

Diseño y fabricación de una prótesis funcional para dedo índice

1st Oiram Colunga Bernal 1818785

2nd Omar Isaí Moreno Cruz 1849630

3rd Victor Cristopher Santiago Martinez 1859524

4th Saul Moises Mendoza Cida 1942534

5th Yair Obed Morales Ortiz 1992266

Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León

Abstract—El siguiente proyecto propone la realización de una prótesis funcional del dedo índice, basándonos en nuestros conocimientos de diseño CAD, electrónica y lo que se ha aprendido de biomecánica de la mano durante el semestre. El resultado del proyecto es la reproducción del movimiento de flexión del dedo índice, para que la persona que la necesite pueda realizar agarres apropiados. La prótesis fue diseñada en CAD, y se hace uso de tecnologías de impresión 3D, además de utilizar filamentos flexibles para unir las 6 partes de las que se compone nuestra prótesis. Se utiliza un Arduino Uno como microcontrolador ampliando la prótesis para más personas debido a la fácil adquisición de uno de éstos en el mercado. De igual forma, el uso de un servomotor nos permitió ejecutar el movimiento de flexión porque nos permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad, acercándonos más al movimiento del dedo.

Index Terms—component, formatting, style, styling, insert

I. INTRODUCCIÓN

El problema principal radica en no tener una extremidad del cuerpo. En nuestro caso, de un dedo índice. La pérdida o falta de una extremidad puede tener un serio efecto negativo en la imagen corporal de una persona; lo que puede provocar a nivel mental el evitar situaciones sociales, en consecuencia esto podría desembocar en una depresión o en una baja autoestima. Por otra parte, a nivel físico la persona sufre de una discapacidad física que es una limitación que impide o dificulta el desarrollo normal de una persona debido a limitaciones en el movimiento, falta de algún sentido -dependiendo de la parte del cuerpo- o sensaciones fantasma en la extremidad perdida del cuerpo.

Aquí es donde surge nuestra materia para estudiar el movimiento de la mano, y más específicamente, el del dedo índice. Hay que aclarar que se estudiaron ambas debido a que muchas articulaciones de la mano definen el movimiento del dedo índice. El tema es interesante de estudiar ya que podemos ver la complejidad del cuerpo humano y el hecho de que se escoja una prótesis de dedo índice fue porque es un buen punto de partida.

Viéndolo en retrospectiva, si se escogiese otra parte del cuerpo para hacer la prótesis como la pierna o un brazo entero, sería extremadamente difícil y un trabajo que incluso llega a ser extremadamente complejo aún, para expertos y veteranos en esta rama de la ciencia. ¡Así que una prótesis de dedo índice es la indicada! Y por ello es importante estudiar este tema.

El objetivo final, es que la prótesis no se quede solamente en algo estético, sino que recuperemos movilidad en el paciente logrando que realice agarres firmes con nuestra prótesis. Como consecuencia, la persona recuperará funcionalidad en su mano y podrá realizar sus actividades diarias como una persona sin discapacidad.

II. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Nuestro enfoque es la prótesis de dedo índice, sin embargo, se debe de ver un recorrido breve donde se hagan menciones a todas las prótesis de mano o dedo que han aportado algo a la historia. 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 evolución de la protésica es larga y está plagada de historias, desde sus comienzos primitivos, pasando por el sofisticado presente, hasta las increíbles visiones del futuro. Al igual que sucede en el desarrollo de cualquier otro campo, algunas ideas e invenciones han funcionado y se han explorado más detalladamente, mientras que otras se han dejado de lado o se han vuelto obsoletas, como el uso de hierro en las prótesis.

El largo y complejo camino de la protésica comenzó alrededor del año 1500 a. C. y, desde entonces, ha estado en constante evolución. Han habido muchos perfeccionamientos desde los primeros ganchos de mano, y el resultado ha sido la fijación y el moldeado altamente personalizados que se encuentran en los dispositivos actuales. No obstante, para poder apreciar todo el camino que se ha recorrido en el campo de la protésica, primero debemos remontarnos a los antiguos egipcios. [1]

A. La primera prótesis de dedo de la historia

El contexto histórico de esta etapa es, el de las grandes civilizaciones antiguas tales como las romanas, egipcias y griegas. Período comprendido entre los años 1600 AC hasta el 476 DC. En esta etapa, vemos el surgimiento de la ciencia, y como consecuencia de la medicina y de la protésica. Observamos amputados por las siguientes causas: traumáticas, etiologías congénitas, por el casamiento entre familiares; otra de las causas de amputación fue la guerra, ya sea, por herida de guerra o por haber sido tomado prisionero; además de ello, la

vagancia, el robo o la rebelión, era pagada con la amputación como un castigo para dichos delitos en diferentes culturas; también como consecuencia de gangrena, lepra o infección también se han practicado amputaciones en tiempos antiguos; por último, están las amputaciones como consecuencia de ceremonias religiosas.

Se han encontrado en esta época, momias de la civilización egipcia enterrados con prótesis para ingresar “completos” a la nueva vida del más allá. Sin embargo la momia (1065 - 740 AC) encontrada en este caso, posee una prótesis de dedo que, aseguran los investigadores, fue utilizada mientras la persona vivía por los crecimientos de piel sobre sus bordes. Este dedo fabricado en madera (figura 2), poseía una terminación muy delicada. Una investigación posterior, realizada por un equipo de arqueólogos determinó que la paciente hubo padecido diabetes y que la misma falleció entre los 50 y 55 años. [2]



Fig. 1. Probablemente sea una de las prótesis más antiguas del mundo: un dedo gordo hecho de madera con gran maestría a comienzos del primer milenio a.C. Foto de: Matjaž Kačičnik / University of Basel, LHTT.

B. Periodo de la edad media

No había en esta época muchas prótesis alternativas para los amputados, con excepción de las viejas prótesis antiguas llamadas “peg leg” fabricadas en madera y cuero, para miembros inferiores y ganchos básicos para miembros superiores. Solamente los ricos podían afrontar la construcción de una prótesis. Por ejemplo, los caballeros tenían prótesis construidas por sus fabricantes de armaduras, para utilizarlas en las batallas. Algunos de estos aparatos eran medianamente avanzados, pero muy pesados e incómodos, además, tenían función solamente para la batalla. Los brazos eran fabricados pensando en mantener los escudos y las piernas eran diseñadas pensando en calzados los estribos para cabalgar, sin tener en cuenta las actividades de la vida diaria, como el simple hecho de caminar.

Cuando el caballero regresaba a su hogar, usaba básicos pilones de cuero y madera para miembro inferior y ganchos sin movimiento para miembro superior. Las prótesis eran más cosméticas, que funcionales. Las prótesis eran utilizadas para esconder la desgracia o la debilidad de batallas pasadas. Los fabricantes de armaduras construían prótesis, como extensión de las armaduras originales de cada caballero. Sin embargo, debe reconocerse que ellos tenían un considerado conocimiento del cuerpo humano, como así también, la creatividad necesaria como para realizar este tipo de construcciones. Debe destacarse, que los relojeros también formaron parte, en esta etapa de la historia, de la construcción de

prótesis, pero utilizando mecanismos intrínsecos mas complicados, tales como engranajes y/o resortes.[2]

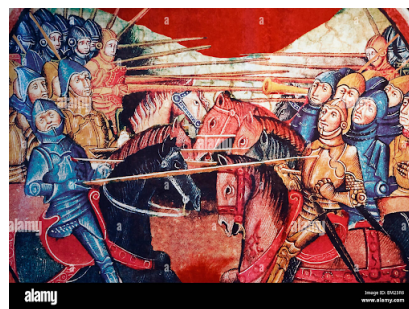


Fig. 2. En la Edad Media, durante las batallas, los caballeros solían perder extremidades.

C. Periodo del renacimiento

La mano de hierro del caballero y mercenario alemán Gotz Berlichingen es un ejemplo maravilloso de cómo eran realizadas las prótesis en ese período (1480- 1562). Gotz ganó la reputación de realizar actividades de protección de los campesinos sobre sus opresores, tal como lo hacía Robin Hood.

En el año 1408, perdió su brazo en la batalla de Landshut, por una bala de cañón de su propio bando, la cuál le voló su espada y su brazo. De un guerrero de su propio bando, conoció una prótesis de hierro para usarla en la batalla. De este modelo, Gotz fabricó dos modelos, hechas por él mismo. Estas prótesis tenían piezas mecánicas. Cada articulación, podía ser movida de manera independiente, mediante la mano sana. Esta poseía una traba que podía relajarse por un resorte. La mano, también, tenía movimientos de pronación y supinación. Si bien la mano no poseía movimientos activos potenciados por su propio cuerpo, fue un importante intento de funcionalidad para una prótesis de miembro superior.[2]

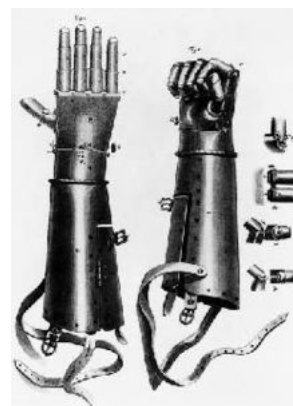


Fig. 3. Prótesis hecha por el alemán Gotz Berlichingen. Poseía movimientos de pronación y supinación.

La gran contribución a la cirugía de amputación y a la protésica en esta época, estuvo a cargo del cirujano francés Ambroise Pare (1520-1590). Este inventó prótesis de miembro superior e inferior que mostraban un conocimiento básico de las funciones protésicas. “Le Petit Lorrain” fue una prótesis de

miembro superior que utilizó, un capitán de la armada francesa en batalla. Esta prótesis tenía una mano con movimientos independientes a través de trabas y resortes. [2]

D. Mano de Canterbury

Entre los desarrollos más recientes de la protésica encontramos la mano de Caterbury que utiliza eslabones mecánicos movidos directamente para actuar sobre los dedos de forma similar a la mano humana.

Cada dedo de esta mano tiene 2.25 grados de libertad; la parte fraccionaria se debe al mecanismo compartido para extender los cuatro dedos. Los motores de corriente directa tienen una reducción por medio de engranajes con una relación de transmisión 16:1. Los dedos cuentan con sensores de presión en cada articulación y en su parte distal, lo que totaliza cuatro sensores de presión por cada dedo, dos motores de corriente directa y un sensor de efecto Hall. El pulgar tiene sólo un motor y tres sensores de fuerza, mientras en la palma se encuentran los motores encargados de abrir y cerrar todos los dedos y de la rotación del pulgar; para un total de dos motores, dos encoders, dos sensores de efecto Hall y tres sensores de fuerza.

Todo esto resulta en un total de 91 cables por lo que se requirió un sistema de control distribuido utilizando un PSoC de Semiconductores Cypress. Este microprocesador solo es capaz de controlar la posición y velocidad, mientras que el resto de la cinemática y demás comandos complejos se calculan por aparte en un PC. [3]

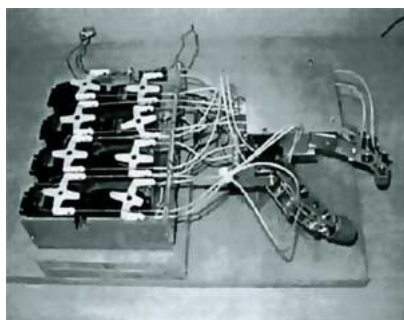


Fig. 4. Mano de Canterbury.

E. Prótesis de mano de mano y muñeca accionado por voz

El siguiente prototipo es una prótesis de mano para personas amputadas de mano y muñeca, utiliza señales, mioeléctrica o por voz, adecuado para su accionamiento. El prototipo posee 10 GDL y un peso total de 1260 g. El modelamiento antropométrico y dinámico emplea un sistema complejo de ecuaciones matriciales ligadas. Para el modelo cinemático, se utiliza el planteamiento de Denavit/Hartenberg, al tiempo que se emplean resultados obtenidos por otros investigadores. En la imagen se muestra el prototipo de prótesis desarrollado, sin cosmesis en la zona de la mano con el fin de apreciar los detalles estructurales. Para varias funciones de la prótesis resulta más adecuado el control por voz, aunque se detecta para esta estrategia mayor sensibilidad al ruido ambiental. [3]



Fig. 5. Prototipo de prótesis de mano accionada por voz.

F. Prótesis actuales: Naked Prosthetics

Hoy en día con el avance acelerado de la tecnología se han logrado un nuevos tipos de prótesis, como por ejemplo: Naked Prosthetics. Éstas son diseñadas para personas que han perdido una o dos falanges, con amputaciones a través de la falange proximal cuya característica consiste en restaurar las falanges media y distal. Éstas se distinguen por ser altamente funcionales y por su forma de fabricación; ya que son creadas mediante una impresora 3D de resina.

Lo anterior permite no sólo acortar el tiempo de manufactura, sino lograr formas más orgánicas. Se trata del MCP-Driver, prótesis que obtienen su fuerza de una combinación de enlaces rígidos de acero inoxidable impulsados por el residuo y está cómodamente anclado en la superficie dorsal de la mano. Entre sus características están: la libertad de movimiento de este componente ayuda al paciente a conseguir un agarre óptimo; diez opciones de color; la punta de silicona se asemeja a la yema del dedo natural; la estructura en forma de jaula de los enlaces de acero inoxidable proporciona protección para el residuo hipersensible.[4]



Fig. 6. La punta de silicona se asemeja a la yema del dedo natural y proporciona agarre añadido.

G. Prótesis actuales: I-limb

La prótesis biónica I-limb es una de las más utilizadas actualmente e implementada en varios países, es una prótesis que cumple con la mayoría de los movimientos básicos de la mano de un ser humano.

La mano biónica I-limb, cuyos dedos son controlados independientemente permite realizar una gran cantidad de movimientos dado que el pulgar puede rotar hasta 90° realizar pinzas y agarres de precisión y de potencia de diferentes formas.[5]

H. Ventajas de la prótesis de dedo índice

En la actualidad el uso de sistemas mecatrónicos bioinspirados y con el uso de impresión 3D, han logrado que la prótesis de dedo índice sea flexible y personalizable a cada paciente.



Fig. 7. Mano biónica I-limb.

Entre las ventajas que tiene nuestro diseño de prótesis de dedo índice están las siguientes: - Mejora estética de la mano.

- Pueden ser instaladas y removidas fácilmente.
- Fácil limpieza.
- Flexible.
- Previene la deformidad de otros dedos.

I. Desventajas de la prótesis de dedo índice

Nuestro diseño de prótesis de dedo índice es simple. Por ello conlleva algunas desventajas que son las siguientes:

- Puede provocar molestias en el muñón.
- Puede llegar a ser algo incómoda.
- La persona va a tener que lidiar con el microcontrolador.

J. Limitaciones

La principal limitación de la prótesis de dedo índice está en que solo puede hacer flexión. Por lo que el paciente se verá limitado a hacer movimientos de agarre. Es decir, no podrá, por ejemplo, realizar movimientos de rotación axial.

K. Áreas de oportunidad

El área de oportunidad son aquellos pacientes que tengan discapacidad por no tener algún dedo de la mano. En ese caso, se puede rediseñar la prótesis en CAD para ajustarla a los requerimientos y medidas de la mano del paciente.

III. HIPÓTESIS

Se espera la realización de una prótesis de dedo índice que ejecute un movimiento de flexión con un actuador (servomotor). El sistema de control que haga esta acción será un microcontrolador Arduino Uno. La finalidad es imitar una movilidad parecida a la de un dedo humano.

IV. DESARROLLO

Para la creación de esta prótesis se inició diseñando las partes que conforman un dedo índice, a continuación se explica qué función cumple cada una de las piezas diseñadas.

A. Falanges

Estas representan a su equivalente biológico, cada una de las falanges está diseñada de forma que tengan una geometría similar a la original, esto con la finalidad de que los movimientos y funciones que pueda realizar la prótesis sean lo más similares posible a los que puede realizar un dedo real. Para lograr la geometría deseada se imprimieron 6 piezas las cuales conforman la parte “flexible” de la prótesis, estas piezas se unen en cierto orden para obtener un dedo con funciones de flexión similares a las originales, el orden corresponde al siguiente:

Pieza 1: representa la unión de la base y del dedo, actúa similar a la unión del surco digital interfalángico proximal, conforma una parte de la falange proximal.

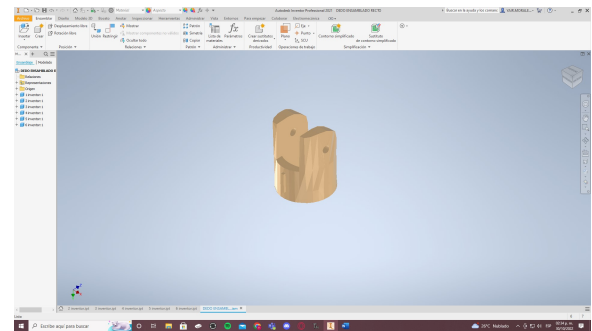


Fig. 8. Pieza 1

Pieza 2: Es la segunda pieza necesaria para la unión del surco digital interfalángico medio, además de que en conjunto con la pieza 1 forman la primera falange.

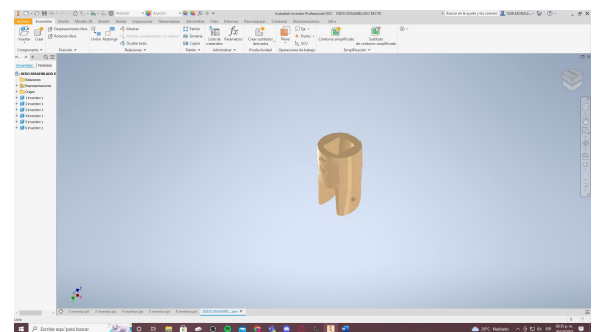


Fig. 9. Pieza 2

Pieza 3: Es la segunda parte de la unión mencionada anteriormente.

Pieza 4: Actúa, junto con la pieza 3, como falange media, además de ser una de las partes que conforman el surco digital interfalángico distal.

Pieza 5: Representa la segunda parte del último surco digital, con esta pieza se termina de recrear los surcos digitales, sin embargo, esta pieza solo corresponde a una parte de la falange distal.

Pieza 6: Esta es la última parte que representa el faltante de la falange distal, completando el diseño del dedo índice.

Equipos e Infraestructura

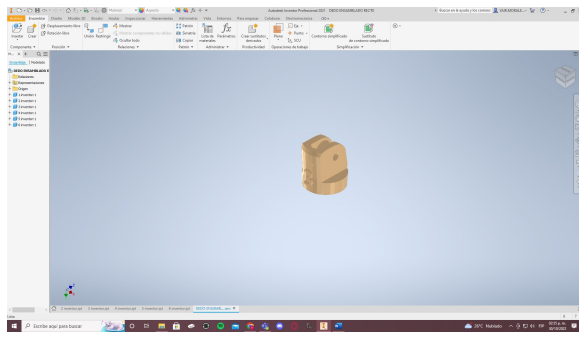


Fig. 10. Pieza 3

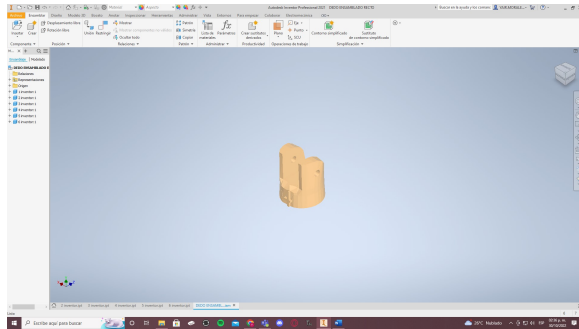


Fig. 11. Pieza 4

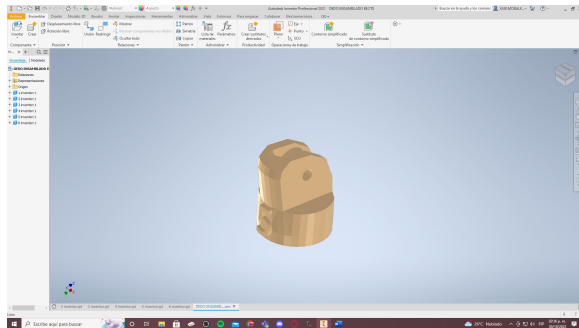


Fig. 12. Pieza 5

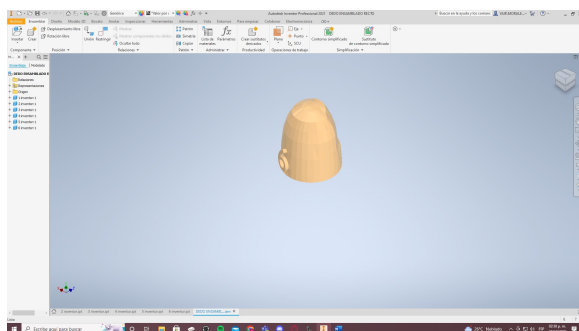


Fig. 13. Pieza 6

B. Base

Es una pequeña base en la cual se encuentra el Arduino uno y se fija el servomotor, a esta también se le une el dedo y actúa como una parte del surco digital interfalángico proximal

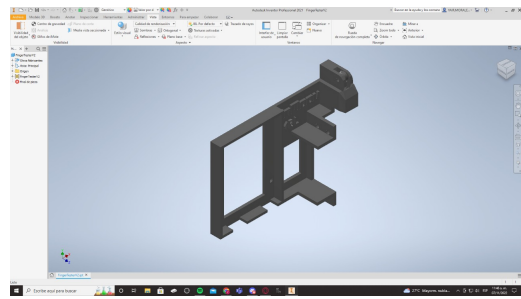


Fig. 14. Base del dedo

C. Carrete

Es una sola pieza que se une al servomotor y permite que sobre éste se enrolle un hilo fino que recrea la flexión del dedo.

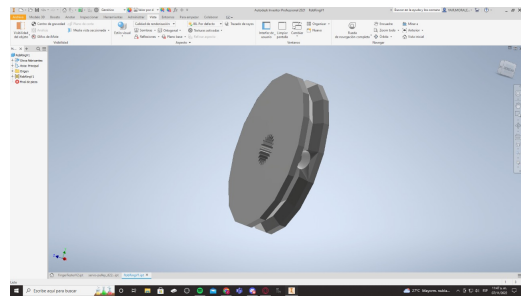


Fig. 15. Carrete

D. Componentes eléctricos

Arduino Uno: Es una placa de desarrollo, la cual, permite crear programas que se ejecutan de forma autónoma, en este caso es el encargado de manipular el servomotor en un “barrido” que abre y cierra el dedo.



Fig. 16. Arduino UNO comercial

Servomotor: Se une con el carrete y gracias al giro que este transmite, es posible mover el hilo encargado de la flexión y extensión del dedo.

E. Ensamble de las piezas.

Una vez que la base y las piezas 1 a la 6 están completas, es necesario ensamblarlas respetando el orden que se menciona a continuación.



Fig. 17. Servomotor MG995



Fig. 18. Ensamble prototipo de prueba

- Para iniciar, es necesario unir las piezas que cumplen la función de las falanges, para esto es necesario unir las bases (la parte circular) de las piezas, con ayuda de un pegamento instantáneo o con calor, gracias a que la pieza está impresa en 3D, los pares que se unen son 1 y 2 (Falange proximal), 3 y 4 (Falange media), 5 y 6 (Falange distal).
- A continuación, unimos las falanges para simular los surcos digitales interfalángicos, para esto es necesario unir la falange proximal con la base (Base y Pieza 1), la falange proximal con la falange media (Pieza 2 y Pieza 3) y por último la falange media con la falange distal (Pieza 4 y Pieza 5).



Fig. 19. Ensamble prototipo de prueba

- Una vez unidas todas las piezas del dedo, continuamos con el mecanismo, primeramente es necesario colocar un servomotor similar el de la imagen, en su espacio correspondiente en la base respetando que el eje del servomotor este hacia “afuera” de la base, a este eje le uniremos el carrete, este se encarga de contraer y descontraer un hilo de pesca, lo cual provoca los movimientos de contracción y estiramiento del dedo.
- Para finalizar es necesario colocar el Arduino Uno, en la base y conectar los componentes de la siguiente manera.

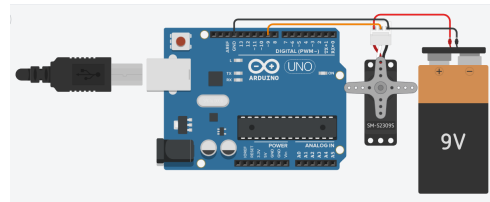


Fig. 20. Circuito para la conexión del servomotor. LA fuente utilizada de 9V solo es ilustrativa, Para la prótesis se toma una de 5V 1A

F. Código de funcionamiento.

A continuación se muestra el código utilizado para contraer y estirar el dedo, esto se logra con un movimiento comúnmente conocido como “barrido”, donde el servo gira una cierta cantidad de grados, para posteriormente volver al punto de origen.

```
#include <Servo.h>
Servo myservo; // nombre para controlar
                // el servo motor
int pos = 0; // variable de posición
void setup() {
  myservo.attach(9); // Pin de conexión
                    // al servo
}
void loop() {
  for (pos = 0; pos <= 180; pos += 1)
  { // ciclo for de 0 a 180 grados
    myservo.write(pos); // mueve la
                        // posición del servo motor
    delay(15); // Aumenta 1 grado cada
                // 15ms
  }
  delay(500); //Espera 500ms para
              // continuar con el segundo ciclo
  for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 1)
  { // ciclo for de 180 a 0 grados
    myservo.write(pos); // Mueve la
                        // posición del servo motor
    delay(15); // Aumenta 1 grado cada
                // 15ms
  }
}
```

Si se quisiera lograr un movimiento diferente, es necesario modificar la programación dependiendo del resultado esperado, si se quiere un cambio en la velocidad es necesario ajustar

el delay y si se quiere cambiar la amplitud de la retracción, es necesario cambiar los valores en los grados asignados. Mejoras

Existe una cantidad muy importante de mejoras que se pueden realizar a esta prótesis, sin embargo se consideran 2 mejoras las cuales aumentan en gran medida la funcionalidad de esta prótesis

- Implementar un sistema de control externo: Esto refiere a una forma en la que el usuario pueda controlar la apertura y el cierre del dedo con un sensor (potenciómetro o sensor piezoeléctrico)
- Implementar un sistema de lazo cerrado: Una vez implementados los sensores que permiten indicar los parámetros de comportamiento de la prótesis, solo resta agregar sensores que retroalimenten y corroboren estos parámetros, teniendo de esta forma un sistema de lazo cerrado.

G. Videos

Protesis de dedo indice (Pruebas)

<https://youtu.be/ZO0M7ISYvQM>

Protesis de dedo indice (Pruebas)

<https://youtu.be/Xyuo-sN9rEA>

V. CRONOGRAMA

Actividad	Parte ordinaria del semestre(semanas)					
	1	2	3	4	5	6
Investigación del movimiento mecánico en el dedo índice.						
Análisis de la cinemática en el dedo índice para implementar en la prótesis.						
Estudio de los tamaños promedio de dedos en los humanos						
Realizar un boceto de la forma del dedo índice.						
Desarrollo de un modelo en CAD de prótesis de dedo índice						
Impresión 3D del diseño de la prótesis						
Diseñar un mecanismo que permita la contracción del dedo.						
Diseño y simulación del circuito electrónico						
Realizar pruebas de accionamiento.						

Fig. 21. Ensamble prototipo de prueba

VI. BIBLIOGRAFÍA

[1] Norton, K. (2007, 15 diciembre). Un breve recorrido por la historia de la protésica. ACADEMIA.

[2] Montané, F. (2018). EL DESARROLLO DE LA PROTÉSICA A LO LARGO DE LA HISTORIA HUMANA. Órtesis, Prótesis y Movilidad, 1(2), e020809.

[3] Loaiza, J. (2011, 11 agosto). EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS EN EL DESARROLLO DE PRÓTESIS DE MANO. Scielo. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000500022

[4] Tecnológicas, N. (2017). Prótesis para dedos: la combinación de tecnología y funcionalidad. Dispositivos médicos. Recuperado 23 de septiembre de 2022, de <https://dispositivosmedicos.org.mx/protesis-para-dedos-la-combinacion-de-tecnologia-y-funcionalidad/>

[5] J, B., J, L. Murillo, R. (202d. C.). La Evolución De Las Prótesis De Mano. Mediprax. <https://mediprax.mx/la-evolucion-de-las-protesis-de-mano/>