

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**“PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA
ADAPTADA PARA MOVIMIENTOS SIMPLES
ÚTIL A PACIENTES CON AMPUTACIÓN TRANSRADIAL”**

**Estudio aplicativo de tecnología de impresión 3D,
servomotores y microcontroladores
al campo de la ortopedia**

Tesis

Presentada a la Honorable Junta Directiva
de la Facultad de Ciencias Médicas de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Fredy Alexander Paniagua Lorenti
Manuel Alberto Ramos Villatoro**

Médico y Cirujano

Guatemala, mayo de 2015



El infrascrito Decano de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala hace constar que:

Los estudiantes:

1. Fredy Alexander Paniagua Lorenti 200718048
2. Manuel Alberto Ramos Villatoro 200910097

han cumplido con los requisitos solicitados por esta Facultad previo a optar al Título de Médico y Cirujano en el grado de Licenciatura, y habiendo presentado el trabajo de graduación titulado:

**"PRÓTESIS DE MANO ROBOTICA
ADAPTADA PARA MOVIMIENTOS SIMPLES
ÚTIL A PACIENTES CON AMPUTACIÓN TRANSRADIAL"**

Estudio aplicativo de tecnología de impresión 3D,
servomotores y microcontroladores
al campo de la ortopedia.

Trabajo asesorado por el Dr. José Miguel Lázaro Guevara y revisado por el Dr. Juan Francisco Morales Jauregui, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firma y sella la presente:

ORDEN DE IMPRESIÓN

En la Ciudad de Guatemala, a los veinticinco días de mayo de dos mil quince.

DR. MARIO HERRERA CASTELLANOS
DECANO EN FUNCIONES





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS
COORDINACIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

El infrascrito Coordinador de la Coordinación de Trabajos de Graduación de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hace constar que los estudiantes:

1. Fredy Alexander Paniagua Lorenti 200718048
2. Manuel Alberto Ramos Villatoro 200910097

han presentado el trabajo de graduación titulado:

**"PRÓTESIS DE MANO ROBOTICA
ADAPTADA PARA MOVIMIENTOS SIMPLES
ÚTIL A PACIENTES CON AMPUTACIÓN TRANSRADIAL"**

Estudio aplicativo de tecnología de impresión 3D,
servomotores y microcontroladores
al campo de la ortopedia.

El cual ha sido revisado por el Dr. José Miguel Lázaro Guevara y corregido por el Dr. Edgar Rodolfo de León Barillas, y al establecer que cumple con los requisitos exigidos por esta Coordinación, se les autoriza a continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General Público. Dado en la Ciudad de Guatemala el veinticinco de mayo de dos mil quince.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

**Dr. Edgar Rodolfo de León Barillas
Coordinador**



Guatemala, 25 de mayo del 2015

Doctor
Edgar Rodolfo de León Barillas
Unidad de Trabajos de Graduación
Facultad de Ciencias Médicas
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Dr. de León Barillas:

Le informamos que los estudiantes abajo firmantes:


- 1 Fredy Alexander Panlagua Lorenti
- 2 Manuel Alberto Ramos Villatoro

Presentaron el informe final del Trabajo de Graduación titulado:

**"PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA
ADAPTADA PARA MOVIMIENTOS SIMPLES
ÚTIL A PACIENTES CON AMPUTACIÓN TRANSRADIAL"**

Estudio aplicativo de tecnología de impresión 3D,
servomotores y microcontroladores
al campo de la ortopedia.

Del cual como asesor y revisor nos responsabilizamos por la metodología, confiabilidad y validez de los datos, así como de los resultados obtenidos y de la pertinencia de las conclusiones y recomendaciones propuestas.


Dr. José Miguel Lázaro Guevara
Médico y Cirujano
Colegiado No. 7333
Asesor
Dr. José Miguel Lázaro Guevara
Firma y sello


Revisor
Dr. Juan Francisco Morales Jauregui
Firma y sello

De la responsabilidad del trabajo de graduación:

El autor o autores es o son los únicos responsables de la originalidad, validez científica, de los conceptos y de las opiniones expresadas en el contenido del trabajo de graduación. Su aprobación en manera alguna implica responsabilidad para la Coordinación de Trabajos de Graduación, la Facultad de Ciencias Médicas y para la Universidad de San Carlos de Guatemala. Si se llegara a determinar y comprobar que se incurrió en el delito de plagio u otro tipo de fraude, el trabajo de graduación será anulado y el autor o autores deberá o deberán someterse a las medidas legales y disciplinarias correspondientes, tanto de la Facultad, de la Universidad y otras instancias competentes.

Agradecimientos

A: Mi creador nuestro Padre Celestial Jehová Dios por permitir un logro más, por darme la familia que tengo, por cuidar y proteger el camino en el que ando, ya que sin Él nada de esto sería posible.

A: Mi papá Benjamín Paniagua Ovalle quien brindó toda la ayuda y apoyo que un padre puede dar, por darme la vida, por sus consejos, por el amor brindado mientras estuvo vivo, alguien a quien con mucha alegría extraño porque espero verte pronto.

A: Mi mamá Coralia Lorenti Moterroso, quien tras la pérdida de mi papá, de su esposo, tomo las riendas del hogar, quien fue más que un padre y más que una madre para mí. Este logro se lo debo a ella más que a nadie en este mundo, por haberme dado su juventud, su trabajo, su sueño, su salud, su tiempo, su vida, por esas cosas que lejos de tener poco valor son la razón por la que he logrado una meta más. Gracias madre por todas y cada una de las horas que me diste.

A: me hermanas Leslie Odeth Paniagua Lorenti y Evelyn Maritza Lorenti, de quienes recibí su apoyo incondicional sin que se los pidiera, por estar ahí en los mejores momentos de mi vida y por apoyarme en los peores.

A: Mi alma mater, la Universidad San Carlos de Guatemala, la casa de estudios que me brindó la oportunidad de formarme académicamente por darme la ayuda económica mediante una beca, y gracias a esa ayuda pude estudiar sin ningún problema y dentro de esta institución al Dr. Barrios quien siempre dijo que llegaría lejos, a las licenciadas de trabajo social de Bienestar estudiantil por sus consejos y apoyo moral.

A: Todos mis amigos que de ellos me gustaría mencionar a Carlos Flores quien fue un padre para mí cuando sus consejos recibía, a la familia Jubal quienes me enseñaron la más grande verdad y que aún conservo en mi corazón, y a una gran amiga que ha formado parte de mi vida y que tiene mi corazón señoito Lleyimi.

Fredy Alexander Paniagua Lorenti

Agradecimientos

Qué difícil agradecer, ¿a quién mencionar?, ¿a quién no mencionar?, comienzo pues dando gracias a mi creador, no por crearme, doy gracias porque me guía, me cuida, me permite observar su creación y me da acceso al conocimiento para tratar de mejorarlo.

A mis padres, Sonia Villatoro y Ronal Acevedo, por el techo que pusieron sobre mi cabeza, su tiempo al criarme, sus cuidados, sus consejos, la oportunidad que me brindaron al mandarme a un colegio y sobre todo, al aporte económico que han realizado a través de estos 25 años de cuidados; A mi blanca y hermosa hermana María José, por sus atenciones, por las sonrisas que literalmente me arranca, por los enojos que me provoca y por lo mucho que me consiente; Agradezco también a mis Tíos: Tía María Cristina, Tío Samuel, Tía Norma, Tía Ileana, Tío Mario, Tío Guillermo, Tía Olga, Tía Ingrid y Tío Marvin, por sus consejos, cariño y apoyo; A Mis primos: William, Samuel, José, Cristy, Carmen, José Manuel, Sonia Lili, Ruth, René, Lidia, Marvin Fernando, María Ester, Cristian y Sonia Angélica, porque sé que puedo contar con ellos.

A Pablo Alcántara, su esposa Cindy Muralles, Doña Telma, Don German, Don Samuel y Doña Lisbeth, por recibirme en su casa, prestarme una cama cuando lo necesité y brindarme su amistad; Debo también mencionar a otros compañeros que tuve el gusto de conocer y compartir con ellos, experiencias agradables y no tan agradables pero al final aprendí algo de ellos, Girón Suy, Gustavo Gutierrez, Sara De león, Anita Reyes, Jhony Rodriguez, Mario Castellanos, Allan Bryan, Rosa Arango, Franchesca Filipi, Ross Valdez, Daniel Santizo, George, Crusty, Julia Arroyo, Gerald, Tobar, Víctor Trujillo, Mafer Andrino, Pablo Cho, integrantes del grupo B2 y mis compañeros de electrónica los Exodias.

Hay también personas que en mi vida han sido muy importantes, porque para bien o para mal han influido en mi personalidad y manera de ser, menciono pues con mucho cariño: Paola Ramazini, Alan Elías, Flory valladares, el profesor Citalán, mi abuelito Eduardo Acevedo, mi abuelo Raúl Villatoro; Agradezco a esta casa de estudios, especialmente al Dr. Lazaro Guevara, por darme la posibilidad de ser parte de este proyecto.

Por último, a la persona a quien amo, amé y siempre amaré, a la persona que me crió, me aconsejó, me corrigió (a golpes de ser necesario), a la persona cuyo recuerdo vive en mí, a la persona que luchó contra el cáncer una vez y le gustó tanto que regresó por ella, a mi abuelita, a mi abuelita Sonia. –Gracias–

Manuel Alberto Ramos Villatoro

RESUMEN

OBJETIVO: Elaborar en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala una prótesis de mano robótica adaptada para movimientos simples útil a pacientes con amputación transradial. **DISEÑO:** Proyecto aplicativo. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Se utilizó tecnología de impresión en 3D, servomotores y microcontroladores. Se descargó un diseño tridimensional de mano derecha, se realizó un modelo tridimensional de antebrazo, se mandó a imprimir los modelos tridimensionales en PLA (ácido poliláctico), se armaron las piezas en su totalidad, posteriormente se diseñó y programó circuitos integrados para controlar los servomotores. Por último se hizo pruebas de funcionalidad con diferentes movimientos programados. **RESULTADOS:** Se logró realizar una mano manufacturada con materiales económicos disponibles en el mercado guatemalteco, programada para movimientos simples, con el propósito final de adaptarla a un paciente. **CONCLUSIONES:** Es posible diseñar y construir una mano robótica para pacientes con amputación transradial a partir de un software de diseño CAD y materiales económicos; al observar los movimientos de la mano se puede darse cuenta de lo complejo del diseño y lo complicado que es tratar de replicarla, por lo que actualmente en Guatemala estamos muy lejos de un modelo óptimo.

PALABRAS CLAVE: Amputación transradial, prótesis, robótica, impresión 3D.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Biomecánica de la mano.....	5
3.1.1. Anatomía de la mano.....	5
3.1.1.1. Huesos de la mano.....	5
3.1.1.2. Articulaciones	6
3.1.1.3. Músculos de la mano.....	9
3.1.2. Goniometría.....	11
3.1.2.1. Pulgar.....	11
3.1.2.1.1. Carpo metacarpiana del pulgar.....	11
3.1.2.1.2. Metacarpofalángicas (MCF) del pulgar	11
3.1.2.1.3. Interfalángica del pulgar	11
3.1.2.2. Articulación metacarpofalángicas de los dedos de la mano	12
3.1.2.3. Articulación interfalángica proximal de los dedos de la mano	12
3.1.2.4. Articulación interfalángica distal de los dedos de la mano	12
3.1.3. Fisiología articular.....	13
3.2. Realidad nacional	19
3.3. Revisión de prótesis de manos antropomórficas.....	20
3.3.1. Definición.....	20
3.3.2. Historia	21
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1. Tipo y diseño de la investigación	25
4.2. Procedimientos.....	25
4.3. Límites.....	28
4.4. Alcances.....	28

4.5.	Recursos	29
4.5.1.	Lista de recursos para el estudio	29
4.6.	Aspectos éticos de la investigación.....	30
5.	CONCLUSIONES	31
6.	RECOMENDACIONES.....	33
7.	APORTES	35
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
9.	ANEXOS.....	39
9.1.	Anexo 1	39
9.2.	Anexo 2	42
9.3.	Anexo3	46
9.4.	Anexo 4	47
9.5.	Anexo 5	48
9.6.	Anexo 6	49
9.7.	Anexo 7	49
9.8.	Anexo 8	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Huesos de la mano	6
Figura 2: Ligamentos y articulaciones anterior y posterior de la mano	8
Figura 3: Articulaciones de la mano	8
Figura 4: Inserción de los músculos de la mano	9
Figura 5: Articulaciones del pulgar	12
Figura 6: Articulaciones de los dedos.....	13
Figura 7: Fisiología articular de la mano	14
Figura 8: Fisiología articular de la mano	15
Figura 9: Fisiología articular de la mano	15
Figura 10: Fisiología articular de la mano	16
Figura 11: Fisiología articular de la mano	17
Figura 12: Fisiología articular de la mano	18
Figura 13: Fisiología articular de la mano	19
Figura 14: Mano de alt-Ruppín construida con hierro en el año 1400	22
Figura 15: Primer brazo artificial móvil	23
Figura 16: Prótesis de mano con pulgar móvil y gancho dividido sagitalmente	23

1. INTRODUCCIÓN

Según la primera encuesta nacional de discapacidad (ENDIS) realizada en el año 2005, en la que se encuestaron 10,858,805 personas, se estima que en Guatemala hay 37.4 discapacitados por cada 1000 habitantes, de los discapacitados encontrados el 42.3% oscilan en las edades de 18 a 59 años, edad en la que una persona es económicamente activa, de estos un 21% refiere presentar discapacidad musculoesquelética, principalmente amputaciones y paraplejías, por otra parte es importante mencionar que el 74.8% de la población total que padece algún tipo de discapacidad no asiste o no cuenta con apoyo para su discapacidad, entre varios factores el principal es por motivos económicos, sin embargo dentro del grupo que si cuenta con ayuda de algún tipo, únicamente un 0.3% cuenta con una prótesis de brazo para desempeñar sus actividades en la medida de lo posible.¹

En Guatemala existen instituciones que se ocupan de proporcionar prótesis de miembro superior, según la medida y necesidad de las personas con discapacidad, entre estas instituciones podemos mencionar el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS) el cual se encarga de rehabilitar y reinsertar a la sociedad a los pacientes, proporcionándoles una prótesis de ser necesaria, pero solo se ocupa de una pequeña parte de la población, es decir los afiliados, también está el Consejo Nacional de Atención de las Personas con Discapacidad (CONADI) y la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA), las cuales coinciden en que la atención especializada la brinda en un 82% las organizaciones e instituciones privadas y de la sociedad civil.³

La problemática que vive una persona discapacitada con amputación transradial va en relación al grado de independencia que esta puede llegar a tener, por lo que estos pacientes deben contar con una prótesis que sea útil y sobre todo funcional, actualmente a nivel mundial existen diferentes diseños de manos robóticas, funcionales y adaptadas según las necesidades de cada persona, sin embargo es difícil para un guatemalteco adquirir alguno de estos diseños, debido a su elevado costo, y los bajos salarios que una persona discapacitada pueda llegar a devengar.¹

Las personas que tienen la oportunidad de adquirir una prótesis, independientemente de la forma de adquisición de la misma, no logran encontrar en esta un diseño anatómico que a la vez sea funcional y por lo general el costo de esta supera los tres mil quetzales

dependiendo del tipo de material, el uso que se le quiera dar y la estética, por lo que personas de escasos recursos no pueden adquirir uno de estos dispositivos, o bien les resulta poco útil debido al diseño de la prótesis.

Con el fin de dar a conocer nuevas alternativas para los pacientes e innovar en los campos de la ortopedia y fisioterapia en Guatemala, se planteó desarrollar una prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial adaptada para movimientos simples, controlada por servomotores, utilizando tecnología de impresión en 3D, para lo cual se utilizó un diseño mecánico de una prótesis de mano robótica a partir de un software de diseño CAD (auto CAD) tomando en cuenta medidas antropométricas y funcionalidad, para su elaboración se utilizaron materiales de bajo costo para poder beneficiar a pacientes con limitaciones económicas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- 2.1.1.** Elaborar en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala una prótesis de mano robótica adaptada para movimientos simples útil a pacientes con amputación transradial.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1.** Realizar un diseño mecánico de una prótesis de mano robótica a partir de un software de diseño CAD (auto CAD) tomando en cuenta medidas antropométricas y funcionalidad.
- 2.2.2.** Construir un prototipo de prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial, a partir de un modelo digital y materiales de bajo costo.
- 2.2.3.** Programar secuencias de movimiento predeterminadas para aumentar el número de movimientos de la prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial.
- 2.2.4.** Posibilitar la manipulación de objetos por medio de la prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Biomecánica de la mano

3.1.1. Anatomía de la mano

3.1.1.1. Huesos de la mano

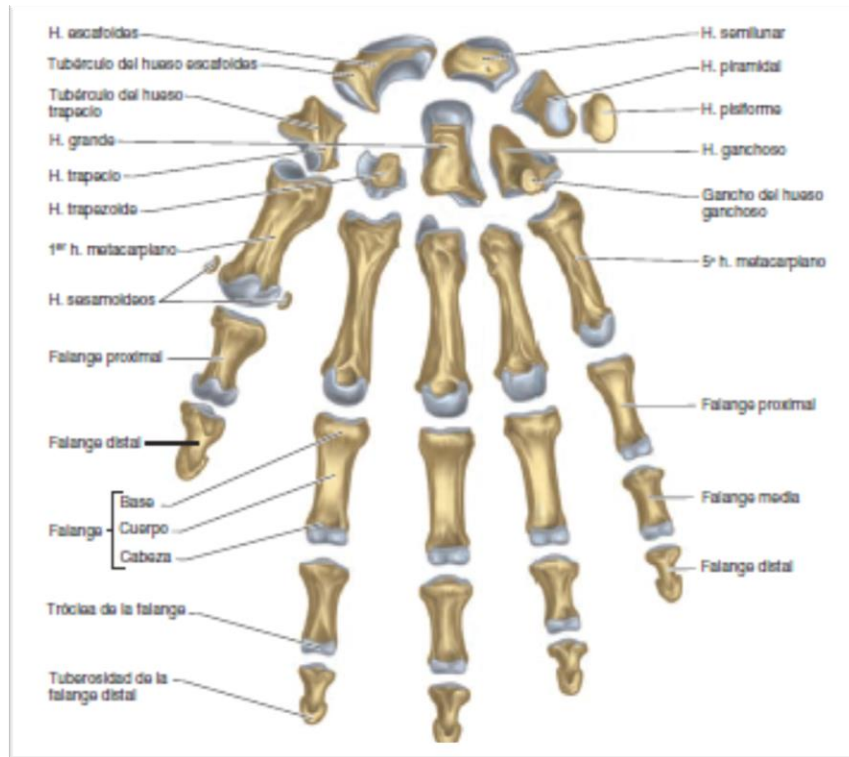
Forman tres grupos óseos distintos: el carpo, el metacarpo y las falanges.^{5,6}

El carpo: formado por ocho huesos cortos dispuestos en dos hileras: una superior o antebraquial y otra inferior o metacarpiana. En conjunto forman un canal de concavidad anterior por el que se deslizan los tendones de los músculos flexores de los dedos. La fila superior está formada por los huesos escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme. La fila inferior también comprende cuatro huesos que son, de lateral a medial, trapecio, trapezoides, grande y ganchoso.⁵

El metacarpo: Constituye el esqueleto de la palma y el dorso de la mano. Se compone de cinco huesos largos, que se articulan superiormente con los huesos de la segunda fila del carpo e inferiormente con las falanges proximales de los dedos. Los espacios limitados entre ellos se denominan espacios interóseos.⁵

Falanges: cada dedo con excepción del pulgar, consta de tres segmentos óseos, los huesos de los dedos o falanges. El pulgar presenta solamente dos falanges. Se designan con el nombre de falange proximal, medial y distal, consideradas desde el metacarpo al extremo distal de los dedos.⁵

Figura 1: Huesos de la mano



FUENTE: Eduardo Pró, Anatomía clínica, primera edición, 2012, página 823 figura 8-20

3.1.1.2. Articulaciones

Articulación mediocarpiana: La articulación mediocarpiana es la articulación formada entre los huesos de la primera (salvo el hueso pisiforme) y la segunda fila del carpo. Es una articulación sinovial de tipo elipsoidea. Las superficies articulares están formadas por un lado por las superficies distales del escafoides, semilunar y piramidal (forman la cavidad glenoidea) que se articulan con el trapecoide, grande y ganchoso (forman el cóndilo), y por otro lado el escafoides que se articula con el trapecio.⁶

La articulación carpometacarpiana del pulgar: Sus superficies articulares son la cara distal del trapecio (convexa en dirección dorsopalmar y cóncava en dirección transversal) y la superficie articular de la base del primer metacarpiano (inversa a la cara articular del trapecio).⁶

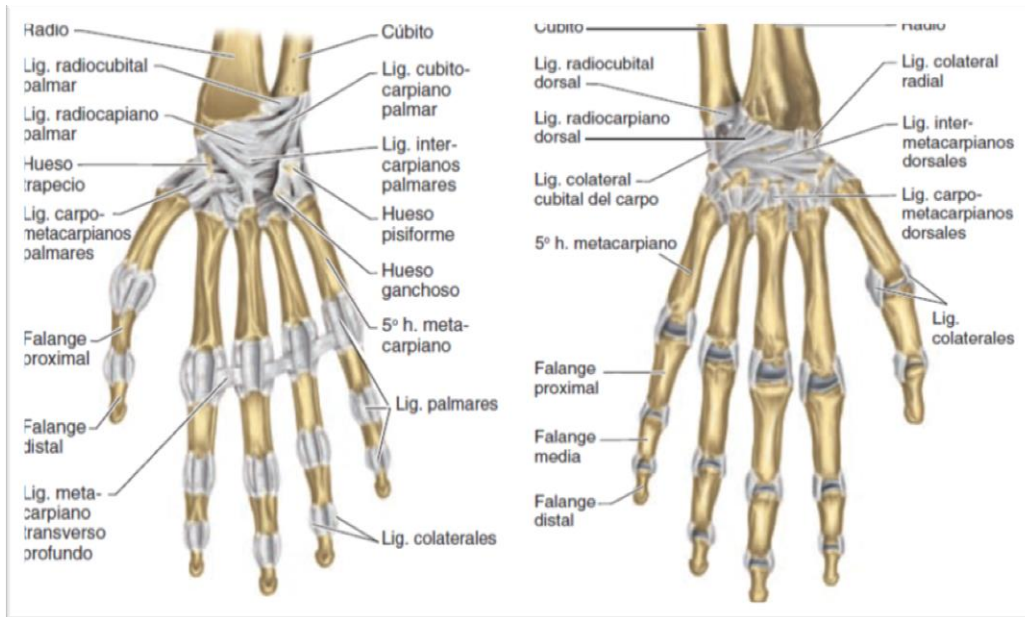
Articulaciones intermetacarpianas: Las articulaciones intermetacarpianas son las articulaciones entre los metacarpianos: 2º y 3º, 3º y 4º, 4º y 5º. Son articulaciones planas y sus cavidades sinoviales son prolongaciones de la articulación carpometacarpiana. Están reforzadas por los ligamentos: interóseos, palmares (tres) y dorsales (tres). Estos últimos se extienden sobre la cara correspondiente de un metacarpiano al otro.⁶

Las articulaciones carpometacarpianas 2ª, 3ª y 4ª: son sinoviales planas. El segundo metacarpiano se articula con el trapecio, el trapezoide y el grande. El tercer metacarpiano se articula con el hueso grande. El cuarto metacarpiano se articula con los huesos ganchoso y grande. El quinto metacarpiano se articula con el hueso ganchoso en plana, similar pero más pequeña que la del primer metacarpiano. Las cápsulas de estas articulaciones están reforzadas por ligamentos palmares, dorsales e interóseos.⁶

Articulaciones metacarpofalángicas: Son las articulaciones entre la cabeza del metacarpiano con la cavidad glenoidea de la falange proximal, por lo que son articulaciones sinoviales de tipo elipsoideas. Los ligamentos colaterales, medial y lateral, tienen forma triangular y se extienden desde el tubérculo metacarpiano hasta la porción anterolateral de la falange proximal. El ligamento transversal profundo une las caras palmares de las articulaciones metacarpofalángicas del segundo al quinto dedo.⁶

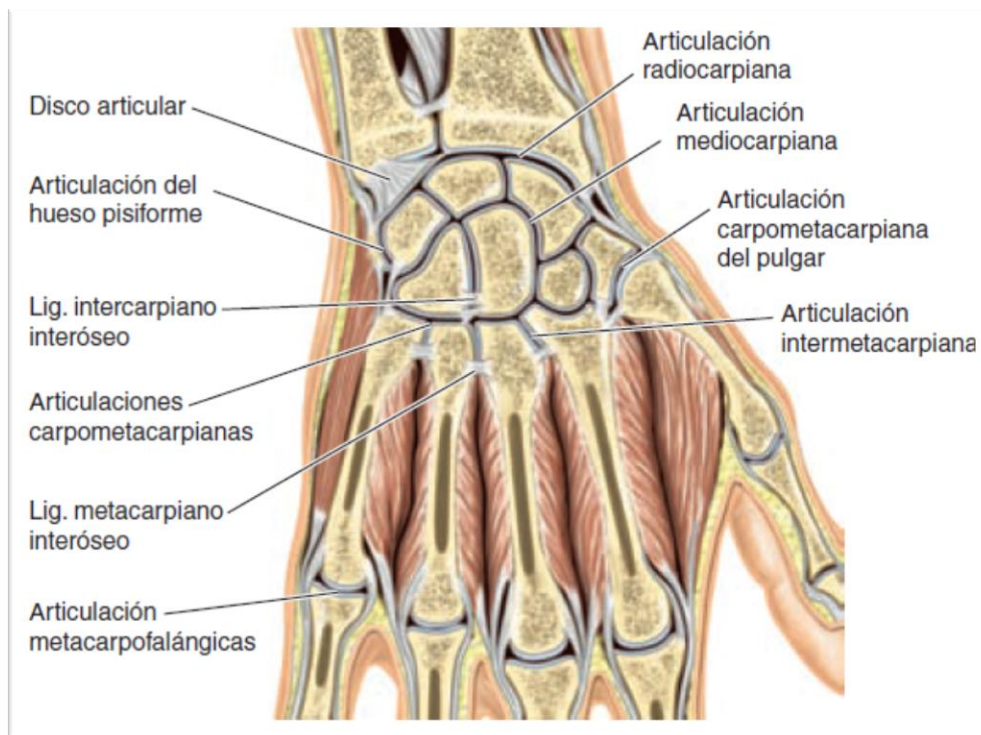
Articulaciones interfalángicas: Son las articulaciones entre la polea del extremo distal de las falanges proximal y media con la garganta para la polea ubicada en las extremidades proximales de las falanges media y distal por lo que son gínglimos. Su cápsula articular está reforzada por ligamentos laterales.⁶

Figura 2: Ligamentos y articulaciones anterior y posterior de la mano



FUENTE: Eduardo Pró, Anatomía clínica, primera edición, 2012, página 823 figuras 8-93, 8-94

Figura 3: Articulaciones de la mano

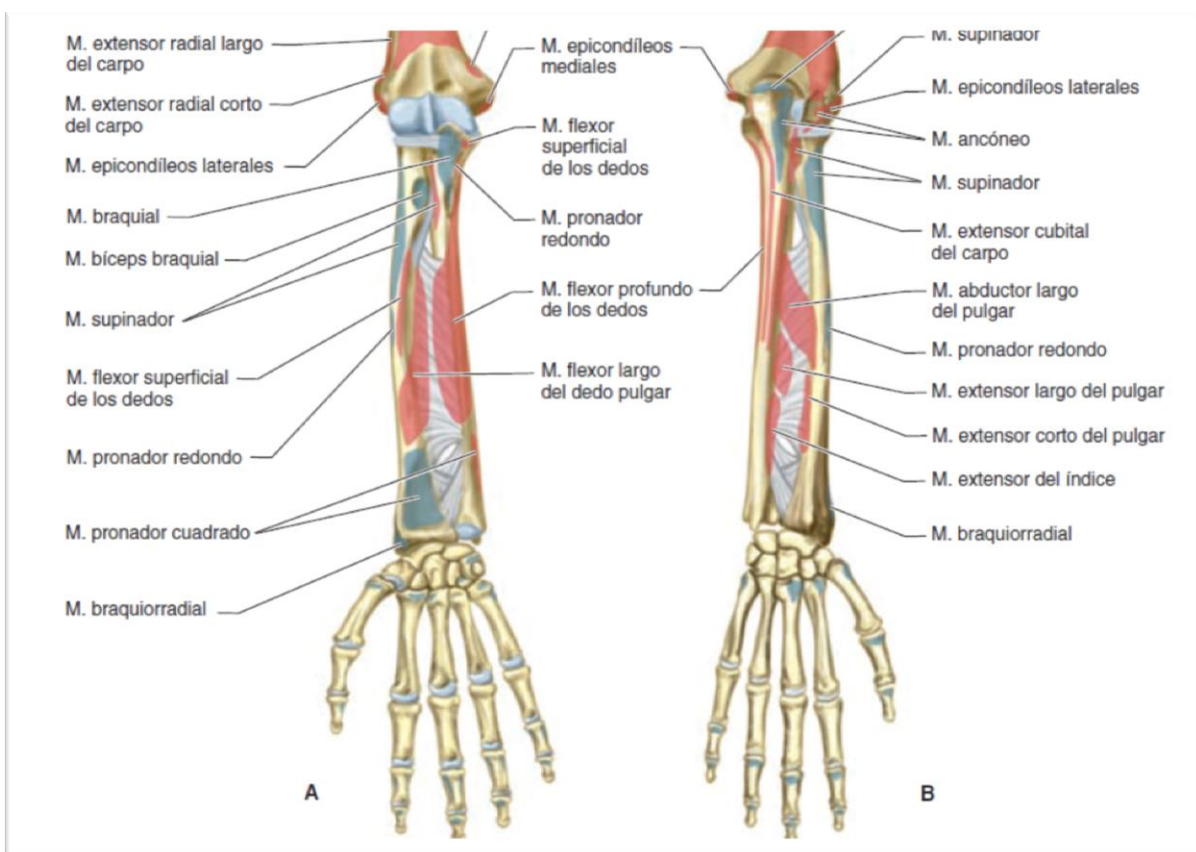


FUENTE: Eduardo Pró, Anatomía clínica, primera edición, 2012, página 823 figura 8-95

3.1.1.3. Músculos de la mano

En los dedos hay tres grupos básicos de músculos. Los flexores extrínsecos originados en la parte anterior del antebrazo; el flexor profundo y superficial perteneciente a este grupo. Los extensores extrínsecos originados en la parte posterior del antebrazo, el musculo extensor digitorum pertenece a este grupo. Finalmente, los músculos intrínsecos cuyo origen va del distal a la articulación de la muñeca. Cada grupo juega un papel importante en el movimiento y la estabilidad de los dedos.⁴

Figura 4: Inserción de los músculos de la mano



FUENTE: Eduardo Pró, Anatomía clínica, primera edición, 2012, página 791 figura 8-52

Región	Músculos	Origen	Inserción	Inervación	Función
Eminencia tenar	M. abductor corto del dedo pulgar	Tubérculo del escafoides y cara anterior del retináculo flexor	Tubérculo lateral de la base de la falange proximal del dedo pulgar	Nervio mediano	Abducción del dedo pulgar
	M. oponente del dedo pulgar	Tubérculo del trapecio y cara anterior del retináculo flexor	Cara lateral del I metacarpiano	Nervio mediano	Oposición del pulgar
	M. flexor corto del dedo pulgar	Cabeza superficial: tubérculo del trapecio y retináculo flexor Cabeza profunda: cara anterior del trapecioide y del hueso grande	Hueso sesamoideo lateral y base de la falange proximal del dedo pulgar	Cabeza superficial: ramo muscular del nervio mediano Cabeza profunda: ramo profundo del nervio cubital	Aductor y flexor de la falange proximal
	M. aductor del dedo pulgar	Cabeza oblicua: cara anterior del trapecioide, grande, y a veces del trapecio, base del II metacarpiano y de toda la extensión del III metacarpiano Cabeza transversa: cara palmar del III metacarpiano	Sesamoideo medial y base de la falange proximal del dedo pulgar.	Ramo profundo del nervio cubital	Aductor del dedo pulgar
Eminencia hipotenar	M. palmar corto	Aponeurosis palmar	Piel	Ramo superficial del n. cubital	Plegar la piel de la eminencia hipotenar
	M. abductor del dedo meñique	Hueso pisiforme	Base de la falange proximal, lig. palmar y hueso sesamoideo	Ramo profundo del n. cubital	Flexor y abductor del dedo meñique
	M. flexor corto del dedo meñique	Gancho del hueso ganchoso y retináculo flexor	Base de la falange proximal del meñique	Nervio cubital	Flexión de la articulación metacarpofalángica del V dedo
	M. oponente del dedo meñique	Gancho del hueso ganchoso y retináculo flexor	V metacarpiano	Nervio cubital	Oposición del meñique
Región palmar central	M. lumbricales	1° y 2°: borde lateral y cara anterior del tendón del flexor profundo del índice y medio 3° y 4°: borde lateral y cara anterior de los dos tendones del m. flexor profundo de los dedos	Borde lateral del tendón extensor correspondiente	2 lumbricales mediales: n. cubital 2 lumbricales laterales: n. mediano	Flexores de la falange proximal y extensores de la falange media y distal de los cuatro últimos dedos
Compartimento interóseo	M. interóseos palmares	Mitad anterior de la cara lateral del metacarpiano que mira al eje de la mano (II, IV y V metacarpianos)	Base de las falanges proximales del índice, anular y meñique respectivamente	Nervio cubital	Aducción en dirección al dedo medio Flexión de las articulaciones metacarpofalángicas Extensión de las articulaciones interfalángicas
	M. interóseos dorsales	Caras laterales y mediales de los dos metacarpianos que limitan el espacio interóseo	Lengüeta profunda: tubérculo lateral de la base de la falange proximal Lengüeta superficial: recibe al músculo lumbrical correspondiente y termina en el tendón extensor	Nervio cubital	Separan del eje de la mano a los dedos en los que se insertan Flexión de las falanges proximales y extensión de las distales

FUENTE: Eduardo Pró, Anatomía clínica, primera edición, 2012, cuadro 8-5

3.1.2. Goniometría

La minuciosa descripción para medir cada área corporal, específicamente de la mano es de gran utilidad ya que muy pocas publicaciones existen al respecto. Es muy importante es la comparación de los valores obtenidos con los valores normales descritos por la Asociación para el Estudio de la Osteosíntesis (AO) y la Academia Americana de Cirujanos Ortopédicos (AAOS).⁷

3.1.2.1. Pulgar

3.1.2.1.1. Carpo metacarpiana del pulgar

Abducción del pulgar: 0-70° (AO) y 0-70° (AAOS).

Aducción del pulgar: 0° (AO) y 0° (AAOS).

La aducción del pulgar es de 0° porque el dedo choca contra la mano y no puede efectuar este movimiento.⁷

3.1.2.1.2. Metacarpofalángicas (MCF) del pulgar

Flexión MCF del pulgar: 0-50° (AO), 0-50° (AAOS)

Extensión MCF pulgar: 0° (AO) y 0° (AAOS)⁷

3.1.2.1.3. Interfalángica del pulgar

Flexión IF del pulgar: 0-80° (AO) y 0-80° (AAOS)

Extensión IF del pulgar: 0-20° (AO) y 0-20° (AAOS)⁷

Figura 5: Articulaciones del pulgar



- a) Carpo metacarpiana
- b) Metacarpofalángica
- c) Interfalángica

FUENTE: Claudio Toboadela, Goniometría una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales, 2007, página 67 figura 78

3.1.2.2. Articulación metacarpofalángicas de los dedos de la mano

Flexión MCF de los dedos de la mano: 0-90° (AO) y 0-90° (AAOS)

Extensión MCF de los dedos de la mano: 0°-30° (AO) y 0-45° (AAOS)⁷

3.1.2.3. Articulación interfalángica proximal de los dedos de la mano

Flexión IFP de los dedos de la mano: 0-100° (AO) y 0-100° (AAOS)

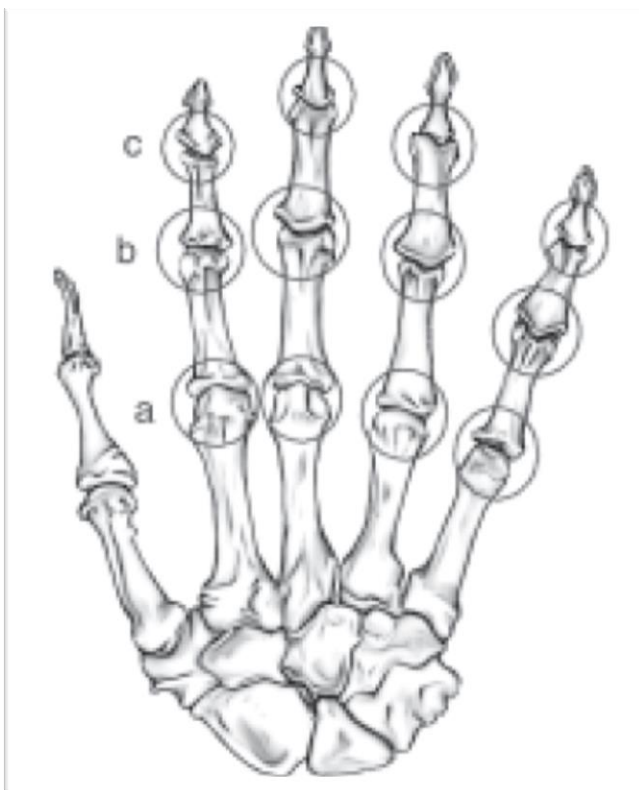
Extensión IFP: 0° (AO) y 0° (AAOS)⁷

3.1.2.4. Articulación interfalángica distal de los dedos de la mano

Flexión IFD: 0-90° (AO) y 0-90° (AAOS)

Extensión IFD: 0° (AO) y 0° (AAOS)⁷

Figura 6: Articulaciones de los dedos



- a) Metacarpofalángicas
- b) Interfalángica proximal
- c) Interfalángica distal

FUENTE: Claudio Toboadela, Goniometría una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales, 2007, página 67 figura 79

3.1.3. Fisiología articular

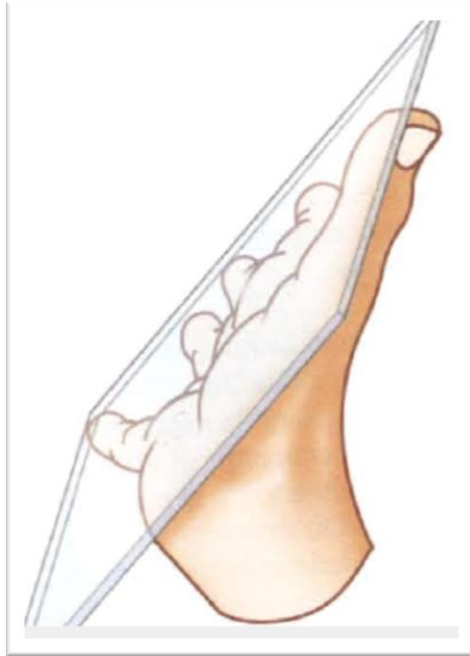
Para coger objetos la mano puede adaptar su forma. En una superficie plana, la mano se expande y se aplana, contactando con la eminencia tenar, la eminencia hipotenar, la cabeza de los metacarpianos y la cara palmar de las falanges. Sólo la parte inferoexterna de la palma permanece a distancia.⁸

Cuando se quiere coger un objeto voluminoso, la mano se ahueca y se forman unos arcos orientados en tres direcciones:

- 1) En sentido transversal el arco carpiano que corresponde a la concavidad del macizo carpiano. Se prolonga distalmente mediante el arco metacarpiano, en el cual se alinean las cabezas metacarpianas. El eje

longitudinal del conducto carpiano pasa por el semilunar, el hueso grande y el tercer metacarpiano.⁸

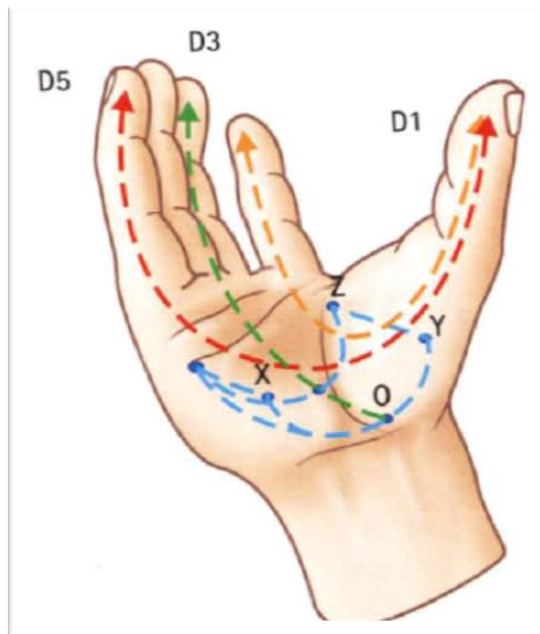
Figura 7: Fisiología articular de la mano



FUENTE: Kapandji, Fisiología articular, 2006 página 205 figura 5

2) En sentido longitudinal, los arcos carpometacarpofalángicos que adoptan una posición radiada desde el macizo carpiano y están constituidos, en cada dedo, por el metacarpiano y las falanges correspondientes. La concavidad de estos arcos se orienta hacia delante de la palma y la clave de bóveda se localiza en la articulación metacarpofalángica: un desequilibrio muscular en este punto conlleva una ruptura de la curva. Los dos arcos longitudinales más importantes son: El arco del dedo corazón, arco axial, ya que prolonga el eje del conducto carpiano, y sobre todo El arco del índice, que es el que se opone con mayor frecuencia al del pulgar.⁸

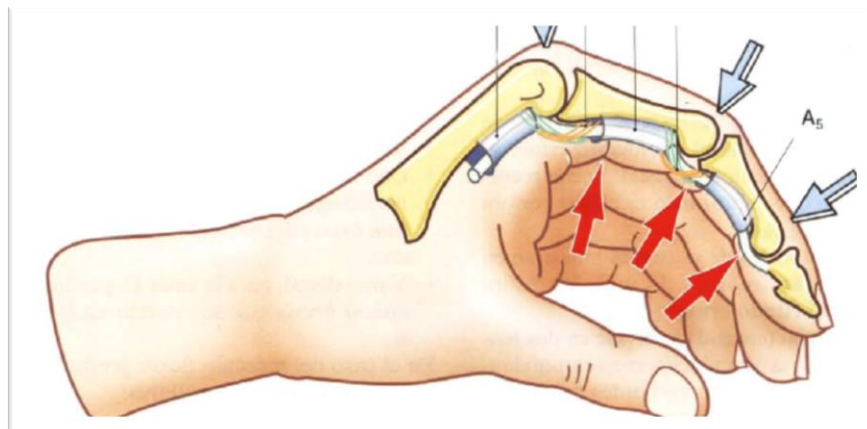
Figura 8: Fisiología articular de la mano



FUENTE: Kapandji, Fisiología articular, 2006 página 205 figura 7

3) En sentido oblicuo, los arcos de oposición del pulgar con los otros cuatro dedos: El más importante de estos arcos oblicuos reúne y opone al pulgar y al índice, El más extremo de los arcos de oposición pasa por el pulgar y el meñique.⁸

Figura 9: Fisiología articular de la mano

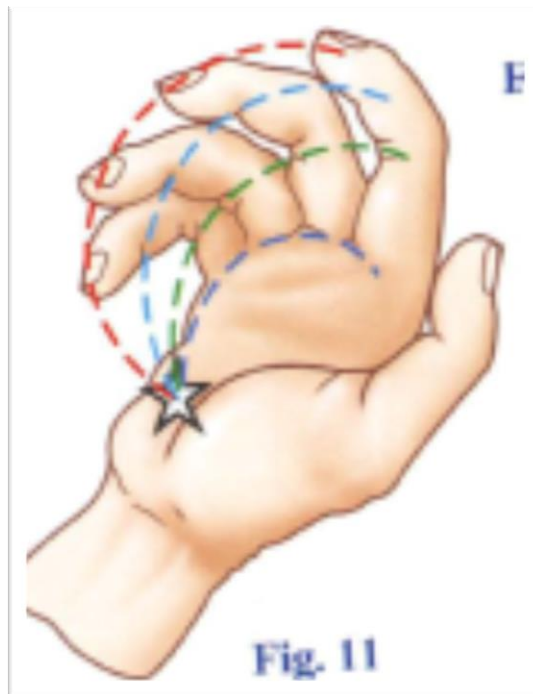


FUENTE: Kapandji, Fisiología articular, 2006 página 229 figura 64

En conjunto, cuando la mano se ahueca, forma un conducto de concavidad anterior, cuyos bordes están limitados por tres puntos:

- El pulgar que constituye por sí sólo el borde externo;
- El índice, y el meñique que limitan el borde Interno;
- Entre estos dos bordes se despliegan los cuatro arcos oblicuos de oposición.

Figura 10: Fisiología articular de la mano

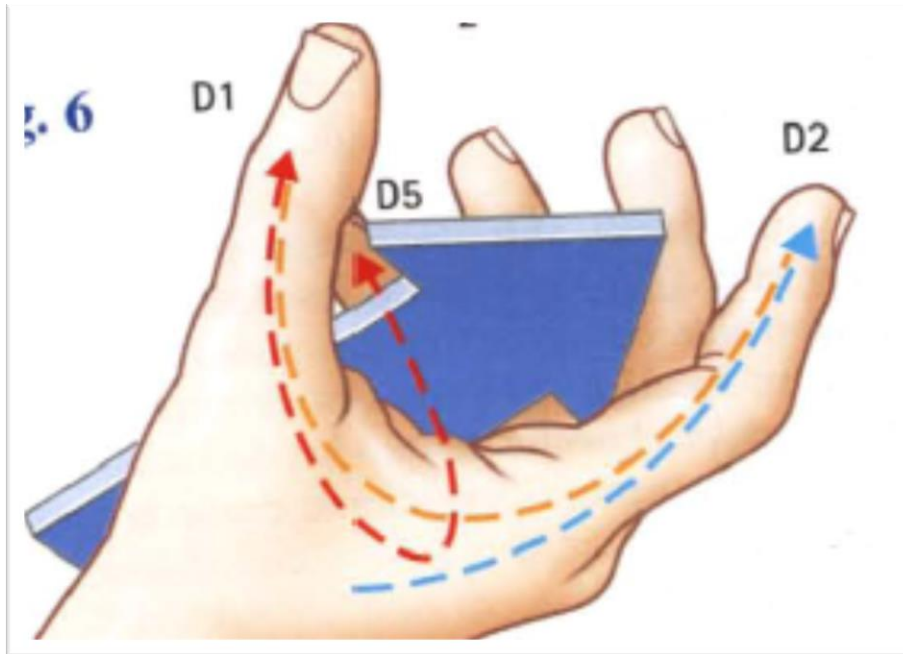


FUENTE: Kapandji, Fisiología articular, 2006 página 205 figura 11

La dirección general, oblicua, de este conducto palmar está cruzada en relación a los arcos de oposición: se localiza por una línea que se extiende desde el talón de la eminencia hipotenar a la cabeza del segundo metacarpiano. Esta dirección se obtiene, en la palma de la mano, por la parte media del pliegue de oposición del pulgar ("línea de la vida"). También es la dirección que toma un objeto cilíndrico sujeto con toda la mano. Por el contrario, cuando se separan los dedos al máximo, la mano se aplanan y la distancia máxima entre el pulpejo del pulgar y el del meñique se denomina palmo o cuarta, que para un pianista debe alcanzar al menos

una octava. Finalmente, es imposible no advertir que en todas estas posiciones una mano normal y sana presenta una arquitectura armoniosa.⁸

Figura 11: Fisiología articular de la mano



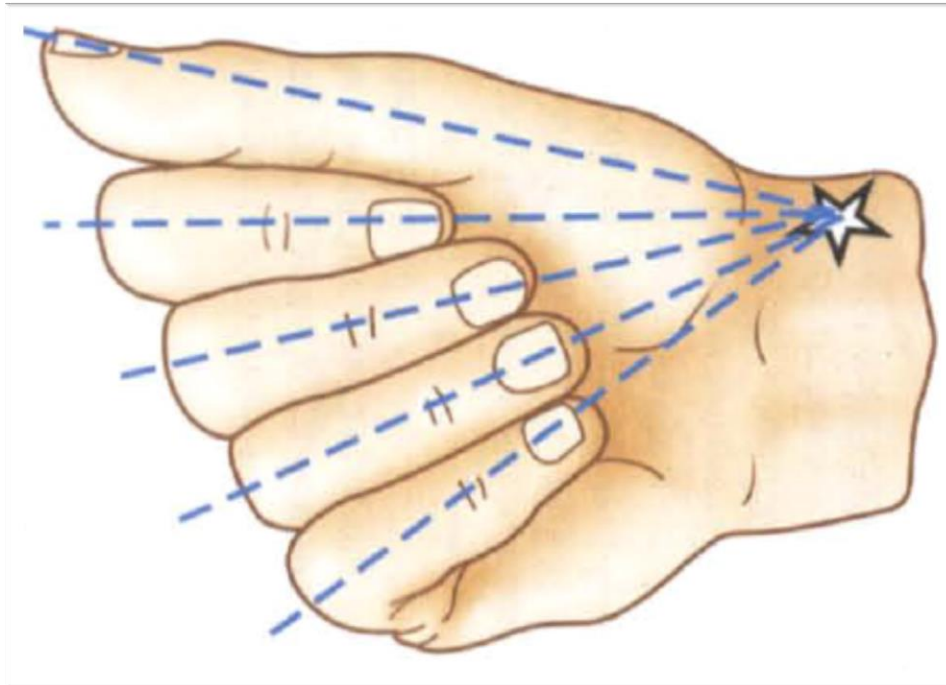
FUENTE: Kapandji, Fisiología articular, 2006 página 205 figura 8

Cuando los dedos se separan voluntariamente, el eje de cada uno de ellos converge con la base de la eminencia tenar, en un punto que corresponde aproximadamente al tubérculo del escafoides, fácil de palpar; en la mano, los movimientos de los dedos en el plano frontal, movimientos de aducción-abducción, no se realizan habitualmente en relación al plano de simetría del cuerpo, sino en relación al eje de la mano, constituido por el tercer metacarpiano y el dedo corazón; entonces se habla de movimientos de separación y de aproximación de los dedos.

Durante estos movimientos, el dedo corazón permanece prácticamente inmóvil. Sin embargo, es posible que realice movimientos voluntarios hacia fuera (verdadera abducción, en relación al plano de simetría) y hacia dentro (auténtica aducción). Cuando se aproximan voluntariamente los dedos unos a otros los ejes de los dedos no son paralelos, sino que convergen en

un punto bastante alejado, que se localiza más allá del extremo de la mano. Esto se debe al hecho de que los dedos no son cilíndricos, sino de calibre decreciente desde la base hasta la punta.⁸

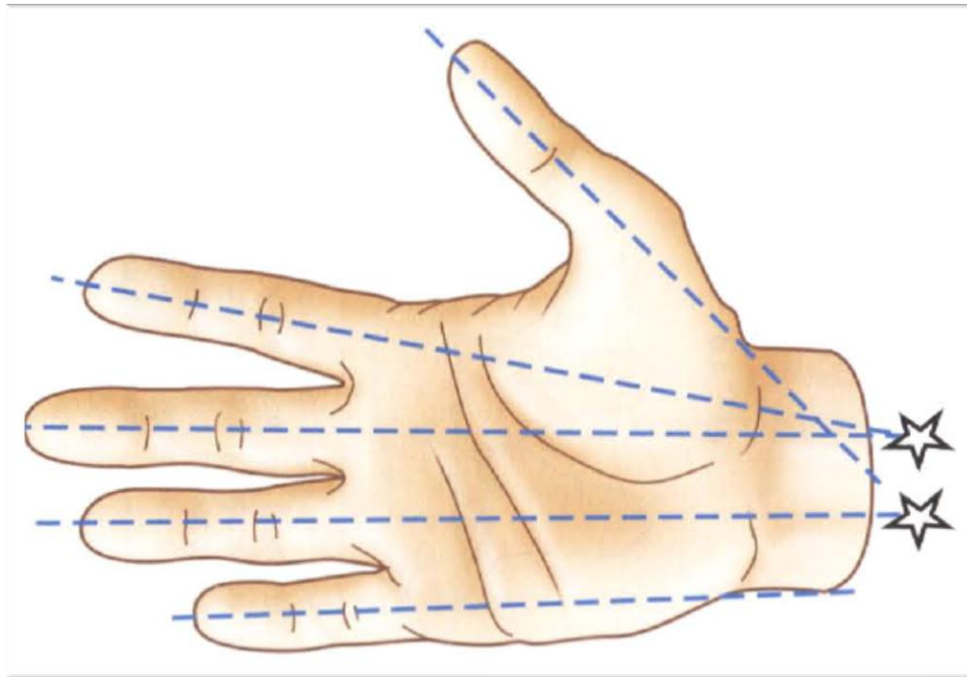
Figura 12: Fisiología articular de la mano



FUENTE: Kapandji, Fisiología articular, 2006 página 207 figura 13

Cuando se deja que los dedos adopten una posición natural, posición a partir de la cual se pueden llevar a cabo los movimientos de separación o aproximación están ligeramente separados entre sí, pero sus ejes no convergen todos en un único punto. Cuando se cierra el puño con las articulaciones interfalángicas distales extendidas, los ejes de las dos últimas falanges de los cuatro últimos dedos y el eje del pulgar, exceptuando su última falange, convergen en un punto situado en la parte inferior del conducto del pulso. Obsérvese que esta vez, el eje longitudinal es el del dedo índice, mientras que los ejes de los tres últimos dedos son tanto más oblicuos cuanto más se alejan del índice.⁸

Figura 13: Fisiología articular de la mano



FUENTE: Kapandji, Fisiología articular, 2006 página 207 figura 14

3.2. Realidad nacional

Según la primera encuesta nacional de discapacidad realizada en 2005, en mayores de 6 años existe una tasa de 26.4 por cada mil habitantes hombres discapacitados en el área metropolitana, la tasa más alta a nivel nacional, seguido por la región norte con una tasa de 21.4 por cada 1000 habitantes. Para el resto de la población mayor de 6 años hay una tasa de prevalencia de 43.3 discapacitados por cada 1000 en suroccidente del país de hecho la tasa más alta a nivel nacional, seguido por la región metropolitana con una tasa de 41.4 por cada 1000 habitantes. De todas las personas encuestadas el 21% presentan discapacidad musculo esquelética dentro de esta se engloba las amputaciones de miembro superior en su mayoría causadas por accidentes.¹

También se observa que el 71% de la población discapacitada en Guatemala, es por causa adquirida su discapacidad, de esto se desprende que el 43% de la población nunca ha recibido atención médica especializada en relación al problema que estas personas presentan, principalmente por falta de dinero ya que un 66.6% refiere como motivo principal este problema. A pesar que cierto

grupo de discapacitados a recibido alguna vez atención especializada, el 78% refiere que actualmente no recibe ningún tipo de tratamiento. Dentro de las instituciones que atienden a personas discapacitadas están los hospitales nacional quienes atienden la mayor cantidad de la población discapacitada es decir un 29.9% seguido del IGSS con un 25.1% de la población.¹

Actualmente el 0.3% de la población con amputación de miembro superior cuenta con una prótesis. A nivel nacional el 57.3% de discapacitados labora como operario o artesano, de esta población el 11.4% tiene un trabajo no remunerado y el 45.7% la remuneración que recibe es por trabajar por cuenta propia, ganando como máximo 200 quetzales mensuales. La razón es debido a analfabetismo en un 52% de la población.¹

El acuerdo 466 de la junta directiva del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), establece que esta institución debe otorgar seguridad social basada en la salud individual y colectiva de un o unos individuos, proteger el núcleo familiar e incluir la rehabilitación como parte del proceso de atención médica.²

En la sección VI de dicho acuerdo establece que debe haber una rehabilitación con aparatos ortopédicos y protésicos abarcando del artículo 76 al 81. Sin embargo dicha protección solo lo goza un grupo pequeño de trabajadores, es decir todos aquellos que cuenten con seguro social en su trabajo es decir un 25.1% de la población afectada.^{1,2}

3.3. Revisión de prótesis de manos antropomórficas

3.3.1. Definición

La prótesis es una extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas razones, una prótesis debe reemplazar un miembro del cuerpo dando casi la misma función que un miembro natural sea una pierna o un brazo.⁹

Es habitual confundir un aparato ortopédico (órtesis) con una prótesis, utilizando ambos términos indistintamente, una órtesis es un apoyo u otro dispositivo externo (aparato) aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético.⁹

3.3.2. Historia

Desde la época de las antiguas pirámides hasta la Primera Guerra Mundial, el campo de la protésica se ha transformado en un sofisticado ejemplo de la resolución del hombre por mejorar, la evolución de la protésica es larga y está plagada de historias, desde sus comienzos primitivos, pasando por el sofisticado presente, hasta las increíbles visiones del futuro.¹⁰

La primera prótesis de miembro superior registrada data del año 2000 a. C., fue encontrada en una momia egipcia; la prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo.¹⁰

Con el manejo del hierro, el hombre pudo construir prótesis de manos más resistentes y que pudieran ser empleadas para portar objetos pesados, tal es el caso del general romano *Marcus Sergius*, que durante la Segunda Guerra Púnica (218-202 a. C.) fabricó una mano de hierro para él, con la cual portaba su espada, ésta es la primera mano de hierro registrada.

En el año de 1400 se fabricó la mano de *alt-Ruppin* la cual también fue construida de hierro, constaba de un pulgar rígido en oposición y dedos flexibles, los cuales eran flexionados pasivamente, éstos se podían fijar mediante un mecanismo de trinquete y además tenía una muñeca movable.¹⁰

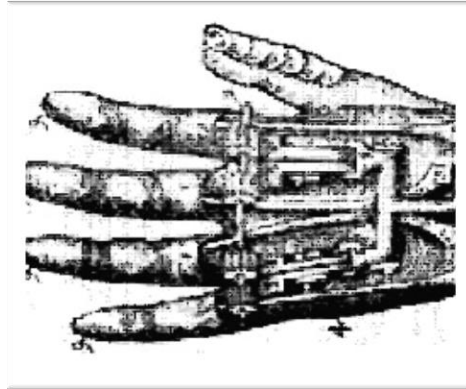
Figura 14: Mano de alt-Ruppin construida con hierro en el año 1400



Fuente: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1a.htm> (figura1)

hasta el siglo XVI, que el diseño del mecanismo de las prótesis de miembro superior se ve mejorado considerablemente, gracias al médico militar francés *Ambroise Paré*, quien desarrolló el primer brazo artificial móvil al nivel de codo, llamado *Le petitLorraine* el mecanismo era relativamente sencillo tomando en cuenta la época, los dedos podían abrirse o cerrarse presionando o traccionando, además de que constaba de una palanca, por medio de la cual, el brazo podía realizar la flexión o extensión a nivel de codo. Esta prótesis fue realizada para un desarticulado de codo. Paré también lanzó la primera mano estética de cuero, con lo que da un nuevo giro a la utilización de materiales para el diseño de prótesis de miembro superior.¹⁰

Figura 15: Primer brazo artificial móvil



Fuente: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1a.htm> (figura2)

Más tarde el Conde *Beafort* da a conocer un brazo con flexión del codo activado al presionar una palanca contra el tórax, aprovechando también el hombro contra lateral como fuente de energía para los movimientos activos del codo y la mano. La mano constaba de un pulgar móvil utilizando un gancho dividido sagitalmente, parecido a los actuales ganchos *Hook*.¹⁰

Figura 16: Prótesis de mano con pulgar móvil y gancho dividido sagitalmente



Fuente: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1a.htm> (figura3)

En el año de 1912 Dorrance en Estados Unidos desarrolló el *Hook*, que es una unidad terminal que permite abrir activamente, mediante movimientos de la cintura escapular, además se cierra pasivamente por la acción de un tirante de goma. Casi al mismo tiempo fue desarrollado en Alemania el gancho *Fischer* cuya ventaja principal era que poseía una mayor potencia y diversidad en los tipos de prensión y sujeción de los objetos.¹⁰

El origen de las prótesis activadas por los músculos del muñón se da en Alemania gracias a *Sauerbruch*, el cual logra idear como conectar la musculatura flexora del antebrazo con el mecanismo de la mano artificial, mediante varillas de marfil que hacía pasar a través de túneles cutáneos, haciendo posible que la prótesis se moviera de forma activa debido a la contracción muscular.¹⁰

Las prótesis con mando mioeléctrico comienzan a surgir en el año de 1960 en Rusia. Esta opción protésica funciona con pequeños potenciales extraídos durante la contracción de las masas musculares del muñón, siendo estos conducidos y amplificados para obtener el movimiento de la misma. En sus inicios, este tipo de prótesis solo era colocada para amputados de antebrazo, logrando una fuerza prensora de dos kilos, actualmente las funciones de las prótesis de mano están limitadas al cierre y apertura de la pinza, la diferencia entre éstas radican en el tipo de control que emplean, pero todas realizan básicamente las mismas actividades.¹⁰

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Tipo y diseño de la investigación

Proyecto aplicativo.

4.2. Procedimientos

Para el presente proyecto aplicativo se procedió a descargar el archivo “Hand robot inMoov” publicado por hairygael, disponible para descargar de forma gratuita en <http://www.thingiverse.com/thing:17773>, se descargaron los archivos *.stl, que posteriormente se exportaron a archivos de formato *.dwg, esto se realizó con el programa MeshLab.exe para poder ser utilizados por un programa CAD de distribución AUTODESK (AutoCAD.exe 2013), para toma de medidas, tipo de material a utilizar y posibles cambios.

Al momento de enviar a imprimir las piezas correspondientes a la mano nos ofrecieron dos materiales, PLA (ácido poliláctico) y ABS (acrilonitrilo Butadieno estireno), se prefirió el PLA puesto que no se deforma con el calor, es biodegradable y de menor costo económico, se imprimieron 6 piezas para el pulgar, 6 piezas para el índice, 6 piezas para el medio, 7 para el anular, 7 para el meñique y 1 pieza para la palma de la mano, en total 33 en PLA para una mano derecha.

Se pulieron con lima para barreno todas las superficies que entrarían en contacto entre sí para reducir la fricción, se compraron 14 tornillos de 1/16 de pulgada y una pulgada de largo, 14 tuercas hexagonales para tornillos de 1/16 y dos tubos pequeños de cianocrilato, dos tornillos de cabeza hembra hexagonal busca-rosca de 3/16 de pulgada, uno de 8 cm de largo y el otro de 5 cm de largo, dos tuercas hexagonales de 1/16 y 6 helicoil de 1/16 de pulgada.

Se armó dedo por dedo empezando por el pulgar, para ello se armó la región proximal con las dos primeras piezas, que se ubican entre las articulaciones metacarpofalángica y la interfalángica proximal, se aplicó cianocrilato entre las dos piezas y se esperó fijación, se armó la región media que está entre las articulaciones interfalángicas proximal y distal con las dos piezas destinadas para ello, se aplicó cianocrilato y se esperó fijación, la región distal se armó

posteriormente, se utilizaron dos tornillos de 1/16 con su tuerca para unir las piezas articuladas, un tornillo entre la región distal y media y otro entre la región media y la base, se cortaron los tornillos a la medida del dedo, se colocaron dos helicoil en la pieza base, uno para cada lado de la base y se ajusta a la distancia según la medida del tornillo de 3/16, una vez armado el pulgar se articula con la palma utilizando el tornillo de 3/16 de 5 cm de largo y su tuerca correspondiente.

Para el dedo índice, primero se armó la región proximal, se unieron las dos piezas con cianocrilato y se esperó fijación, se hizo el mismo procedimiento para la región media pero no para la región distal, se articuló la región distal y media con un tornillo de 1/16 se enrosca la tuerca y se corta el tornillo a la medida de la articulación interfalángica distal, se hizo el mismo procedimiento para la articulación interfalángica proximal, por último se articuló el dedo a la palma con un tercer tornillo de 1/16 previamente cortado a la medida, se hizo el mismo procedimiento para el dedo medio, anular y meñique con la diferencia que estos dos últimos se articularon a la palma con el segundo tornillo 3/16 de 10 cm de largo y los 4 helicoil sobrantes, dos para cada dedo, para simular las articulaciones carpometacarpiana del anular y meñique.

Para darle el movimiento a la mano se introdujo Guaya de acero de 0.5 mm de diámetro, a través de cada orificio que cada pieza que tenía, de manera que al traccionar un cable determinado, el dedo flexionaba o se extendía, para poder lograr estos movimientos de tracción de los cables se compraron 4 motores servo con un torque de 3.8 kg, los cuales controlarían los movimientos de cada dedo, un motor para el movimiento del pulgar, otro motor para el movimiento del índice, un tercer motor para el movimiento del medio finalmente un motor para el movimiento del anular y el meñique.

Para controlar de una manera adecuada los servomotores se emplearon dos circuitos integrados M430G2452, estos circuitos integrados fueron programados para este proyecto, utilizando el software "Energia" versión 0101e0014, posterior a crear las líneas de código fue necesario "transmitirlo" al integrado, para esto se utilizó el hardware "LaunchPad MSP430" de Texas Instruments.

El primer integrado al que llamamos "A" se cargó con el código se encuentra disponible en el anexo no.1, este primer integrado, controla el movimiento de los dedos para flexionar cada falange de manera individual, excepto la cuarta y

quinta falange, que se flexionan con el mismo motor servo, después se programó otro microcontrolador M430G2452a1 que llamamos “B”, el cual controla al primer microcontrolador según las funciones predeterminadas, el programa que se carga a este segundo microcontrolador está disponible en el anexo 2.

Posterior a cargar los programas a los circuitos integrados, se armó el circuito en un protoboard para probar si funcionaba, luego de agregarle las resistencias y los push-buttons correspondientes funcionó adecuadamente, el diagrama está disponible en el anexo 3.

Al tener el circuito funcionando adecuadamente se procedió al diseño de los impresos de las placas de cobre, para esto se utilizó el programa “Proteus 8”, estos impresos están disponibles en el anexo 4, corresponden a la placa de control y a la placa controladora, respectivamente.

Los impresos se imprimieron en papel de termo-transferencia utilizando una impresora láser, para este paso es muy importante utilizar una impresora láser, los impresos se transfieren a las placas de cobre de 10 x10cm planchando el papel de termo-transferencia en contacto con las placas de cobre, el fin es derretir el tóner y que quede adherido a las placas de cobre, se plancha por 5 minutos con la plancha ajustada a la temperatura de “poliéster” o a 130-150 grados centígrados, al terminar se introdujeron las placas de cobre en agua, se esperó a que se humedeciera el papel aproximadamente 3 minutos y se retiraron los sobrantes de papel frotando con las yemas de los dedos, luego se perforaron los agujeros para los componentes electrónicos de las placas con una broca de 1/32, al tener las placas perforadas se metieron las placas en cloruro-férrico por 10 minutos para eliminar todo el cobre que no estaba protegido por el tóner, luego, se lavaron las placas y se limpiaron con acetona para eliminar el tóner, se cortaron las partes que sobraron de las placas y se soldaron los componentes electrónicos como lo indica el diagrama disponible en el anexo 3.

Al tener las piezas antes descritas, se procedió a diseñar el antebrazo y la articulación de la muñeca por medio de una computadora utilizando el programa AutoCAD, para el antebrazo se utilizó un patrón de malla triangular, con el fin de obtener una estructura sólida y liviana; las medidas finales del antebrazo fueron 7 cm de diámetro, 11 cm de largo, en su interior se diseñaron los espacios correspondientes a la placa control, la placa controladora y los motores servo,

para la muñeca se diseñó un cilindro de 6 mm de longitud y 7 cm de radio, con un espacio al centro para que pudieran pasar los cables que mueven los dedos, se diseñó también esta pieza un sistema de unión con la mano, ver anexo 5.

Al tener la impresión del modelo del antebrazo y la muñeca, ver anexo 6, se colocaron las placas en sus respectivos lugares, se colocaron los motores servo, se articuló la mano al antebrazo por medio del tornillo de rosca corrida 6 DIN 934, se sujetaron los cables de guaya de acero a los engranajes de cada motor, ver anexo 7. Para finalizar se colocó la tapaderas superior del antebrazo, y se unieron las puntas de los dedos con cianocrilato.

4.3. Límites

Los obstáculos de este proyecto fueron el tiempo que se tardó en enviar a imprimir las piezas de plástico en 3D, no poder implementar el sistema de control mioeléctrico debido a que en Guatemala no se contaba con los materiales necesarios y el costo de enviar a traer a otro país dichos componentes era elevado, es necesario mencionar que teniendo los materiales necesarios no podemos asegurar su funcionamiento adecuado debido a lo complicado de la manipulación y procesamiento del amplio abanico de señales mioeléctricas, actualmente el integrado M430G2452 "A" (ver descripción en materiales y métodos) tiene programado el código para los sensores de presión, no se instalaron y no se muestran en los diagramas pues no se encontró en Guatemala un modelo compacto y adecuado, si el lector los encuentra los puede conectar a los pines 10,11, 12 y 13 tomando en cuenta que estos deben enviar una señal negativa.

4.4. Alcances

El presente proyecto es una prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial adaptada para movimientos simples, diseñada por computadora, construida por medio de impresión 3D, con material plástico biodegradable y de bajo costo, realiza movimientos por medio de un mecanismo de dedos articulados movidos por cuatro servomotores, que son controlados por medio de circuitos integrados, programados con funciones predeterminadas que

pueden ser ejecutadas por medio de señales de mando que puede activar el usuario de la prótesis.

4.5. Recursos

4.5.1. Lista de recursos para el estudio

Recursos	Materiales	Presupuesto
Humano	Horas de programación	Q. 650.00*
	Horas de diseño de piezas	Q. 200.00*
	Horas de armado de mano y antebrazo	Q. 100.00*
	Asesores	Q. 300.00*
	Computadoras	Q. 0.00
Físicos	1 Papel de termo transferencia	Q. 30.00
	2 Placa de cobre 10x10cm	Q. 20.00
	1 Placa perforada	Q. 06.00
	1 Bote cloruro férrico	Q. 10.00
	1 Cable bus PATA	Q. 20.00
	1 Metro de estaño	Q. 05.00
	2 M430G 2452	Q. 70.00
	2 Sokets 20 pines	Q. 06.00
	2 Resistencia 47K Ohm	Q. 01.20
	8 Resistencias 1k Ohm	Q. 04.80
	5 Push-Button	Q. 10.00
	4 Led catodo común	Q. 08.00
	5 Resistencias 1K Ohm	Q. 03.00
	1 Impresión mano	Q. 580.00
	1 Impresión antebrazo	Q. 585.00
	4 Servomotores HK 15138	Q. 260.00
	1 Fuente de alimentación 5v 5600Miliamperios	Q. 200.00
	6 Helicoil	Q. 132.00
	1 Tornillo rosca corrida 6x50 DIN	Q. 16.00
	1 Tornillo rosca corrida 6x80 DIN	Q. 30.00
1 Tornillo rosca corrida 6 DIN 934 rosca ordinaria y tuerca	Q. 01.70	

	14 Tornillos de 1/16" con sus tuercas	Q. 60.00
	6 Metros de guaya de acero 0.5mm diámetro	Q. 40.00
	12 Bolitas de chapa para pulseras	Q. 05.00
	2 Cables USB	Q. 30.00
	2 Jumper hembra macho	Q. 06.00
	2 Jumper macho hembra	Q. 06.00
	2 Pomos pequeños de cianocrilato	Q. 04.00
	1 Tira de pines 24 pines	Q. 20.00
Total		Q. 2,169.70

*Este monto es únicamente como referencia, una manera de intentar adjudicar valor económico al trabajo realizado por los autores y asesores.

4.6. Aspectos éticos de la investigación

No contempla aspectos éticos ya que es un proyecto aplicativo

5. CONCLUSIONES

- 5.1.** Es posible elaborar una mano robótica para pacientes con amputación transradial adaptada para realizar movimientos simples controlados por servomotores.
- 5.2.** Se puede realizar un diseño mecánico de una prótesis de mano robótica a partir de un software de diseño CAD (auto CAD) tomando en cuenta medidas antropométricas y funcionalidad.
- 5.3.** Es factible construir un prototipo de prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial, a partir de un modelo digital y materiales de bajo costo.
- 5.4.** Es útil programar secuencias de movimiento predeterminadas para aumentar el número de movimientos de la prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial.
- 5.5.** Es posible la manipulación de objetos por medio de la prótesis de mano robótica para pacientes con amputación transradial.
- 5.6.** Al observar los movimientos de la mano puede darse cuenta de lo complejo que es el diseño y lo complicado que es tratar de replicarlo, por lo que actualmente en Guatemala estamos muy lejos de un modelo óptimo.

6. RECOMENDACIONES

6.1. A la Facultad de Ciencias Médicas de la USAC

6.1.1. Que el área de investigación de la facultad motive a los estudiantes a desarrollar un sistema de recolección y procesamiento de señales mioeléctricas para poder realizar sistemas de prótesis con mayor gama de movimientos y precisión.

6.1.2. Continuar con el desarrollo de proyectos de tipo aplicativo.

6.2. A la Universidad de San Carlos de Guatemala

6.2.1. Realizar las Gestiones necesarias para que en un futuro puedan incluir la carrera de ingeniería biomédica en su pensum académico.

6.3. A las instituciones que distribuyen prótesis en Guatemala

6.3.1. Dar un paso hacia el futuro y mejorar las tecnologías de las prótesis en Guatemala.

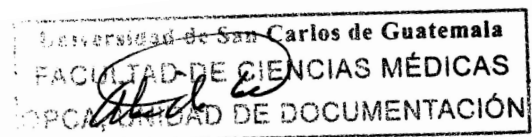
6.3.2. Mejorar la posición del pulgar para poder obtener un modelo que pueda realizar un movimiento de pinza a dos dedos.

7. APORTES

- 7.1.** Este proyecto es pionero en la elaboración de prótesis robóticas, en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- 7.2.** Proponemos una alternativa más económica y con mayor funcionalidad a pacientes con amputación transradial en Guatemala.
- 7.3.** Se dan a conocer nuevas alternativas para pacientes que necesitan utilizar una prótesis de mano.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guatemala. Instituto Nacional de Estadística. Encuesta nacional de discapacidad. Guatemala: INE; 2005.
2. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. Reglamento de asistencia médica. Acuerdo 466. Guatemala: IGSS; 1967.
3. Guatemala. Consejo Nacional para la Atención de las Personas con Discapacidad. Diagnóstico de las instituciones y organizaciones de y para personas con discapacidad. Guatemala: CONADI; 2005.
4. Quinayas CA. Diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres [en línea] [tesis de Maestría en Automática] Colombia: Universidad de Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones; 2010. [consultado 06 Feb 2015]. Disponible en: <http://www.unicauca.edu.co/deic/Documentos/Tesis%20Quinay%E1s.pdf>.
5. Rouviere H, Delmas A. Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11 ed. España: Masson; 2005.
6. Pró EA. Anatomía clínica. Argentina: Médica Panamericana; 2012.
7. Toboadela CH. Goniometría una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales. Argentina: ASOCIART; 2007.
8. Kapandji AI. Fisiología articular. 6 ed. España: Médica Panamericana; 2006.
9. Wikipedia, Definición de prótesis [en línea] San Francisco, California, es.wikipedia.com 2015. [consultado 04 Feb 2015] Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%B3tesis>.
10. Reseña histórica de las prótesis. Revista Digital Universitaria. UNAM [en línea] 2005 [consultado 04 Feb 2015]; 6(1): [aprox. 2 pant.] Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1a.htm>.



9. ANEXOS

9.1. Anexo 1

```
//Codigo de distribución gratuita creado
por los autores sin fines comerciales.
#include<Servo.h> //inicia la galería
servo
Servo pulgar; //declara los servos
Servo indice;
Servo medio;
Servo anular;
int push1=1; // quiere decir que la
entrada esta en HIGH
int push2=1;
int push3=1;
int push4=1;
int push5=1;
intsensorpulgar=1;
intsensorindice=1;
intsensormedio=1;
intsensoranular=1;
intcontrolpulgar=0; // define el conteo
desde la posicion inicial en grados.
intcontrolindice=0;
intcontrolmedio=150;
intcontrolanular=150;
int tiempo=01; // para controlar o cambiar
todos los tiempos de forma fácil
voidsetup()
{
pulgar.attach(5,800,1400); //define las
salidas a sus respectivos cervos
indice.attach(6,800,1400);
medio.attach(7,800,1400);
anular.attach(8,800,1400);
pinMode(19,INPUT); // define los pines
como entrada
pinMode(18,INPUT);
pinMode(15,INPUT);
pinMode(14,INPUT);
pinMode(13,INPUT);
pinMode(12,INPUT);
pinMode(11,INPUT);
pinMode(10,INPUT);
pinMode(2,INPUT);
}
void loop()
{
push1=digitalRead(19);
sensorpulgar=digitalRead(13);
push2=digitalRead(18);
sensorindice=digitalRead(12);
push3=digitalRead(15);
sensormedio=digitalRead(11);
push4=digitalRead(14);
sensoranular=digitalRead(10);
if (push1==LOW &&controlpulgar<=140)
{pulgar.write(controlpulgar);
delay(tiempo);
if (sensorpulgar==LOW)
{indice.write(controlpulgar);
delay(tiempo);
}
}
else
{controlpulgar++;
```

```

if (controlpulgar>=140){
pulgar.write(140);
delay (tiempo);}
}

}

if (push1==HIGH){
pulgar.write (0);
delay(tiempo);
controlpulgar=0;
}

if (push2==LOW &&controlindice<=145)
{indice.write(controlindice);
delay(tiempo);
if (sensorindice==LOW)
{indice.write(controlindice);
delay(tiempo);
}
else
{controlindice++;
if (controlindice>=145){
indice.write(145);
delay (tiempo);}
}
}

if (push2==HIGH){
indice.write (0);
delay(tiempo);
controlindice=0;
}

if (push3==LOW &&controlmedio>=0)
{medio.write(controlmedio);
delay(tiempo);
if (sensormedio==LOW)
{medio.write(controlmedio);
delay(tiempo);
}
else
{controlmedio--;
if (controlmedio<=0){
medio.write(0);
delay (tiempo);}
}
}

if (push3==HIGH){
medio.write (150);
delay(tiempo);
controlmedio=150;
}

if (push4==LOW &&controlanular>=0)
{anular.write(controlanular);
delay(tiempo);
if (sensoranular==LOW)
{anular.write(controlanular);
delay(tiempo);
}
else
{controlanular--;
if (controlanular<=0){
anular.write(0);
delay (tiempo);}
}
}

if (push4==HIGH){
anular.write (150);
delay(tiempo);
controlanular=150;
}

if (push5==LOW)
{

```

```
controlpulgar=0; // define el conteo desde  
la posicion inicial en grados.
```

```
pulgar.write(0);
```

```
delay(tiempo);
```

```
controlindice=0;
```

```
indice.write(0);
```

```
delay(tiempo);
```

```
controlmedio=150;
```

```
medio.write(150);
```

```
delay(tiempo);
```

```
controlanular=150;
```

```
anular.write(150);
```

```
delay(tiempo);
```

```
}
```

```
}
```


9.2. Anexo 2

//código de distribución gratuita creado por los autores, sin fines comerciales.

```
int hacer=0;
inthacerporemg=0;
int acumulado=0;
int estadoanterior=0;
int salida=0;
int emg;
int pushprension=1;
int pushapunta=1;
int pushsaluda=1;
int pushpinza=1;
int pushhacer=1;
int optprension=1;
int optapunta=0;
int optsaluda=0;
int optpinza=0;

void setup()
{
  Serial.begin (9600); //inicia comunicacion
  serial
  pinMode(11,OUTPUT);
  pinMode(12,OUTPUT);
  pinMode(13,OUTPUT);
  pinMode(14,OUTPUT);
  pinMode(2,INPUT);
  pinMode(5,INPUT);
  pinMode(6,INPUT);
  pinMode(7,INPUT);
  pinMode(8,INPUT);
  pinMode(9,INPUT);
  pinMode(19,OUTPUT);
```

```
  pinMode(18,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(15,OUTPUT);
  digitalWrite(19,HIGH);
  digitalWrite(18,LOW);
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(15,LOW);
  digitalWrite(11,HIGH);
  digitalWrite(12,HIGH);
  digitalWrite(13,HIGH);
  digitalWrite(14,HIGH);
}
void loop()
{
  emg = analogRead(2);
  pushprension=digitalRead(5);
  pushapunta=digitalRead(6);
  pushsaluda=digitalRead(7);
  pushpinza=digitalRead(8);
  hacer=digitalRead(9);
  Serial.print ("emg: ");
  Serial.println(emg);
  if (emg>100)
  {
    acumulado=acumulado++;
    if (acumulado==5)
    {
      hacerporemg=1;
      delay (20);
    }
  }
  else
  {
```

```

hacerporemg=0;
acumulado=0;
}
if((hacer==LOW) &&
(estadoanterior==HIGH) |
(hacerporemg==1) &&
(estadoanterior==HIGH))
{
salida=1-salida;
delay(20);
}
estadoanterior=hacer;
if (pushprension==LOW)
{optprension=1;
optapunta=0;
optsaluda=0;
optpinza=0;
hacer=0;
estadoanterior=0;
salida=0;
digitalWrite(19,HIGH);
digitalWrite(18,LOW);
digitalWrite(10,LOW);
digitalWrite(15,LOW);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(14,HIGH);
}
if(optprension==1)
{
if(salida==1 &&optprension==1)
{
digitalWrite(11,LOW);
digitalWrite(12,LOW);

```

```

digitalWrite(13,LOW);
digitalWrite(14,LOW);
}
else
{digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(14,HIGH);
}
}
if (pushapunta==LOW)
{optprension=0;
optapunta=1;
optsaluda=0;
optpinza=0;
hacer=0;
estadoanterior=0;
salida=0;
digitalWrite(19,LOW);
digitalWrite(18,HIGH);
digitalWrite(10,LOW);
digitalWrite(15,LOW);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(14,HIGH);
}
if (optapunta==1)
{
if ((salida==1) && (optapunta==1))
{
digitalWrite(11,LOW);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,LOW);
digitalWrite(14,LOW);

```

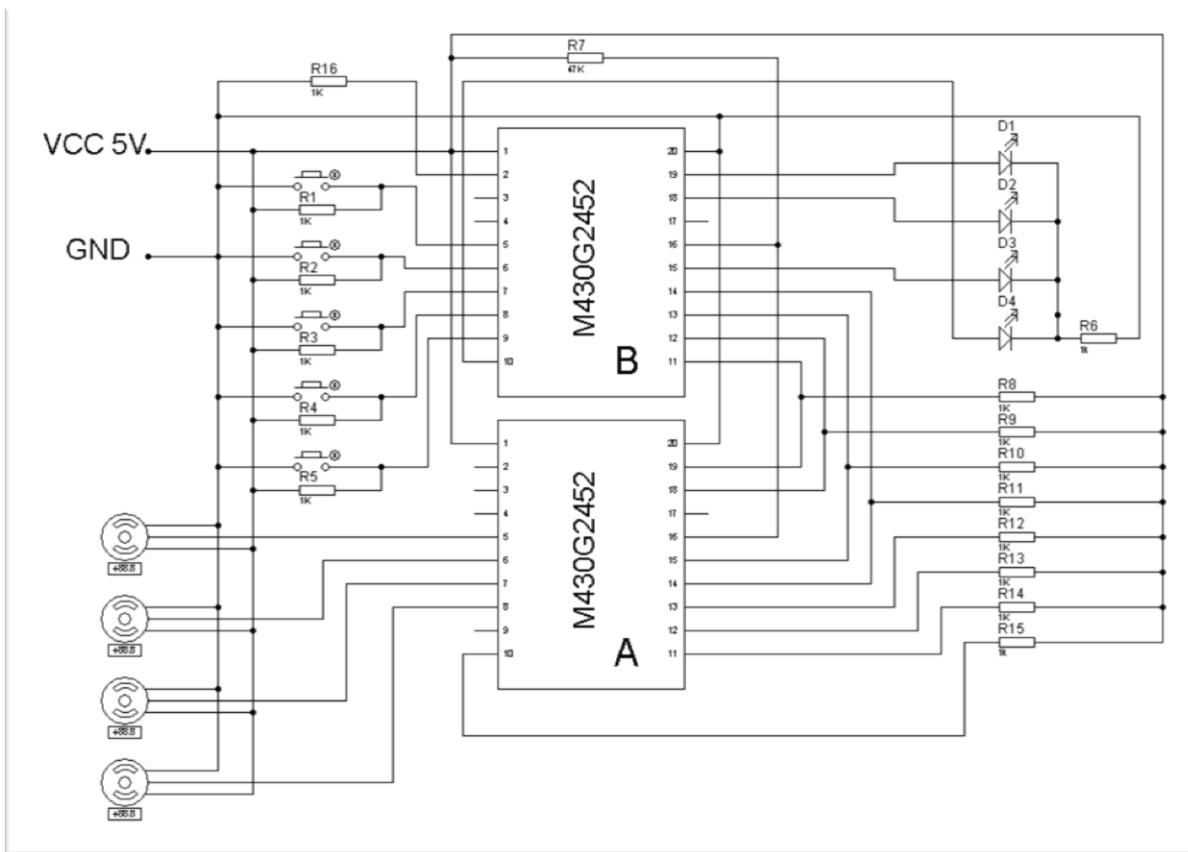
```

}
else
{
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(14,HIGH);
}
}
if (pushsaluda==LOW)
{optprension=0;
optapunta=0;
optsaluda=1;
optpinza=0;
hacer=0;
estadoanterior=0;
salida=0;
digitalWrite(19,LOW);
digitalWrite(18,LOW);
digitalWrite(10,HIGH);
digitalWrite(15,LOW);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(14,HIGH);
}
if (optsaluda==1)
{
if ((salida==1) && (optsaluda==1))
{
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,LOW);
digitalWrite(13,LOW);
digitalWrite(14,LOW);
}
}
else
{
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(14,HIGH);
}
}
if (pushpinza==LOW)
{optprension=0;
optapunta=0;
optsaluda=0;
optpinza=1;
hacer=0;
estadoanterior=0;
salida=0;
digitalWrite(19,LOW);
digitalWrite(18,LOW);
digitalWrite(10,LOW);
digitalWrite(15,HIGH);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,LOW);
digitalWrite(14,HIGH);
}
if(optpinza==1)
{
if (salida==1 &&optpinza==1)
{
digitalWrite(11,LOW);
digitalWrite(12,LOW);
digitalWrite(13,LOW);
digitalWrite(14,LOW);
}
}
else

```

```
{ digitalWrite(14,HIGH);  
digitalWrite(11,HIGH); }  
digitalWrite(12,HIGH); }  
digitalWrite(13,LOW); }
```

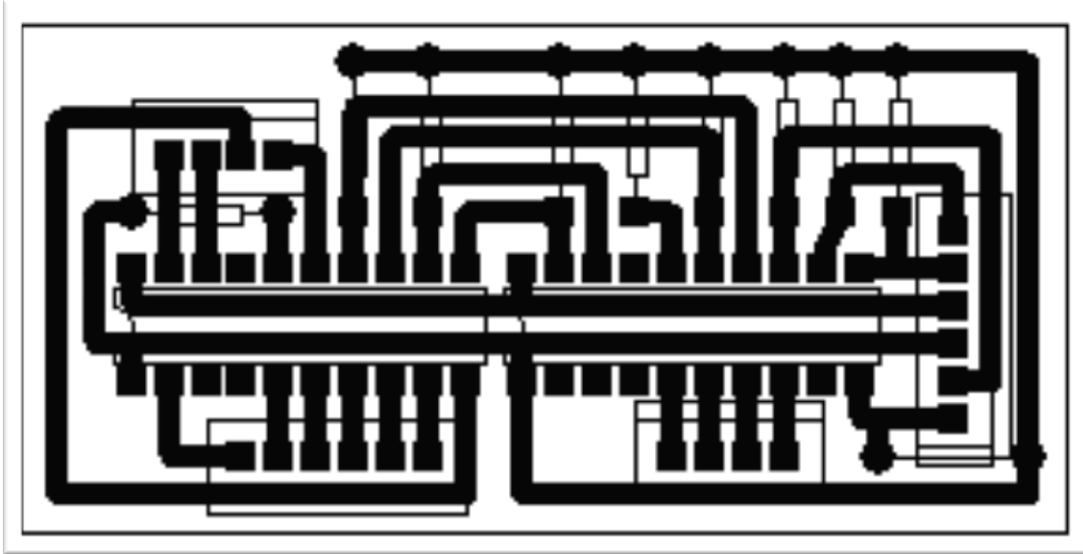
9.3. Anexo3



Fuente: propia de los autores.

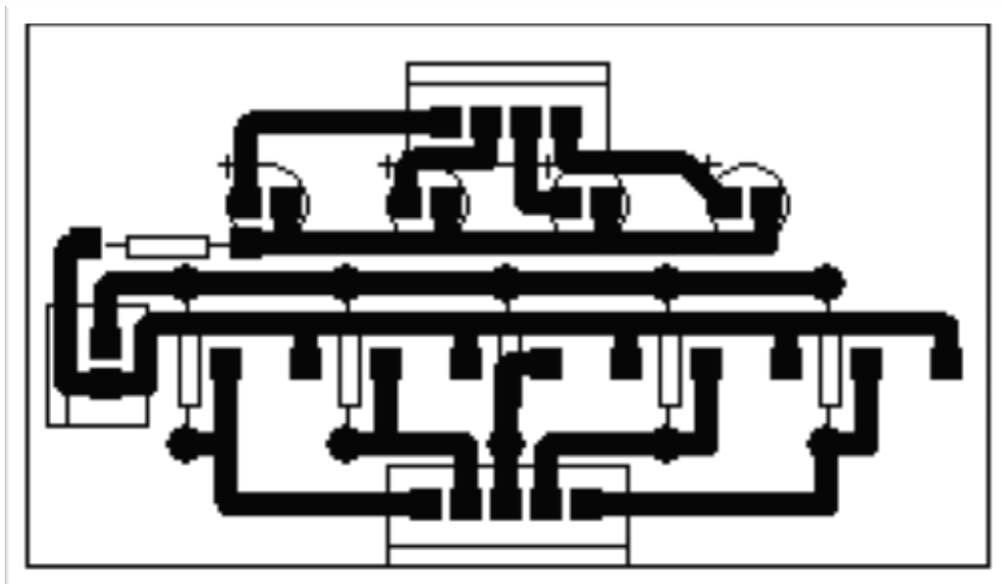
9.4. Anexo 4

Placa control



Fuente: propia de los autores

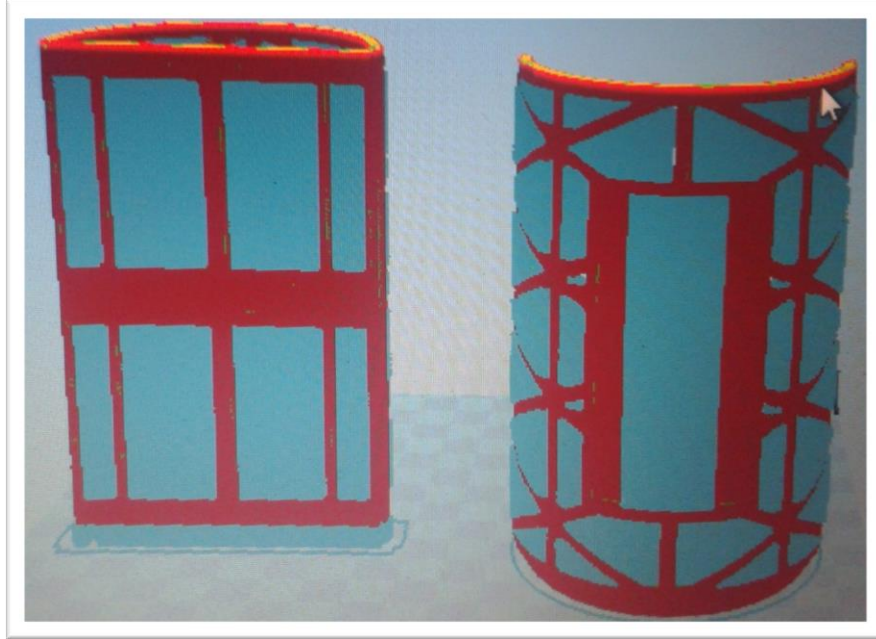
Placa controladora



Fuente: propia de los autores

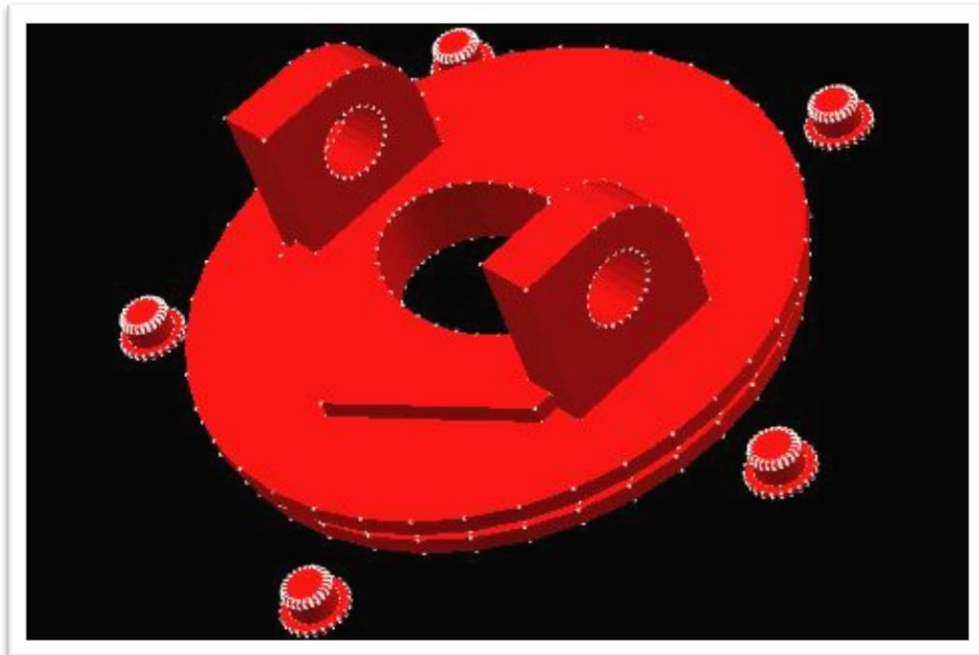
9.5. Anexo 5

Diseño CAD de antebrazo



Fuente: propia de los autores

Diseño CAD de muñeca



Fuente: propia de los autores

9.6. Anexo 6

Modelo impreso de antebrazo y muñeca



Fuente: Propia del Auto

9.7. Anexo 7

Motores montados en antebrazo



Fuente: Propia de los autores

9.8. Anexo 8

Mano y antebrazo con panel de control y fuente de alimentación



Fuente: Propia de los autores



Fuente: Propia de los autores