

Biomecánica y Prótesis de la Mano

Luis Humberto Ríos Ruiz
Sergio Esteban Cantú Carrasco
Rogelio Lejía Escalante
Andrés Anaya Hernández
Luis Ángel Estrada Hernández
Sergio Jared Moreno Rodríguez

2 de septiembre de 2022

Resumen

La disposición anatómica de la mano permite entender su gran versatilidad en la manipulación de objetos y ajustes posicionales de acuerdo a las necesidades en la ejecución de patrones funcionales. Correlacionar sus unidades arquitectónicas con el complejo biomecánico de cada una de ellas, permite entender que la función prensil de la mano depende de la integridad de la cadena cinética de huesos y articulaciones extendida desde la muñeca hasta las falanges distales, y que el compromiso de sus arcos longitudinales o transversales altera la morfología de la mano e implica la ruptura de un ensamblaje coordinado necesario para la realización de agarres de fuerza y de precisión.

1. Introducción

Constantemente la mano debe adoptar formas diversas que permiten al ser humano interactuar con su medio externo; posiciones como la concavidad palmar que permite tomar y soltar objetos, movimientos de oposición que proporcionan la pinza y facilitan la manipulación de instrumentos de precisión, y actividades de destreza manual fina. La comunicación mediante el lenguaje corporal también involucra la mano e inclusive, puede ser determinante a la hora de tomar decisiones definitivas en la elección de candidatos en tareas específicas y ¿cuántas veces la mano ha tenido que adoptar la posición de puño y convertirse en herramienta de defensa? La mano, es pues, determinante de la independencia humana, es el “instrumento de los instrumentos” decía Aristóteles y tal como lo expresa Kapandji: “La mano es la extensión del cerebro”. Cuando se estudia la anatomía y se comprende la kinesiólogía de la mano es cuando se puede entender la versatilidad instantánea con la que está dotada esta estructura compleja compuesta por 27 huesos, más de 20 articulaciones y más de 30 músculos, lo que hace que en un área tan pequeña converjan tejidos blandos y duros al mismo tiempo, explicando el gran compromiso funcional ante lesiones traumáticas de este órgano.

2. Desarrollo

2.1. Biomecánica de la Mano

La mano está constituida por diferentes huesos, en la muñeca se encuentran los 8 huesos del carpo divididos en 2 hileras. 5 metacarpianos situados distalmente a los huesos del carpo; 5 falanges proximales, que se articulan con la cabeza de su respectivo metatarsiano; 4 falanges medias, ausente en el dedo pulgar, unen la falange proximal con la falange distal correspondiente; 5 falanges distales, que constituyen el extremo distal de los dedos y, 2 huesos sesamoideos que se articulan con la base de la cabeza del primer metacarpiano de la mano.

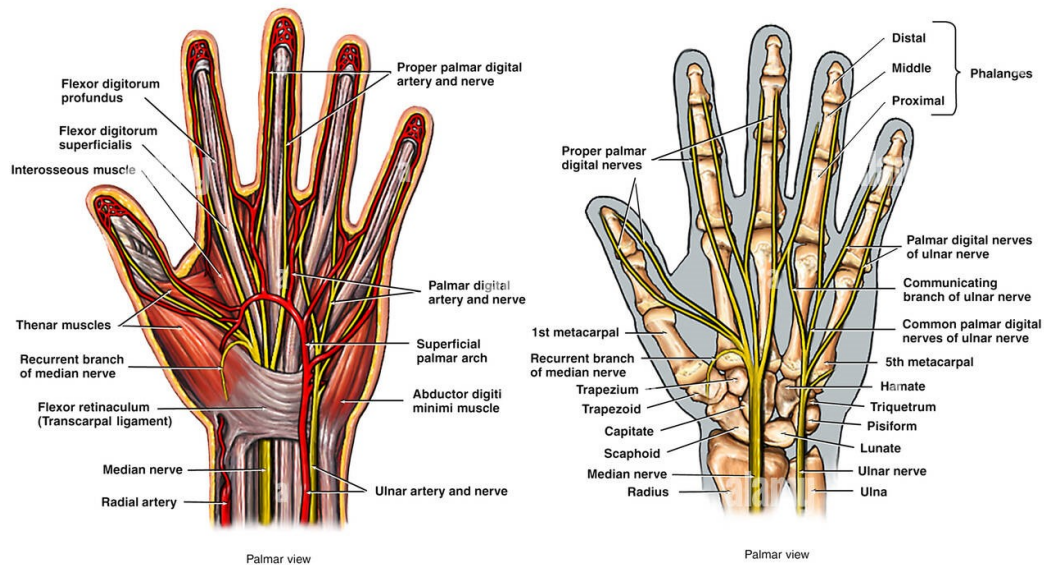


Figura 1: Anatomía de la mano

Las articulaciones que conforman la mano son, de proximal a distal: articulaciones carpometacarpianas, metacarpofalángicas, interfalángicas proximales e interfalángicas distales (no existe en el dedo pulgar)

La muñeca o la articulación radio carpiana permiten la Flexión/Extensión y la Aducción/Abducción. Estos movimientos son muy importantes para el uso de la mano.

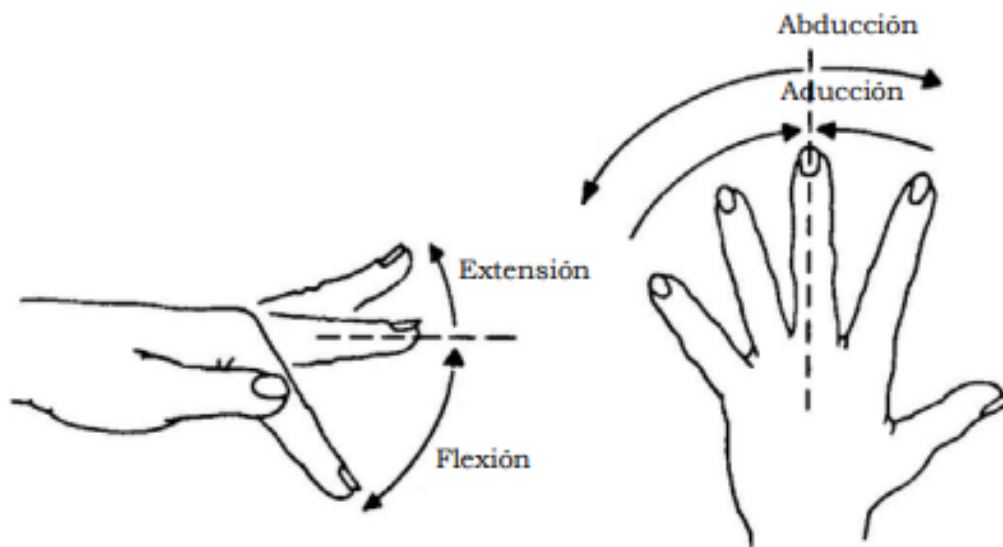


Figura 2: Anatomía de la mano

2.2. Prótesis

Prótesis Pasivas

- Las prótesis pasivas no tienen movimientos y solo cubren el aspecto estético del miembro amputado, son conocidas como prótesis estéticas debido a que solo se encargan de mejorar la apariencia física

Prótesis mecánicas

- Las prótesis mecánicas son prótesis con dispositivos de apertura y cierre mediante cables y cintas de sujeción unidos al cuerpo y se abren o cierran a voluntad por la tracción ejercida por el tensor. Este tipo de prótesis son funcionales, pero tienen limitaciones en cuanto a sus movimientos. Su funcionamiento se basa en la extensión de una liga por medio de un arnés para su apertura o cierre. El cierre o apertura se efectúa solo con la relajación del músculo gracias a un resorte, la señal mecánica es obtenida por medio de otro miembro del cuerpo como el codo u hombro.

Prótesis eléctricas

- Las prótesis eléctricas se basan en el uso de motores eléctricos, que pueden ser controlados por medio de servo-contróles, pulsadores o interruptores, este tipo de prótesis requiere de movimientos mecánicos para activar los sistemas electrónicos.

Prótesis mioeléctricas

- Las prótesis mioeléctricas fueron desarrolladas basadas en la biónica, la cibernética, la robótica y la mecatrónica. Son prótesis eléctricas controladas por medio de comandos activados por señales mioeléctricas obtenidas de los músculos del paciente. 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 que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es muy pequeña y se capta con electrodos superficiales que entran en contacto con la superficie de la piel. Este tipo de prótesis tiene la ventaja de que sólo requieren que el usuario flexione sus músculos para operarla.

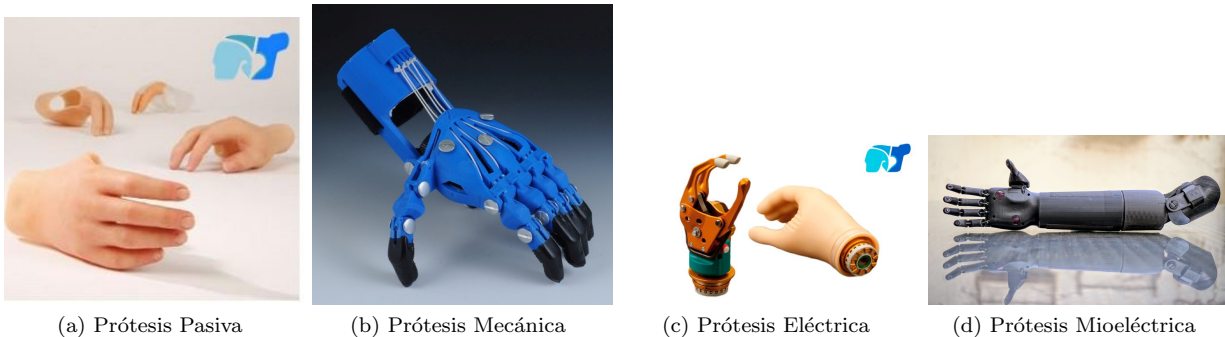


Figura 3: Prótesis

2.3. Mecanismos

Las prótesis de mano mecánicas son dispositivos que se usan con la función de cierre o apertura a voluntad, controlados por medio de un arnés que se encuentra sujeto alrededor de los hombros, parte del pecho y del brazo. Solo pueden ser utilizados para el agarre de objetos relativamente grandes y redondos debido a la poca precisión del mecanismo.

2.4. Simulaciones

En el presente trabajo de investigación se eligió la prótesis de mano robótica TBM Hand para llevar a cabo el análisis y evaluación de su capacidad de manipulación. La TBM Hand se muestra en la Fig. y fue seleccionada debido a las siguientes razones: Menor número de grados de libertad (6) y eslabones en comparación con [13] y

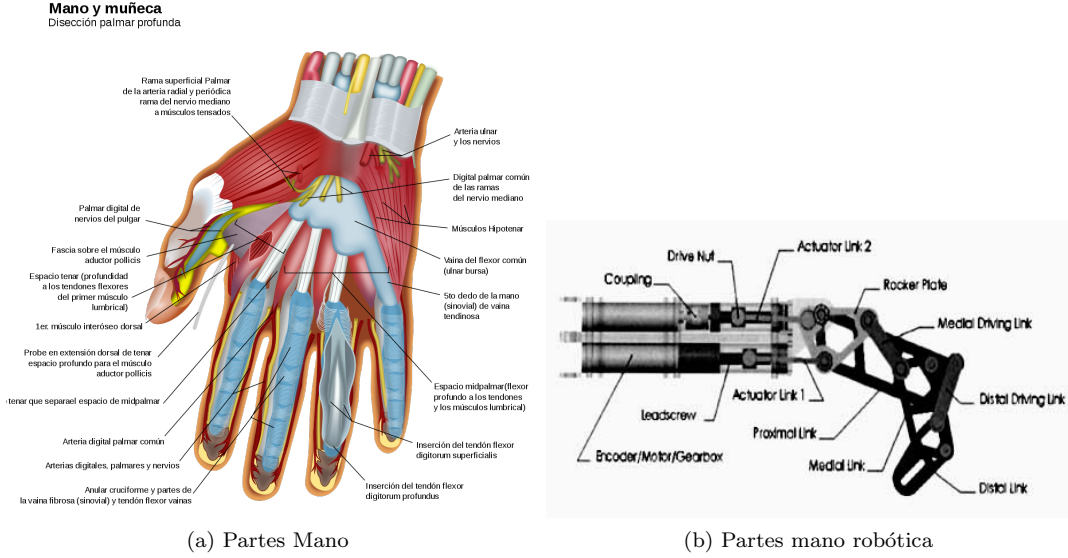


Figura 4: Partes de la Mano y prototipo robótico

[14], con actuación independiente en los 5 dedos, lo cual reduce la complejidad mecánica y de control. El dedo pulgar presenta aducción y abducción, con la posibilidad de potencializar las capacidades de prensión. La capacidad de agarre adaptativo es pasiva (sin sensores), ya que los dedos se alinean automáticamente por eslabones flexibles. Forma bio-inspirada abstraída de la fisiología anatómica. Cada dedo de la TBM Hand es una abstracción anatómica, donde el eslabón 4 reproduce la función de la falange proximal, el eslabón 5 la falange medial, y el eslabón 8 la falange distal. Los eslabones 9, 10 y 12 son conectores que auxilian la definición de movimiento del mecanismo. Cada dedo es conectado a través de una articulación de revoluta (R) en la posición de la articulación metacarpofalángica. El mecanismo de entrada para la flexo-extensión de cada dedo es una combinación de submecanismos planares, en donde el eslabón l-a es una manivela rotando grados con respecto a z mediante una junta de revolución (R) en el origen O. El eslabón l-a se conecta al eslabón L mediante una junta de revolución, y éste a su vez se conecta mediante una junta esférica (S) al eslabón r, que se encuentra pivotado a tierra mediante una junta de revolución y con un ángulo λ . La red topológica del mecanismo. La ecuación de Kutzbach-Gruebler resulta en 1 GDL para este mecanismo de entrada. Cabe señalar que el movimiento del eslabón L en el eje x será la entrada al mecanismo de cada dedo. Es decir, $x = f(t)$ y a su vez $y = g(t)$. Por otro lado, se puede observar que la configuración cinemática del dedo meñique, anular, medio e índice es la misma, por lo que su análisis de los dedos se realizó la cinemática específica, descrita por la siguiente ecuación para el vector r_p de la Fig

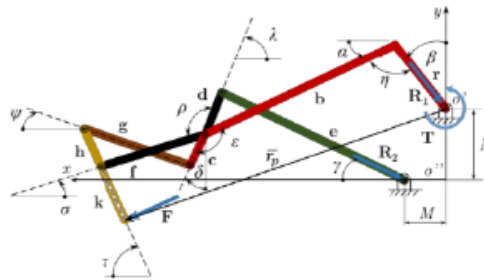


Figura 5: Ecuación para el vector RP.

Para llevar a cabo la simulación del mecanismo de mano, las ecuaciones del análisis cinemático se implementaron en Matlab. Se realizaron numerosas iteraciones para concebir las dimensiones de cada eslabón, con el fin de satisfacer la cinemática y dinámica de los dedos. En el presente trabajo las dimensiones de los eslabones de los dedos de la mano se definieron de acuerdo a las dimensiones de la mano derecha anatómica del fenotipo latinoamericano masculino de 20-24 años de edad. Dichas dimensiones se muestran en la Tabla 1 y son las más adecuadas de acuerdo a un

criterio antropométrico.

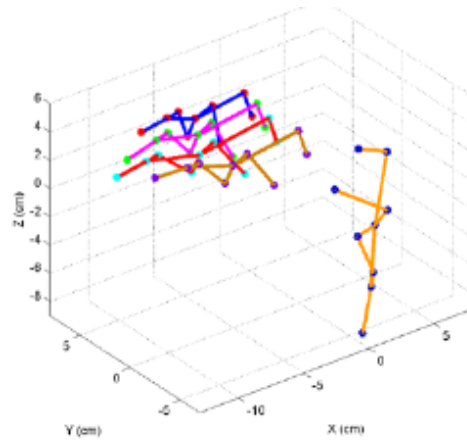


Figura 6: Gráfica 2.

2.5. Electrónica

Las prótesis mioeléctricas son sistemas accionados por servomotores, estos son controlados por señales electromiográficas superficiales (EMGS), las cuales son intramusculares; existen sensores que pueden ser mediante agujas o electrodos colocados en el muñón del paciente, permitiéndoles de este modo capturar la señal superficialmente. Al estudio que se genera a la actividad eléctrica de los músculos se le denomina electromiografía. La contracción generada al cerrar la mano es mediante células que son activadas neurológicamente y se produce la señal eléctrica por la excitación expuesta en estas. Para concluir con este apartado se describe una de las manos más avanzadas desarrollada por investigadores del Instituto de Robótica y Mecatrónica del Centro Aeroespacial alemán, esta mano puede absorber altos impactos, tomando como ejemplo el ser golpeada con un bate de beisbol. Cuenta con 19 grados de libertad y es capaz de ejercer una fuerza de 30 Newtons.



Figura 7: Prótesis mioeléctrica

El control mioeléctrico es considerablemente el esquema de control más popular. Se desarrolla 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 demasiado pequeña (5 a 20 μV) Un micro-voltio es una millonésima parte de un voltio. Para poner esto de una forma más entendible, 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.

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 mueva sus músculos para operarla, a diferencia de las prótesis que son manipuladas por el miembro y 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 necesita mantenimiento para su recarga, descarga, desecharla y reemplazarla eventualmente. Debido al peso de este 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.

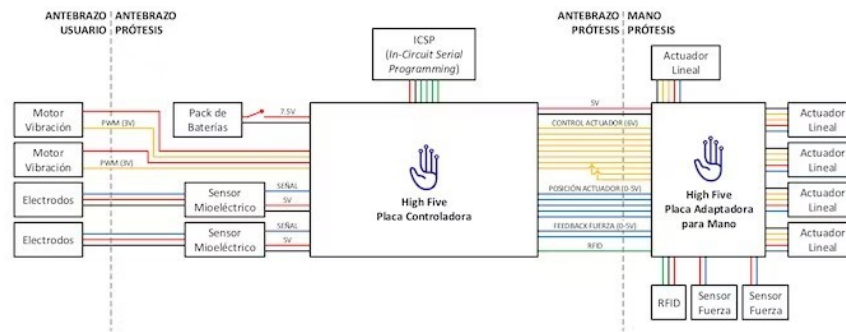


Figura 8: Placa controladora High Five

Se presenta en las Figuras anteriores cómo deben conectarse los componentes a la placa controladora High Five y a la placa adaptadora para la mano.

La conexión entre las placas del controlador y la mano debe realizarse a través de un conector de cable plano. Un extremo de este cable debe soldarse a la placa de la mano como se indica en la segunda figura de abajo. El otro extremo debe conectarse a la placa controladora por medio de un conector IDC. Como guía, el pin superior izquierdo del conector a la mano en la primera figura de abajo. Esta debe quedar pareado con el pin superior derecho de la conexión al controlador en la figura de más abajo.

Por último, nótese cómo los conectores de los actuadores lineales deben insertarse con sus terminales hacia abajo, como se señala en la figura.

2.6. Microcontroladores

Antes de intentar construir una prótesis con las características mencionadas, se deben de estudiar todas las señales que estarían presentes en la prótesis, es decir, las señales procedentes de los sensores, las señales para accionamiento del actuador, y las señales de accionamiento del dispositivo vibrador, el cual estará en contacto con la piel del paciente, permitiendo a éste interpretar la información sensorial. Con dicho estudio, se ha busca un microcontrolador que atendiese a todos los requisitos.

Microcontrolador PIC16F870

- Posee un conversor analógico/digital con cinco entradas, que es adecuado para el número de sensores presentes en la prótesis (mioeléctrico, fuerza y deslizamiento, temperatura y sensor de nivel de batería). Además, dicho microcontrolador dispone de salida PWM y cuatro puertas de entradas/salidas digitales. Un ejemplo de su uso sería ,para posibilitar la abertura y cierre de la mano de la prótesis, se puede desarrollar un circuito electrónico capaz de accionar un motor CC de pequeñas dimensiones, el cual estará embutido en la prótesis. El circuito

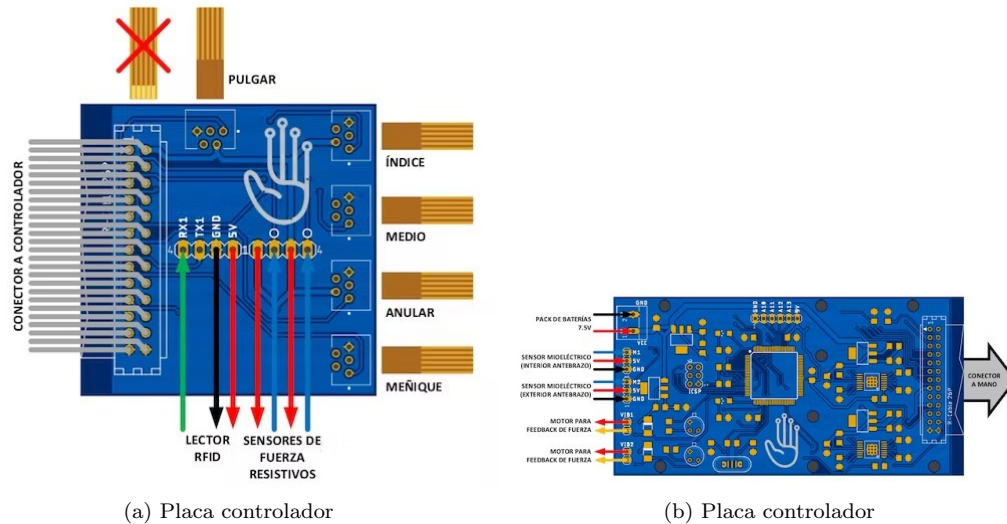


Figura 9: Partes Placa Controlador

electrónico de accionamiento será basado en un circuito tipo puente H, compuesto de 4 FETs. Dicho circuito es comandado por señales PWM enviadas por el microcontrolador PIC, lo que permite girar el motor en los dos sentidos y controlar su velocidad.



Figura 10: PIC16F870

Arduino

Son tarjetas de hardware empotradas, cada una de éstas cuentan con un microcontrolador generalmente Atmel AVR y a su vez con diferentes puertos de comunicación digitales y analógicos que pueden ser configurados como entrada y/o salidas. continuación, veremos algunas de las tarjetas más comunes y populares en el mercado.

Arduino UNO

- Es una placa basada en el microcontrolador de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión USB, conector jack de alimentación y un botón de reset. Tiene toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, simplemente hay que conectarlo a la energía por el puerto USB o con un transformador AC/DC. Tiene, es la opción más usada y con mayor cantidad de documentación de toda la familia Arduino.



Figura 11: Arduino UNO

Arduino Mega 2560

- Es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, jack para alimentación DC y un botón de reseteo. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino UNO



Figura 12: Arduino Mega 2560

3. Conclusiones

Durante la elaboración de la investigación pudimos observar y aprender sobre el funcionamiento de la mano natural como de una prótesis, esto nos ayuda a cómo entender el funcionamiento y como aplicarlo no solo en el área de la biomecánica (prótesis) si no a la implementación de este mecanismo en la industria. Observamos también la conexión y la lógica que conlleva la mano para su aplicación ya que tiene que ser muy precisa en casa acción que debe de realizar para que no haya ningún problema más aparte el usuario pueda usarla sin ningún inconveniente que es lo que busca principalmente imitar el comportamiento de la mano para replicarlo.

Referencias

- [1] ARIAS, L. Biomecánica y patrones funcionales de la mano. *Morfología* 4, 1 (2012).
- [2] ERGODINÁMICA. Unidad de biomecánica - especialidades — ergodinámica.
- [3] GIVEN I=C, F. Diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano.
- [4] GIVEN I=W., G.-C. Biomecánica aplicada a la ingeniería —.
- [5] REDACCIÓN MÉDICA. La biomecánica mejora el control y eficiencia de los procesos de rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas.
- [6] S, H. *Biomechanica Basica*, 7 ed. Gen.
- [3] [1] [6] [2] [5] [4]