

Tarea 2 Prótesis de mano

Yair Obed Morales Ortiz 1992266
Oiram Colunga Bernal 1818785
Saul Moises Mendoza Cida 1942534
Omar Isaí Moreno Cruz 1849630
Victor Cristopher Santiago Martinez 1859524

30 de agosto de 2022

Resumen

Este artículo de investigación se basa en las prótesis de mano, analizaremos todo con respecto a las prótesis de mano. El diseño de prototipos de prótesis de mano ha evolucionado con el transcurso del tiempo, partiendo de modelos básicos que solo suplían la parte estética del miembro perdido, hasta la actualidad en la cual la funcionalidad es lo más imperante al momento de generar nuevas propuestas. Tras requerimientos cada vez más exigentes, el diseño de prótesis se ha potencializado con programas más dinámicos, capaces de procesar con mayor eficacia la información y generar una mejor respuesta en el control de movimiento y agarres.

1. Introducción

Desde la antigüedad el hombre se ha ocupado de la mano. Anaxagoras afirmaba que gracias a ella la humanidad se había convertido en la especie más inteligente de todos los seres vivos. Contrario a lo anterior, Aristóteles pensaba que por ser más inteligente el hombre poseía las manos. La palabra mano proviene del latín “manipulus, por tanto “el hombre es aquel que tiene manos para manipular”. Visto así, la frase de Aristóteles que define la mano como “el instrumento que antecede a todos los instrumentos productivos” cobra sentido, entiende a la mano más como un órgano de investigación que de locomoción. La investigación en el desarrollo de prótesis de mano data de hace aproximadamente unos cuatro mil años. Desde el modelo encontrado en una momia en Egipto, fechado en el 2000 A.C., pasando por los desarrollados durante la Edad del Hierro, hasta la primeras prótesis mioeléctricas construidas en Rusia en la década de 1960, la ingeniería ha tratado de suministrar una manera de reemplazar la mano amputada, proporcionando soluciones cada vez más cercanas al funcionamiento de una extremidad real. Los dispositivos actuales varían desde ganchos, prótesis mecánicas o simplemente prótesis cosméticas, donde un componente importante a la hora de decidir cual usar es el costo de la misma, incluso por encima de la funcionalidad. La mano humana se compone de 27 huesos divididos en tres grupos: el carpo, los metacarpianos y las falanges, se conecta a la muñeca a través de la palma y está dotada de veinte GDL (grados de libertad) accionados por cerca de cuarenta músculos, La estructura ósea de la mano se muestra en la figura.

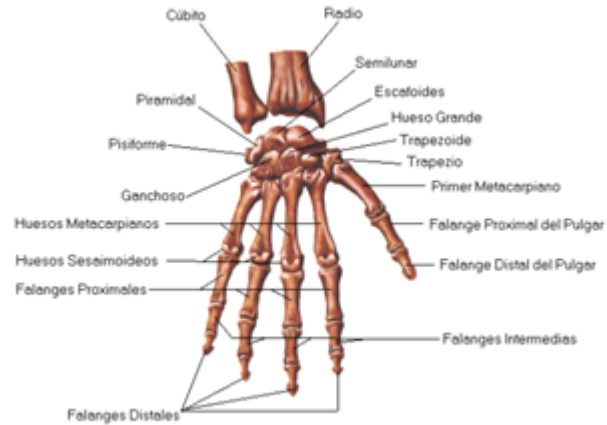


Figura 1: Estructura de la mano

2. Desarrollo

Antecedentes

La primera prótesis surgió en el año 600 a.C. la cual fue encontrada en Egipto, ésta se encontraba sujeta al antebrazo de una momia por medio de un cartucho. Con el transcurso del tiempo el hombre incrementó su conocimiento y manipulación sobre otros materiales lo cual le permitió mejorar significativamente los mismos, un ejemplo es aquella usada por el General Marcus (218-202 a. C.) del ejército Romano, como se muestra en la figura, la cual constituye la primera mano de hierro registrada en la historia [3].



Figura 2: Primera prótesis de hierro

En el siglo XIV surgió la mano de “alt-Ruppin”, como se muestra en la figura II contaba con dedos flexibles fijados a un mecanismo de trinquete, que permitían su movilidad y además contaba con una muñeca móvil.



Figura 3: Modelo con movimiento en los dedos

En el siglo XIX, Peter Beil realizó diseños que permitían controlar el cierre de los dedos por medio del movimiento del tronco y hombro, los cuales fueron mejorados por el Conde Beafort que acondiciona una palanca al mecanismo en el tórax mejorando la eficiencia y movilidad del mecanismo.

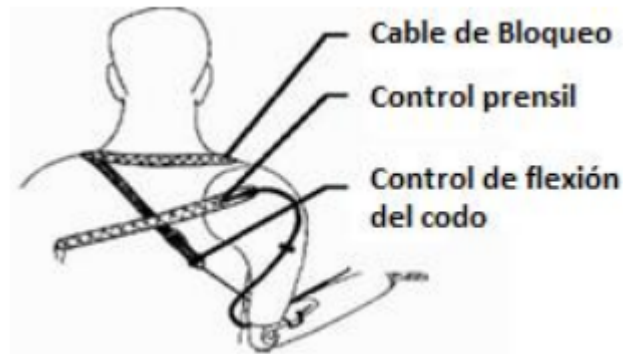


Figura 4: Diseño con mecanismo de palanca

Ya para 1960 nace el concepto de prótesis mioeléctrica basada en los mecanismos iniciales de la interconexión muscular del muñón terminal y la capacidad para conducirlos y ampliarlos 18 para generar un movimiento. Los países de mayores avances en éste campo son Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra y Japón, con desarrollos tecnológicos muy notables. Tipos de Prótesis

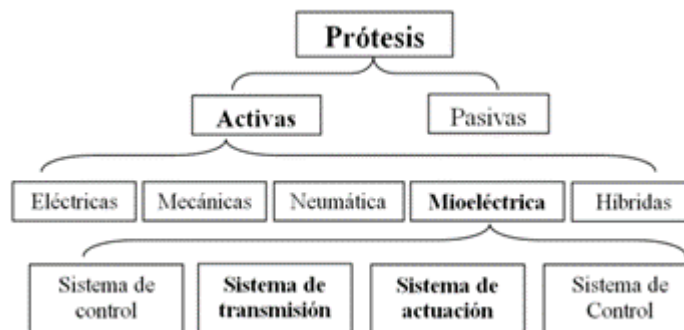


Figura 5: Tipos de prótesis

Actuadores más utilizados

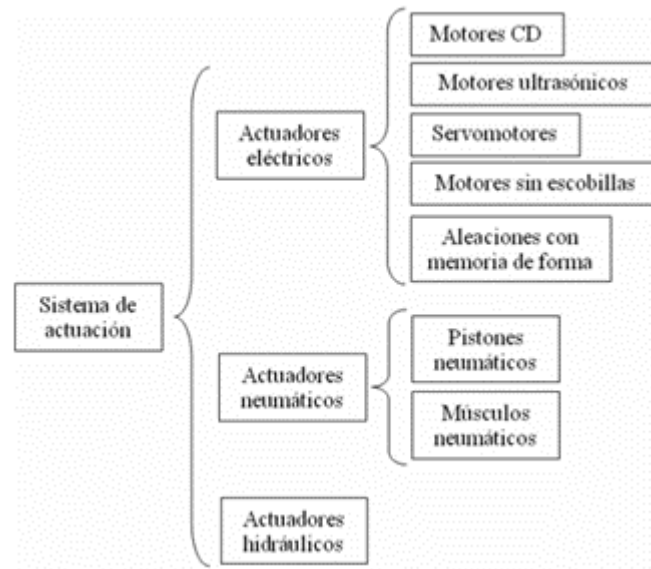


Figura 6: Tipos de actuadores

Prótesis mecánicas

Las prótesis de mano mecánicas son dispositivos que se usan con la función de cierre o apertura voluntarios controlados por medio de un arnés el cual se encuentra sujeto alrededor de los hombros, parte del pecho y parte también del brazo controlado por el usuario. Su funcionamiento se basa en la extensión de una liga por medio de un arnés para la acción de abrir o cerrar, esta última se ejecuta con la relajación de los músculos gracias al sistema de resortes.

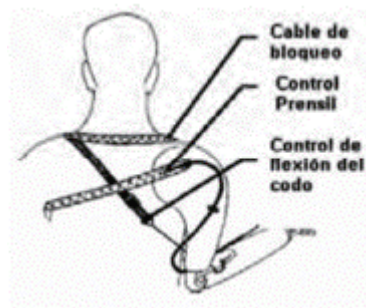


Figura 7: Prótesis mecánica

Prótesis eléctricas.

Este tipo de prótesis utilizan motores eléctricos en los dispositivos terminales, muñeca y codo, con una batería recargable y es posible controlarlas de varias formas, ya sea un servo control, un botón pulsador o un interruptor con arnés. En algunas ocasiones se combinan estas formas de control para aumentar la funcionalidad de la prótesis



Figura 8: Prótesis eléctrica

Prótesis de mano neumáticas

Estas prótesis eran accionadas por medio de ácido carbónico comprimido, que proporcionaba una gran cantidad de energía, aunque presentaban como inconveniente las complicaciones de sus aparatos accesorios y el riesgo en el uso del ácido carbónico. Su desarrollo fue interrumpido debido a las dificultades técnicas presentadas y el riesgo a la salud. Prótesis mioeléctricas.

Este tipo de prótesis son en realidad prótesis eléctricas controladas por medio de una interface mioeléctrica y son hoy en día el miembro protésico con el más alto grado de rehabilitación. Sintetizan el mejor aspecto estético con una gran fuerza y velocidad de prensión así como varias posibilidades de combinación y ampliación.



Figura 9: Prótesis neumática

El control mioeléctrico es tal vez el sistema de control más popular. Se basa en el concepto de que al contraerse un músculo del cuerpo se produce una pequeña señal eléctrica (EMG) que es creada por la interacción química en el cuerpo; esta señal es muy pequeña, entre 5 a 20 μV . La utilización de electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel permite registrar las señales EGM, las cuales una vez registradas se amplifican y procesan por parte de un controlador que conmuta con los motores eléctricos encendiéndolos y apagándolos, de manera que puedan realizarse los correspondientes movimientos de la muñeca, el codo y la mano.

Prótesis Híbridas

Una prótesis híbrida combina la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad en una sola prótesis, este concepto es ampliamente utilizado en las prótesis transhumerales (amputación por encima del codo) en estos casos por lo general el codo es accionado por el cuerpo y un dispositivo terminal de acción mioeléctrica (gancho o mano).



Figura 10: Prótesis Híbrida

Uso de materiales inteligentes en las prótesis.

MATERIALES INTELIGENTES	
Materiales con Memoria de forma	Aleaciones con memoria de forma: NiTi, CuAlTi, NiTiCu [17]
	Polímeros con memoria de forma: SMP, Veriflex. [18]
	Cerámicas con memoria de Forma
	Aleaciones con memoria de forma ferromagnéticas [17]
Materiales electro y magnetoactivos	Materiales electro y magnetoreológicos
	Materiales piezoeléctricos
	Materiales electro y magneto restrictivos
Materiales foto y cromo activos	Fotoactivos
	Electroluminiscentes
	Fluorescentes
	Fosforescentes
	Cromo activos
	Foto cromáticos
	Termo cromáticos
	Electro cromáticos

Figura 11: Tabla de materiales inteligentes

Los alambres musculares, que son alambres delgados de alta resistencia mecánica, elaborados con aleaciones de Níquel y Titanio llamadas “Nitinol” es una de las aleaciones con memoria utilizadas Materiales

Para la fabricación de prótesis y manos robóticas se emplean materiales con muy buena resistencia a la ruptura, que sean livianos y que presenten bajo coeficiente de fricción al rozar con otras superficies. Entre los materiales que cumplen con estas características se encuentran los metales (acero inoxidable, aleaciones de cromo-cobalto-molibdeno, aleaciones de titanio, platino), los polímeros plásticos de muy alta densidad (polietileno, elastómeros, polipropileno) y las reninas.

Aleaciones

Sustancia compuesta por dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos. El acero inoxidable es una clase de acero que resiste la corrosión, ya que contiene cromo que posee gran afinidad por el oxígeno y reaccionando con él, y formando una capa pasivadora, que evita la corrosión del hierro. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el molibdeno y el níquel.

Las aleaciones de titanio son extremadamente fuertes, altamente dúctiles y fácilmente forjadas y maquinadas. La principal limitación del titanio es su reactividad química con otros materiales a elevadas temperaturas, Esto hace

necesario el desarrollo de técnicas no convencionales de refinado, fusión y colado. Consecuentemente las aleaciones de titanio son muy costosas. El duraluminio es una aleación de aluminio con una base de magnesio. Es un metal liviano, muy resistente pero se corroe más que otras aleaciones.

Plásticos

Materiales poliméricos orgánicos (compuestos por moléculas orgánicas gigantes) que son plásticos, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nylon. Los materiales empleados en su fabricación son resinas en forma de bolitas o polvo, o en disolución.

Tipos de plástico

Polietileno (PE)

Polipropileno (PP)

Poliestireno (PS)

Resinas

Las resinas epoxi se usan tanto en la construcción de moldes como de piezas maestras, laminados, extrusiones y otras ayudas a la producción industrial. Los resultados son más baratos, resistentes y rápidos de producir que los hechos de madera, metal, etc. Los compuestos de fibras y epoxi, aunque son más caros que las resinas de poliéster o de éster de vinilo, producen piezas más resistentes.

Látex

Este es el material más común utilizado para la restauración estética. El látex es un elemento que se encuentra en estado líquido y se prepara con algunos aditivos como el alginato y algunas tinturas vegetales. Con este material se hacen generalmente los guantes de prótesis. Este material tiene la ventaja de ser bastante ligero y económico pero se puede marchar con mucha facilidad, algunos pacientes dicen que carece de realismo estético y sensorial comparado con otros materiales.

PVC rígido

El PVC rígido es un polímero termoplástico que se utiliza con mayor frecuencia en prótesis para amputaciones de desarticulación de la muñeca. Este material presenta buenos resultados en personas que tienen cortos muñones y que no pueden tolerar una prótesis estándar por el peso. La silicona ha existido por mucho tiempo, pero solo recientemente se ha utilizado para la restauración de miembro superior. El proceso de restauración con silicona es más complejo que con latex y PVC, pero a menudo ofrece mayor realismo y restauraciones duraderas. Este material no mancha como el látex pero es más pesado, se puede utilizar en cierto tipo de prótesis, es más costoso y tiene procesos de fabricación más largos.

Mecanismos

Para la transmisión de movimientos en las articulaciones de manos robóticas y prótesis de mano normalmente se utilizan mecanismos que permitan flexionar o tensionar las falanges en los dedos. Considerando que un mecanismo es un dispositivo que transforma un movimiento y una fuerza de entrada en otra de salida. Entre estos mecanismos están la transmisión por barras, motores instalados en cada articulación y transmisión por poleas [4].

Mecanismo de barra

Este tipo de mecanismo es muy utilizado para construir prótesis robóticas, consiste en la transmisión de movimientos a las falanges instalando barras conectadas a los mismos en una configuración adecuada, con este mecanismo se elimina el empleo de motores para dar movimiento a las articulaciones y es fácil de manufacturar. En la figura se muestra un mecanismo de barras sencillo de implementar pero que limita los movimientos, ya que la flexión se produce al tiempo en las 3 articulaciones.

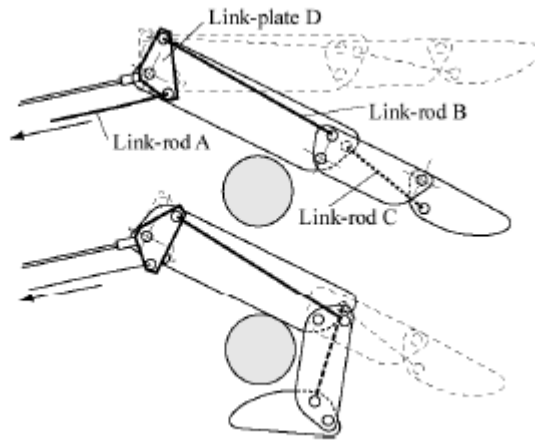


Figura 12: Mecanismo de barra

Mecanismo con motor en cada junta

Es muy utilizado en manos robots. Consiste en ubicar motores pequeños o micromotores en cada una de las articulaciones rotacionales de una cadena cinemática, pero que conlleva a aumentar costos por el número de motores que se debe utilizar y además de incrementar el peso del mecanismo [5].

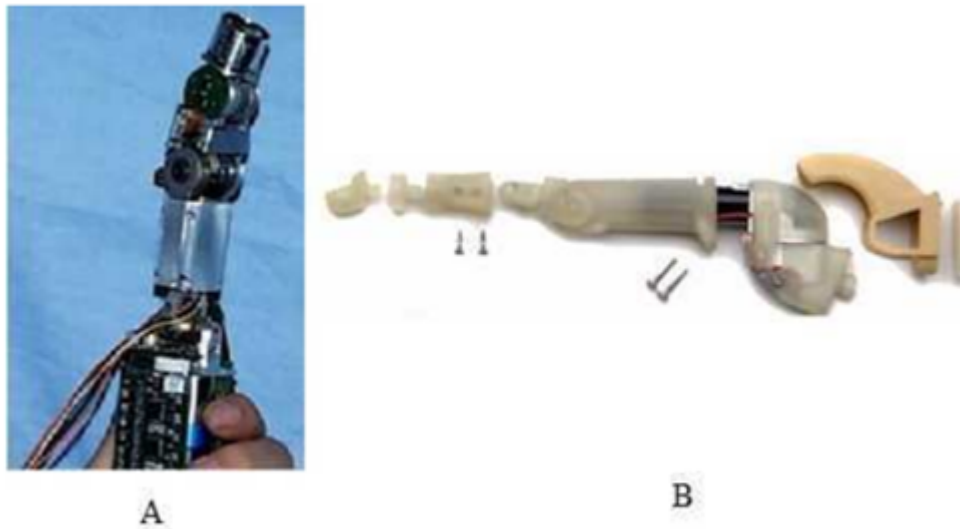


Figura 13: Mecanismos con motor en las juntas

Tipos de Agarres

En la vida cotidiana la mano humana ejecuta varios tipos de agarre para la sujeción de objetos con el fin de realizar diferentes tareas. Naiper (1956) clasificó los tipos de agarres en agarres de fuerza y agarres de precisión. Sin embargo, (Skinner, 1975) realiza su clasificación mediante 6 agarres básicos mostrados en la figura, los cuales son: (a) cilíndrico, (b) puntual, (c) palmar, (d) lateral, (e) esférico y (f) gancho.

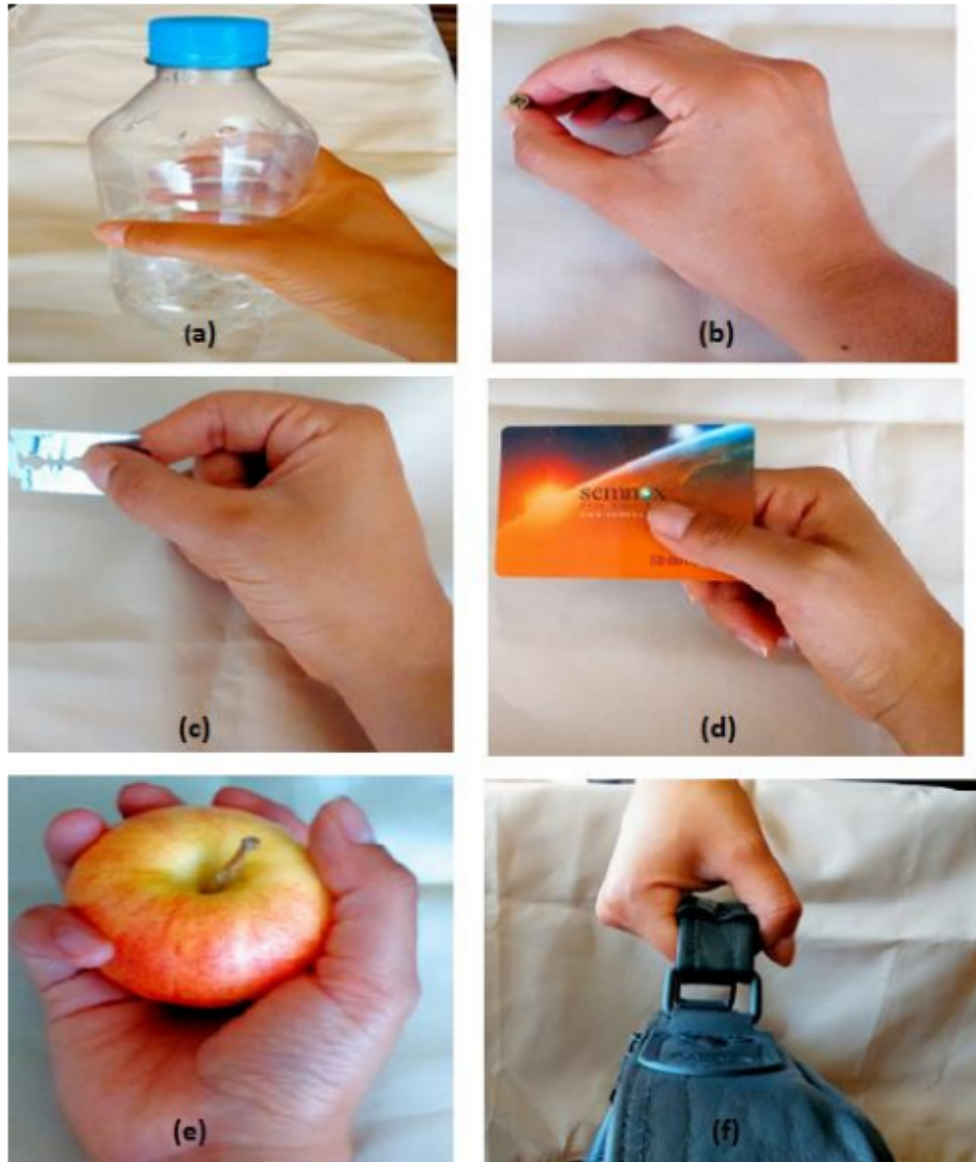


Figura 14: Tipos de agarres

Prototipo de prótesis eléctrica

La prótesis puede sujetar objetos de diferentes dimensiones como botellas, tarjetas de 1 mm de espesor y otros, cumpliendo con la función de sujeción requerida por una mano. Al necesitar posicionar la mano con la palma hacia abajo se debe realizar un movimiento conjunto de antebrazo y hombro debido a la sujeción rígida entre mano y socket, esto es dificultoso y no alcanza un giro mayor a 20° . La secuencia de cada dedo es independiente, gracias a su sistema de eslabonamiento y acople mediante pasadores, ayudando a ejecutar movimientos similares a las de una mano humana, que dependerá de la programación electrónica realizada.

Antropometría

Los dedos tienen la misma longitud, sin diferencias notorias entre estos; se encuentran sujetos mediante tornillos y pasadores a la palma. Una vez integrado el socket al antebrazo, debido a su espesor, provoca una diferencia pronunciada entre el brazo y antebrazo que es notoria a simple vista. Dividiremos la prótesis en cuatro segmentos, lo que ayudara a realizar un análisis práctico de cada una de sus partes, siendo estas: Dedos, Pulgar, Socket y Palma. Dedos Se analiza los 4 dedos (índice, medio, anular, meñique), estos tienen características similares, cumplen

la misma función y el mismo sistema de movimiento.



Figura 15: Modelo de los 4 dedos de la mano

El movimiento del conjunto se da debido al eslabonamiento sujeto desde la falange superior hasta el nudillo metacarpiano que se encuentra fijo en la palma, mediante las uniones móviles con pasadores entre la falange superior e inferior del dedo se logra el movimiento de 90° de cada falange con respecto a su posición vertical de reposo, el movimiento es accionado mediante un motor lineal ubicado en la palma; este transmite el movimiento al dedo por medio de la unión entre estos dos elementos, cerrando totalmente los dedos y cumpliendo su funcionalidad. Los dedos presentan caras planas y aristas vivas dándole una apariencia rectangular. Los tornillos y pasadores presentes en uniones fijas y móviles de sus componentes difieren de la estética de los dedos humanos. Las dimensiones de los dedos son: 86.6 mm de longitud, 15.2mm de ancho y en su altura mayor 21mm, el peso total de cada dedo es de 45 gramos. Estas medidas son mayores a las reales por lo cual el dedo está sobredimensionado.

Pulgar

El dedo pulgar consta de dos partes principales, el cuerpo y un sistema de trinquete. El cuerpo está conformado por dos partes simétricas unidas entre sí mediante tres tornillos metálicos, tiene dos pasadores de bronce que permiten tanto la unión del Pulgar con el sistema de trinquete y la sujeción de un motor lineal en el cuerpo del pulgar. El sistema de trinquete consta de siete partes, un soporte rotacional y dos soportes fijos fabricados de Poliamida Nylon 66, un resorte metálico y cuatro pasadores de bronce.



Figura 16: Dedo pulgar

El sistema de trinquete ayuda al movimiento lateral o frontal del dedo, por medio del soporte rotacional, este consta de un sistema de matrimonio que permite girar el pulgar hasta 90° con respecto a su posición inicial. El movimiento se realiza mediante un actuador lineal, que mueve el pulgar hacia la palma gracias a los pasadores que se encuentran uniendo el pulgar con el sistema de trinquete. Las dimensiones del pulgar son: 105.6 mm de longitud, 17.9mm de ancho y en su altura mayor 27mm, su peso total es de 45 gramos. El cuerpo consta de un solo miembro con caras planas, tornillos y pasadores presentes en su geometría, dándole al pulgar una apariencia rectangular. El pulgar se encuentra sobredimensionado y su geometría difiere de la anatomía de un dedo real.

Socket.

El socket consta de un solo cuerpo fabricado en polipropileno con un recubrimiento polimérico de color piel, tiene integrado un sensor óptico que permite el control de la mano mediante el movimiento del muñón, y una batería que alimenta al sistema de control de la prótesis

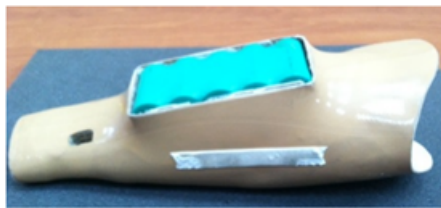


Figura 17: Socket

El socket realiza la sujeción de la prótesis en el brazo, permite insertar y retirar el antebrazo con facilidad en el socket, esto facilita el movimiento del muñón, que es necesario para la toma de señales mediante el sensor óptico; este cuenta en su extremo inferior con tres agujeros, dos roscados que permiten la sujeción fija entre socket – mano mediante tornillos y un tercero que permite el paso de las líneas de alimentación y control de la prótesis.

La longitud del socket es de 300mm, con un espesor variable de 9 a 13mm y con un peso total de 300 gramos. La batería se encuentra ubicada a un extremo del socket, debido a su tamaño y espesor aumenta considerablemente el diámetro de este, perdiendo su simetría y similitud con el antebrazo.

Batería.

La batería tiene 113mm de longitud, 43 mm de ancho y 17mm de alto con un peso de 60 gramos, que genera problemas de confort al ser demasiado grande y pesada, impidiendo que la persona utilice prendas de vestir con mangas largas y causando fatiga muscular.



Figura 18: Batería

Palma

Está constituida por dos partes, el cuerpo de la palma y la tapa construidas en su totalidad de Poliamida Nylon 66 , con longitudes similares pero espesores diferentes, se encuentran unidas mediante 5 tornillos metálicos. El cuerpo de la palma alberga en su interior componentes eléctricos y mecánicos tales como: Motores lineales, Tarjeta de control y señales, Circuitos Integrados, Sistema de trinquete para dedo pulgar. Estos componentes se mantienen en una posición fija al unir la tapa palmar con el cuerpo de la palma mediante tornillos metálicos, evitando el desprendimiento de los componentes durante el movimiento de la prótesis o la manipulación de objetos. La palma tiene una longitud de 115.5 mm, 82.5 mm de ancho y 31 mm de alto con un peso de 150 gramos. Se observa que debido al tamaño y ubicación tanto de motores lineales, tarjeta de control y señales, las dimensiones de la palma son mayores a las de una real.



Figura 19: Palma

La palma presenta en su geometría caras planas, aristas vivas y tornillos de sujeción, dándole un aspecto cuadrado a la mano y disminuyendo su similitud con una mano real. Análisis Electrónico.

Fuente de alimentación.

La energía suministrada se obtiene de una batería, que está constituida por cinco pilas recargables que dan como resultado una carga de 6 voltios – 2.8 Amperios necesaria para el correcto funcionamiento de la prótesis durante 5 horas continuas.

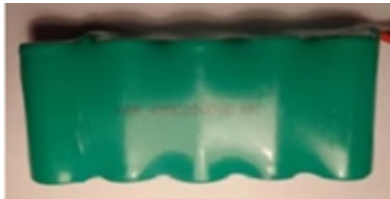


Figura 20: Fuente de alimentación

Diseño de la tarjeta electrónica.

La tarjeta electrónica está compuesta por el regulador a 5V, el sistema de carga para la batería, amplificación de la señal del sensor, los drivers para los actuadores lineales y el sistema microprocesador que se encarga de procesar las señales y controlar cada uno de los movimientos

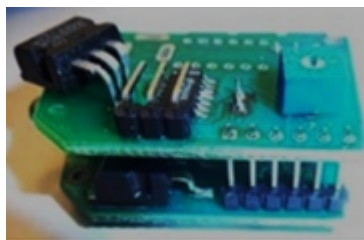


Figura 21: Tarjeta electrónica

Sistema de software.

La programación fue realizada en un microcontrolador un pic 16f877A de montaje superficial de Microchip, que trabaja a 5V, este controlador se encarga de procesar las señales de entrada y salida. También la tarjeta no cuenta con un sistema de actualización de software externo, por lo que hace imposible manipular dicho controlador y modificar la programación.

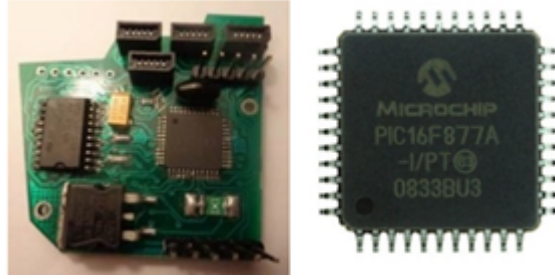


Figura 22: Microcontrolador

Actuadores lineales Y Sistema de adquisición de la señal

Los actuadores lineales, han dado resultados satisfactorios al control de cada uno de los dedos de la prótesis en la primera versión, tanto por el torque, el 10 funcionamiento y una corriente de consumo de 235mA. Estos cuentan con un sistema de retroalimentación por potenciómetro para realizar el control de posición de forma individual. El sistema de adquisición es el encargado de llevar la señal del movimiento del muñón hacia la tarjeta de control; esto se consigue por medio de un sensor óptico reflectivo, que ha dado un buen resultado ya que no es invasivo y no produce laceraciones; esta condición fue analizada en la prótesis de la versión anterior. Además, es un sistema innovador y de bajo costo, que no ha sido considerado por las prótesis que actualmente se tienen en el mercado.



Figura 23: Actuadores

Cinemática

La cinemática es el estudio de forma genérica de la geometría, la posición y del movimiento de los sólidos que lo conforman con respecto a un sistema de referencia coordinado, independiente de las causas o fuerzas que lo producen. Tienen como objetivo diseñar los movimientos deseados de las partes mecánicas. Cinemática aplicada en prótesis de mano Ceccarelli y sus colegas muestran un estudio sobre las características antropométricas de la mano humana con diferentes agarres. La recolección de datos se genera mediante sensores de fuerzas y utilizando el método cinemático. De tal manera que se diseña un mecanismo de dedo con 1 GDL que consiste en tres eslabones y tres articulaciones. En la Figura 14 se muestra la simulación de apertura y cierre de un dedo y en la Figura 15 se detalla el mecanismo utilizado para generar el movimiento de dicho dedo [1].



Figura 14. Simulación de cierre del prototipo de dedo [25].

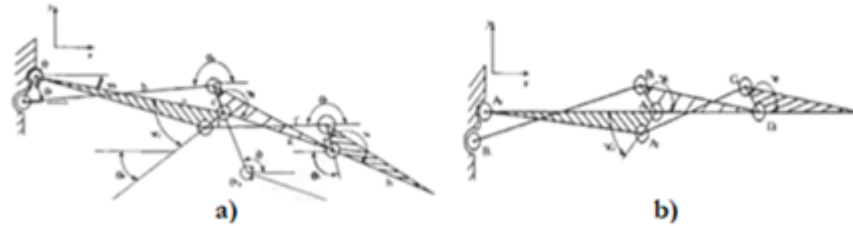


Figura 15. Esquema cinemático del dedo a) ángulos característicos; b) posiciones de las articulaciones [25].

Figura 24: Cinemática del dedo

Portilla y sus compañeros, desarrollaron el análisis cinemático para un mecanismo cruzado de cuatro barras para falange proximal de un dedo antropomórfico que tiene 1 grado de libertad. Del mismo modo Loaiza, presenta un diseño y modelamiento de una prótesis de mano con 5 GDL para consecutivamente generar los modelos matemáticos y geométricos, logrando como resultados un modelo geométrico antropométrico parametrizado de la prótesis de mano y que genere un movimiento de las falanges en un intervalo de 0 y 90 grados. El análisis del modelo de comportamiento cinemático fue realizado vectorialmente, tomando un sistema de coordenadas fijo; logrando simular el comportamiento de los diferentes agarres, apertura y cierre de los dedos, así como la flexo-extensión de la muñeca y la prono-supinación del antebrazo, adicionalmente se simula el movimiento cilíndrico de 70mm de diámetro [2].

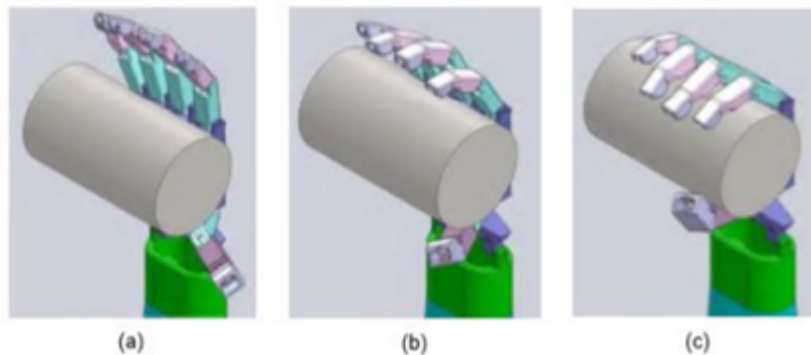


Figura 25: resultados del programa

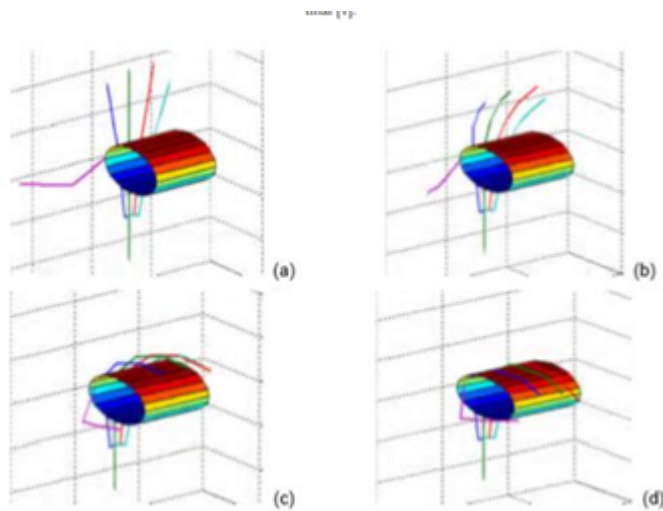


Figura 26: resultados de la simulación

Los costos aproximados que intervienen directamente en el proceso de fabricación del prototipo de prótesis de mano, se muestran en la tabla.

DETALLE	COSTOS
Actuadores	200 \$
Material de Impresión	150 \$
Engranajes	20 \$
Silicona Dragon Skin30	60 \$
Materiales Varios	30 \$
TOTAL	460 \$

Figura 27: tabla de costos de fabricación de prototipo

Costos de fabricación

Material de Oficina	40 \$
Internet	20 \$
Transporte	40 \$
TOTAL	100 \$

Figura 28: tabla de costos de fabricación

Costo total

DETALLE	COSTOS
Costos Directos	460 \$
Costos Indirectos	100 \$
TOTAL	560 \$

Figura 29: tabla de costos total aproximada

3. Conclusiones

Al realizar este artículo de investigación podemos concluir que hay un mundo de investigación dentro del área de las prótesis, específicamente nos centramos en este artículo en las prótesis de manos, es impresionante como a lo largo de los años el desarrollo de prótesis ha mejorado, como surgió la necesidad de una prótesis y con el paso de los años que tipo de prótesis han surgido y como han evolucionado los materiales de cada una de ellas y los mecanismos que se ocupan para los movimientos.

También logramos ver que hay un análisis físico profundo dentro de una prótesis de mano, no solo es doblar los dedos, sino entender como se logra este doblez, el angulo en el cual se doblan nuestros dedos y las partes que se doblan para poder hacer el agarre preciso y con rigidez de objetos.

Referencias

- [1] Gabriel Angel Encalada Seminario. Análisis cinemático y cinético de los mecanismos para una prótesis biomecánica de mano y construcción de un prototipo utilizando el proceso de estereolitografía. B.S. thesis, 2018.
- [2] Brizeida Gámez, Carlos Flores, Franklin Cabrera, and Javier Cabrera. Diseño de una prótesis biomecánica para niños. *Revista INGENIERÍA UC*, 23(1):58–66, 2016.
- [3] Jair Leopoldo Loaiza Bernal. Diseño y simulación de un prototipo de prótesis de mano bioinspirada con cinco grados de libertad. *Ingeniería Mecatrónica*, 2012.
- [4] JC Díaz Montes and J Dorador González. Mecanismos de transmisión y actuadores utilizados en prótesis de mano. *Memorias del XV Congr. Int. Anu. la SOMIM*, pages 335–345, 2009.
- [5] Mayra Daniela Yépez Rosero. Diseño mecánico de un prototipo de prótesis de mano. B.S. thesis, 2017.