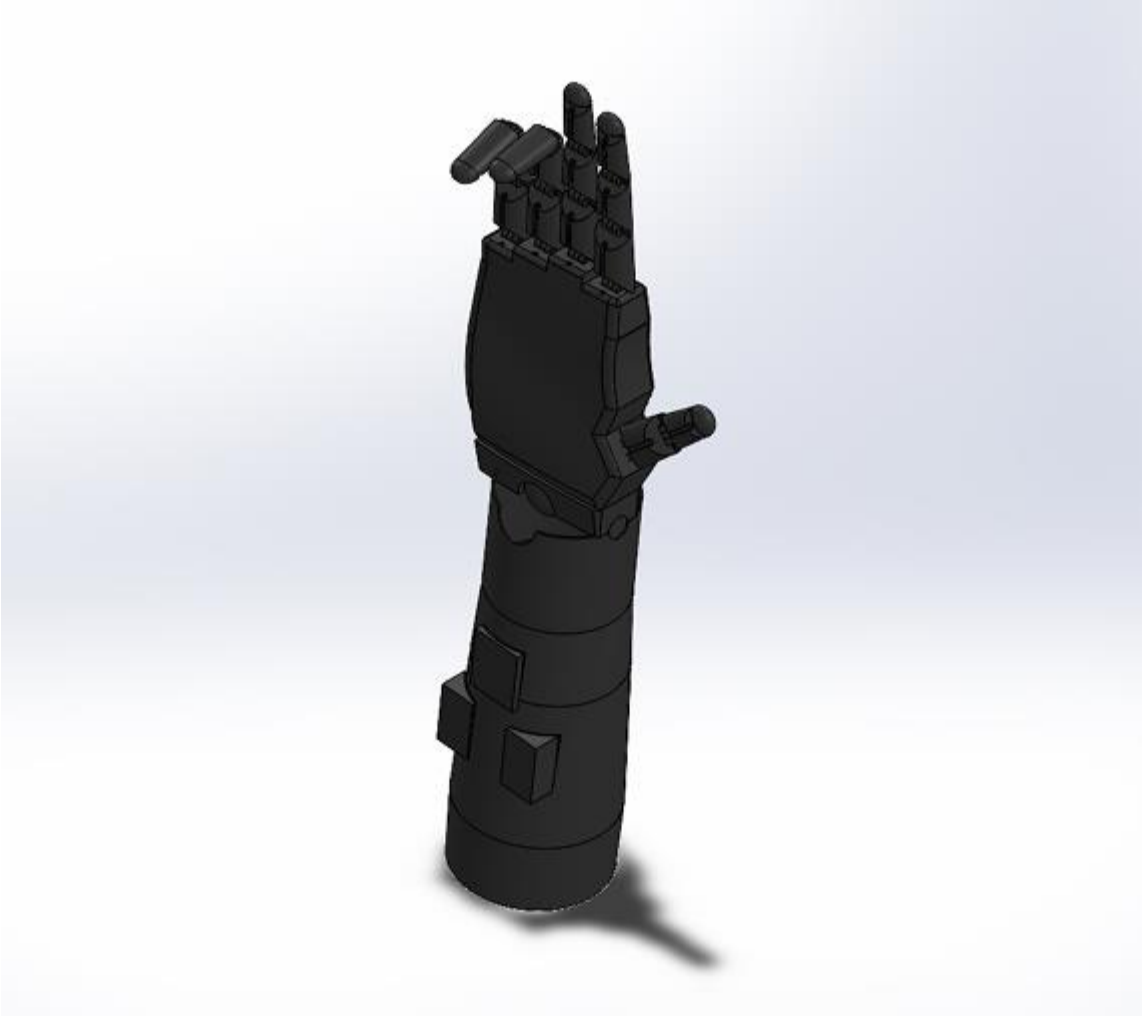


Ilustración 1-6: Ensamble de la prótesis.

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

Tabla 1-6: Cantidad de piezas para ensamble de la mano.

Ítem	Pieza	Cantidad
1	Palma de la mano	1
2	Falange proximal L3	5
3	Falange media L2	4
4	Falange distal L1	5
5	Pernos 2x16 mm	4
6	Pernos 2 x 18 mm	10

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

1.1. Mecanismo de transmisión de movimiento

En la mano, son los músculos del antebrazo los responsables de generar la flexión o extensión de los dedos, transmitiendo el movimiento a través de los tendones. En cuanto a los métodos de transmisión de movimiento, se han identificado diferentes enfoques en el:

Para la aplicación de la prótesis propuesta, se optó por el método de transmisión por poleas fijas debido a su simplicidad de diseño, facilidad de control, especialmente a través de comandos de voz. (Nos basamos en el estado del arte) Se diseñó un sistema de guía utilizando canales dentro de la estructura de la prótesis, como se ilustra en la **ilustración 1-6**.

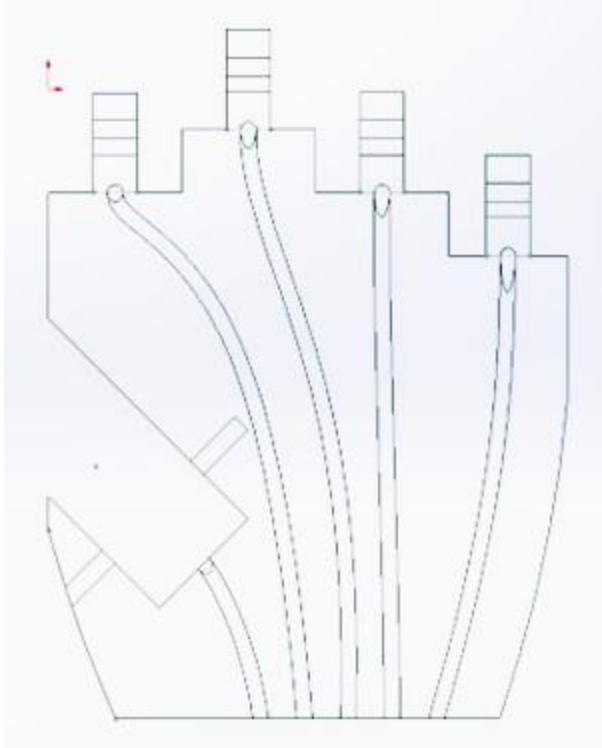


Ilustración 1-7: Representación de la vista frontal de la palma.

Realizado por: Ernesto Eduardo López López & Rigoberto Martínez Méndez




7.6. Selección de los actuadores

Para el principal actuador de la prótesis, se optó por utilizar dos servomotores de 25kg.cm que manipulan el nylon para generar el movimiento de agarre. Dado que la posición de los dedos no puede ser ajustada como en una mano natural, se requiere una solución que garantice un agarre seguro sin riesgo de resbalamiento. Por ello, se decidió cambiar las yemas de los dedos por un material que aumente la fricción, como el poliuretano, para mejorar la sujeción. Se busca una fuerza precisa que proporcione suficiente agarre sin ejercer demasiada presión, evitando dañar objetos delicados como huevos o vasos. La precisión en este aspecto es crucial para el funcionamiento efectivo de la prótesis.

7.7. Parámetros de la funcionalidad

7.7.1. Parte electrónica

Tabla 1-7: Característica de los componentes

Dispositivos	Modelos	
Servomotor	MG996R 180	 https://www.vistronica.com/robotica/motores/servomotores/servomotor-mg996r-180-grados-detail.html
Módulo de voz	Modulo reconocimiento voz elechouse V3	 https://www.mactronica.com.co/modulo-reconocimiento-voz-elechouse-v3
Arduino	Arduino uno	 https://arduino.cl/producto/arduino-uno/

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.7.1.1. Servomotor

Los servomotores son dispositivos de control utilizados para lograr precisión en la velocidad, el par motor y la posición. Incorporan un decodificador o encoder que convierte el movimiento mecánico del eje en pulsos digitales, interpretados por un controlador de movimiento para determinar la posición del servomotor.

El servomotor MG996R es una versión mejorada del MG995, con mejoras en la resistencia a los golpes, un diseño de placa de circuito impreso rediseñado y un sistema de control que lo hace más preciso. También se ha mejorado el engranaje y el motor para ampliar el rango de operación. (Servomotor MG996R 180 Grados, s. f.)

Tabla 1-8: Característica del servomotor

Características (MG996R 180)	
Trabajo	13 kg.cm
Corriente de consumo	900 mA
Ancho de banda muerta	5 μ s
Voltaje de entrada	4.8 a 7.2 VDC
Velocidad de operación	0.17 s /60° (4.8V) 0.14 s /60° (6.0V)
Torque	9.4 Kg/cm (4.8V) 11 Kg/cm (6.0V)
Angulo de trabajo	0-180 grados
Pulso por ciclo	20 ms
Temperatura de operación	-30° a 60°

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.7.1.2. Módulo de voz

Un módulo de voz es un dispositivo que permite utilizar la voz para controlar varias funciones de una forma sencilla gracias al uso de su propia librería.

El módulo de reconocimiento de voz de Elechouse V3 es capaz de grabar y reconocer hasta 80 comandos de voz grabados por uno mismo. Así mismo soporta comandos de una o dos palabras.

Este incorpora una gran librería que permite grabar 80 comandos y usar 7 al mismo tiempo.

Este módulo está diseñado para reconocer el volumen, la modulación y la entonación de las palabras para saber exactamente que comandos deseas ejecutar. (MODULO RECONOCIMIENTO VOZ ELECHOUSE V3, s. f.)

Tabla 1-9: Característica del módulo de voz.

MODULO RECONOCIMIENTO VOZ ELECHOUSE V3	
Voltaje de alimentación	4.5 ~ 5.5VDC
Máximo de comandos	80
Duración del comando	1500 ms
Control de comandos efectivos al mismo tiempo.	7
Precisión de reconocimiento	99% (sin ruido) – 90% (con ruido)
Corriente	40mA
Compatibilidad	Total, compatibilidad con Arduino

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.7.1.3. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware de código abierto, consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador y un entorno de desarrollo integrado (IDE) que facilita la programación y la carga de código en la placa.

La flexibilidad de Arduino radica en su capacidad para interactuar con una amplia gama de sensores, actuadores y otros componentes electrónicos.

Tabla 1-10: Característica del Arduino.

Arduino uno	
Microcontrolador	At Mega 328P/16bits
Pines de entrada y salida	14 (5 V/40 mA)
Pines analógicos	6 (5 V/40 mA)
Alimentación de salida	3.3 - 5 V
Alimentación de entrada	9 V por pin
Jack de alimentación	7-12 V
Pines de comunicación serial	2
Puerto USB	5 V

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.8.1. Parte mecánica.

Tabla 1-11: parte mecánica de la prótesis

Material	Tipo de material	Aporte
Hilo	Hilo Nailon	
Material rígido	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico ABS • Aluminio • Fibra de carbono • Acrílico 	
Material flexible	<ul style="list-style-type: none"> • Silicona • Elastómeros termoplásticos (TPE) • Poliuretano termoplástico (TPU) 	La combinación de estos materiales permite crear prótesis de mano que son tanto funcionales como estéticamente agradables, adaptadas a las necesidades específicas de cada usuario.

7.8.2. Parámetros de trabajo de la mano

Para imitar el movimiento natural de abrir y cerrar la mano, se han tenido en cuenta los siguientes datos.

Tabla 1-12: Ángulos de trabajo.

Ángulos de trabajo	
Posición mano abierta	85°
Posición mano cerrada	5°

Posición de agarre vaso	50°
Posición de agarre de cuchara	6°
Posición de agarre esfera	35°

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.8.3. Comandos

Para el funcionamiento de la prótesis se detallan los siguientes comandos, con las principales funciones que se van a utilizar.

Tabla 1-13: Lista de comandos.

Comando	Ángulo de Apertura (grados)	Ángulo de Cierre (grados)
Agarrar Vaso	80	35
Saludar	60	20
Hacer un Puño	90	10
Señalar	45	15
Abrir la Mano	20	80
Levantar el Pulgar	30	5
Hacer un Corazón	50	10
Saludo Militar	70	15
Mostrar el Número Tres	40	10
Hacer un OK	25	5
Saludo Vulcano (Spock)	35	5
Hacer un Cuatro	55	10

Hacer un Cinco	60	10
Hacer un Seis	65	10
Hacer un Siete	70	10
Hacer un Ocho	75	10

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

7.8.4. Diagrama del circuito

Se representará las conexiones que componen al circuito de manera que se puede identificar los componentes y como se conectan para el correcto funcionamiento de estos.

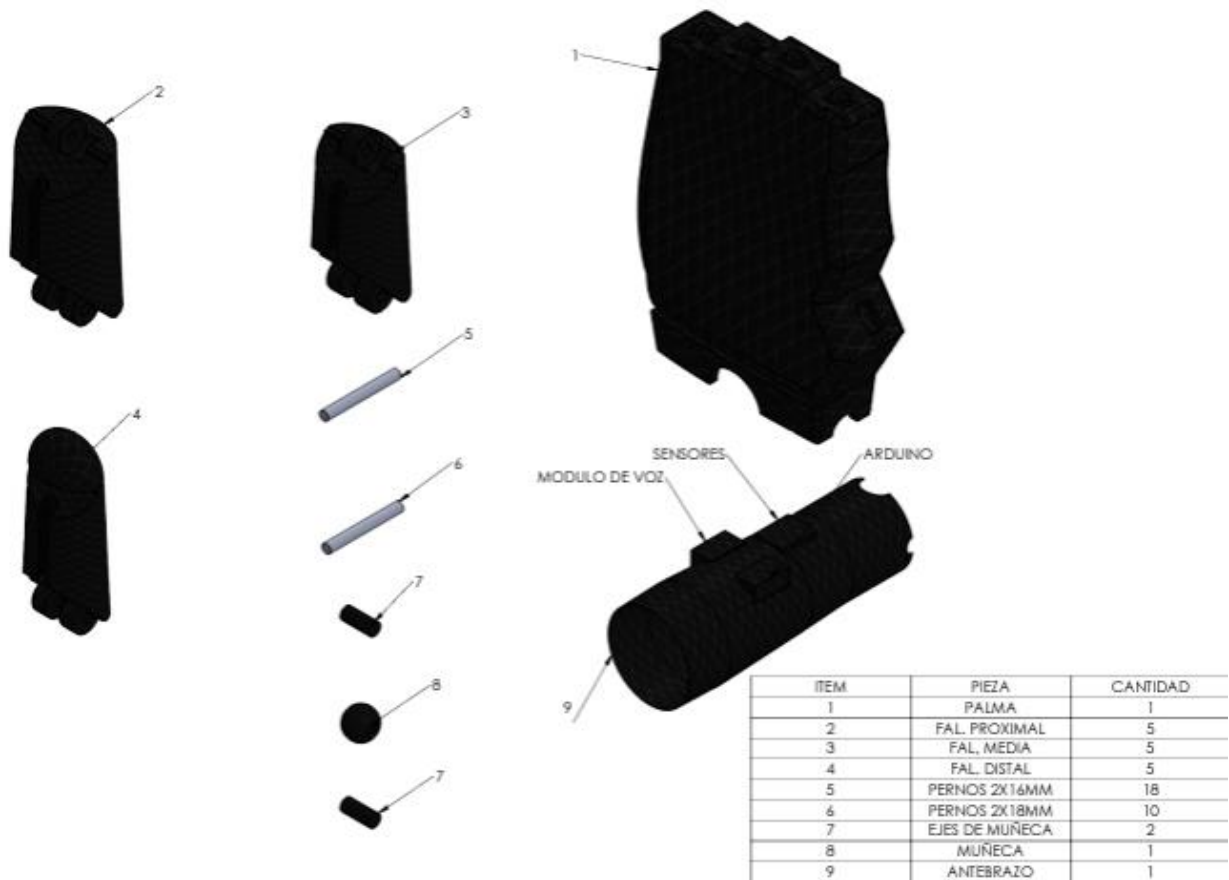


Ilustración 1-8: Ensamble de la prótesis.

Realizado por: Martinez, Y.; Sarmiento, S. 2024

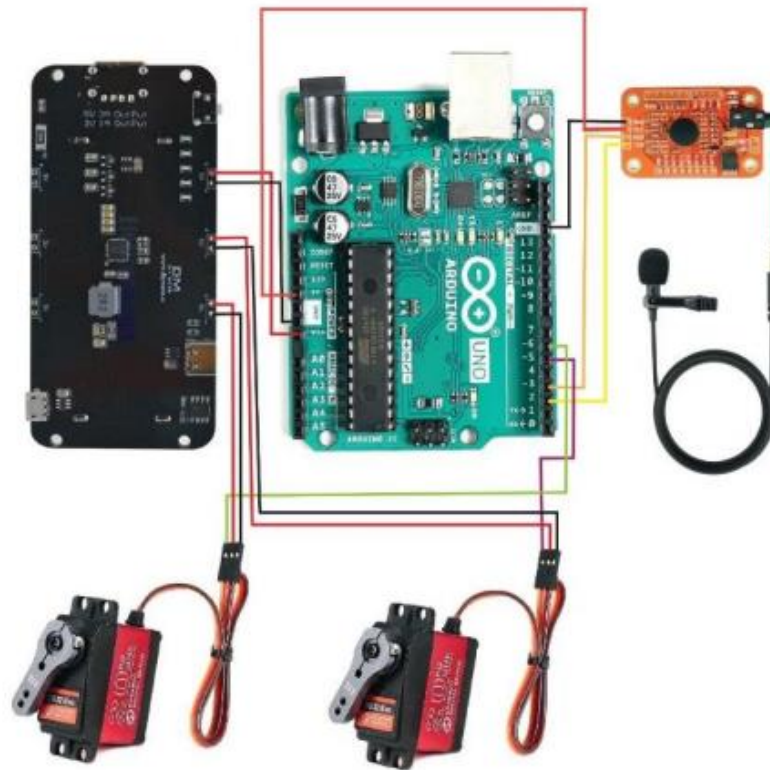


Ilustración 1-9: Ensamble de los componentes.

Realizado por: Melo F; María J. 2022

7.8.5. Programación

7.8.5.1. Procedimiento para programar el módulo de voz.

El procedimiento para la grabar el audio de los siete comandos de voz es el que se detalla a continuación.

a) Descargarse la librería del módulo Elechouse que nos proporciona un código para grabar los audios para usar.

b) Abrir el ejemplo que incluye la librería “vr_sample_train” y cargarlo al Arduino

c) Ejecutar el monitor serial del Arduino y cargar los comandos que vamos a usar para accionarlos por la voz usando el comando “sigtrain” acompañado del número del comando partiendo desde el cero y el nombre de la acción damos enter saldrá el siguiente recuadro

Código de programación Arduino

```
#include <EasyVR.h>
```

```
EasyVR easyvr(Serial); // Inicializar EasyVR
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  if (!easyvr.detect()) {
```

```
Serial.println("EasyVR not detected!");

while (true); // Quedarse en un bucle infinito si no se detecta EasyVR

}

easyvr.setPinOutput(EasyVR::IO1, LOW); // Inicializar pines de EasyVR

easyvr.setTimeout(5); // Establecer un tiempo de espera para los comandos

}

void loop() {

int16_t response = easyvr.recognize(); // Escuchar un comando

if (response >= 0) { // Si se reconoció un comando válido

switch (response) {

case 0: // Comando 0 - Abrir mano

// Código para abrir la mano de la prótesis

break;

case 1: // Comando 1 - Cerrar mano

// Código para cerrar la mano de la prótesis

break;

// Agregar más casos para otros comandos según sea necesario
```

```
default:  
  
    break;  
  
}  
  
}  
  
}
```

RESULTADOS

Dentro del marco de este proyecto se pudo lograr el diseño inicial de la prótesis por medios 3d como se había determinado, la metodología de este proyecto permitió medir la utilidad de esta prótesis, representando en sí unas grandes ventajas para sus posibles usuarios ya que se estableció un procedimiento detallado para comprender y ejecutar el movimiento mecánico de la prótesis a través de comandos de voz. Esto incluye la integración de tecnologías de reconocimiento de voz con el diseño mecánico de la prótesis, asegurando una comunicación efectiva entre el usuario y el dispositivo. Además de identificar los movimientos principales que se desean realizar mediante la prótesis, incluyendo el agarre de objetos o abrir la mano. Estos movimientos son clave para proporcionar funcionalidad y naturalidad en el uso de la prótesis

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de una prótesis transradial avanzada controlada por voz representa un hito significativo en la mejora de la calidad de vida de las personas con amputaciones en Colombia y

potencialmente en todo el mundo, este proyecto combina tecnologías emergentes en impresión 3D, reconocimiento de voz y control electrónico, ofreciendo una solución personalizada, intuitiva y accesible para los usuarios, al integrar comandos de voz, se elimina la necesidad de interfaces físicas complejas, facilitando así el uso de la prótesis y proporcionando una experiencia más natural y eficiente.

La investigación y desarrollo de este proyecto han mostrado que es posible crear una prótesis funcional y cómoda, adaptada a las necesidades específicas de cada individuo, mediante el uso de tecnologías modernas, la implementación de un sistema de control por voz, junto con la precisión del diseño 3D, ha permitido superar muchas de las limitaciones de las prótesis tradicionales, ofreciendo una mayor versatilidad y adaptabilidad.

Este proyecto no solo impulsa el avance en el campo de la ingeniería biomédica, sino que también tiene un impacto social significativo, proporcionando a las personas con discapacidades una herramienta innovadora que mejora su autonomía y capacidad para realizar actividades diarias, fomenta una cultura de innovación y desarrollo tecnológico en el ámbito biomédico en Colombia, lo que puede traducirse en más oportunidades de investigación y desarrollo en el futuro.

RECOMENDACIONES

1. Mejora Continua del Sistema de Reconocimiento de Voz: Desarrollar algoritmos de reconocimiento de voz más robustos que puedan funcionar con alta precisión incluso en entornos ruidosos.

- Ampliar el conjunto de comandos de voz disponibles para incluir más acciones y movimientos complejos.

2. Optimización del Diseño 3D: Realizar pruebas de usabilidad con un grupo más amplio de usuarios para identificar áreas de mejora en términos de comodidad y funcionalidad.

- Explorar el uso de nuevos materiales que ofrezcan mayor durabilidad y flexibilidad, como compuestos avanzados de fibra de carbono y silicona médica.

3. Integración de Sensores Adicionales: Incorporar sensores táctiles en los dedos de la prótesis para proporcionar retroalimentación óptica, al usuario, mejorando el control y la precisión del agarre.

- Implementar sensores de presión para evitar la aplicación de fuerza excesiva que pueda dañar objetos delicados.

4. Desarrollo de Capacidades de Aprendizaje Automático: Utilizar técnicas de machine learning para que la prótesis pueda adaptarse a los patrones de uso específicos de cada individuo, mejorando su eficiencia y personalización.

- Permitir que la prótesis aprenda y ajuste automáticamente los comandos de voz basados en la frecuencia y el contexto de uso.

5. Ampliación del Alcance del Proyecto: Colaborar con instituciones de salud y organizaciones gubernamentales para garantizar que esta tecnología esté disponible y sea asequible para un mayor número de personas.

- Establecer alianzas con universidades y centros de investigación para seguir avanzando en el desarrollo de prótesis más avanzadas y accesibles.

6. Evaluación y Certificación: Realizar estudios clínicos y de campo exhaustivos para validar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la prótesis.

- Obtener certificaciones y aprobaciones de organismos reguladores para asegurar que la prótesis cumpla con los estándares internacionales de calidad y seguridad.

Con estas recomendaciones, se espera que el proyecto no solo continúe su avance, sino que también tenga un impacto aún mayor en la vida de las personas con amputaciones transradiales, proporcionándoles una solución efectiva y accesible para mejorar su movilidad y autonomía.

REFERENCIAS

Amputee coalition. (2018b, octubre 26). un breve recorrido por la historia de la protésica - amputee coalition. <https://www.amputee-coalition.org/resources/spanish-history-prosthetics/>

Articulación del codo. (2023, 23 noviembre). kenhub.

<https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/articulacion-del-codo>

Bejarano, j., & barrera, d. (2018). desarrollo de una prótesis mioeléctrica de miembro superior con amputación transradial por medio del uso de tecnologías 3d. infometric@-serie ingeniería, básicas y agrícolas

Da luz, s. c. t., dos santos, k. p. b., de castro, s. g., moreno, c. m., de souza, j. b., lacunza, c. v., ... & villamor, p. m. (2023). testimonios de españoles amputados de extremidades durante el aislamiento social por la pandemia de la covid 19: impactos en la movilidad física. cuadernos de psicología del deporte.

de sus niveles, u. a. en c., de manera física, a. de i., lo anterior, t. g. g. i. en el á. p. y. s., que, y., de las ocasiones, en la m., de un segmento corporal repercute en las actividades sociolaborales, e. “pérdida”, participación y ocio, d., lo ya mencionado, de la e. a. e. y. p. s. en r. a. la “ausencia” de un s. c. y. las c. y. h. i. s. a., de la pérdida siendo este proceso complejo de sobrellevar, el f. p. es d. en la a., & de la propia imagen corporal y la autonomía en el quehacer particular., en r. a. la a. (s/f). 1. aspectos técnicos generales a. descripción general. gob.cl. recuperado el 22 de septiembre de 2023, <https://www.senadis.gob.cl/download/i/5991>

Del piccolo, j. n. (2022). amputados de miembros superiores: análisis funcional de avd básicas en pacientes equipados con prótesis cuyos dispositivos terminales son de 1 motor y de 5 motores.

Farro, l., tapia, r., bautista, l., montalvo, r., & iriarte, h. (2012). características clínicas y demográficas del paciente amputado. revista médica herediana, 23(4), 240-243.

felipe, c., fonseca, l., andrés, c., & romero, h. (s/f). desarrollo de un prototipo funcional de prótesis transradial activa para la corrección de la postura corporal durante el uso de la bicicleta. estudio de caso. edu.co. recuperado el 22 de septiembre de 2023, de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/9024/leon_fonseca_cesar_felipe_2020%20%281%29.pdf?sequence=5&isallowed=y

Ficha descriptiva de prótesis transradial - elementos protésicos prótesis miembro superior studocu. 22 de septiembre de 2023, <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-ateneo-de-monterrey/fisiologia/24-ficha-descriptiva-de-protesis-transradial/35294799>

gonzález, j. m. d. (2005). robótica y prótesis inteligentes.

Guastaferrero, p., gonzález, c., rodríguez, j., núñez, h., & pelliccioni, o. diseño de una prótesis de miembro superior.

jáuregui, s., & stheven, b. (2013). diseño mecánico de un prototipo de prótesis mioeléctrica transradial.

linares-enríquez, a., & rosas-acosta, d. (2019). desarrollo de prótesis electromecánica de miembro superior development of upper limb electromechanical prosthesis. revista de ingeniería, 3(10), 23-30.

Loaiza, j. l., & arzola, n. (2011). evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano. dyna, 78(169), 191-200.

Mano y muñeca (anatomía). (2023, 3 noviembre). kenhub.
<https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/mano-y-muneca>

María, l., moreno, c., vanessa, a., & valderrama, a. (s/f). prototipo de prótesis transradial para el agarre de objetos. edu.co. recuperado el 22 de septiembre de 2023, de
<https://repository.eia.edu.co/bitstreams/43d46047-4bca-4909-b21b-939b39eee333/download>

Matiz bernal, j. m., & pinzón salomón, j. c. e. (2018). fabricación de prótesis transradial considerando la parametrización de sus componentes tomando como variables las medidas antropométricas del usuario. universidad santo tomás.

Meneses, g., rios, a., & valderrama, v. (2017). desarrollo de una prótesis transradial externa para miembro superior basada en impresión 3d y control mioeléctrico. investigación formativa en ingeniería, 230.

Miprotesis.mx. 22 de septiembre de 2023, <https://miprotesis.mx/protesis-transradial/>

Modulo reconocimiento voz elechouse v3. (s. f.). mactronica.
<https://www.mactronica.com.co/modulo-reconocimiento-voz-elechouse-v3>

Montoyo gomis, p. (2023). diseño mecatrónico de una prótesis de brazo para laceración transradial controlada por voz.

Muniesa, j. m., pou, m., marco, e., boza, r., guillén, a., duarte, e., ... & tejero, m. (2009).
calidad de vida en pacientes con amputación de extremidad inferior. *rehabilitación*, 43(1), 28-33.

Panorama general de la discapacidad en colombia. gov.co. recuperado el 29 de
septiembre de 2023, <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/panorama-general-de-la-discapacidad-en-colombia.pdf>

Pazmiño-armijos, a. o., medina-quintero, e. h., jácome-tinoco, j. r., & pazmiño-armijos, e. v.
(2022). fabricación de una prótesis transradial para infantes impresa en 3d con filamento flexible
y pla. *polo del conocimiento*, 7(4), 1222-1231.

Pérdida de extremidades enfermedades y afecciones que pueden conducir a una amputación.
(s. f.). <https://primecareprosthetics.com/es/blog/what-causes-amputation-causes-symptoms-and-risk-factors-of-limb-loss>

Pérdida de extremidades enfermedades y afecciones que pueden conducir a una amputación.
(s. f.). <https://primecareprosthetics.com/es/blog/what-causes-amputation-causes-symptoms-and-risk-factors-of-limb-loss>

Prótesis mioeléctricas personalizadas de mano con retroalimentación háptica empleando
fabricación digital en filamentos de plástico pet | grupo de investigación en robótica aplicada y
biomecánica. (s. f.-b). pucp | grupos de investigación.
<https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/girab/proyecto/protesis-mioelectricas-personalizadas-de-mano-con-retroalimentacion-haptica-empleando-fabricacion-digital-en-filamentos-plastico-pet/>

Prótesis transradial de bajo costo fue diseñada por estudiantes de la facultad de minas. (s/f). facultad de minas | universidad nacional de colombia. recuperado el 22 de septiembre de 2023, <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/521-protesis>

Sánchez belda, p. d. (2020). diseño de una prótesis transradial de bajo coste para impresión 3d.

Servomotor mg996r 180 grados. (s. f.). vistronica s.a.s.
<https://www.vistronica.com/robotica/motores/servomotores/servomotor-mg996r-180-grados-detail.html>

Silva castellanos, c. a., muñoz ríaños, j. e., garzón alvarado, d. a., landínez parra, n. s., & silva caicedo, o. (2011). diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano. revista cubana de investigaciones biomédicas, 30(1), 15-41.

Torres-san-miguel, c. r., velázquez-sánchez, a. t., lugo-gonzález, e., & tapia-herrera, r. (2011). diseño personalizado de una interfaz mioeléctrica para una prótesis de miembro superior. revista colombiana de biotecnología, 13(2), 70-83.

Universidad nacional autónoma de méxico. dirección general de cómputo y de tecnologías de información y comunicación. revista digital universitaria. (2005, 18 enero). robótica y prótesis inteligentes. <https://www.ru.tic.unam.mx/handle/123456789/840>