



*Universidad Autónoma de Nuevo León*  
*Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica*  
*Clase Ordinaria: Biomecánica*



*PIA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PROTESIS ELECTROMECAÁNICA DE DEDO ÍNDICE*

*Docente: Ing. Isaac Estrada*  
*Semestre Agosto – Diciembre 2022*  
*Grupo: 008 Equipo:3*

Nombre (Apellidos/Nombre)	Matrícula	Carrera
Carlos Enrique Quiñones Duran	1868632	IMC
Emmanuel Rangel Campos	1845377	IMC
Edgar Alan Carrizales Treviño	1904406	IMC
Mauricio Guerrero Hernández	1905306	IMC
Fernando Herrera Garza	1909876	IMC

*Día 15 de Noviembre del año 2022,*  
*Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.*

# INDICE

## Capítulo 1 Introducción

- Introducción .....	5
- Justificación .....	6
- Hipótesis .....	7
- Objetivos .....	8
- Objetivos específicos .....	9

## Capítulo 2 Antecedentes y fundamentos

- Antecedentes .....	11
- Estado del arte .....	14

## Capítulo 3 Desarrollo experimental

Desarrollo .....	18
- Materiales de fabricación .....	21
- Simulaciones .....	23
- Impresión 3D y ensamblaje de la prótesis .....	25

# INDICE

## Capitulo 4 Resultados y discusión

- Funcionamiento de la prótesis de dedo índice .....27
- Demostración de movimiento .....28

## Capitulo 5 Conclusiones

- Conclusión .....29
- Trabajo a futuro .....30
- Referencias .....32



# CAP1: INTRODUCCION



# Introducción

En el presente documento, se plantean los diversos puntos con los que cuenta nuestro proyecto, en dónde podremos encontrar también las diferentes etapas de desarrollo del mismo, como lo puede ser; el diseño, implementación y resultados. Además que dentro de este trabajo, agregaremos información clave para contextualizar el trasfondo de nuestra prótesis y se tenga de manera clara la idea que queremos mostrar ante el docente y compañeros de clase.

La principal aportación de nuestra prótesis será aportar más conocimientos sobre las posibles soluciones que se les puede dar a la elaboración de una prótesis de dedo, tanto con nuestro proyecto, como con el de los compañeros, debido a que se propondrán diversas formas de solucionar este problema por cada uno de los equipos. Y con esto, tener un margen más referencias y conocimientos para cuando se elabore una prótesis de brazo completa, para que no se deje de lado esta parte de los dedos.

# Justificación

Nuestra motivación principal dejando fuera el hecho de proyecto integrador de aprendizaje, se basa en intentar ayudar a nuestra comunidad, y a las personas que necesitan este tipo de prótesis, y con esto mejorar aunque sea un poco su calidad de vida. Además de que también se toma en cuenta que cuando se realiza una prótesis de brazo, por lo general las personas siempre se suelen enfocar más a la parte mecánica del codo, de la muñera, etc., al igual que con la parte de la electrónica, programación, motores, entre otros aspectos, y el que se suele dejar de lado es el mecanismo del dedo, es por ello que en este proyecto es en lo que nos enfocamos.

# Hipótesis

Se podrá construir una prótesis electromecánica de un dedo índice en base a los conocimientos adquiridos de distintas unidades de aprendizaje, haciéndola funcional y en comparación a demás prótesis en el mercado, de mayor accesibilidad.

# Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el lograr hacer un diseño de prótesis de dedo índice el cual no requiera mucho esfuerzo de elaboración esto con el propósito de hacerlo lo más económico posible, y que de esta manera logre ser de mayor accesibilidad hacia el mercado destinado.

Para ello lo que se propone hacer un diseño de prótesis de dedo índice por medio de un sistema electromecánico, el cual dicho diseño será elaborado a partir de la toma de medidas estimadas de un dedo índice, mas sin embargo teniendo la capacidad de poder adaptarlo dependiendo de las necesidades solicitadas, utilizando primeramente un software de diseño en 3D para las piezas mecánicas que compondrán nuestra prótesis logrando un total de 3° de libertad, haciéndola lo mas funcional y accesible posible.

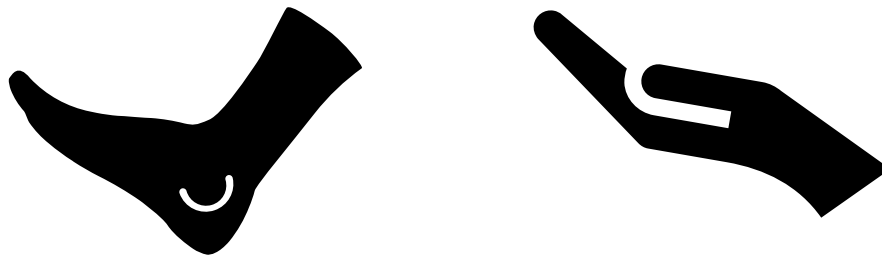


# Objetivos Específicos

- a) Investigar acerca de la estructura de un dedo índice
- b) Recopilar y documentar información de las prótesis de dedo índice
- c) Tomar medidas para una aproximación de diseño de dedo índice
- d) Proponer una propuesta de diseño de dedo índice
- e) Diseñar el mecanismo del dedo índice
- f) Corrección de detalles del diseño
- g) Implementar la prótesis en una simulación
- h) Diseñar el circuito electrónico para el movimiento del dedo índice
- i) Programar el comportamiento del dedo índice
- j) Implementar la prótesis de forma física
- k) Evaluar la funcionabilidad de nuestra prótesis
- l) Presentar el proyecto



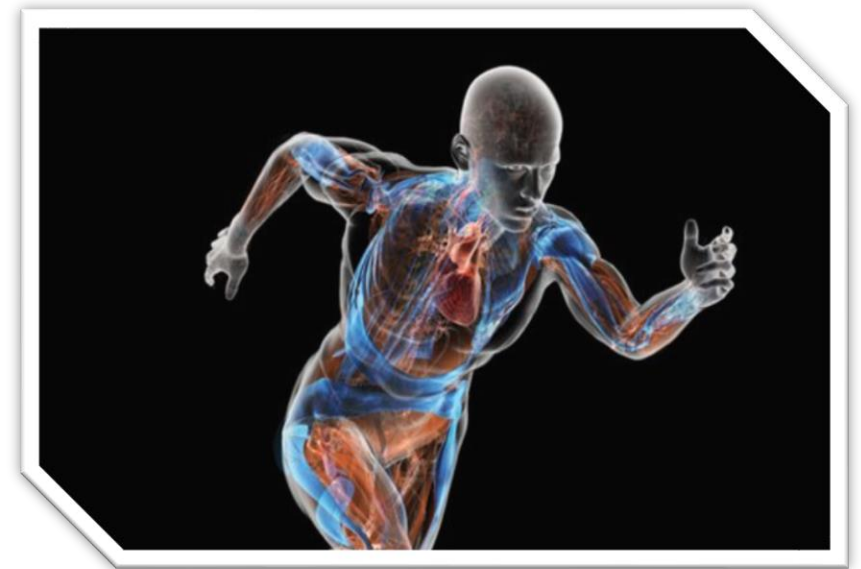
# CAP2: ANTESCEDENTES Y FUNDAMENTOS



# Antecedentes

En el término Biomecánica coexisten dos elementos: el biológico y el mecánico, aspectos que se encuentran en la mayoría de las definiciones de esta palabra.

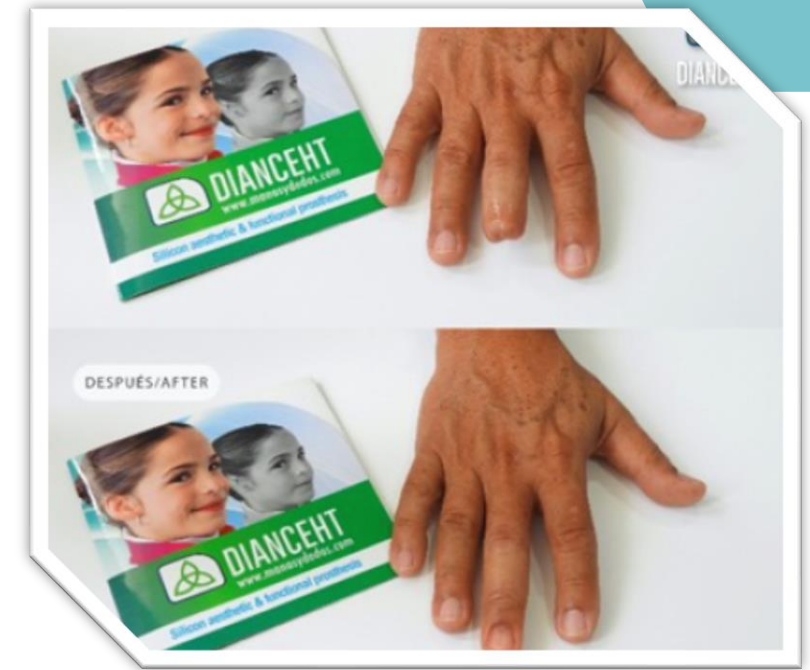
La historia de la biomecánica como área del conocimiento que se encarga de dar respuesta a la pregunta de ¿cómo nos movemos?, inicia en el último siglo y medio, dando aportes concretos y específicos a una de las ramas de mayor importancia de la biomecánica (rama de la biomecánica deportiva), el cual ha tenido una progresión en las últimas tres décadas.



Las prótesis de dedo índice que se pueden encontrar navegando en internet, son principalmente prótesis estéticas, las cuales solo se usan para aparentar tener el dedo y no cumplen con las funciones que tiene un dedo.

Y su principal atractivo es que el diseño de estas es muy real y no te darías cuenta si la persona tiene una de estas prótesis ó es su dedo real.

Podemos encontrar más prótesis de dedo índice de este tipo producidos por una empresa llamada Dianceht.



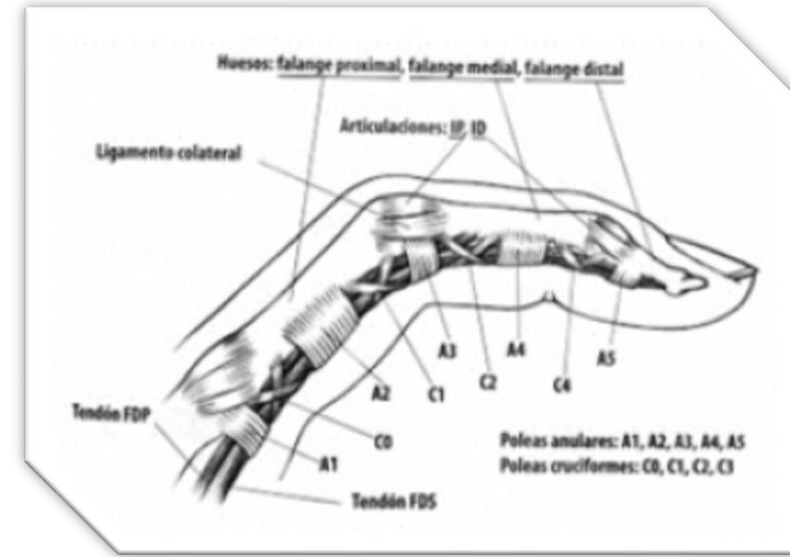
Una prótesis de dedo de este tipo tiene un costo de 950 dolares y tiene un tiempo de 90 días de producción. Cada prótesis es particular y depende de la persona que la requiera.

La impresión 3D es una potente herramienta para la creación de prótesis de bajo costo y de rápida creación. Una prótesis de mano en impresión 3D, netamente mecánica y limitada al cierre y apertura de la mano, puede tener un costo de alrededor de 2000 a 5000 USD. Por ello, el precio de una prótesis de dedo de estas características tiene un precio menor y dependerá de las necesidades que tenga el cliente. En el caso de prótesis más avanzadas, el precio está en el rango de los 20,000 a 60,000 USD dependiendo de la funcionalidad, materiales y estética de la prótesis.



# Estado del arte

El dedo índice es el segundo dedo de la mano, y se encuentra entre el dedo pulgar y el dedo cordial o dedo medio. Es el dedo más expresivo: sirve para señalar direcciones u objetos, para mostrar una negativa moviéndolo a ambos lados de forma reiterada, o para enfatizar instrucciones u órdenes. Por lo que a continuación se explicará un poco acerca de la composición de los dedos para entender su funcionamiento.

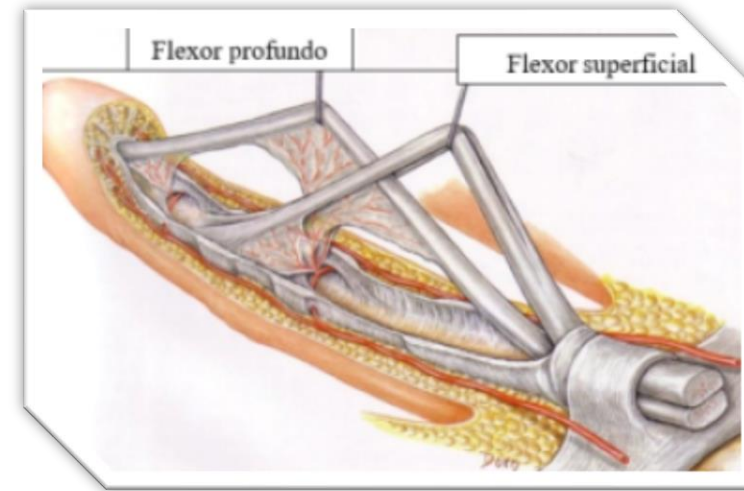


## Articulaciones metacarpofalangicas

Bien, éstas articulaciones son de tipo condileo y permiten muchos tipos de movimientos entre ellos los de flexo extensión. Estas articulaciones estando en su flexión más activa o más larga casi alcanzan los 90° del índice aumentando progresivamente, esto hace posible muchos de los movimientos que realizamos

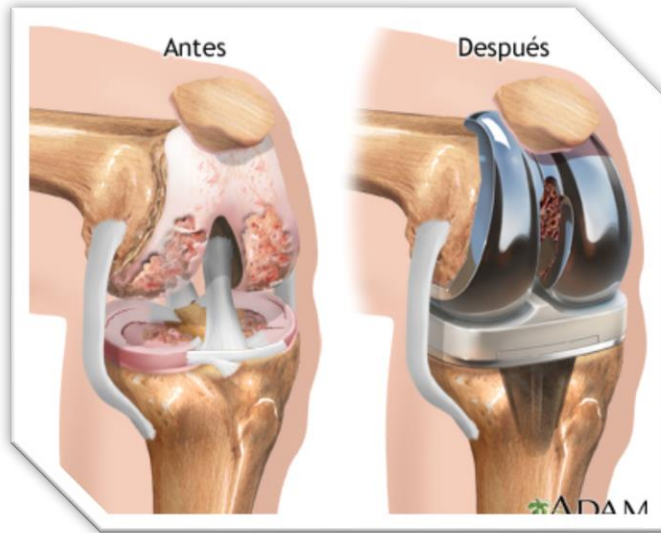
## Articulaciones interfalángicas

Estas al igual que las metacarpofalángicas pueden alcanzar cierto ángulo de libertad, superando los  $90^\circ$  de las articulaciones anteriores, pero aun así solo permiten un tipo de movimiento el cual es el de flexo extensión.



Las falanges de la mano son el grupo de pequeños huesos que conforman los componentes óseos de los dedos (dígitos) de la mano. Aunque las falanges son de un tamaño pequeño, estas se clasifican como huesos largos debido a sus características morfológicas; cada falange está constituida por un cuerpo, cabeza distal y una base proximal.

Cada mano tiene catorce falanges; donde cada dedo tiene tres falanges (una proximal, una media y otra distal), a excepción del pulgar que solo tiene dos falanges (una proximal y otra distal). Los dedos tienen un sistema universal de rotulado específico, que utiliza la posición anatómica como punto de referencia. Debemos recordar que cuando describimos la posición anatómica de la mano, la palma se encuentra hacia delante.

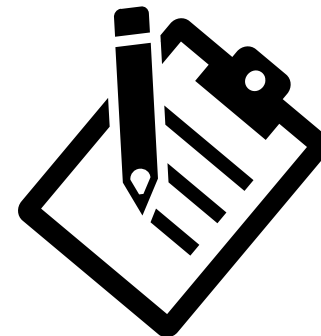
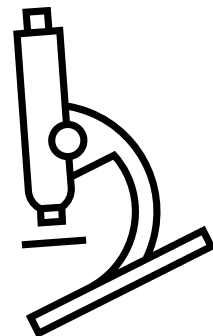


En un reemplazo protésico articular, las estructuras anormales, desgastadas o degeneradas de hueso y revestimiento cartilaginoso de la articulación se extirpan quirúrgicamente y se sustituyen por unos componentes artificiales biocompatibles.

Las articulaciones que se pueden reemplazar por una prótesis con las articulaciones centrales de los dedos, las articulaciones de los nudillos y las articulaciones de la muñeca .



# CAP3: DESARROLLO EXPERIMENTAL



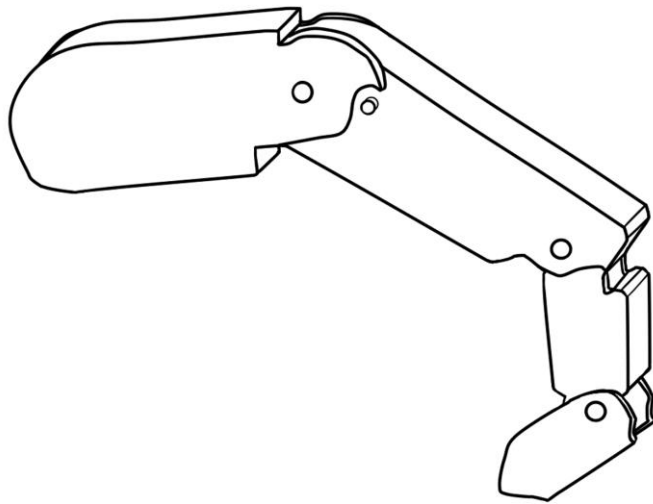
# Desarrollo experimental

Previamente a proponer un diseño de nuestra prótesis de dedo índice, primeramente fue necesario en realizar mediciones de un dedo índice con ayuda de un vernier, el cual es un instrumento de medición que fue diseñado para medir con gran precisión cualquier tipo de objeto, ya sea que tenga una superficie interna, externa y/o profundidad, y así poder obtener unas medidas y un diseño mas semejante a un dedo índice, por lo que en la siguiente sección se mostrara y explicaran cada una de las mediciones necesarias para el diseño de la prótesis, y de esta manera hacerla lo mas parecido a un dedo real. A continuación se mostrara el proceso:

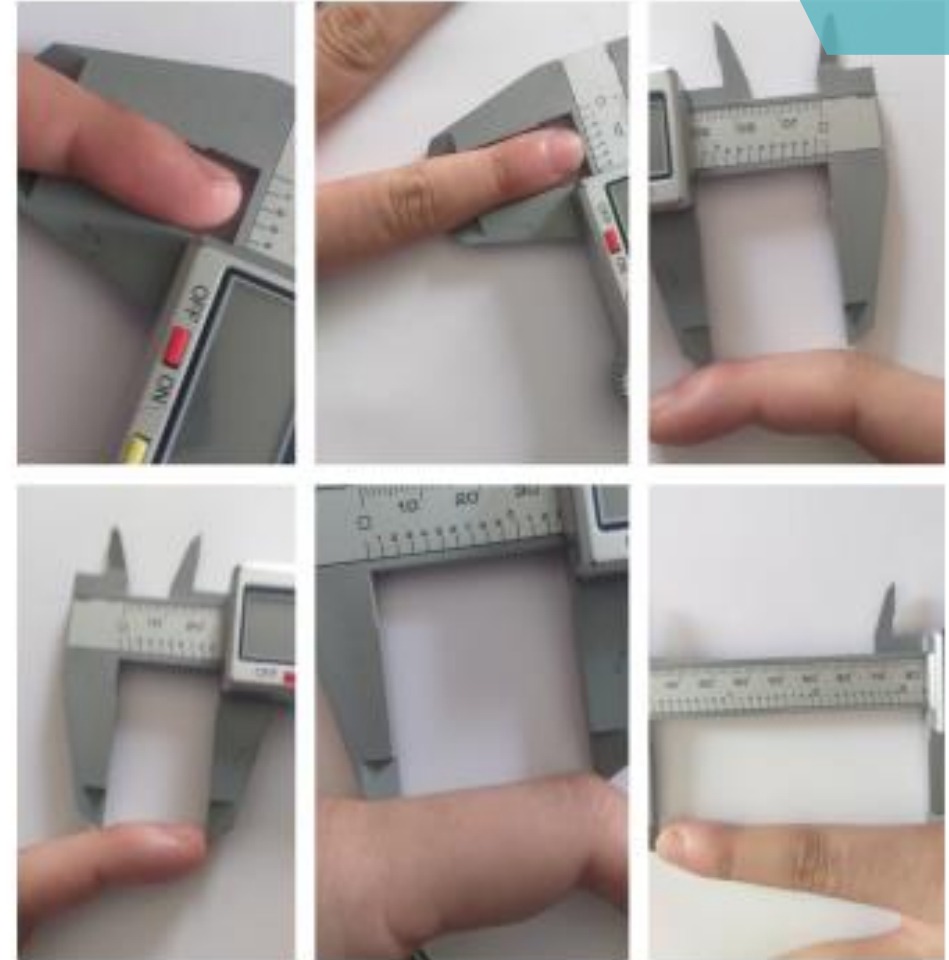


## DISEÑO DE PRÓTESIS DE DEDO ÍNDICE

Para nuestro proyecto decidimos hacer un dedo índice con 3 grados de libertad, esto debido a que fue lo solicitado para el proyecto y el dedo índice se asemeja mucho a los demás exceptuando el dedo pulgar, además no solamente nos decidimos por este diseño presentado solo por su semejanza con el dedo humano.

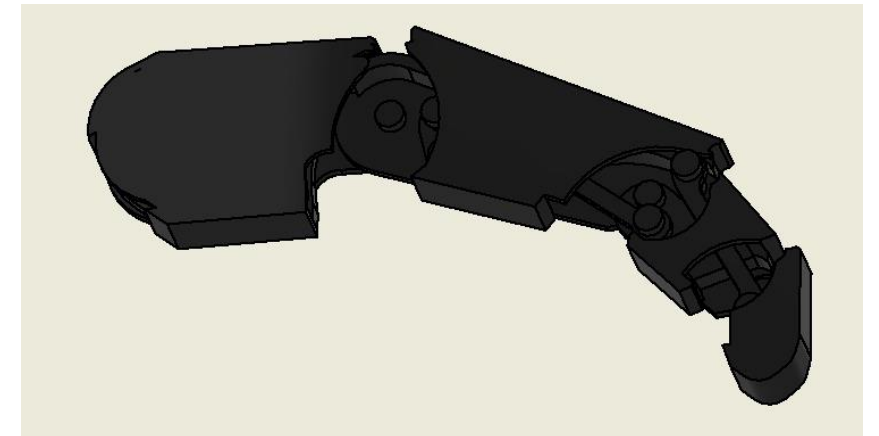
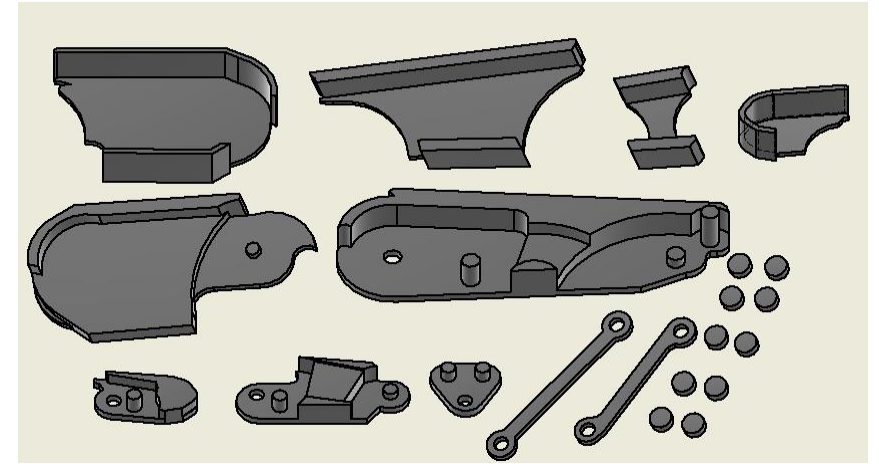


*-Boceto a mano alzada de prótesis de dedo índice.*



*-Mediciones efectuadas para el diseño de la prótesis.*

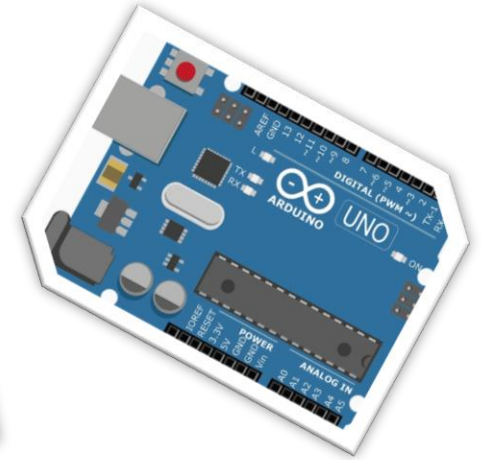
Una vez teniendo una base acerca de lo que se quiere diseñar nos enfocamos a plasmar y editar el diseño propuesto en Inventor, que a continuación especificaremos más a detalle que fue y como editamos dicho diseño, además cabe recalcar que los materiales que usamos fueron elegidos en acuerdo como equipo, esto incluido también el diseño y grados de libertad, así como su manufacturación, tomando también como base algunos conocimientos que recibimos en la materia de arquitectura de robots, optamos por configurar el dedo con un microcontrolador de esa manera aplicando la forma o modelo geométrico establecido dentro de nuestro proyecto teniendo una activación semiautomática y eficiente dentro de los materiales que podríamos conseguir.



*-Diseño 3D de nuestra prótesis de dedo índice.*

# MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LA PRÓTESIS DE DEDO ÍNDICE

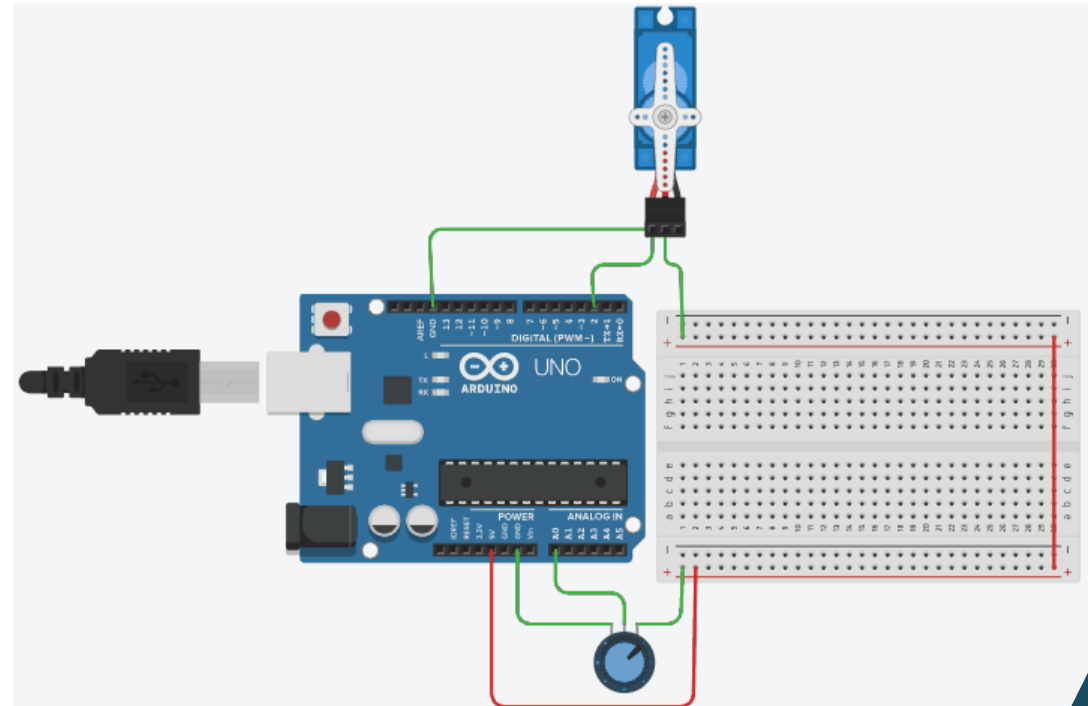
Materiales para la fabricación de la prótesis de dedo índice Para la fabricación de nuestra prótesis, una vez teniendo cada una de las piezas en su respectivo archivo STL. Se utilizara PLA para la fabricación de nuestras piezas de prótesis, debido a que actualmente el PLA tiene dos ventajas principales sobre el ABS: no emite gases nocivos (se pueden tener varias impresoras funcionando en un espacio cerrado y no hay problema) y hay un rango más amplio de colores (fluorescente, transparente, semitransparente. . .) igualmente se necesito de la electrónica como lo es el arduino uno, un potenciómetro, y una fuente de energía para pasar la codificación del arduino al servomotor y así ejecutar el movimiento del dedo.



## CÓDIGO IMPLEMENTADO PARA EL CONTROL DE NUESTRA PRÓTESIS DE DEDO ÍNDICE

Para nuestra codificación se utilizó una programación muy sencilla para el control de nuestro servomotor por medio de un potenciómetro, únicamente lo que realizamos fue incluir las librerías correspondientes, designamos los pines a utilizar de nuestro Arduino, y se realizó la codificación para el control del servomotor, por lo que en el código propuesto se mostrara a continuación:

```
#include <Servo.h>
Servo servo;
int potenciometro = 0;
int valor_potenciometro;
void setup() {
  servo.attach(2);
}
void loop() {
  valor_potenciometro = analogRead(potenciometro);
  valor_potenciometro = map(valor_potenciometro,
    0, 1023, 0, 180);
  servo.write(valor_potenciometro);
  delay(10);
}
```



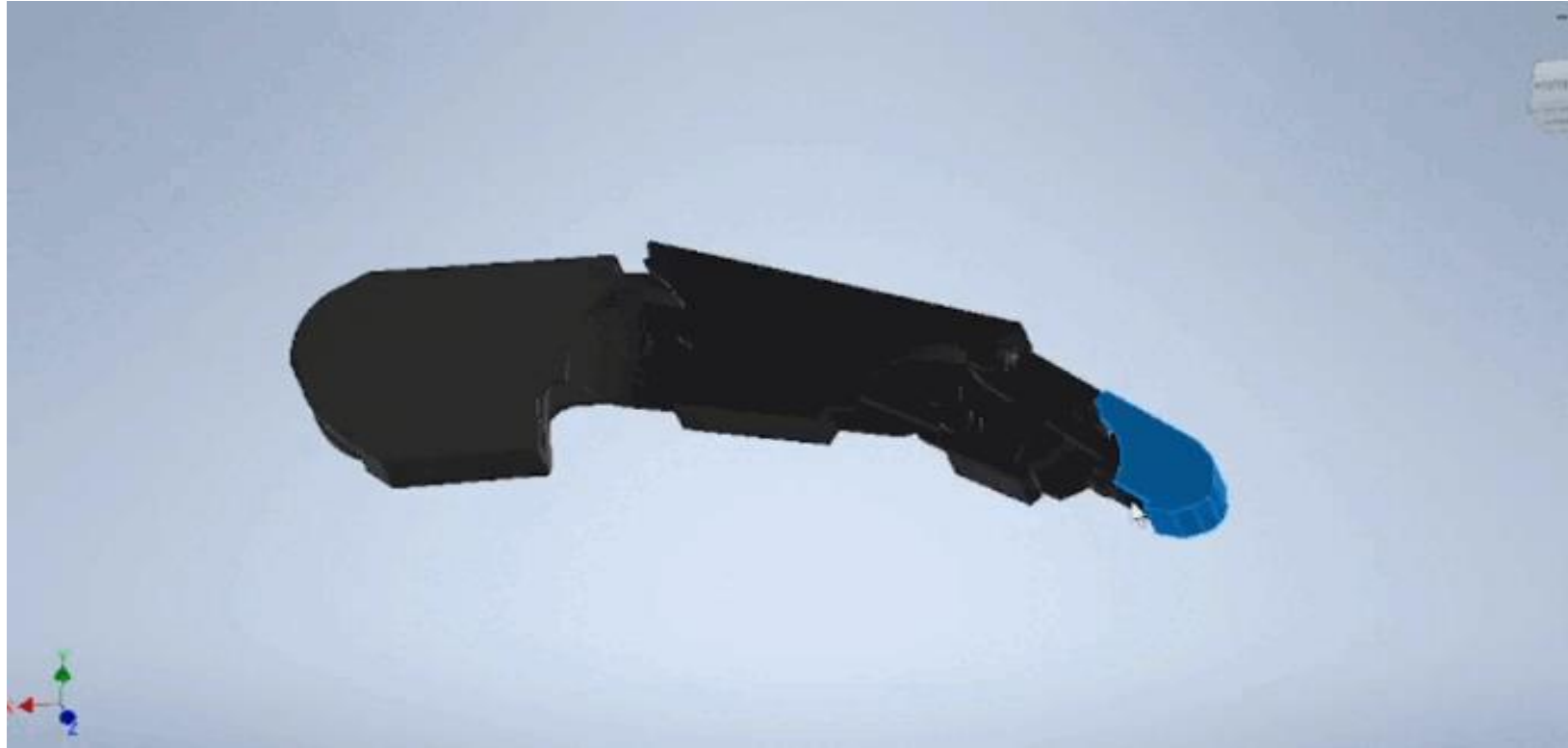
*-Simulación en tinkercad del circuito.*

# SIMULACIONES



*-Simulación de ensamblaje de prótesis.*

# SIMULACIONES



*-Simulación del movimiento de la prótesis.*

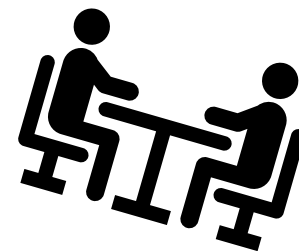
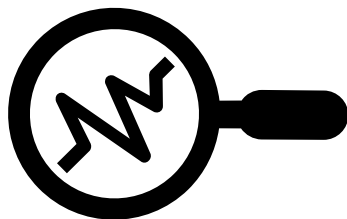


# IMPRESIÓN Y ARMADO FÍSICO DE LA PRÓTESIS DE DEDO ÍNDICE

Una vez teniendo en cuenta todos los componentes electrónicos a utilizar, y las piezas en 3D, lo que se prosiguió a realizar fue primeramente la impresión de dichas piezas para posteriormente ensamblarlas, esto con ayuda de distintas herramientas, que para este caso fue necesario una lija debido a que algunas de las piezas al ser de unas dimensiones muy pequeñas, resultaba en deformaciones o inclusive que algunas piezas se fracturasen al momento de ser impresas, por lo que fue necesario cerciorarnos que el diseño fuese hecho de tal manera que no ocurriese ningún fallo al momento de la impresión. Una vez lijadas las piezas en las zonas con deformaciones, se prosiguió a ensamblar cada una de las piezas. Se utilizó un pegamento instantáneo para que las piezas permanecieran firmes, y como se menciona anteriormente al ser muy diminutas las piezas, fue necesario apoyarse de unas mini pinzas para poder manipular cada una de las piezas.



# CAP4: RESULTADOS Y DISCUSION



# FUNCIONAMIENTO DE LA PROTESIS DE DEDO

Una vez teniendo todos los componentes ensamblados y posicionados, lo que se realizó fue guardar todo esto en una caja para su fácil transporte, y no tener todos los componentes por sin ningún orden. Se probó el funcionamiento del dedo en base a los grados de libertad que se buscaban lograr, dado que las piezas del diseño implementado en 3D, son de unas dimensiones muy pequeñas, algunas de las piezas tuvieron deformidades al momento de la impresión que se lijaron debido a que comenzaban a chocar, ocasionando que una vez ya toda ensamblada la pieza si cumpla con los grados de libertad, más sin embargo con un rango de movimiento un poco limitado al esperado. Esto puede ser mejorado para futuras actualizaciones de la prótesis, al ser este nuestro primer acercamiento hacia este campo de la ingeniería.

De igual manera se obtuvo un costo únicamente de 40USD, haciéndolo un poco mas accesible en comparación que las prótesis de dedo en el mercado.



*-Prótesis de dedo índice en físico.*

# DEMOSTRACION DE MOVIMIENTO



*-Demostración del movimiento de la prótesis en físico.*

The slide features decorative hexagonal patterns in the corners. The top-left corner has a cluster of hexagons in light blue, dark blue, and black. The top-right corner has a cluster of hexagons in dark blue, black, and teal. The bottom-left corner has a cluster of hexagons in grey, blue, and dark blue. The bottom-right corner has a cluster of hexagons in black, light blue, and dark blue.

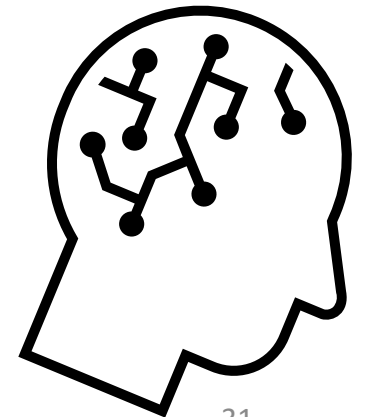
# CAP5: CONCLUSION

## TRABAJO A FUTURO

Con los conocimientos adquiridos en el transcurso del desarrollo de nuestra prótesis de dedo se espera seguir mejorando el diseño mecánico para hacerlo mas eficiente y aumentar los grados de libertad para que la prótesis permita realizar un mayor numero de movimientos y así poder diseñar y fabricar una prótesis que se asemeje mas a un dedo real, pero al realizar mejoras se encarecerá el precio debido a la complejidad de los mecanismos y el aumento en el numero de motores para poder realizar todos los movimientos esperados y por tal motivo, se debe realizar una exhaustiva investigación y seguir trabajando para conseguir mejorando la prótesis a su vez de que evitamos que el precio suba demasiado lo que será una tarea difícil.



Pero si queremos seguir mejorándola y seguir con la investigación tendríamos que conseguir inversores para obtener el capital suficiente para continuar con el desarrollo y obtener el equipo necesario para fabricar los materiales necesarios para la elaboración de la prótesis, aunque probablemente nos toque desarrollar nuevas técnicas de fabricación y/o utilizar otras tecnologías ya existentes para lograr diseñar y fabricar una prótesis bastante completa, de un precio relativamente económico y que sea considerada como la mejor opción costo beneficio entre todas las prótesis de dedo existentes, además de que se podrían fabricar para que puedan ser utilizadas en la fabricación de robots humanoides.



# REFERENCIAS

Colaboradores de Wikipedia. Dedo índice. <https://es.wikipedia.org/wiki/DedoC3ADndice>, octubre 2021.

M. Laguna. Falanges de la mano. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/falangesde-la-mano>, marzo 2022.

Neuroal. Aprendiendo la importancia de la mano. <https://neuroal.com/aprendiendo-la-importancia-de-lamano/>, diciembre 2019.

Antonio Viladot Voegeli. Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Springer Science Business Media, 2000.

Estrada Bonilla, Y. C. Biomecánica: De la física mecánica al análisis de gestos deportivos.

Balthazard, P., Currat, D., Degache, F. (2015). Fundamentos de biomecánica. EMC-Kinesiterapia-Medicina Física, 36(4), 1-8.

Goffreri, C. L. (2015, noviembre 28). Los avances más notables en la tecnología de prótesis. BioBioChile. <https://www.biobiochile.cl/noticias/2015/11/28/los-avancesmas-notables-en-la-tecnologia-de-protesis.shtml>