
Diseño e implementación de una prótesis electromecánica de dedo índice

M. Guerrero¹, E. Rangel², E. Carrizales³, C. Quiñones⁴ and F. Herrera⁵

¹ *Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Nuevo León, México*

Reception date of the manuscript: 15/11/2022

Acceptance date of the manuscript:

Publication date: 14/11/2022

Abstract— In this document, what is proposed to be done is an index finger prosthesis, this through knowledge of electronics, software design and programming. What is expected is to be able to fulfill what is expected, that is, that our prosthesis works correctly. First, the SolidWorks Software will be used, this to implement the model of our prosthesis, once this is done we will obtain the real measurements and then send our model to print using a 3D printer. The proposed hypothesis (design of our prosthesis) will be verified through the behavior of the operation, this with the various tests that will be carried out on our prosthesis. The expected contribution is to design a prosthesis in such a way that it is efficient and that it has components or materials that are not ostentatious or difficult to handle.

Keywords— Prosthesis, Finger, Modeling, Tests.

I. 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. El problema a resolver en nuestro proyecto es la elaboración de una prótesis de dedo funcional, ya sea mecánica, electromecánica, de cualquier tipo pero que sea funcional. Esto con el objetivo de cumplir las expectativas de la clase, y así poner a prueba los conceptos aprendidos en ésta, además de completar estos conceptos con los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera universitaria. Nosotros creemos que el tema es de suma importancia (Diseño de Prótesis), debido a 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. 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.

II. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El problema a resolver en nuestro proyecto es la elaboración de una prótesis de dedo funcional, ya sea mecánica, electromecánica, o de cualquier tipo, pero tomando en cuenta que ésta debe cumplir con el requisito de que sea funcional, esto para comprobar la funcionalidad por parte del docente. 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. La aportación que se espera es 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. Además de como se mencionó con anterioridad, se busca además de cumplir con el proyecto propuesto por el docente, ayudar de manera directa o indirecta a la comunidad que puede necesitar una prótesis de dedo.

III. 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.

IV. OBJETIVOS

a. *Objetivo General*

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, de igual manera se hara usos de conocimientos en electrónica para toda la parte que generara el movimiento de nuestra prótesis, y por ultimo un lenguaje de programación en el cual se darán las indicaciones del comportamiento de la prótesis.

Se planea que este proyecto será llevado a cabo dentro del tiempo establecido dentro del semestre, con la finalidad de que como se menciono anteriormente, logre ser lo mas practico y funcional posible.

b. *Objetivos Específicos*

- Investigar acerca de la estructura de un dedo índice
- Recopilar y documentar información de las prótesis de dedo índice
- Tomar medidas para una aproximación de diseño de dedo índice
- Proponer una propuesta de diseño de dedo índice
- Diseñar el mecanismo del dedo índice
- Corrección de detalles del diseño
- Implementar la prótesis en una simulación
- Diseñar el circuito electrónico para el movimiento del dedo índice
- Programar el comportamiento del dedo índice
- Implementar la prótesis de forma física
- Evaluar la funcionabilidad de nuestra prótesis
- Presentar el proyecto

V. 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. De esta man-

era, se han acuñado muchos términos para definir esta área como biocinemática, biodinámica, bioestática, biomateriales o biofluidos. Debido a la proliferación de estas denominaciones y a la imprecisión establecida por las pobres fronteras temáticas entre los anteriores conceptos, es una práctica frecuente utilizarlos de forma imprecisa y generalizada. Sin embargo, el término de biomecánica empleado en este libro tendrá en cuenta el análisis de movimiento corporal desde una tendencia biofísica y mecánica, a partir de los conceptos ya antes explicados. Así mismo, todos los conceptos que se han mencionado hasta el momento se enfocarán y se relacionarán, dentro del análisis de movimiento corporal, al análisis concreto de gestos deportivos de movimiento (López, 2014; Muñoz, 2007).

El estudio del movimiento corporal se puede abarcar desde muchos puntos de vista: psicológico, filosófico, sociológico, biológico, físico y anatómico. Tradicionalmente el estudio concerniente a las bases biofísicas y biológicas del movimiento corporal humano se conoce como kinesiología, área de estudio que es ampliamente abordada por profesionales del área de la salud y de las ciencias del deporte. Sin embargo, esta área de conocimiento no solo se ciñe a estos profesionales, sino que también se relaciona con otros tantos desde las áreas de estudio en las que se basa la biomecánica y la kinesiología, como los profesionales en ingenierías y en medicina. El conocimiento obtenido del estudio de esta área de conocimiento puede ser de un gran aporte para los profesionales en ciencias del deporte, pues orienta la optimización del rendimiento humano en la realización de gestos deportivos y también ayuda a prevenir lesiones relacionadas con una práctica deportiva mecánicamente no correcta (Izquierdo, 2008; Muñoz, 2007).

Evolución de la Biomecánica

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. Gran parte de lo que ha sido el desarrollo y la evolución de este término ha estado encadenado al desarrollo y la evolución científica de las áreas de conocimiento que le dan soporte. Las etapas de desarrollo histórico de la biomecánica serán divididas en forma arbitraria por periodos, en los cuales se han denotado grandes cambios o evoluciones de esta. Los periodos para describir son los siguientes:

- Antigüedad (600–250 a.C.)
- Edad Media (200–1450)
- Renacimiento (1450–1600)
- Revolución Científica (1600–1730)
- Ilustración (1730–1800)
- Siglo de la mancha (1800–1900)
- Siglo xx (1900) (Izquierdo, 2008; Halton, 1993).

Importancia de la Biomecánica en la Sociedad

A lo largo de los siglos, los conceptos de biomecánica, entendida como la ciencia del estudio de las fuerzas y de los efectos de su aplicación sobre el cuerpo humano, han

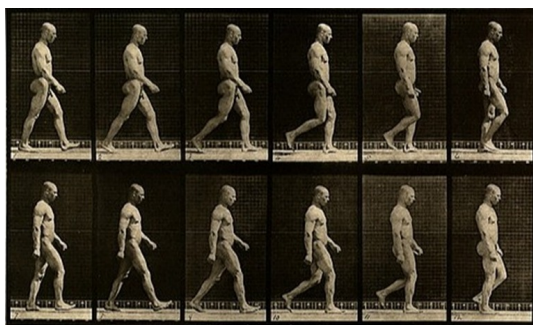


Figure 1: Evolución de la Biomecánica

evolucionado mucho. En gran parte, esta evolución se ha producido gracias a la mejora de nuestros conocimientos sobre el cuerpo humano, en relación con el cual se ha establecido un sistema de referencia anatómico donde se dibujan planos y ejes: ello ha hecho posible la descripción estandarizada de los movimientos de las articulaciones del cuerpo. A continuación, el conocimiento de las propiedades mecánicas de los materiales, transferibles a los seres vivos, ha permitido entender las adaptaciones de diferentes tejidos humanos. En particular, se someten a tensiones a través de las fuerzas internas o externas a las que se someten. Estas fuerzas comportan, según su dirección, variaciones de longitud o de angulación: la deformación. La cantidad de deformación es proporcional, entre otras cosas, a la cantidad de fuerza y a las propiedades de los materiales o los tejidos. Puede ser de tipo elástico, que corresponde a una zona donde el tejido recupera su longitud inicial cuando se elimina la fuerza, o de tipo de plástico, que es el caso de la zona donde el tejido se somete a cambios irreversibles.

Prótesis en la Actualidad

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 o es su dedo real. Como, por ejemplo, de la marca RealLifeSkin.



Figure 2: Prótesis marca RealLifeSkin

Estas prótesis de dedo y de mano están diseñadas a la medida de cada persona para asegurar un ajuste adecuado, precisión y máxima función protésica. Las prótesis de mano pasivas RealLifeSkin™ se fijan mediante succión y ajuste de forma, por lo general se colocan por la mañana y se retiran al final del día.

Podemos encontrar más prótesis de dedo índice de este tipo producidos por una empresa llamada Dianceht. Es una empresa fundada en el año 2005 y dedicada a la construcción individual y artesanal de prótesis estéticas y funcionales de alta calidad para casos de pérdida por amputación o falta de alguna parte del cuerpo como dedos, manos, brazos, pabellón auricular, pies, piernas, nariz.

Como ejemplo de sus productos podemos ver un ejemplo de su trabajo en la siguiente imagen:



Figure 3: Prótesis marca Dianceht

Según su página de internet <https://www.manosydedos.com/precios.html> 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.

Las prótesis son uno de esos inventos que engrandecen a los humanos como sociedad. Son dispositivos robóticos creados para mejorar la calidad de vida de las personas con amputaciones. De hecho, la prótesis de mano es el dispositivo para amputados con mayor demanda y de mayor complejidad. En la actualidad, desarrolladores e investigadores se enfocan en replicar a la perfección el sentido del tacto, lo que se conoce como la revolución de las prótesis. Para conseguir este objetivo se tienen que superar grandes desafíos como el tipo de material a usar, el tratamiento de las señales y la forma óptima de procesar estas señales.

En cuanto a la asequibilidad, la impresión 3D es una potente herramienta para la creación de prótesis de bajo costo y de rápida creación. De hecho, en estos últimos años el modelo de impresión de prótesis 3D en casa ha ido creciendo. Solo se necesita de una impresora 3D y unos planos para obtener una prótesis de características básicas.



Figure 4: Prótesis con Impresión 3D

Sin lugar a duda, el precio es un factor que separa a una persona amputada de las manos biónicas. 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. Una prótesis como la de BrainCo cuesta 10,000 USD, un precio bajo gracias a la impresión 3D. Eventualmente, el precio de las prótesis de mano se espera que decrezca y que la funcionalidad aumente. No obstante, esto depende del rumbo que tomen las investigaciones y la aceptación de los pacientes. Hace un tiempo se creaban prótesis (y aun se siguen creando) con apariencia humana, prácticamente imposibles de diferenciar a primer vistazo. Hoy en día, las prótesis de colores, personalizables, con motivos tienen una buena acogida, principalmente en niños y adolescentes.

VI. DESARROLLO

Estado del Arte

En el día a día las manos hacen muchas cosas por nosotros, son la herramienta imprescindible que utilizamos para tocar, agarrar, sentir, reconocer, sujetar, manipular, acariciar, etc. Tal es su complejidad que pueden realizar actividades sumamente delicadas y precisas como escribir, pintar o enhebrar una aguja, pero también nos permiten realizar labores pesadas y que requieren aplicar más fuerza que destreza. Usamos además las manos para sentir si algo está frío o caliente, áspero o suave; y para toda esa variedad de funciones, nuestras manos tienen la versatilidad y capacidad de adaptación, convirtiéndose en una parte vital del qué vivimos, cómo lo vivimos y cómo nos expresamos. El dedo índice como se puede ver representado en la Figura 1 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. Cuando tenemos la mano abierta normalmente, hacemos que el eje del dedo de en medio sea el eje por el cual pasan los ejes de los demás dedos, haciendo esto que se tome pues de referencia, así igualmente cuando tenemos el puño cerrado, los dedos separados con la mano abierta,

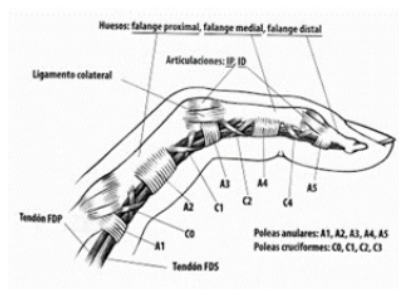


Figure 5: Estructura del dedo Índice

y la mano abierta con los dedos juntos, en todas estas posiciones se forman ejes que convergen en un punto,

haciendo que se pueda tomar de manera geométrica estos puntos de referencia para poder reinterpretarlos dentro de futuros estudios de prótesis. Por lo que a continuación se explicará un poco acerca de la composición de los dedos para entender su funcionamiento:

Articulaciones metacarpofalángicas

Bien, estas articulaciones son de tipo condileo y permiten muchos tipos de movimientos entre ellos los de flexo extensión, pero cuando se realizan estas articulaciones provocando movimientos, estas se estabilizan y así garantizan sus movimientos, esto es gracias a que usan cierta laxitud de la cápsula articular. 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, y otro dato importante es que el dedo índice es el dedo que posee una mayor amplitud de movimientos de abducción y aducción que pueden hasta llegar a los 30°.

Articulaciones interfalángicas

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

Tendones de los músculos flexores de los dedos El origen de estos músculos es en la epitroclea humeral y son dirigidos hacia la cara palmar, estos se dividen en los flexores, mientras que el primer flexor o flexor común, es el flexor de la segunda falange y por obvias razones no hace ninguna intervención en la tercera falange, sobre la primera falange hay una intervención, pero solo cuando la segunda falange se encuentra completamente flexionada.

Tendones de los músculos extensores de los dedos Estos tendones nacen en el epicondilo humeral, estos son los músculos que viajan al nivel de la muñeca y por debajo del ligamento anular, mientras que el primer extensor es solo extensor de la primera falange, de todas maneras teniendo su acción sobre la segunda falange, y aún y que este extensor del índice y de la muñeca están unidos, permiten la extensión aislada del índice y la del meñique teniendo los otros dedos en tensión. Como se pueden visualizar en la Figura 2:

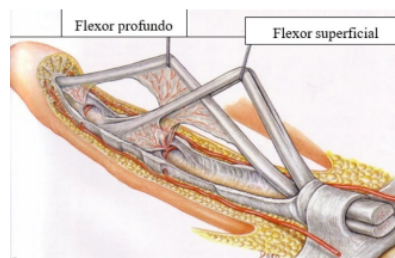


Figure 6: Tendones en los dedos

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). Las falanges están unidas entre sí por las articulaciones interfalángicas y vascularizadas a través de las ramas nutricias de las falanges, las cuales se originan en las arterias digitales palmares. 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.

Definición de las Prótesis Articulares

La ciencia ha dado grandes saltos creando prótesis más cómodas y funcionales. La tendencia es a permitir mayor movilidad y utilizar materiales livianos para mejorar la calidad de vida de quienes han perdido alguna extremidad o han nacido sin ella. Pero, así como los desarrollos se perfeccionan, también aumentan los precios, llegando a alcanzar sumas prohibitivas para muchos usuarios. Hoy en día las impresoras 3D han abierto un mundo de posibilidades, reduciendo costos de fabricación y avanzando hacia una inclusión más democrática. Cuando una persona, que nació sin una extremidad o la perdió en un accidente, recibe una prótesis, mejora su calidad de vida, pero al mismo tiempo tiene un largo camino por delante. Dentro de los obstáculos, a los que se deberá enfrentar, están los efectos secundarios que conlleva el uso de aquel artefacto: que raspa, que aprieta y daña la parte del cuerpo a la que se adhiere; y también, posiblemente, desarrollará nuevas enfermedades como artritis de cadera y dolor de espalda, en el caso de las personas con prótesis de pie o pierna. Gracias a la robótica y la biónica se ha logrado una disminución de estas molestias secundarias, dando un gran paso desde lo que existía en el pasado a lo que hoy está disponible en el mercado. En los años '50, por ejemplo, el material que se utilizaba era la madera: barato pero duro y rígido. 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. Estas piezas artificiales pueden estar hechas de metal o plástico especial o tipos específicos de implantes recubiertos de carbono. Estos componentes artificiales implantados permiten que las articulaciones se muevan nuevamente con poco o ningún dolor. Las articulaciones que se pueden reemplazar por una prótesis con las articulaciones centrales de los dedos (llamadas Interfalángicas proximales), las articulaciones de los nudillos (llamadas Metacarpofalángicas) y las articulaciones de la muñeca (Radiocarpiana y Radio-cubital distal). Ahora bien, las prótesis de dedo se hacen a la medida y de forma artesanal ya sean electrónicas, así para lograr imitar la parte del cuerpo perdida. Se basa para la reconstrucción protésica en los dedos de la mano opuesta y estas prótesis tendrán toda la información de la persona como son; huellas digitales, color de uña, lunares y venas, aquí hablamos de prótesis de dedo mas elaboradas ya que no solo son electrónicamente funcionales si no también parecidas a las manos reales.

Las prótesis para dedo se pueden sujetar de diversas formas y esto dependerá de cada caso en particular.

VII. DESARROLLO EXPERIMENTAL

a. Mediciones realizadas para la propuesta de diseño de nuestro dedo índice

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:

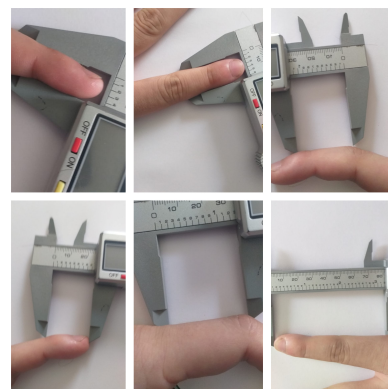


Figure 7: Mediciones de un dedo Índice

Se hicieron mediciones de la falange proximal, la falange medial, y la falange distal, de los cuales se obtuvieron distintas medidas, para así poder tener un primer boceto de dedo índice y posteriormente ir ajustando dichas medidas para el mecanismo y las carcasas.

b. 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, si no también porque era la manera más cómoda y eficiente para poder tener una prótesis de dedo electromecánica funcional, por lo que una vez ya teniendo las mediciones de un dedo índice, para el primer acercamiento del diseño de nuestra prótesis cumpliendo primeramente que contase con 3 grados de libertad, que tuviese medidas semejantes a las obtenidas con el vernier, que fuese electromecánica y funcional, se obtuvo este primer boceto del cual a partir de ahí se traslado dicho diseño a un software de diseño 3D en cual se nos es muy fácil el manipular las dimensiones de la prótesis teniendo de esta manera medidas según lo solicitado, o en medida de ser necesario, modificar dichas estructuras. Por lo que a continuación se mostrará el primer boceto realizado, para utilizarlo de referencia para nuestra prótesis de dedo índice junto con las dimensiones obtenidas, como se puede observar en la Figura 8:

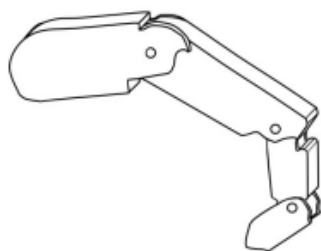


Figure 8: Boceto de prótesis de dedo índice

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. Debido a lo antes investigado la mano humana en si es una forma muy compleja de imitar o tratar de asemejar aun así, de manera matemática existen múltiples formas de hacerlo, pero en nuestro caso nos dedicaremos únicamente a tratar de asemejar o diseñar un dedo índice humano el cual funcione de manera electromecánica, teniendo y tomando en cuenta las características que debe de tener y el como desarrollarlo, primero nos dedicamos a hacer el diseño 3D en Inventor Professional, este diseño tuvimos que modificarlo tanto en medidas como en características, ya que el diseño original en 3D de un dedo humano contiene muchos relieves y formas muy exactas y precisas propias de un dedo como la huella del dedo, los tendones, las articulaciones, etc., por lo que modificando el concepto del dedo humano conservamos la geometría básica del mismo y de esa manera obtuvimos un diseño acorde a lo que buscábamos y también fácil de imprimir o de fabricar con materiales que teníamos a nuestra disposición, por lo que en las siguientes imágenes se mostraran los avances realizados en Inventor, cabe resaltar que este diseño esta sujeto a cambios dependiendo de las necesidades u optimizaciones que se le quieran aplicar. Como se muestra en las imágenes anteriores, se realizó el diseño propuesto para nuestra falange proximal, la cual será parte de nuestro proyecto para la unidad de aprendizaje de Biomecánica. En las siguientes imágenes se hace referencia al diseño de la falange medial que se ha diseñado para incluir en nuestra prótesis de dedo.

El modelado siguiente es el diseño creado para la falange distal de nuestra prótesis de dedo índice.

El diseño siguiente, se trata básicamente de una junta, la cual nos será de ayuda para realizar los mecanismos internos que provocarán el movimiento del dedo diseñado. Y con esto culmina la parte exterior de nuestra prótesis.

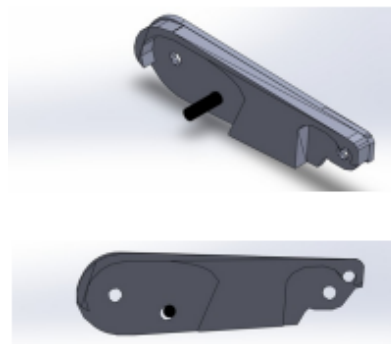


Figure 9: Falange Proximal

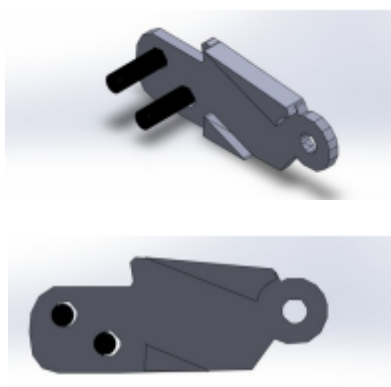


Figure 10: Falange Medial

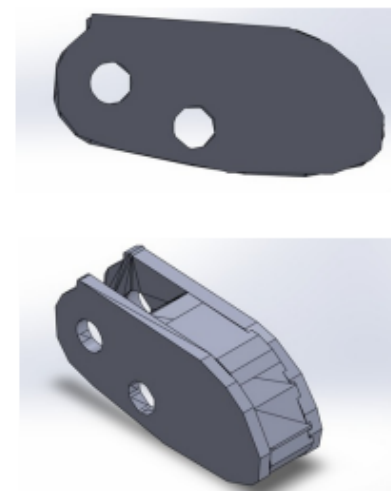


Figure 11: Falange Distal

c. Ensamble del Diseño de nuestra Prótesis de dedo índice

Una vez teniendo todas la piezas elaboradas en Inventor, lo que se proseguirá a realizar sera el hacer un ensamblaje dentro de este mismo software, para de esta manera cerciorarnos que las medidas propuestas son las adecuadas para el desarrollo de nuestra prótesis y en medida de lo necesarios, realizar los cambios que consideremos pertinentes, ya sea para mejorar la estética de nuestra prótesis de dedo índice o para mejorar la funcionalidad con la que se moverá el dedo. Por lo que a continuación como se puede observar en las sigu-

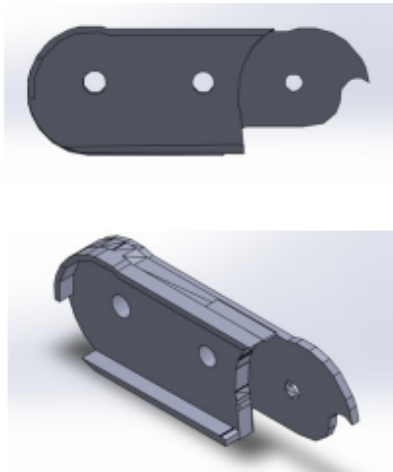


Figure 12: Juntura

ientes imágenes, se obtiene el funcionamiento de cada una de las piezas que componen nuestra prótesis, desde las piezas fundamentales para la representaciones de las secciones del dedo, las piezas del mecanismo, y las carcasas para cubrir dicho mecanismo.

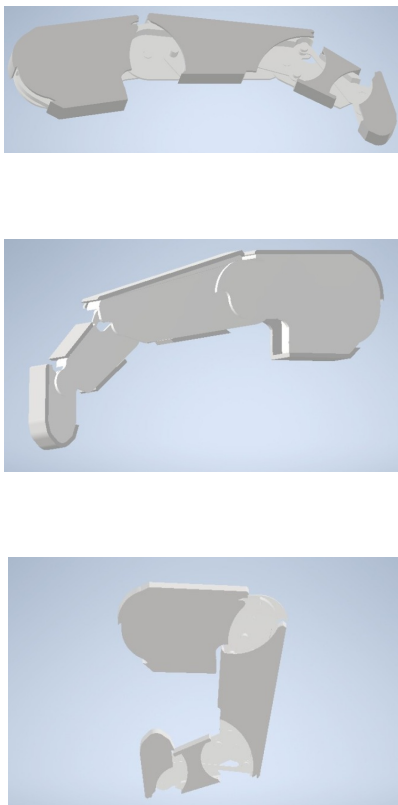


Figure 13: Ensamble de Prótesis de dedo Índice

Al probar el diseño de la prótesis en inventor, con los colisionadores activados, nos percatamos que algunas de las piezas comenzaban a chocar, por lo que en la siguiente sección se presentaran las distintas modificaciones necesarias para el diseño de nuestra prótesis de dedo índice, y poder optimizarla.

d. Correcciones del diseño de nuestra prótesis de dedo índice

Al realizar el ensamblaje como se menciona en la anterior sección del presente documento, nos percatamos que varias de las piezas comenzaban a colisionar unas con otras, ocasionando que el movimiento de nuestra prótesis fuera muy limitado o casi nulo, esto debiéndose a que la gran mayoría de las piezas utilizadas eran de dimensiones muy pequeñas para tratar se asemejar la prótesis lo mas parecido a la forma de un dedo índice, por lo que fue necesario el realizar un rediseño de cada una de las piezas utilizadas, para poder de esta manera cerciorarnos que se logre con el objetivo fundamental de nuestro proyecto. Por lo que a continuación se mostraran todas las piezas, con el nuevo rediseño para su impresión en 3D.

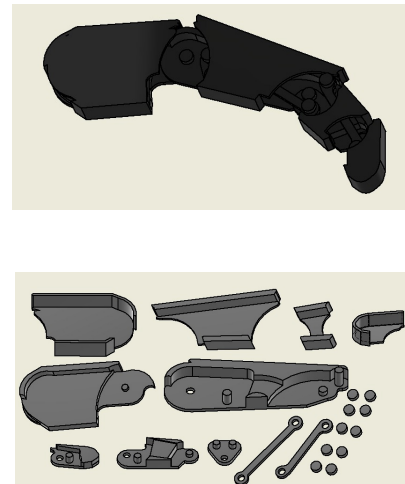


Figure 14: Modificaciones al Ensamble de Prótesis de dedo Índice

e. Selección de materiales y equipo

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, lo que se proseguirá a hacer sera el seleccionar cada uno de los materiales necesarios para la fabricación no solo de la prótesis como tal, sino tanto de sus mecanismos, ensamblaje, electrónica entre otras cosas. 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...). Se puede imprimir con todo tipo de impresoras (no necesita base de impresión caliente) y se puede imprimir sin base. Como actuador para efectuar los movimientos de de nuestra prótesis, se hará uso de un servomotor el cual es un actuador rotativo o motor que permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad, capacidades que un motor normal no tiene. En definitiva, utiliza un motor normal y lo combina con un sensor para la retroalimentación de posición. Posteriormente para el control de nuestros actuadores se hará uso de un Ar-

duino UNO, este se puede utilizar para desarrollar elementos autónomos, o bien conectarse a otros dispositivos o interactuar con otros programas, para interactuar tanto con el hardware como con el software, de igual manera se escogió este controlador debido a su accesibilidad y facilidad para utilizar. Y por ultimo para controlar los movimientos específicos de nuestro motor, y de igual manera con ayuda del Arduino, se utilizara un potenciómetro el cual es un componente electrónico similar a los resistores pero cuyo valor de resistencia en vez de ser fijo es variable, permitiendo controlar la intensidad de corriente a lo largo de un circuito conectándolo en paralelo ó la caída de tensión al conectarlo en serie, este sera utilizado para controlar los giros exactos de nuestro servomotor.



Figure 15: Ejemplo de filamento PLA para impresora 3D

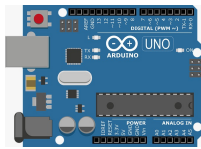


Figure 16: Arduino UNO



Figure 17: Servomotor con torque 11kgf/cm



Figure 18: Potenciometro 100k

Equipo u software necesarios para la fabricación de nuestra prótesis de dedo índice

No solo se necesitan los materiales o componentes necesarios para la elaboración de nuestra prótesis, para este

fueron necesarios distintos equipos o software para su elaboración. Primeramente como se menciono anteriormente en distintas secciones del presente documento, se hace uso de Inventor Professional para el diseño y ensamblaje de nuestra prótesis de dedo índice, para la simulación de nuestros actuadores y nuestro controlador Arduino UNO se utilizo tinkercad para la simulación de el circuito. Por otra parte se utilizo el software de Arduino para la programación del control de nuestra prótesis y de que de esta manera nuestro servomotor funcione en base al movimiento de nuestro potenciómetro. De equipo físico necesario para la elaboración de nuestra prótesis, únicamente fue necesario un cautín para la soldadura de alguno de los componentes utilizados en el circuito electrónico.

f. Código implementado para el control de nuestra prótesis de dedo índice

Para nuestra codificación se utilizo 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 realizo 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);
}
```

Una vez teniendo el código escrito en la aplicación, lo único necesario es el compilarlo para cerciorarnos que este correcto, conectar nuestro Arduino, y subir el programa a nuestro controlador. Para corroborar que el código propuesto funciona correctamente sin la necesidad de realizarlo de forma física, se hizo una pequeña simulación en tinkercad, para comprobar el funcionamiento del código en nuestro circuito, como se muestra a continuación:

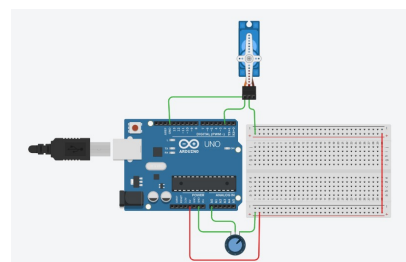


Figure 19: Simulación del circuito electrónico

g. 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 mencionó anteriormente al ser muy diminutas las piezas, fue necesario apoyarse de unas mini pinzas para poder manipular cada una de las piezas. A continuación se mostraran tanto las piezas impresas en 3D, el proceso de ensamblado junto con la prótesis totalmente ensamblada en 3D:



Figure 20: Piezas impresas en físico



Figure 21: Ensamblaje en físico de la prótesis de dedo índice

Una vez teniendo la prótesis ya ensamblada en físico, se prosiguió a la construcción de nuestro circuito electrónico para efectuar y controlar los movimientos de la prótesis, por lo que a continuación se mostrara una imagen del circuito ya ensamblado de forma física, el cual de igual manera fue puesto dentro de una caja, con la finalidad de esconder todos los mecanismos y circuitos en una caja, y de esta manera únicamente hacer visible el potenciómetro para el control de la prótesis.

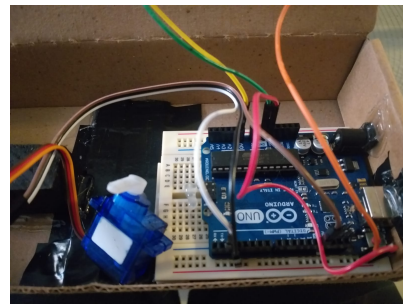


Figure 22: Construcción del circuito en físico

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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 una dimensiones muy pequeñas, algunas de las piezas tuvieron deformidades al momento de la impresión que se lijadas debido a que comenzaban a chocar, ocasionando que una vez ya toda ensamblada la pieza si cumpla con los grados de libertad, mas 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.



Figure 23: Prototipo de prótesis de dedo índice

IX. CONCLUSIÓN

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 a su vez somos conscientes de que al hacer esto, estaríamos poniendo en juego uno de nuestros objetivos más importantes que es el de mantener un costo asequible, 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 mo-

tivo, 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. La prótesis de dedo que desarrollamos es un mero prototipo, pero se podría implementar y a pesar de su sencillez y movilidad limitada, esta ya sería capaz de realizar los movimientos básicos lo cual sería de gran ayuda para las personas que les hace falta algún dedo de la mano, además de que su precio es muy bajo lo cual lo volvería en una opción muy atractiva. 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. Además, una vez adquirida la experiencia y ampliado nuestros conocimientos en la elaboración de prótesis de dedos, podríamos utilizar nuestra investigación para elaborar prótesis de otras partes del cuerpo, que sean muy avanzadas pero respetando nuestra ideología de fabricar prótesis que sean accesibles pero sin reducir la calidad.

La prótesis de dedo que desarrollamos es un mero prototipo, pero se podría implementar y a pesar de su sencillez y movilidad limitada, esta ya sería capaz de realizar los movimientos básicos lo cual sería de gran ayuda para las personas que les hace falta algún dedo de la mano, además de que su precio es muy bajo lo cual lo volvería en una opción muy atractiva. 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. Además, una vez adquirida la experiencia y ampliado nuestros conocimientos en la elaboración de prótesis de dedos, podríamos utilizar nuestra investigación para elaborar prótesis de otras partes del cuerpo, que sean muy avanzadas pero respetando nuestra ideología de fabricar prótesis que sean accesibles pero sin reducir la calidad.

X. REFERENCIAS

Colaboradores de Wikipedia. Dedo índice. https://es.wikipedia.org/wiki/Dedo_c3ADndice, octubre 2021.

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

Neuroal. Aprendiendo la importancia de la mano. <https://neuroal.com/aprendiendo-la-importancia-de-la-mano/>, 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-avances-mas-notables-en-la-tecnologia-de-protesis.shtml>