

**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE LA ZONA  
METROPOLITANA DE GUADALAJARA**

---

# **DISEÑO MECATRÓNICO PARA LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON AFECTACIONES EN LA MOVILIDAD DE LA MANO DERECHA**

Autor	Matricula
Faraci Masías Salvador Alejandro	16310108
Ibarra Mercado Pedro Ignacio	16310288
Pinedo Serrano David Octavio	16310429
Solano Sandoval Jorge Alejandro	16310192
Zepeda Rosales Ana Yadira	16310024

Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco México

02 de abril del 2019

# Contenido

<b>1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Justificación .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Meta .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Antecedentes históricos de prótesis y manos robóticas.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Diseño de prótesis en el siglo xx .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Investigaciones y desarrollo recientes en diseño de manos.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1 Sistemas protésicos .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 Prótesis Eléctricas.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.3 Prótesis mioeléctrica .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.4 Prótesis Híbrida .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Enfermedades tratables mediante fisioterapia mecánica .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1 Síndrome del túnel carpiano .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1.1 Síntomas del síndrome del túnel carpiano .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1.2 Causas del síndrome del túnel carpiano.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1.3 Riesgo de desarrollar el síndrome del túnel carpiano .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1.4 Diagnóstico del síndrome del túnel carpiano.....</b>	<b>19</b>
<b>Tratamientos no quirúrgicos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2 La osteoartritis.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2.1 Incidencia y prevalencia .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.3 Tendinitis .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.3.1 Tendinitis de la rodilla o rodilla del saltador.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.3.2 Tendinitis aquiliana (inflamación del tendón de Aquiles). .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.4 Síndrome de Dupuytren .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Epidemiología .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.1 Patogenia .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.2 Etiología .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.3 Diagnóstico .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.4 Tratamientos .....</b>	<b>31</b>
<b>3. Metodología de investigación.....</b>	<b>35</b>

3.1 Acercamiento al Objeto de Estudio.....	36
<b>3.2 Antecedentes de prótesis y manos robóticas.....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Mano Marcus.....	37
3.2.2 Mano Belgrade/ UCS La mano Belgrade/UCS .....	37
3.2.3 La mano NTU La mano NTU .....	37
3.2.4 La mano Stanford/JPL.....	37
3.2.5 Mano Utah/MIT La mano Utah/MIT.....	37
3.2.6 Mano DLR La mano DLR .....	38
3.2.7 Mano Robonaut.....	38
3.2.8 Mano Ultraleve.....	38
3.2.9 Hand of hope (universidad Politécnica en Hong Kong).....	38
3.3 CAD (Diseño Asistido por Computadora).....	39
3.4 Análisis de esfuerzos .....	40
3.5 Medidas antropométricas .....	41
3.6 Definición de interfaz .....	43
3.6.1 Descripción de la interfaz.....	44
3.7 Diagrama de flujo .....	45
3.8 Descripción del hardware .....	46
3.8.1 Características del nuevo Raspberry Pi 3 Modelo B+.....	46
3.8.2 Programación en Python con Raspberry Pi 3 .....	47
Conclusión.....	49
Bibliografía.....	50
ANEXOS .....	54
ANEXO 1 .....	54
<b>ENCUESTAS</b> .....	<b>54</b>
ANEXO 2 .....	57
<b>Análisis estructural: deformación por esfuerzos</b> .....	<b>57</b>
<b>Anexo 3</b> .....	<b>59</b>

# INTRODUCCIÓN

La robótica es una ciencia que actualmente está tomando gran auge y en el futuro seguramente formará parte de la sociedad como lo hace la informática. El nivel de tecnología y programación que puedan llegar a tener los robots determinará lo que estos podrán hacer para facilitar las actividades diarias, para realizar tareas que pongan en peligro la integridad del ser humano, en la diversión y el entretenimiento. También en el aspecto productivo, los robots mejoran los niveles de producción, no sólo en tiempo sino en calidad.

Con los avances en la informática, mecánica, electrónica, inteligencia artificial y otras ciencias, surgen los robots actuales, calificados de inteligentes, con mejoradas extensiones sensoriales con respecto a sus antecesores. Los avances de la ciencia le permiten a la robótica tener buenas perspectivas, pero a la vez incrementan la complejidad de la misma.

Desde épocas muy remotas el hombre ha deseado construir máquinas que tengan forma de seres humanos y le ayuden a realizar las operaciones que no le gustan, las que le resultan aburridas o peligrosas. A diferencia de un empleado humano, una máquina nunca se cansa ni se enferma y siempre está dispuesta a trabajar.

Los elementos que pueden funcionar automáticamente se utilizan desde épocas tan remotas como la antigua Grecia, sin embargo, es hasta mediados del siglo veinte cuando se lograron materializar los primeros robots industriales. Estos robots industriales distaban mucho de los sueños de poder contar con una máquina con forma de ser humano. Casi cincuenta años después de la aparición de los primeros robots se sigue trabajando en el diseño y fabricación de estas máquinas similares al ser humano.

# **CAPITULO I**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1. Planteamiento del problema

La artritis reumatoide es considerada una enfermedad sistémica inflamatoria, una de sus principales características es la destrucción de las articulaciones dolor e inflamación simétrica y bilateral en su mayoría también trae como consecuencias otras situaciones graves que incluso provocan la muerte, el 80% de los pacientes muestran depresión y ansiedad lo que afecta en el detrimento de su recuperación.

En México la artritis provoca un alto índice de incapacidad ya que la cifra de pacientes en el país llega a un millón 600 mil pacientes, esta enfermedad se desarrolla principalmente en mujeres en una relación que va de 3 a 1 (por cada hombre que tiene la enfermedad ya hay 3 mujeres que la padecen) y contrario a lo que se piensa afecta a la población de adultos jóvenes entre los 20 y 50 años de edad, por lo que representa un grave problema de discapacidad laboral, entre la población.

## 1.1 Justificación

En los últimos años los expertos coinciden que dicha afección (artritis) es la más destructiva ya que causa deformidades y afecta de manera importante la calidad de vida de la población mexicana. Por ello se ha despertado la necesidad de desarrollar diferentes modelos de rehabilitación que perfeccionen e implementen nuevas tecnologías inmersas en dispositivos Mecatrónico apoyando a los pacientes en:

- Recuperar la Flexión de los dedos.
- Recuperar la Fuerza y resistencia de la Mano (Músculos intrínsecos y extrínsecos).
- Programa de ejercicios activos y pasivos para mantener la movilidad de la mano.

## 1.2 Meta

Remplazar los tratamientos fisioterapéuticos básicos realizados en el tratamiento de dichas enfermedades mediante el uso de las tecnologías para desarrollar un mecanismo.

## 1.3 Objetivos

- Recaudación de información para la creación de la estructura y diseño de la mano basado en necesidades reales.
- Conocer los diferentes tipos de tratamientos fisioterapéuticos para determinar los padecimientos.
- Recopilar información sobre los tipos de mecanismos (simples y complejos) usados en rehabilitación.
- Recopilar información sobre las medidas antropomórficas de la mano humana.
- Diseño de CAD del exoesqueleto de la mano, con proporciones reales (carpo, metacarpo, radio, cubito y palma).
- Análisis estructural (software ANSYS) del exoesqueleto de la mano.



# **CAPITULO II**

MARCO TEÓRICO

## 2. Antecedentes históricos de prótesis y manos robóticas

El avance en el diseño de prótesis ha estado ligado directamente con el avance en el manejo de los materiales empleados por el hombre, así como el desarrollo tecnológico y el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano.

Una prótesis es un elemento desarrollado con el fin de mejorar o reemplazar una función, una parte o un miembro completo del cuerpo humano afectado, por lo tanto, una prótesis para el paciente y en particular para el amputado, también colabora con el desarrollo psicológico del mismo, creando una percepción de totalidad al recobrar movilidad y aspecto.

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. Con el manejo del hierro, el hombre pudo construir 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 la búsqueda de mejoras en el año de 1400 se fabricó la mano de alt-Ruppin construida también en 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. El empleo del hierro para la fabricación de manos era tan recurrente, que hasta Goethe da nombre a una de sus obras inspirado en el caballero germano Götz von Berlichingen, por su mano de hierro.

No es sino 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 petit Loraine" el mecanismo era relativamente sencillo tomando en cuenta la época, los dedos podían abrirse o cerrarse presionando, 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.

En el siglo XIX se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera en la fabricación de prótesis; los resortes contribuyen también al desarrollo de nuevos mecanismos para la fabricación de elementos de transmisión de la fuerza, para la sujeción, entre las innovaciones más importantes al diseño de las prótesis de miembro superior, se encuentra la del alemán Peter Beil.

El diseño de la mano cumple con el cierre y la apertura de los dedos, pero, es controlada por los movimientos del tronco y hombro contra lateral, dando origen a las prótesis autopropulsadas. 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.

## 2.1 Diseño de prótesis en el siglo xx

Para el siglo XX, el objetivo de que los amputados regresaran a su vida laboral, es alcanzado gracias a los esfuerzos del médico francés Gripoulleau, quien realizó diferentes accesorios que podrían ser usados como unidad terminal, tales como anillos, ganchos y diversos instrumentos metálicos, que brindaban la capacidad de realizar trabajo de fuerza o de precisión.

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.

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.

Es hasta 1946 cuando se crean sistemas de propulsión asistida, dando origen a las prótesis neumáticas y eléctricas. Un sistema de propulsión asistida es aquel en el que el movimiento es activado por algún agente externo al cuerpo. Las prótesis con mando eléctrico 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, las diferencias entre éstas radican en el tipo de control que emplean, pero todas realizan básicamente las mismas actividades. Entre los países con mayor avance tecnológico e investigación sobre prótesis, se encuentran Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra y Japón.

## 2.2 Investigaciones y desarrollo recientes en diseño de manos.

La mano realiza principalmente dos funciones; la prensión y el tacto, las cuales permiten al hombre convertir ideas en formas, la mano otorga además expresión a las palabras, tal es el caso del escultor o el sordomudo. El sentido del tacto desarrolla totalmente la capacidad de la mano, sin éste nos sería imposible medir la fuerza prensora.

Es importante mencionar que el dedo pulgar representa el miembro más importante de la mano, sin éste la capacidad de la mano se reduce hasta en un 40%. Los principales tipos de prensión de la mano son de suma importancia, ya que la prótesis deberá ser diseñada para cumplirlos.

La mano de Canterbury [Dunlop, 2003] utiliza eslabones mecánicos movidos directamente para actuar los dedos en forma similar a la mano humana. El movimiento directo de los eslabones se utiliza para reducir los problemas que

Presentan otros diseños de manos. Cada dedo de esta mano tiene 2.25 grados de libertad, la parte fraccionaria se debe al mecanismo para extender los dedos que es compartido por cuatro dedos. Los motores de corriente directa tienen una reducción por engranes 16:1, su tamaño es de 65 mm de largo y 12 mm. De diámetro.

Los dedos cuentan con sensores de presión en cada articulación y en la punta de los dedos, lo que hace que cada dedo tenga cuatro sensores de presión, dos motores de corriente directa, dos encoders y un sensor de efecto Hall. El pulgar tiene solo un motor y tres sensores de fuerza, mientras que la palma tiene las funciones de abrir todos los dedos y la rotación del pulgar, lo cual implica dos motores, dos encoders, dos sensores de efecto Hall y tres sensores de fuerza.

Todo esto da un total de 91 cables, por lo que se requirió un sistema de control distribuido utilizando un PSoC de Semiconductores Cypress.

Este microprocesador Actualmente solo es capaz de controlar la posición y velocidad, mientras que la cinemática y comandos complejos se calculan en una computadora. El manipulador desarrollado en la Universidad de Reading, Inglaterra [Harris, Kyberd, 2003] propone el uso de cables Bowden (chicotes) <sup>1</sup>dirigidos a cada unión como el medio para actuar los dos dedos de los que consta.

Este diseño simplifica el control de la mano al eliminar el acoplamiento entre juntas y permite la traslación directa y precisa entre las juntas y los motores que mueven los cables. La cinemática de los dedos se simula con mayor precisión al permitir dos grados de libertad con el mismo centro de rotación en el nudillo más grande de la mano. Esta mano incluye sensores en las yemas de los dedos para incrementar la precisión en la sujeción.

---

<sup>1</sup> Cable Bowden (chicote) es un tipo de cable mecánico flexible usado para la transmisión mecánica del movimiento por tracción.

### 2.2.1 Sistemas protésicos

Toda prótesis artificial activa necesita una fuente de energía de donde tomar su fuerza; un sistema de transmisión de esta fuerza; un sistema de mando o acción y un dispositivo prensor. En la elección de las prótesis a utilizar desempeña un papel trascendental el nivel de amputación o el tipo de displasia de que se trate.

**Prótesis Mecánicas** Las manos mecánicas son dispositivos que se utilizan con la función de apertura o cierre voluntario por medio de un arnés el cual se sujeta alrededor de los hombros, parte del pecho y parte del brazo controlado por el usuario. Su funcionamiento se basa en la extensión de una liga por medio del arnés para su apertura o cierre, y el cierre o apertura se efectúa solo con la relajación del músculo respectivamente gracias a un resorte y tener una fuerza de presión o pellizco.

Estos elementos se recubren con un guante para dar una apariencia más estética, sin embargo, se limita al agarre de objetos relativamente grandes y redondos ya que el guante estorba al querer sujetar objetos pequeños. El tamaño de la prótesis y el número de ligas que se requiera dependiendo de la fuerza y el material para su fabricación varían de acuerdo a las necesidades de cada persona.

Dado que estas prótesis son accionadas por el cuerpo, es necesario que el usuario posea al menos un movimiento general de: expansión del pecho, depresión y elevación del hombro, abducción y aducción escapular y flexión glenohumeral.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Glenohumeral articulación perteneciente al grupo de las diartrosis, está integrada por los huesos del humero, omoplato y brazo.

### 2.2.2 Prótesis Eléctricas.

Estas prótesis (figura 1.1) usan motores eléctricos en el dispositivo terminal, muñeca o codo con una batería recargable. Éstas prótesis se controlan de varias formas, ya sea con un servocontrol, control con botón pulsador o botón con interruptor de arnés. En ciertas ocasiones se combinan éstas formas para su mejor funcionalidad. Se usa un socket que es un dispositivo intermedio entre la prótesis y el muñón logrando la suspensión de éste por una succión.

Es más costosa su adquisición y reparación, existiendo otras desventajas evidentes como son el cuidado a la exposición de un medio húmedo y el peso de la prótesis. Prótesis neumáticas Estas prótesis eran accionadas por ácido carbónico comprimido, que proporcionaba una gran cantidad de energía, aunque también presentaba como inconveniente la complicación de sus aparatos accesorios y del riesgo del uso del ácido carbónico.



Figura 1.1 Prótesis eléctrica de sujeción en 3 puntos

### 2.2.3 Prótesis mioeléctrica

Las prótesis mioeléctricas (figura 1.2) son prótesis eléctricas controladas por medio de un poder externo mioeléctrico, estas prótesis son hoy en día el tipo de miembro artificial con más alto grado de rehabilitación. Sintetizan el mejor aspecto estético, tienen gran fuerza y velocidad de prensión, así como muchas posibilidades de combinación y ampliación. El control mioeléctrico es probablemente el esquema de control más popular.

Se basa en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica -EMG- que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es muy pequeña -5 a 20  $\mu\text{V}$ - Un micro-voltio es una millonésima parte de un voltio. Para poner esto en perspectiva, una bombilla eléctrica típica usa 110 a 120 voltios, de forma que esta señal es un millón de veces más pequeña que la electricidad requerida para alimentar una bombilla eléctrica.



Figura 1.2 prótesis mioeléctrica controlada por electrodos

El uso de sensores llamados electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel permite registrar la señal EMG. Una vez registrada, esta señal se amplifica y es procesada después por un controlador que conmuta los motores encendiéndolos y apagándolos en la mano, la muñeca o el codo para producir movimiento y funcionalidad. Éste tipo de prótesis tiene la ventaja de que sólo requieren que el usuario flexione sus músculos para operarla, a diferencia de las prótesis accionadas por el cuerpo que requieren el movimiento general del cuerpo.

Una prótesis controlada en forma mioeléctrica también elimina el arnés de suspensión usando una de las dos siguientes técnicas de suspensión: bloqueo de tejidos blandos-esqueleto o succión. Tienen como desventaja que usan un sistema de batería que requiere mantenimiento para su recarga, descarga, desecharla y reemplazarla eventualmente. Debido al peso del sistema de batería y de los motores eléctricos, las prótesis accionadas por electricidad tienden a ser más pesadas que otras opciones protésicas.



Una prótesis accionada por electricidad proporciona un mayor nivel de tecnología, pero a un mayor costo.

#### 2.2.4 Prótesis Híbrida

Una prótesis híbrida (figura 1.3) combina la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad en una sola prótesis. En su gran mayoría, las prótesis híbridas sirven para individuos que tienen amputaciones o deficiencias transhumerales (arriba del codo). Las prótesis híbridas utilizan con frecuencia un codo accionado por el cuerpo y un dispositivo terminal controlado en forma mioeléctrica (gancho o mano).



Figura 1.3 prótesis híbrida de cadera

## 2.3 Enfermedades tratables mediante fisioterapia mecánica

### 2.3.1 Síndrome del túnel carpiano

El síndrome del túnel carpiano se produce cuando el nervio mediano, que va desde el antebrazo hacia la mano, se comprime o se aprieta en la muñeca. El nervio mediano controla las sensaciones del lado palmar del pulgar y los dedos (aunque no el meñique), al igual que impulsos a algunos músculos pequeños en la mano que permiten que se muevan los dedos y el pulgar. El túnel carpiano—un corredor rígido y estrecho de ligamento y huesos en la base de la mano— aloja al nervio mediano y los tendones.

A veces, el engrosamiento de tendones irritados u otra inflamación estrecha el túnel y causa que se comprima el nervio mediano. El resultado puede ser dolor, debilidad, o entumecimiento en la mano y la muñeca, que se irradia por el brazo. Aunque las sensaciones dolorosas podrían indicar otras afecciones, el síndrome del túnel carpiano es la más común y ampliamente conocida de las neuropatías por atrapamiento en las cuales los nervios periféricos del organismo están comprimidos- o traumatizados-.

#### 2.3.1.1 Síntomas del síndrome del túnel carpiano

Generalmente los síntomas comienzan gradualmente, con ardor y hormigueo frecuente o entumecimiento con picazón en la palma de la mano y los dedos, especialmente el pulgar, el índice y dedo medio. Algunas personas que padecen el síndrome de túnel carpiano dicen que sus dedos se sienten inútiles e hinchados, aun cuando no es casi aparente la inflamación. A menudo los síntomas aparecen primero en una o ambas manos durante la noche, ya que muchas personas duermen con las muñecas flexionadas.

Una persona con el síndrome del túnel carpiano puede despertarse con la necesidad de “sacudir” la mano o la muñeca. A medida que los síntomas empeoran, las personas pueden sentir hormigueo durante el día. La disminución en la fuerza de agarre podría dificultar cerrar el puño, asir objetos pequeños, o realizar otras tareas manuales. En casos crónicos y/o no tratados, los músculos en la base del

pulgar podrían atrofiarse. Algunas personas no pueden discriminar entre calor y frío al tacto.

### 2.3.1.2 Causas del síndrome del túnel carpiano

El síndrome del túnel carpiano a menudo es el resultado de una combinación de factores que aumentan la presión sobre el nervio mediano y los tendones en el túnel carpiano, en lugar de un problema con el nervio mismo. Podría haber una predisposición -congénita- el túnel carpiano es simplemente más pequeño en algunas personas que en otras.

Otros factores que contribuyen incluyen traumatismo o lesión en la muñeca que causa inflamación, como un esguince o una fractura; obesidad, sobreactividad de la glándula pituitaria; hipotiroidismo; artritis reumatoide; problemas mecánicos en la articulación de la muñeca; estrés laboral; uso repetitivo de herramientas de mano vibradoras; retención de líquidos durante el embarazo o la menopausia; o el desarrollo de un quiste o tumor en el canal. En algunos casos no puede identificarse ninguna causa.

Existen pocos datos clínicos para probar si los movimientos repetitivos y contundentes de la mano y la muñeca durante el trabajo o las actividades recreativas pueden causar el síndrome del túnel carpiano. Otros trastornos como la bursitis y la tendinitis han sido asociados con movimientos repetidos realizados en el curso del trabajo normal o de otras actividades cotidianas.

El calambre del escritor -una afección en la cual la carencia de coordinación de destrezas motoras finas y el dolor y la presión en los dedos, muñeca, o antebrazo- también puede desencadenarse por la actividad repetida.

### 2.3.1.3 Riesgo de desarrollar el síndrome del túnel carpiano

Las mujeres tienen una probabilidad tres veces mayor que los hombres de desarrollar el síndrome del túnel carpiano, debido a que el túnel carpiano en sí puede ser más pequeño en algunas mujeres que en los hombres. La mano dominante generalmente se afecta primero y produce el dolor más intenso. Las personas con diabetes u otros trastornos metabólicos que afectan directamente los nervios del organismo y los hacen más susceptibles a la compresión también se encuentran en alto riesgo.

El síndrome del túnel carpiano generalmente se produce solamente en los adultos. En el lugar de trabajo, el riesgo de desarrollar el síndrome del túnel carpiano no está limitado a las personas en una sola industria o empleo, sino que es especialmente común en aquellos que desempeñan trabajos en líneas de ensamblaje manufactura, costura, acabado, limpieza, y empaque de carnes, aves o pescados. De hecho, el síndrome del túnel carpiano es tres veces más común entre los ensambladores que entre el personal de entrada de datos.

### 2.3.1.4 Diagnóstico del síndrome del túnel carpiano

El diagnóstico y tratamiento precoces son importantes para evitar el daño permanente en el nervio mediano. Un examen físico de las manos, brazos, hombros y cuello puede ayudar a determinar si las quejas del individuo están relacionadas con las actividades diarias o con un trastorno subyacente, y puede descartar afecciones dolorosas que imitan al síndrome del túnel carpiano. La muñeca se examina para detectar dolor, inflamación, calor y decoloración.

Debe probarse la sensación de cada dedo, y los músculos en la base de la mano deben examinarse para evaluar la fuerza y los signos de atrofia. Los análisis de laboratorio de rutina y las radiografías pueden revelar diabetes, artritis y fracturas. Los médicos pueden usar pruebas específicas para intentar producir los síntomas del síndrome del túnel carpiano. En la prueba de Tinel, el médico golpetea o presiona sobre el nervio mediano en la muñeca de la persona.

La prueba es positiva cuando se produce hormigueo en los dedos o una sensación parecida a un shock.

La prueba Phalen, o de flexión de la muñeca, implica hacer que la persona sostenga sus antebrazos verticales apuntando los dedos hacia abajo y presionando juntos los dorsos de las manos. La presencia del síndrome del túnel carpiano se sugiere si uno o más síntomas, como hormigueo o aumento del entumecimiento, se sienten en los dedos en 1 minuto. Los médicos también pueden pedirles a las personas que intenten hacer un movimiento que produzca los síntomas.

A menudo es necesario confirmar el diagnóstico usando pruebas de electrodiagnóstico. En un estudio de conducción nerviosa, se colocan electrodos en la mano y la muñeca. Se aplican pequeños shocks eléctricos y se mide la velocidad con la que se transmiten los impulsos nerviosos.

En electromiografía<sup>3</sup>, se inserta una aguja fina dentro de un músculo; la actividad eléctrica vista en una pantalla puede determinar la gravedad del daño sobre el nervio mediano. Las imágenes ecográficas pueden mostrar el deterioro del movimiento del nervio mediano. La imagen por resonancia magnética (IRM) puede mostrar la anatomía de la muñeca, pero hasta la fecha no ha sido especialmente útil para diagnosticar el síndrome del túnel carpiano.

## Tratamientos no quirúrgicos

En circunstancias especiales, diversos medicamentos pueden aliviar el dolor y la inflamación asociados con el síndrome del túnel carpiano. Los medicamentos antiinflamatorios no esteroideos, como la aspirina, el ibuprofeno, y otros analgésicos de venta libre, pueden aliviar los síntomas que han estado presentes por poco tiempo o que fueron causados por una actividad agotadora.

---

<sup>3</sup> Electromiografía procedimiento para conocer el funcionamiento del sistema nerviosos periférico (nervio y musculo).

Los diuréticos de administración oral “píldoras de agua” pueden disminuir la inflamación.

Los corticosteroides<sup>4</sup>, inyectados directamente dentro de la muñeca, o tomados por boca como la predisona, pueden reducir la presión sobre el nervio mediano y proporcionar alivio temporario e inmediato a las personas con síntomas de leves a moderados. (Precaución: las personas con diabetes y aquellos que pueden estar predispuestos a padecer diabetes deben observar que el uso prolongado de corticosteroides puede dificultar la regulación de los niveles de insulina. -Los corticosteroides no deben tomarse sin receta médica-.

Además, algunos estudios muestran que los suplementos de vitamina B6 “piridoxin” pueden aliviar los síntomas del síndrome del túnel carpiano.

Ejercicio: ejercicios de estiramiento y fortalecimiento pueden ser útiles en las personas cuyos síntomas han disminuido o terminado.

Estos ejercicios pueden ser supervisados por un fisioterapeuta, quien está capacitado para usar ejercicios para tratar impedimentos físicos, o un terapeuta ocupacional, quien está capacitado para evaluar a las personas con impedimentos físicos y en ayudarles a crear destrezas para mejorar su salud y bienestar.

Terapias alternativas: La acupuntura y la quiropráctica han beneficiado a algunas personas, pero su eficacia sigue sin probarse. Una excepción es el yoga, que se ha demostrado que reduce el dolor y mejora la fuerza de agarre entre personas con el síndrome del túnel carpiano.

---

<sup>4</sup> Corticoides son hormonas esteroideas que se usan como medicamentos o fármacos antiinflamatorios e inmunosupresores.

### 2.3.2 La osteoartritis

La osteoartritis (OA) es la más común de las enfermedades reumáticas crónicas. Se manifiesta por dolor, deformidad e incapacidad funcional principalmente de las articulaciones con gran movilidad o que soportan peso. Con el cambio en el panorama epidemiológico hacia las enfermedades crónico-degenerativas y el envejecimiento de la población mundial, la osteoartritis es un problema de salud pública que debe ser atendido con oportunidad y eficacia.

La OA también conocida como artrosis u osteoartrosis, es una enfermedad crónico degenerativa que se caracteriza por la destrucción gradual y progresiva del cartílago que recubre la superficie articular de rodillas, caderas, hombros, manos, tobillos y columna vertebral. Adicionalmente, hay inflamación de la membrana sinovial, así como daño en meniscos, tendones, músculos y nervios asociados con la articulación afectada.

#### 2.3.2.1 Incidencia y prevalencia

Se considera a la OA un problema de salud pública debido a su alta incidencia y prevalencia. La padece al menos 15 % de la población mundial por arriba de los 60 años de edad. Inclusive, se ha determinado que dentro de las enfermedades reumáticas la OA es 10 a 12 veces más frecuente que la artritis reumatoide.

La prevalencia depende de la precisión de los criterios o métodos utilizados para su diagnóstico. Los estudios de autopsia y las radiografías muestran una prevalencia mayor que la enfermedad sintomática; cuarenta por ciento de los estudios de autopsia muestran evidencia histológica de OA y sólo 10% presentaron dolor de rodillas. En la OA de las manos esto no es necesariamente cierto, los síntomas clínicos pueden preceder por meses o años a las manifestaciones radiológicas más tempranas.

La OA de rodillas es la más significativa clínicamente y se incrementa con la edad ya que 33 y 53% de los hombres y de las mujeres de más de 80 años de edad tienen evidencia radiológica de OA, sin embargo, las manifestaciones clínicas sólo

Se reportan en 16% de las mujeres y 5% de los hombres de más de 80 años de edad. México, la encuesta nacional de salud (ENSA II) de 1998 la ubica como la segunda causa de morbilidad con 14% en personas mayores de 60 años de edad.

La incidencia de OA de cadera es 88/ 100,000 personas~ año, la de rodillas 240/100,000 personas ~ año. La incidencia de OA de rodillas es 1% por año en mujeres entre 70 a 89 años de edad. Los estudios realizados para determinar costos en atención primaria de enfermedades músculo-esqueléticas reportan que la OA ocupa los primeros cuatro lugares en demanda de atención y representa el mismo nivel en lo que se refiere a costos. La carga económica que esto representa es 2.5% del PIB en países como EEUU, Canadá y Gran Bretaña.

En el 2000 el gasto por este rubro fue de 26 mil millones de dólares. En México se ha estimado que se destina 0.4% del PIB a la atención de enfermedades músculo-esqueléticas.

### 2.3.3 Tendinitis

La tendinitis es la inflamación o la irritación de un tendón, las cuerdas fibrosas que unen el músculo al hueso. Este trastorno causa dolor y sensibilidad justo afuera de la articulación. Si bien la tendinitis puede ocurrir en cualquiera de los tendones, es más frecuente alrededor de los hombros, los codos, las muñecas, las rodillas y los talones.

La tendinitis causa dolor y sensibilidad alrededor de una articulación. Algunas formas comunes de tendinitis reciben su nombre de los deportes que aumentan su riesgo. Entre ellas, el codo de tenista, el codo de golfista, el hombro de lanzador de pelota, el hombro de nadador y la rodilla de saltador.

- El codo de tenista es una lesión del tendón de la parte externa del codo.
- El codo de golfista afecta el tendón de la parte interna del codo.

Cualquier actividad que involucre una gran cantidad de movimientos de giro de la muñeca o de agarre de la mano, como el uso de herramientas, los apretones de manos o los retorcimientos, pueden ocasionar estas lesiones.



El dolor se presenta cerca del codo. También puede desplazarse hacia el brazo o el antebrazo. Tendinitis, bursitis y síndrome de pinzamiento del hombro.

Hay dos tipos de tendinitis que afectan el hombro:

La tendinitis del bíceps causa dolor en la parte frontal o lateral del hombro. El dolor también puede desplazarse hacia abajo hasta el codo y el antebrazo. Alzar el brazo sobre la cabeza también puede causar dolor. El bíceps, el músculo situado al frente del brazo, mantiene el hueso del brazo dentro de la cavidad de la articulación del hombro. También ayuda a controlar la velocidad del brazo al pasar por encima de la cabeza. Por ejemplo, se puede sentir dolor cuando se mece una raqueta o se lanza una bola.

La tendinitis del manguito de los rotadores causa dolor en la parte más alta del hombro y el brazo. Los movimientos de estirar, empujar, tirar o alzar el brazo por encima del nivel del hombro pueden empeorar el dolor. Incluso recostarse sobre el lado adolorido puede empeorar el problema. El manguito de los rotadores es un grupo de músculos que unen el brazo al omoplato o escápula. Este “manguito” permite alzar y girar el brazo. El movimiento repetitivo de los brazos puede dañar y desgastar los tendones, los músculos y el hueso.

El síndrome de pinzamiento del hombro ocurre cuando se comprime el manguito de los rotadores. Los trabajos que requieren alcanzar objetos por encima de la cabeza y los deportes que involucran el uso intensivo del hombro pueden causar daño del manguito de los rotadores o la bursa<sup>5</sup>. La artritis reumatoide también puede inflamar el manguito de los rotadores y dar lugar a la tendinitis y bursitis. Cualquiera de estos problemas puede conducir a casos graves de inflamación y pinzamiento.

---

<sup>5</sup> Bursa es un saco lleno de fluido forrado por membrana sinovial con una capa capilar interior de fluido viscoso. Proporciona un cojín entre los huesos, tendones y/o músculos alrededor de una articulación.

### 2.3.3.1 Tendinitis de la rodilla o rodilla del saltador.

Los tendones se pueden desgarrar e inflamar si se abusa de ellos durante actividades como bailar, montar en bicicleta o trotar. Cuando una persona trata de protegerse de una caída también puede dañar los tendones que rodean la rótula. Este tipo de lesión es más frecuente en las personas de edad avanzada cuyos tendones pueden estar debilitados y son menos flexibles. El dolor en los tendones que rodean la rodilla en ocasiones se llama rodilla del saltador porque a menudo afecta a personas jóvenes que practican deportes como el baloncesto.

El uso excesivo de los músculos y la fuerza del impacto contra el suelo después de un salto pueden estirar el tendón. Después de los esfuerzos repetidos que se producen al saltar, el tendón se puede inflamar o desgarrar. Las personas con tendinitis de la rodilla pueden sentir dolor al correr, saltar o caminar a paso rápido. La tendinitis de la rodilla puede aumentar el riesgo de desgarros grandes del tendón.

### 2.3.3.2 Tendinitis aquiliana (inflamación del tendón de Aquiles).

El tendón de Aquiles conecta el músculo de la pantorrilla con la parte posterior del talón. La tendinitis aquiliana es una lesión común que hace que el tendón se inflame, estire o desgarre. Suele ser causada por exceso de uso. También puede ser el resultado de rigidez o debilidad de los músculos de la pantorrilla.

El proceso normal de envejecimiento y la artritis también pueden aumentar la rigidez del tendón. Las lesiones del tendón de Aquiles pueden tener lugar al subir escaleras o cuando se hace trabajar en exceso los músculos de la pantorrilla.

Sin embargo, estas lesiones son más frecuentes entre las personas que no hacen ejercicio con regularidad o no hacen un calentamiento adecuado antes de hacer ejercicio.

Entre los atletas, la mayoría de las lesiones del tendón de Aquiles parecen tener lugar en las carreras de velocidad o los deportes que requieren saltos. Los atletas que juegan fútbol, tenis y baloncesto pueden sufrir la inflamación del tendón

De Aquiles. Casi siempre, esta lesión aleja al atleta del campo de juego por el resto de la temporada.

La inflamación del tendón de Aquiles puede ser un padecimiento de larga duración. También puede causar lo que en apariencia es una lesión súbita. Cuando un tendón se debilita por efecto de la edad o el exceso de uso, un traumatismo puede hacer que se rompa. Estas lesiones pueden ser súbitas y causar un fuerte dolor.

### 2.3.4 Síndrome de Dupuytren

La enfermedad de Dupuytren (ED) es una condición benigna del tejido conectivo, caracterizado por un desorden fibroproliferativo -fibromatosis benigna- que afecta fundamentalmente a la aponeurosis palmar y digital, provocando contracturas y deformidad progresiva en flexión en la región palmar de mano y dedos, cuya causa y mecanismo fisiopatológico aún permanecen parcialmente comprendidos.

El primer caso de esta condición fue descrito por el médico suizo Félix Plater en 1614 -quien le atribuyó una causa traumática-, siendo luego descrito por otros autores como H Cline, en 1777 y por Ashley Cooper, en 1822; sin embargo, el nombre del médico francés Guillaume Dupuytren predominó para esta condición, quien en 1831 describe en detalle la fibromatosis localizada en la aponeurosis palmar, realizando la primera cirugía de fasciotomía<sup>6</sup> abierta.

Esta enfermedad se caracteriza por el desarrollo de contracturas en flexión, de la palma y de las articulaciones digitales, secundaria a la formación de nódulos y bandas fibrosas o bridas. Afecta principalmente la región palmar distal en relación a los dedos anular y meñique, produciendo la flexión progresiva e irreversible de las articulaciones metacarpo-falángicas (MTCF) e interfalángicas proximales (IFP).

---

<sup>6</sup> Fasciectomía: cirugía realizada en tejido que recubre los músculos, el procedimiento reduce la presión acumulada dentro de la fascia.

## 2.4 Epidemiología

En relación a la prevalencia de esta enfermedad, destaca que es un cuadro que sucede en toda la población, pero en diferente proporción y frecuencia dependiendo de la carga genética y de las comorbilidades del paciente. La incidencia de esta patología aparece mayor en los países del norte de Europa y emigrantes provenientes de esas zonas; mientras que es rara en países africanos y Asia oriental.

La prevalencia reportada en otros países es de 1,7 a 2% en varones adultos mayores de 50 años en la población general, siendo de 3-6% en adultos caucásicos. En Escocia, Noruega e Islandia se ha reportado una incidencia de hasta 40% en ciertas comunidades, mientras que su presencia en poblaciones de raza negra y de Asia oriental es de escasa ocurrencia. Es siete a diez veces más frecuente en hombres que en mujeres.

Para esto aún no hay explicación, sin embargo, los miofibroblastos<sup>7</sup> en la ED tienen una mayor expresión de receptores para andrógenos que los fibroblastos en sujetos sanos, lo que podría explicar en parte la predominancia en el género masculino. Cuando se presenta en mujeres la ED es de más rápida progresión que en hombres, hecho no aclarado en la literatura. Se presenta en forma bilateral hasta en 70% de los casos siendo de predominancia en la mano derecha (60%).

En los hombres la edad de presentación media es habitualmente una década antes que la edad presentación media en mujeres.

---

<sup>7</sup> Miofibroblastos posee características intermedias entre fibroblasto y célula muscular lisa, Desempeñan un papel durante la inflamación, la reparación, la cicatrización y la regeneración de los tejidos en los diferentes órganos.

### 2.4.1 Patogenia

Sobre su patogénesis se describen 3 fases. La fase proliferativa, involutiva y la tardía o residual. La fase proliferativa se caracteriza por el desarrollo de nódulos compuestos por fibroblastos y colágeno tipo III. La fase involutiva se caracteriza por una conducta contráctil del tejido debido al reemplazo de los fibroblastos por miofibroblastos, desarrollándose cordones fácilmente palpables bajo la piel. Por último, en la fase tardía o residual, los nódulos regresan persistiendo sólo el componente contráctil evolucionando a una flexión progresiva de la articulación MTCF y la IFP.

Estas fases no tienen gran importancia en el tratamiento, ya que principalmente lo que define es la ocurrencia o no de contracción de la MTCF.

### 2.4.2 Etiología

La etiología de la contractura de Dupuytren es desconocida. El origen traumático inicialmente postulado como causante ha ido cayendo en descrédito, debido a la ausencia de asociación con la mano dominante, con algún tipo de trabajo específico y la fuerte asociación familiar y genética descrita. Se consigue descubrir un componente hereditario en hasta 40% de los pacientes. Algunos lo han atribuido a un gen de herencia autosómico dominante, de penetrancia<sup>8</sup> variable, donde el gen alterado se relaciona probablemente con la síntesis de colágeno.

Goyrand fue el primero que describió la asociación familiar ya en 1833. Además, la fuerte variabilidad en prevalencia según geografía es una fuerte evidencia de una susceptibilidad heredable. En muchos pedigrees la heredabilidad aparenta seguir un modelo autosómico dominante, descrito por Skoog y Stackebrandt ya en los años 30 y 40.

---

<sup>8</sup> Penetrancia es la proporción de una Población que expresan el fenotipo patológico, entre todos los que presentan un genotipo portador de un alelo mutado

Uno de los escasos estudios con mayor población se realizó en Edimburgo, por Ling, que mostró que la enfermedad estaba presente en los mayores de 60 años en 53% de los hombres y en 33% de las mujeres.

Estudios genéticos se han realizado en pacientes con ED, no encontrándose aún mutaciones genéticas que se relacionen directamente con la ED, pero sí se han descrito SNPs (single nucleotide polymorphisms o polimorfismos de nucleótido simple) que son alteraciones genéticas mínimas que aportan una mayor susceptibilidad a tener la ED. La mayoría de estos polimorfismos se localizan en genes de los cromosomas 6, 11 y 16 que codifican a proteínas en la vía de señalización Wnt.

Otros estudios han implicado el TGF- $\beta$ 1 como gen de susceptibilidad. Sin embargo, estudios de la asociación entre los polimorfismos de nucleótidos de este gen con la incidencia de ED no han podido aclarar el asunto. Lo descrito como una herencia autosómica dominante, es referido por algunos autores sólo como una hipótesis informada.

Una herencia autosómica recesiva es también posible, pudiendo ser concordante con algunos casos familiares. También hay muchos casos esporádicos, sin aparente herencia caucásica europea, que mantienen en duda si estos casos tienen una base genética. Como se puede ver de lo recién expuesto, la alteración genética y el mecanismo específico aún no se ha encontrado, pudiendo tratarse de una enfermedad de origen monogénica, poligénica o de componente variable entre una interacción genética y ambiental.

Respecto a las asociaciones con otros factores se describen múltiples elementos y algo ya se mencionó sobre el trauma o trabajo manual. Este último no se ha logrado relacionar de forma clara con la génesis ni sintomatología de la ED.

No hay una diferencia significativa en la lateralidad de la afección de la mano dominante versus la no dominante. Sí habría una relación de la exposición a

Vibración con la ED, incluso en términos de dosis-respuesta. Sobre una lesión traumática como causa de la ED hay hallazgos contradictorios en la literatura. Se menciona que en sujetos predispuestos genéticamente un trauma podría contribuir a la aparición de la enfermedad. Sin embargo, para aceptar esta hipótesis como plausible la lesión debería aparecer en el lugar afectado no más allá de 2 años después de la lesión y con evidencia clara de que hubo tal traumatismo.

### 2.4.3 Diagnóstico

En general es un cuadro de diagnóstico tardío ya que inicialmente la enfermedad se va a manifestar sólo como pequeñas depresiones de la palma, o bien como zonas con cambio de la pigmentación o fibrosas. Posteriormente aparecen los nódulos, que son de tejido blando, en general ubicado a nivel del pliegue palmar distal, pero también puede aparecer en los dedos, a nivel de la articulación interfalángica proximal -más común en los dedos meñiques y anular-.

En general estos nódulos son asintomáticos, asociándose en ocasiones a Tenosinovitis estenosante -si es que hay compromiso de la polea de los flexores, impidiendo el deslizamiento de los mismos bajo la polea-.

Sobre la cara dorsal de las articulaciones interfalángicas pueden aparecer nódulos indurados, llamados nódulos de Garrod, que se asocian a enfermedad de Peyronie, Ledderhose -fibromatosis plantar- y a una ED de mayor gravedad y avance -diátesis de Dupuytren-.

Posteriormente aparecen bridas o cordones, que producen una retracción progresiva de los dedos comprometidos hacia la postura en flexión de los mismos. Puede aparecer disminución del espacio interdigital, alteraciones de eje axial como rotacional y disfunción tanto estática como dinámica del dedo comprometido.

Una prueba a realizar al examen físico es la prueba de Hueston -test de apoyo de mano en la mesa-, que se realiza apoyando la palma sobre una superficie plana, debiendo ser capaz de apoyar todos los dedos extendidos de una forma uniforme.

Este test es positivo cuando no se consigue apoyar todos los dedos extendidos sobre la mesa y evidencia una contractura en flexión de alguno de los dedos. La presencia de un test positivo es predictor del beneficio de la cirugía, ya que la positividad de este test representa la angulación de por lo menos 30° de la articulación metacarpofalángica, situación en la cual los pacientes operados responden satisfactoriamente a la pregunta si la cirugía les modificó la función de la mano.

Dentro del diagnóstico diferencial se deben mencionar las contracturas dérmicas por quemaduras, contracturas aisladas de los dígitos por lesiones del aparato flexo-extensor y un cuadro llamado contractura no Dupuytren.

Este último fue descrito por Anderson en 1891, y consiste en la contractura de las partes blandas profundas de la mano, que se da principalmente en razas aborígenes más que en razas blancas, no tiene historia familiar, no hay predilección por género, el compromiso de la palma es en línea con un solo dedo, pero sin comprometerlo, no hay contractura de las articulaciones digitales y la mayoría de las veces sólo aparece en respuesta a traumas o intervenciones quirúrgicas de la palma.

Tiene una resolución espontánea en la mayoría de los casos, es de curso benigno y en contadas ocasiones requiere cirugía.

#### 2.4.4 Tratamientos

Tratamiento no quirúrgico: La observación es planteable en casos leves, no progresivos, no limitantes de la funcionalidad. Se ha reportado el uso de la radioterapia, principalmente en uso en países europeos, con buena respuesta, retardando y enlenteciendo la progresión de la enfermedad, retrasando por lo tanto la necesidad de tratamiento quirúrgico. Históricamente podemos mencionar que se han utilizado inyecciones de corticoesteroides<sup>9</sup>, dimetilsulfóxido, vitamina A y E e interferón gamma, sin resultados consistentes.

---

<sup>9</sup> Corticosteroides o corticoides son una variedad de hormonas del grupo de los esteroides y sus derivados.



Sí se han obtenido resultados favorables con inyecciones de colagenasas. Los primeros trabajos de tratamiento con sustancias degradadoras del colágeno Aparecen con Hueston en 1971, quien acuñó el término de fasciotomía enzimática y utilizó para ello una mezcla de tripsina, hialuronidasa y lidocaína, sin embargo, su trabajo no tuvo grandes seguidores.

La purificación de la colagenasa específica derivada del *Clostridium histolyticum* se debe a Maclennan, en 1953, quien publica un artículo sobre la destrucción bacteriana del colágeno; sin embargo, su uso en el tratamiento de la ED se remonta

Tan sólo a unos 15 años atrás, con los primeros estudios in vitro. Se reconocen más de 7 tipos de colagenasas<sup>10</sup> del *clostridium histolyticum*, las cuales se pueden agrupar en 2 clases. Estas metaloproteasas se unen y quiebran la estructura tridimensional del colágeno.

El medicamento se inyecta directamente en la cuerda pretendinea, pudiendo ser utilizado para la contractura en flexión de la articulación metacarpofalángica como para la articulación interfalángica proximal. Se han realizado estudios prospectivos, comparados con placebo, con seguimiento hasta 2 años, así como estudios retrospectivos con mayores seguimientos (8 años),

Que muestran una efectividad de aproximadamente 65% en la resolución completa (0-5° de contractura remanente) de la contractura con el uso de esta enzima con un máximo de 3 inyecciones.

Tratamiento quirúrgico: La cirugía es el estándar de oro para el tratamiento de las formas progresivas de la enfermedad. Este se plantea en casos de una contracción de la articulación metacarpo falángica (MTCF) de 30° o más (lo que se considera una prueba de Hueston positiva) o contracción de la interfalángica

---

<sup>10</sup> Colagenasa es una enzima que descompone el colágeno del tejido dañado y facilita el crecimiento de tejido saludable.

proximal asociada a un deterioro funcional, habitualmente presente con contracturas mayores a 20°.

La cirugía consiste principalmente en alguna de las siguientes opciones: fasciotomía percutánea, fasciectomía abierta parcial, fasciectomía abierta total, dermofasciectomía<sup>11</sup> y amputación. La fasciotomía percutánea es la técnica menos invasiva de todas, se emplea en caso de pacientes que no son buenos candidatos para una intervención quirúrgica mayor, especialmente adultos mayores con múltiples comorbilidades, ya que puede conseguirse resultados inmediatos en la extensión de los dedos con un mínimo riesgo al usar sólo anestesia local.

Se realiza habitualmente con una aguja con la que se secciona la cuerda fibrosa en forma percutánea.

Un estudio reciente comparando esta técnica con fasciectomía abierta a las 6 semanas de evolución demostró una mejoría del déficit de extensión pasivo de 63%, comparado con una mejoría de 79% del grupo de fasciectomía abierta.

Respecto a las complicaciones hubo un mayor número de complicaciones menores -lesiones de piel y parestesias- en el grupo percutáneo versus fasciectomía, sin embargo, el grupo percutáneo no tuvo complicaciones mayores, las que si se presentaron en el grupo quirúrgico (lesión de nervio digital, infección y hematoma).

---

<sup>11</sup> Dermofasciectomía del flujo sanguíneo en músculos y nervios, condiciona el daño tisular.

# **CAPITULO III**

## **METODOLOGÍA**

### 3. Metodología de investigación

Esta investigación se apoya en el método Cualitativo porque determina los parámetros de las poblaciones y selecciona y obtiene muestras de ellas en el curso de su investigación y etnografía se apropia de las sociedades que estudia, claro está que, en el plano del conocimiento, no se puede olvidar que una sociedad desarrolla la ciencia, su ciencia, no por simple afán de conocer si no para utilizar tal conocimiento en el logro de sus fines.

Tomando en cuenta la Teoría de (García Jiménez 1994), cuando se refiere a la etnografía se entiende como el método de investigación por el que aprende el modo de vida de una unidad social concreta. A través de la etnografía se persigue la descripción o reconstrucción analítica de carácter interpretativo de la cultura, formas de vida y estructura social del grupo investigado como son pacientes con afectaciones en la movilidad de la mano derecha; pero también se refiere al producto del proceso de investigación: un escrito etnográfico o retrato del modo de vida de una unidad social, dada.

La preocupación fundamental es el estudio de la cultura en sí misma, es decir, cuáles son los componentes culturales y sus interrelaciones de modo que sea posible hacer afirmaciones explícitas acerca de ellos. Cuando se hace la etnografía de una determinada unidad social, está intentando construir un esquema teórico que recoja y responda lo más fielmente posible a las percepciones, acciones y normas de juicios de esa unidad social.

Desde una dimensión práctica conceptualiza la etnografía como una forma de investigación social que se caracteriza por los siguientes rasgos:

- Un fuerte énfasis en la exploración de la naturaleza de un fenómeno social concreto, antes que ponerse a comprobar hipótesis sobre el mismo.
- Una tendencia a trabajar con datos no estructurados, es decir datos que no han sido codificados hasta el punto de recoger datos a partir de un conjunto cerrado de categorías analíticas.

- Se investiga un pequeño número de casos, quizás uno sólo, pero en profundidad.
- El análisis de datos que implica la interpretación de los significados y funciones de las actuaciones humanas, expresándolo a través de descripciones y explicaciones verbales, adquiriendo el análisis estadístico un plano secundario.

Una buena etnografía presenta una primera característica como es el requerimiento de la observación directa. No importa con qué instrumento, sistema de codificación, aparato de registro o técnicos sean utilizadas, la primera obligación del etnógrafo es permanecer donde la acción tiene lugar y de tal forma que su presencia modifique lo menos posible tal acción.

El etnógrafo debe pasar el tiempo suficiente en el escenario, aunque no exista una norma rígida que nos indique el tiempo de permanencia en el escenario. Lo importante aquí es la validez de la observación etnográfica, que se consigue permaneciendo durante el tiempo que permita al etnógrafo ver lo que sucede en repetidas ocasiones.

### 3.1 Acercamiento al Objeto de Estudio

### 3.2 Antecedentes de prótesis y manos robóticas

La sustitución por pérdida de miembros humanos por artefactos distintos a los naturales es una realidad desde hace más de dos mil años. Con el tiempo los inventos en los campos de la robótica, en particular de la biónica, han proporcionado al ser humano extremidades complementarias que cada día se perfeccionan. Se presentan los diversos experimentos electromecánicos que han realizado para avanzar en las etapas de proyectos “Diseño de prótesis Inteligentes” y perfeccionar la construcción de una prótesis inteligente de miembro superior.

### **3.2.1 Mano Marcus**

La mano Marcus se compone de tres dedos, pulgar índice y corazón, 2 GDL y está equipada con dos motores. La mano tiene sensores de efecto Hall para determinar la posición y un sensor de fuerza en el dedo pulgar. Marcus.

### **3.2.2 Mano Belgrade/ UCS La mano Belgrade/UCS**

Desarrollada por la Universidad del Sur de California y la Universidad de NoviSad en Belgrado, es una mano de cuatro dedos con tres articulaciones en cada dedo, cada par de dedos es movido por un motor, el dedo pulgar se mueve en un arco en oposición a uno o más dedos. En la palma se encuentran alrededor de tres sensores de presión y los motores tienen encoder

### **3.2.3 La mano NTU La mano NTU**

Desarrollada por la Universidad Nacional de Taiwan, es una mano con 5 dedos equipados con sensores para detectar fuerza y posición, y con 17 GDL. El dedo pulgar y el índice tienen 4 GDL, mientras que los otros dedos presentan 3 articulaciones activas. Los motores, reducciones y sensores se encuentran instalados en la mano. En la figura 16 se presenta la mano NTU.

### **3.2.4 La mano Stanford/JPL**

La mano Stanford/JPL (Jet Propulsion Laboratory) presenta 9 grados de libertad con dos dedos y un pulgar oponente. La mano es actuada por 12 servomotores DC. Sus articulaciones son impulsadas por cables.

### **3.2.5 Mano Utah/MIT La mano Utah/MIT**

Desarrollada por el grupo de investigación en agarre y manipulación de dedos, dispone de 4 grados de libertad en cada uno de sus cuatro dedos incluyendo el pulgar. La geometría de la mano robótica es antropomorfa a pesar de que el dedo pulgar es permanente en su posición. Los 16 GDL se accionan mediante un enfoque de tendones que son accionados por un sistema de 32 tendones independientes poliméricos y actuadores neumáticos.

### 3.2.6 Mano DLR La mano DLR

Primera versión mecatrónica que dio lugar a un mejor rendimiento en aplicaciones de agarre y manipulación. Tiene 4 dedos con un total de 14 GDL, gobernada por motores DC. Los dedos disponen de sensores de posición, fuerza y temperatura.

### 3.2.7 Mano Robonaut

La mano Robonaut, mano con 5 dedos, 12 GDL en la mano y 2 GDL en la muñeca, 14 motores de CC sin escobillas que mueven las articulaciones y está equipada con 43 sensores. Esta mano se implementó para el robot antropomórfico Robonaut.

### 3.2.8 Mano Ultraleve

Mano con 5 dedos y 13 GDL que son movidos por 18 actuadores fluidicos flexibles miniaturizados. Los actuadores están completamente integrados en los dedos haciendo posible un diseño compacto y ligero que puede ser utilizado como una prótesis de mano o como una mano de un robot humanoide.

### 3.2.9 Hand of hope (universidad Politécnica en Hong Kong)

El dispositivo de terapia Mano de Esperanza (HOH, por sus siglas en inglés) utilizado para la rehabilitación neuromuscular de la mano y el antebrazo que puede ayudar a los pacientes a recuperar la movilidad de la mano a través del reaprendizaje motor. El HOH funciona como un dispositivo de biorretroalimentación en el que los sensores de electromiografía de superficie (SEMG) utilizan las señales musculares de un paciente para activar su deseo de mover la mano.

Estas señales se procesan y simplifican y se pueden ver a través de retroalimentación visual que requiere que el paciente se involucre activamente durante una sesión de terapia.

### 3.3 CAD (Diseño Asistido por Computadora)

El diseño de la mano robótica fue realizado en el software SOLIDWORKS, realizando el dibujo 2D de las piezas individuales de cada una de las falanges que contiene la mano humana, para recrear una estructura final.

En base a estructuras geométricas primarias como líneas, puntos, arcos y polígonos diferentes, recreando una estructura en 3D de un modelo real basado en cortes, extrusiones que permiten el acoplamiento de los sistemas mecánicos, electrónicos e interfaces con las cuales la mano lograra realizar los distintos ejercicios de rehabilitación convencionales reduciendo todas estas herramientas a una sola.

Características antropométricas <sup>12</sup>del CAD: Se ha buscado realizar un diseño que contenga características antropométricas de una mano real, con escalas reales de la palma y falanges de la estructura antropomorfa de modo que la mano del paciente pueda encajar y/o acoplarse cómoda y fácilmente con la mano robótica, sin la necesidad de utilizar herramientas extras para realizar la rehabilitación; entonces las medidas antropomórficas contenidas en el CAD serán para pacientes del género femenino entre los 40 – 60 años de edad.

---

<sup>12</sup> Antropometría es una ciencia que estudia las medidas y dimensiones de las diferentes partes del cuerpo humano ya que estas varían de un individuo para otro según su edad, sexo, raza, nivel socioeconómico, etcétera



### 3.4 Análisis de esfuerzos

Lo principal que se hizo en ANSYS, fue encontrar los distintos tipos de materiales del que estará compuesto el exoesqueleto, es necesario utilizar materiales no lineales para poder simular los esfuerzos, entre otros.

Después de la selección de los materiales y cuales partes del exoesqueleto pertenecen a este mismo, necesitamos conocer un poco de que partes son las que se les aplicara una fuerza que en este caso son los esfuerzos del paciente al forzar el movimiento de los tendones, músculos al estarlos contrayendo o viceversa - estirarlos-, nosotros tras la investigación y las encuestas determinamos que las fuerzas serán aplicables en la parte superior de la palma del modelo y la parte inferior de las extensiones que son los dedos al contraer la mano del paciente y la parte superior de los dedos y la parte inferior de la palma para estirar la mano del paciente.

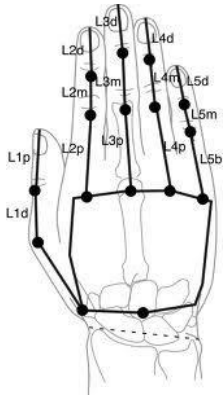
Una vez analizados los distintos casos y la aplicación de fuerzas se requiere encontrar los eslabones que funcionaran como soporte en la estructura para evitar las rupturas o el exceso de esfuerzo, basados en el análisis estructural estos soportes los encontramos entre las articulaciones del exoesqueleto que realizan el desplazamiento de los distintos movimientos.

Ahora que se han encontrado todo lo necesario para el análisis estructural aplicamos las condiciones y seleccionamos la visualización de las deformaciones estructurales, que en este caso no tuvimos ningún inconveniente en la estructura o por los materiales que se utilizaran.

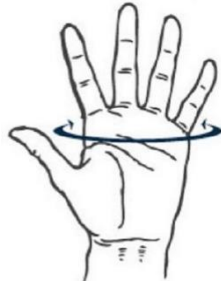
Elegimos este software "ANSYS", para poder realizar el análisis estructural ya que es un software excelente para el tipo de aplicación estructural que requeríamos y es un software que ya tenemos en uso y practica en distintos tipos de análisis.

### 3.5 Medidas antropométricas

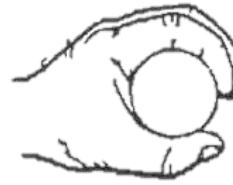
La antropometría es la rama de la antropología biológica que estudia las medidas del hombre, mediante el estudio de las dimensiones y medidas humanas con el propósito de comprender los cambios físicos del hombre y las diferencias entre individuos, grupos o raza. (Tabla 1.0 y tabla 1.1).



g)



f)



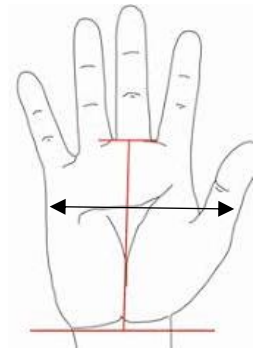
e)



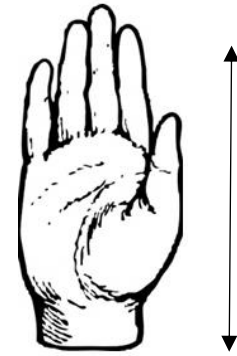
d)



c)



b)



a)

<b>a) Longitud máxima de la mano</b>	<b>Medido desde el pliegue distal y palmar de la muñeca hasta el extremo distal de la tercera falange.</b>
<b>b) Longitud palmar</b>	Desde el pliegue distal y palmar de la muñeca hasta la línea proyectada desde el pliegue proximal de la segunda falange.
<b>c) Ancho de la mano</b>	Distancia entre las cabezas del segundo y quinto metacarpiano desde su zona lateral.
<b>d) Espesor de la mano</b>	Se mide con la mano desde una proyección lateral y es la distancia que se comprende entre una línea proyectada desde la cabeza del segundo metacarpiano por palmar, hasta una línea proyectada del metacarpiano por dorsal.
<b>e) Diámetro de agarre</b>	El diámetro se da en una estructura cónica entre la primera y tercera falange.
<b>f) Circunferencia de la mano</b>	Medido rodeando la mano a modo de perímetro pasando por la cabeza del quinto metacarpiano, siendo como punto de partida y termino algún punto en la cabeza del segundo metacarpiano.
<b>g) Longitud de las falanges</b>	Se mide por la cara dorsal de la mano con las falanges flexionadas en 90° y se mide la distancia entre la cabeza del metacarpiano correspondiente y el extremo de la misma falange.

Tabla 1.1 Descripción de las dimensiones de la mano.

Dimensiones antropométricas de la mano	Medida de las dimensiones antropométricas de la mano (Cm)	Desviación estándar	Mínimo (Cm)	Máximo (Cm)
Longitud máxima de la mano	18.83	1.00	17.1	21.1
Longitud palmar	10.43	0.71	9.1	12
Ancho de la mano	8.53	0.56	7.0	9.8
Espesor de la mano	2.80	0.33	2.0	4.0
Diámetro de agarre	14.97	1.09	12.3	17.0
Circunferencia de la mano	20.53	1.21	17.8	23.5
Longitud de la falange 1	6.47	0.52	5.2	7,4
Longitud de la falange 2	9.51	0.62	8.4	11.0
Longitud de la falange 3	10.68	0.65	9.4	12.0
Longitud de la falange 4	10.12	0.75	8.4	11.8
Longitud de la falange 5	7.88	0.62	6.3	9.3

Tabla 1.2 Medidas de la mano escritas en percentiles<sup>13</sup>.

### 3.6 Definición de interfaz

Una interfaz es un circuito físico a través del cual se envían o reciben señales desde un sistema o subsistemas a otro. También es definido como: una interfaz puede ser definida como un intérprete de condiciones externas al sistema, a través de transductores y otros dispositivos, que permite una comunicación con actores externos, como personas u otros sistemas, a través de un protocolo común a ambos. Una interfaz es una Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.

<sup>13</sup> Un percentil expresa el porcentaje de individuos de una población dada con una dimensión corporal igual o menor a un determinado valor.

### 3.6.1 Descripción de la interfaz

EL controlador PCA9685 (figura 1.4) fue diseñado para controlar leds por PWM, pero también nos permite controlar servos, ya que estos también se controlan por PWM, aplicación que actualmente es muy usada.

El Módulo Controlador de servos PCA9685 tiene la placa diseñada para el control de servos, tiene los pines en el orden correcto para simplemente conectar los servomotores, además una bornera para la alimentación de los servos y conectores para la alimentación de la parte lógica junto con los pines I2C <sup>14</sup>para comunicarse con Raspberry pi 3 model B+.

EL PCA9685 nos permite controlar individualmente 16 salidas PWM con 12 bits de resolución y con frecuencia máxima de 1600Hz. PCA9685 cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

- Voltaje de Operación: 5V
- Interfaz: I2C
- Bornera de conexión para voltaje de alimentación
- Diseño de conector I2C para utilizar varios módulos con el mismo BUS
- Frecuencia de PWM hasta de 1.6 KHz
- Salida de 12 bits de resolución, dando una resolución de 4us para una frecuencia de 60Hz
- Salidas configurables como Push-Pull u Open-Drain
- Se pueden activar/desactivar todas las salidas rápidamente con el Pin Enable

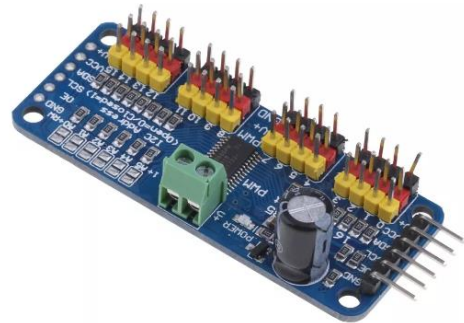
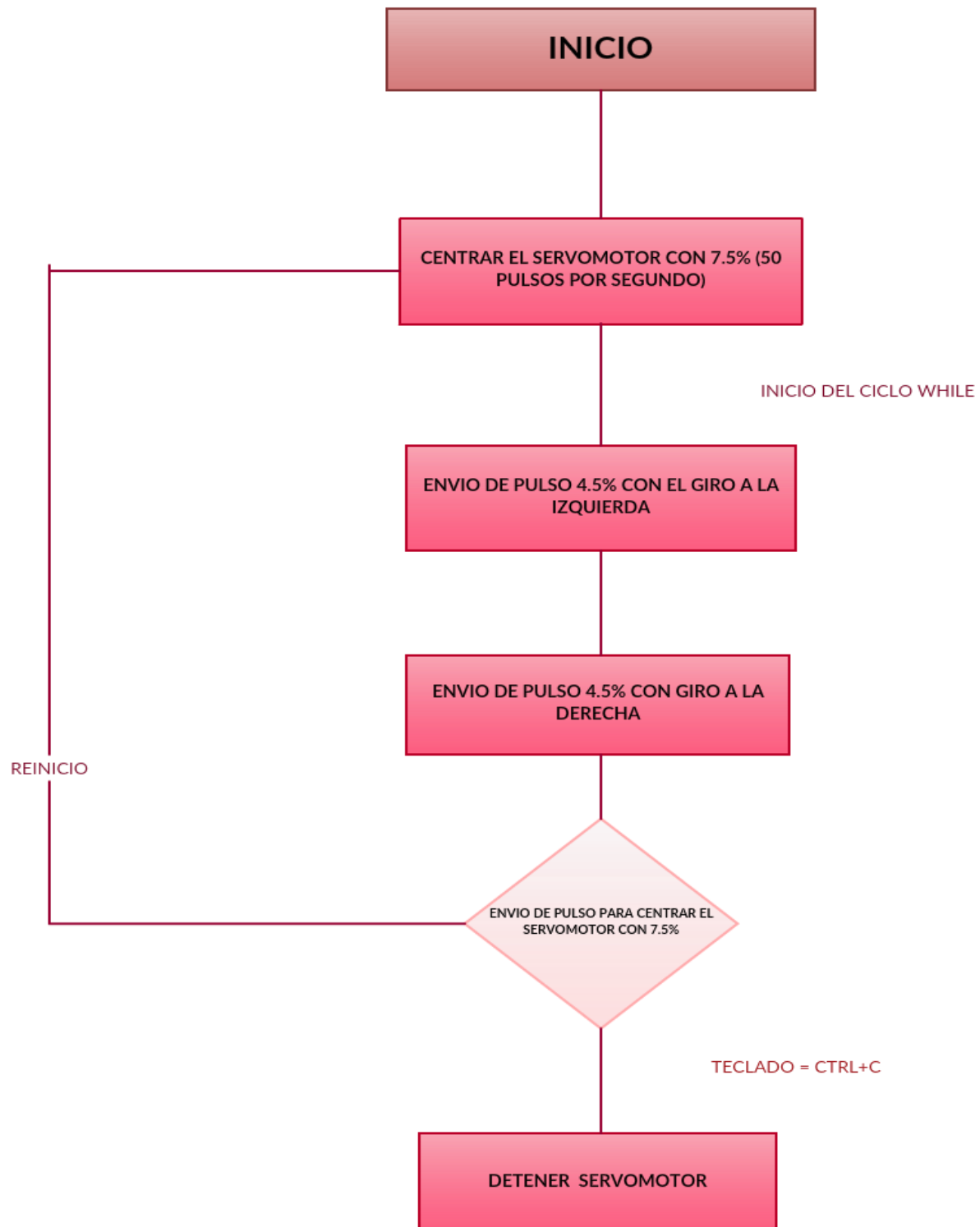


Figura 1.4. Controlador PCA9685

---

<sup>14</sup> I2C es un puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales.

### 3.7 Diagrama de flujo



### 3.8 Descripción del hardware

**Raspberry Pi**, es un «es un ordenador de tamaño de tarjeta de crédito que se conecta a su televisor y un teclado». Es una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común. «**Es un pequeño ordenador capaz**, que puede ser utilizado por muchas de las cosas que su PC de escritorio hace, como hojas de cálculo, procesadores de texto y juegos.

La placa, que antes era más pequeña que una tarjeta de crédito tiene varios puertos y entradas, dos USB, uno de Ethernet y salida HDMI. Estos puertos permiten conectar el miniordenador a otros dispositivos, teclados, ratones y pantallas. Este proyecto **fue ideado en 2006** pero no fue lanzado al mercado **febrero de 2012**. Ha sido desarrollado por un grupo de la Universidad de Cambridge y su misión es fomentar la enseñanza de las ciencias de la computación los niños.

La placa, que antes era más pequeña que una tarjeta de crédito tiene varios puertos y entradas, cuatro puertos USB, uno de Ethernet, salida HDMI, puerto para conexión de display, puerto para conexión de cámara y una salida de audio además de esto tiene pines de salida para poder agregar más cosas con códigos de programación. Estos puertos permiten conectar el miniordenador a otros dispositivos, teclados, ratones y pantallas.

#### 3.8.1 Características del nuevo Raspberry Pi 3 Modelo B+

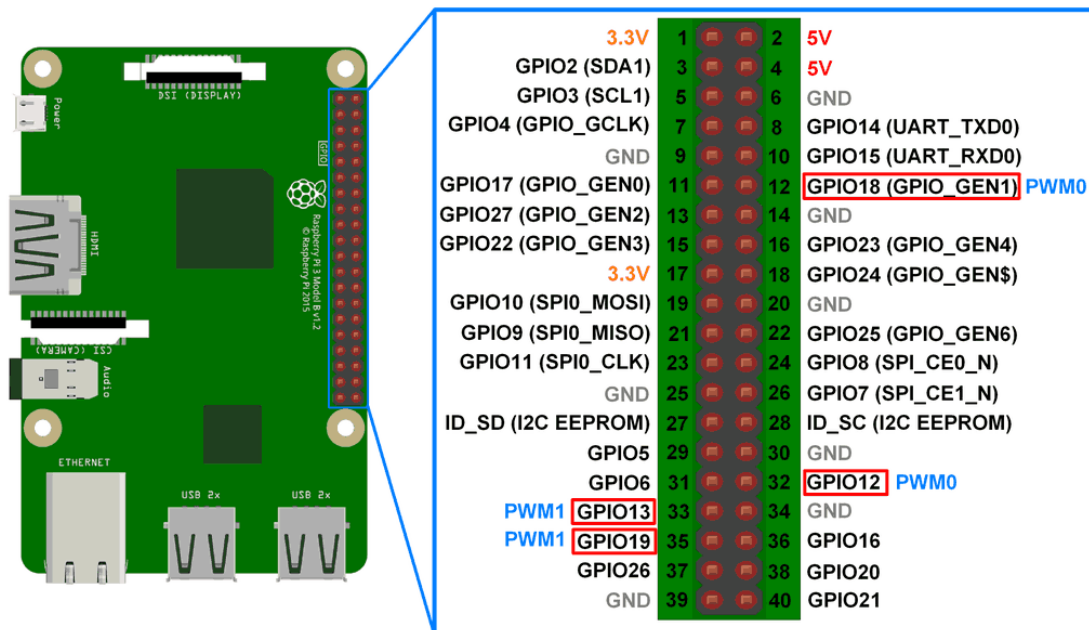
- CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC 1.4GHz
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth
- 4.2, BLE
- Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
- GPIO de 40 pines
- HDMI

- 4 puertos USB 2.0
- Puerto CSI y DSI para conectar una cámara y una pantalla táctil
- Salida de audio estéreo y vídeo compuesto
- Micro-SD
- Power-over-Ethernet (PoE)

### 3.8.2 Programación en Python con Raspberry Pi 3

Para el control de los servomotores en el proyecto del rehabilitador de la mano se necesitarán servomotores de los cuales serán controlados con la tarjeta Raspberry Pi 3 Modelo B+ de la cual solo se utilizarán sus salidas de PWM para poder controlar los servomotores.

Para poder general el código para el control de los servomotores se realiza en un programa llamado Python de lo cual el código será el siguiente para un solo servomotor:





```

1 import RPi.GPIO as GPIO #Importamos la libreria RPi.GPIO
2 import time              #Importamos time para poder usar time.sleep
3
4 GPIO.setmode(GPIO.BOARD) #Ponemos la Raspberry en modo BOARD
5 GPIO.setup(21,GPIO.OUT)  #Ponemos el pin 21 como salida
6 p = GPIO.PWM(21,50)      #Ponemos el pin 21 en modo PWM y enviamos 50 pulsos por segundo
7 p.start(7.5)             #Enviamos un pulso del 7.5% para centrar el servo
8
9 try:
10     while True:          #iniciamos un loop infinito
11
12         p.ChangeDutyCycle(4.5) #Enviamos un pulso del 4.5% para girar el servo hacia la izquierda
13         time.sleep(0.5)        #pausa de medio segundo
14         p.ChangeDutyCycle(10.5) #Enviamos un pulso del 10.5% para girar el servo hacia la derecha
15         time.sleep(0.5)        #pausa de medio segundo
16         p.ChangeDutyCycle(7.5) #Enviamos un pulso del 7.5% para centrar el servo de nuevo
17         time.sleep(0.5)        #pausa de medio segundo
18
19 Except KeyboardInterrupt:    #Si el usuario pulsa CONTROL+C entonces...
20     p.stop()                  #Detenemos el servo
21     GPIO.cleanup()            #Limpiamos los pines GPIO de la Raspberry y cerramos el script

```

El código se repetirá para cada uno de los servomotores de lo cual en este caso serían cinco uno por cada dedo, para tener un total de 5.

## **Conclusión**

La mano humana es una de las herramientas más asombrosas de la naturaleza, tanto que no ha podido ser superada en ningún aspecto hasta el momento. Siendo el principal medio por el cual se ha creado y construido, directa o indirectamente, todo lo artificial que actualmente nos rodea, es natural pensar que gran parte de la comunidad científica relacionada con la robótica dedique grandes esfuerzos por imitarla.

## Bibliografía

- **Robótica y prótesis inteligentes**  
<http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/int01.htm>. Revista Digital Universitaria 18 de enero 2005 • Volumen 6 Número 1 • ISSN: 1067-6079.
- Síndrome del Túnel Carpiano. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Public Health Service National Institutes of Health.
- Dr. Carlos Lavallo Montalvo, secretario académico de la División de Posgrado de la Facultad de Medicina de la UNAM. Osteoartritis: Facultad de Medicina UNAM, [www.facmed.unam.mx/sms/temas/2010/06\\_jun\\_2k10](http://www.facmed.unam.mx/sms/temas/2010/06_jun_2k10.pdf) pdf.
- Centro Nacional de Distribución de Información del Instituto Nacional de Artritis y Enfermedades Musculoesqueléticas y de la Piel (NIAMS, por sus siglas en inglés) 6366 Correo electrónico: NIAMSinfo@mail.nih.gov Sitio web: [www.niams.nih.gov](http://www.niams.nih.gov)
- Goetz J. P. y M. D. Lecompte, Etnografía y Diseño Cualitativo en Investigación Educativa, Ed. Morata, S.A., 1988, Madrid. 74-78p.
- Goetz J. P. y M. D. Lecompte, Etnografía y Diseño Cualitativo en Investigación Educativa, Ed. Morata, S.A., 1988, Madrid. 81-91p.
- Avila, R. (Abril de 2007). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/31722433\\_Dimensiones\\_antropometricas\\_de\\_la\\_poblacion\\_latinoamericana\\_Mexico\\_Cuba\\_Colombia\\_Chile](https://www.researchgate.net/publication/31722433_Dimensiones_antropometricas_de_la_poblacion_latinoamericana_Mexico_Cuba_Colombia_Chile)  
R Avila Chaurand LR Prado Leon EL Gonzalez Munoz

- Diaz, E. C. (s.f.). *estructuplan*. Obtenido de <https://estrucplan.com.ar/articulos/estudio-piloto-de-medidas-antropometricas-de-la-mano-y-fuerzas-de-presion-aplicables-al-diseno-de-herramientas-manuales/>
- Avila, R. (Abril de 2007). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/31722433\\_Dimensiones\\_antropometricas\\_de\\_la\\_poblacion\\_latinoamericana\\_Mexico\\_Cuba\\_Colombia\\_Chile\\_R\\_Avila\\_Chaurand\\_LR\\_Prado\\_Leon\\_EL\\_Gonzalez\\_Munoz](https://www.researchgate.net/publication/31722433_Dimensiones_antropometricas_de_la_poblacion_latinoamericana_Mexico_Cuba_Colombia_Chile_R_Avila_Chaurand_LR_Prado_Leon_EL_Gonzalez_Munoz)
- Burgos, C. A. (enero de 2010). Obtenido de <http://www.unicauca.edu.co/deic/Documentos/Tesis%20Quinay%E1s.pdf>
- \*Cabas, R. (23 de enero de 2011). Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de [Tesis\\_Ramiro\\_Cabas\\_Ormaechea.pdf](#)
- Centro Nacional de Distribución de Información del Instituto Nacional de Artritis y
- Enfermedades Musculoesqueléticas y de la Piel (NIAMS, por sus siglas en
  - Inglés) Institutos Nacionales de la Salud (NIH, por sus siglas en inglés
  - Correo electrónico: NIAMSinfo@mail.nih.gov Sitio web: [www.niams.nih.gov](http://www.niams.nih.gov)
- Diaz, E. C. (s.f.). *estructuplan*. Obtenido de <https://estrucplan.com.ar/articulos/estudio-piloto-de-medidas-antropometricas-de-la-mano-y-fuerzas-de-presion-aplicables-al-diseno-de-herramientas-manuales/>
- Fitzgerald, R. Kaufer H. Malkani A. Ortopedia Tomo II. 2ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2004. Flores, Juárez, Castillo, Dorador. 2004. Actualidad y tendencias en el diseño de prótesis de miembro superior. Memorias del X Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Querétaro, México.

- Groover, Mikell P., et. Al. Robótica Industrial. Tecnología, programación y
  - Aplicaciones. Tr. Sebastián Dormido Bencomo y Ángel Segado Bernal.
- México: Editorial McGraw Hill, 1993. 601p.p.
- \*Holdings, V. M. (22 de septiembre de 2018). Rehab-Robotics. Obtenido de
- <http://www.rehab-robotics.com/HOH/>
- Hoppenfeld, S. y Hutton R. (2000). Exploración física de la columna vertebral y las extremidades. México:
- El Manual Moderno.<http://www.rehab-robotics.com/HOH/>. (19 de Agosto de 2011). Universidad
- Politécnica Salesina. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1068/13/UPS-CT002117.pdf>
- Mark, D., Miller, J. & Hart. A. (2009). Ortopedia y Traumatología. Revisión
- Sistemática. (5º ed). España: Elsevier. \*Nacional, I. P. (s.f.). SEP. Obtenido de <https://www.ipn.mx/CCS/comunicados/ver-comunicado.html?y=2018&n=325>
- NIAMS. (04 de abril de 2017). Instituto nacional de la salud NIH. Obtenido de <https://www.niams.nih.gov/es/informacion-de-salud/artritis#tab-diagnosis>
- Pablo, Wagner Hitschfeld Marcoleta 350, división de cirugía, Enfermedad de Dupuytren: revisión. Pontificia universidad católica de chile. Fono/Fax:
  - 3543467. e-mail: pwagnerh1@gmail. Com departamento de ortopedia y
  - traumatología, Pontificia universidad católica de chile. 17 de enero de 2012.
- Ríos, Louth, Dorador. 2004. Uso de materiales con memoria de forma para actuar los dedos de una prótesis de miembro superior. Memorias del X Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Querétaro, México.

- Robótica y prótesis inteligentes  
<http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/int01.html> Coordinación de Publicaciones Digitales. DGSCA-UNAM Revista Digital Universitaria 18 de enero 2005 • Volumen 6 Número 1 •
- Sánchez, Alepuz, Calero Ferrándiz, Carratalá Baixauli. (2008). Actualizaciones en el tratamiento artroscópico del manguito rotador.
- Servicio de Cirugía Ortopédica de Unión de Mutuas Unidad de Artroscopia Clínica Sánchez Alepuz. Valencia, España: CSA.
- Silberman, F. Varaona O. Ortopedia y Traumatología. 3ª Ed. Buenos Aires:
  - Médica Panamericana; 2010
- Trebes, Wolff, Röttege Groth. 1973. "Prótesis del Miembro Superior.
  - Entrenamiento fisioterápico del amputado". Ediciones Toray, S.A.
  - Barcelona. pp. 1- 40.

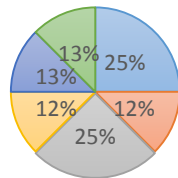
## ANEXOS

### ANEXO 1 ENCUESTAS

Los siguientes datos estadísticos fueron obtenidos mediante la realización de encuestas en la clínica de rehabilitación de la universidad, basado en las necesidades y requerimientos de los pacientes, agrupando estas necesidades en, género, edad y los padecimientos que se tratan con más frecuencia dentro de la clínica.

Padecimientos más comunes	Edad	Genero	Diagnostico	Acceso a tratamiento terapéutico	Costo del tratamiento terapéutico	Utilización de herramientas electromecánicas
Síndrome del túnel carpió	20 - 40	Femenino	Resonancia magnética	Pocos pacientes con este padecimiento acuden a un tratamiento	\$45,000 - 89,000 por persona	Pelotas y Mancuernas.
Lesión del nervio medio	20 - 40	Femenino	Pruebas funcionales	Pocos pacientes con este padecimiento acuden a un tratamiento	\$2,500	Utensilios mecánicos de acero inoxidable denominados ala, pico, gancho
Artritis	40 - 60	Femenino	Radiografías y pruebas funcionales	30 % de los pacientes	\$ 3,000 a 46, 000 dependiendo del avance de la enfermedad	Escalera de dedos, presión con pelotas, mancuerna.
Síndrome del túnel carpió	20 - 40	Femenino	Electromiografía	40 % de los pacientes	\$45,000 - 89, 000 por persona	Kinesiotaping, texturas con arena.
Tenosinovitis de quervain	40 - 60	Femenino - Masculino	Diagnostico clínico	30 % de los pacientes	Sin especificar.	Laser, ultrasonido, muñequera.
Artritis	40 - 60	Femenino	Radiografías	30 % de los pacientes afiladas al sector salud, 10% personas con recursos.	\$75,000	Ortesis
Fracturas	Mayores de 60 - Menores de 10	Femenino - Masculino	Valoración medica	Cualquier persona afiliada al sector salud	\$9,000 - 16,000	Existen mejores alternativas.
Artritis	50 - 60	Femenino	Diagnostico medico	Personas afiladas al sector salud.	\$85, 000	Sin especificar.
Artritis reumatoide	50 - 60	Femenino	Diagnostico clínico	Personas afiladas al sector salud.	\$70, 000 - 80, 000	Sin especificar.

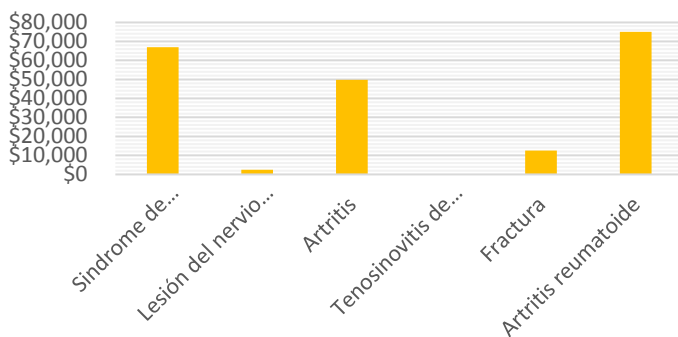
## Enfermedades



■ Síndrome de túnel carpió 
 ■ Lesión del nervio medio  
■ Artritis 
 ■ Tenosinovitis de quervain  
■ Fractura 
 ■ Artritis reumatoide

enfermedad	coincidencias
Síndrome de túnel carpió	2
Lesión del nervio medio	1
Artritis	2
Tenosinovitis de quervain	1
Fractura	1
Artritis reumatoide	1

## Costo promedio



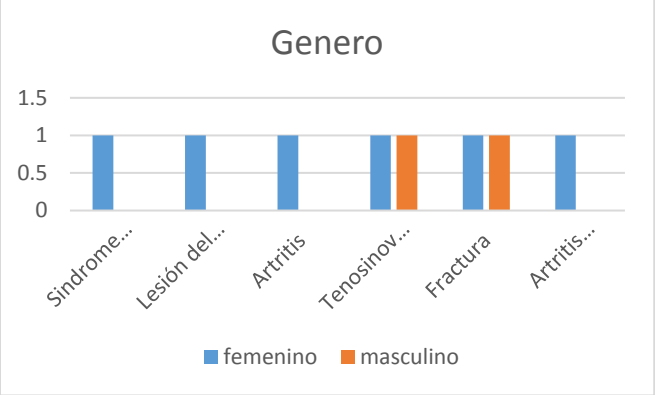
Enfermedad	Costo promedio
Síndrome de túnel carpió	\$67,000
Lesión del nervio medio	\$2,500
Artritis	\$49,750
Tenosinovitis de quervain	N/A
Fractura	\$12,500
Artritis reumatoide	\$75,000

## Edades



Enfermedad	Edades(años)
Síndrome de túnel carpió	30
Lesión del nervio medio	30
Artritis	40
Tenosinovitis de quervain	40
Fractura	60
Artritis reumatoide	55





	Genero	
Enfermedad	femenino	masculino
Síndrome de túnel carpí	1	0
Lesión del nervio medio	1	0
Artritis	1	0
Tenosinovitis de quervain	1	1
Fractura	1	1
Artritis reumatoide	1	

## ANEXO 2

### Análisis estructural: deformación por esfuerzos

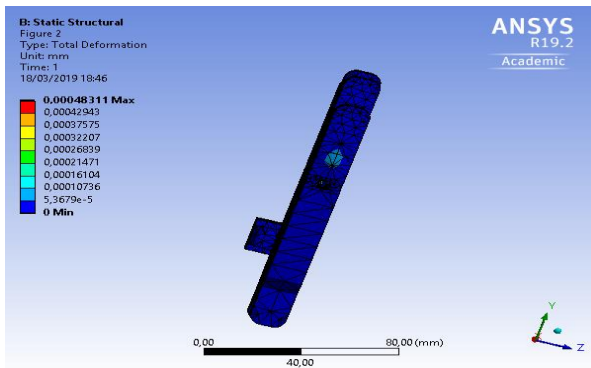


Imagen 1.0 vista lateral de simulación de mano en Ansys.

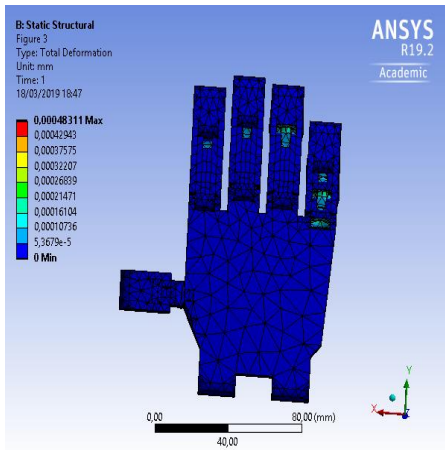


Imagen 1.1 vista frontal de simulación de mano en Ansys

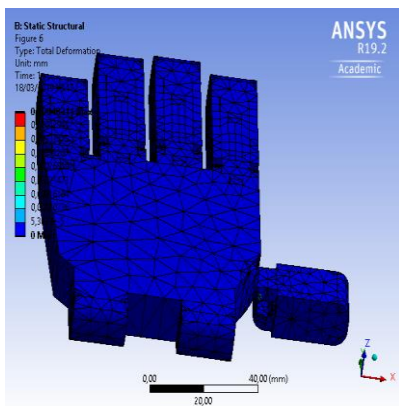


Imagen 1.2 vista isotrópica de simulación de mano en Ansys

Nombre del objeto	palma	Pieza 1x 8	Pieza 1x 8[2]	Pieza 1x 8[3]	punta	Punta [2]	Punta [3]	Punta [4]	Punta [5]	Base	Base[2]
Material											
Asignacion	Acero estructural LN	Aleacion de aluminio NL									
Efectos no lineales	Si										
Efectos de tensión termica	Si										
Cuadro delimitador											
Longitud X	80,012 mm	17, mm			17,002 mm				27,501 mm	17,033 mm	
Longitud Y	93,97 mm	32,5 mm			27,501 mm				17,002 mm	25, mm	
Longitud Z	15,002 mm	15, mm			15,001 mm						
Propiedades											
Volumen	86406 mm³	5062,5 mm³			4610,6 mm³					2596,1 mm³	
Masa	0,67829 kg	1,4023e-002 kg			1,2771e-002 kg					7,1912e-003 kg	
Centroide X	-7,4239 mm	-18,974 mm	2,2834 mm	23,283 mm	-18,874 mm	23,383 mm	-40,032 mm	2,3834 mm	56,417 mm	-39,882 mm	23,318 mm
Centroide Y	-3,9525 mm	58,059 mm	60,559 mm	54,802 mm	79,05 mm	75,793 mm	64,05 mm	81,55 mm	-6,766 mm	35,941 mm	40,185 mm
Centroide Z	101,45 mm	101,47 mm			101,68 mm				91,68 mm	101,84 mm	
Momento de Inercia Ip1	371,08 kg·mm²	1,087 kg·mm²			0,72428 kg·mm²					0,38449 kg·mm²	
Momento de Inercia Ip2	312,9 kg·mm²	0,60106 kg·mm²			0,50116 kg·mm²					0,34226 kg·mm²	
Momento of Inercia Ip3	658,77 kg·mm²	1,1621 kg·mm²			0,75572 kg·mm²					0,44873 kg·mm²	
Estadísticas											
Nodos	9200	845			1660					1500	
Elementos	4671	120			801					705	

Tabla 1.0 Descripción del análisis estructural basado en el material, la masa, volumen y longitudes del CAD, para la obtención de los momentos de inercia y centroide donde pueden ocurrir quiebres del material.

## Anexo 3

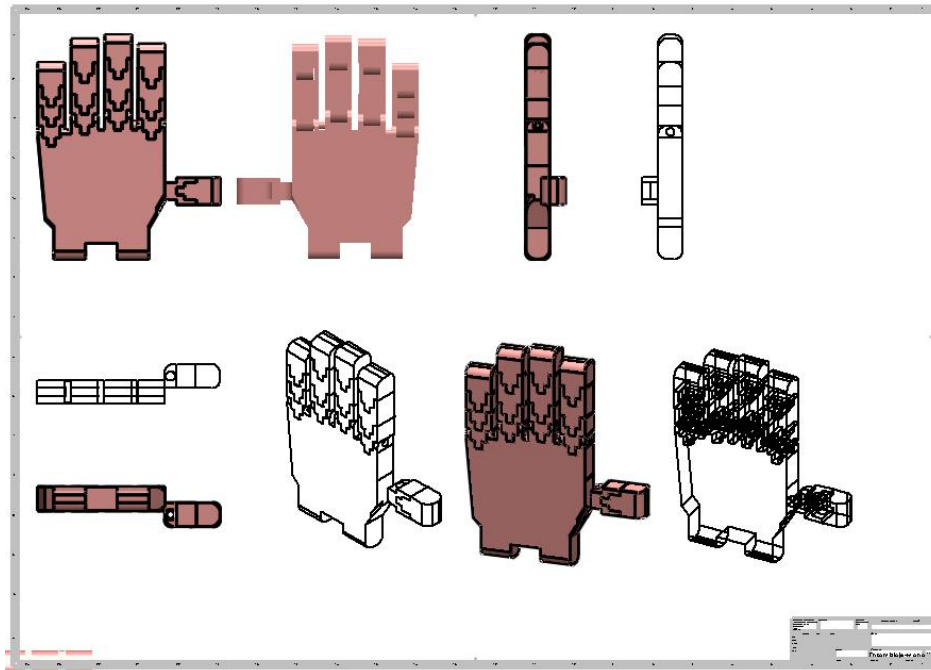


Imagen 1.3 Planos de la mano robótica