

Tarea 2: Prótesis de Mano

Guerrero Hernández Mauricio
Rangel Campos Emmanuel
Alan Carriales Edgar
Quiñones Duran Carlos Enrique
Herrera Garza Fernando

29 de Agosto de 2022

Resumen

En este trabajo se realiza una investigación, en donde se habla sobre diversos puntos y conceptos acerca de la Prótesis de mano, específicamente, se abordan los conceptos; mecanismos, ecuaciones, tipos, entre algunos otros. Además de mencionar los sistemas individuales de la mano, es decir, explicar el funcionamiento de los mecanismos de un dedo.

1. Introducción

La mano humana realiza principalmente dos funciones; la prensión y el tacto, las cuales permiten al hombre convertir sus ideas en formas (movimientos, manipulación, etc.), adicionalmente la mano añade expresión a las palabras, como en los casos del escultor o de los sordomudos. El sentido del tacto desarrolla totalmente las capacidades de la mano, sin este sería imposible medir la fuerza prensora. Por último, es importante mencionar que el dedo pulgar representa el miembro más importante de la mano, sin este la capacidad funcional de la mano se reduce en cerca de un 40 %. Sustituir por pérdida alguno de los miembros humanos por dispositivos es un acontecimiento que ha venido sucediendo desde hace más de dos mil años [8]. Una prótesis es una extensión artificial que reemplaza una parte faltante del cuerpo. Las que hay de 2 tipos, pasivas y activas; las primeras también suelen ser llamadas cosméticas, ya que no tienen movimiento propio, y su función es puramente estética, las prótesis activas se clasifican a su vez en mecánicas, eléctricas, neumáticas, mioeléctricas e híbridas. Las mioeléctricas se pueden dividir en un sistema de actuación, de transmisión, de control y de suspensión Figura 1. Este trabajo se enfoca en la descripción de los distintos sistemas o mecanismos de la prótesis de mano, y también de características de ésta, al igual de mencionar mecanismos de los dedo.

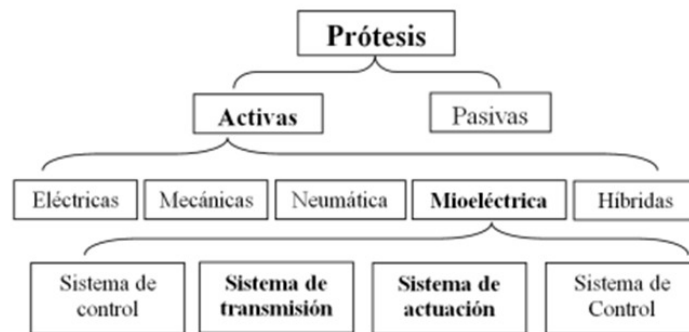


Figura 1: Clasificación de prótesis

2. Desarrollo

Mecanismos en los Dedos

En esta sección, se describen los mecanismos más destacados que se utilizan para generar el movimiento de los dedos y lograr la flexión-extensión y en algunos casos la oposición del pulgar. Uno de los sistemas más antiguos y ampliamente utilizados en el campo de las prótesis para lograr este movimiento de flexión-extensión en los dedos es mediante el uso de cables y poleas Figura 2. En la mayoría de los casos las poleas se encuentran ubicadas en las articulaciones, sobre ellas pasa un cable que está fijo por uno de sus extremos en alguna falange, que por lo general en la última (distal), el otro extremo del cable está conectado a la salida del sistema de actuación o si es el caso al de reducción. Cuando es aplicada una carga, del sistema de actuación al cable, éste último se desliza a través de la polea y mueve la falange y por consecuencia la articulación del dedo. En algunos proyectos se ha optado por usar un solo cable en cada dedo para lograr la flexión, eso trae como beneficio inmediato la disminución en el número de actuadores, aunque por otro lado se requiere de otro dispositivo que produzca la extensión del dedo, la tendencia para resolver este inconveniente es el uso de resortes a torsión ubicados en las articulaciones. Se emplea este arreglo debido a la sencillez en su funcionamiento, alta flexibilidad y ligereza, sin embargo sus principales inconvenientes son que solo puede utilizarse en tensión, solo se puede transmitir cargas relativamente pequeñas y se tiene que ajustar periódicamente la tensión del cable. Además, se requiere que el sistema de actuación produzca un movimiento lineal, provocando con eso la utilización de un componente adicional que transforme el movimiento rotativo en lineal. Sin embargo, presenta una característica que resulta sumamente útil para las manos protésicas, mediante el uso de cables y poleas los dedos se pueden adaptar de mejor manera a la forma de los objetos logrando así un mejor agarre. Otra manera de lograr el movimiento de los dedos es a través de cables pero en arreglo antagónico, es decir, un cable produce el movimiento en una dirección y otro cable produce en el sentido contrario. Para esto se requiere por lo general un actuador para cada cable lo que trae como desventaja inmediata el aumento en la cantidad de actuadores. Con este tipo de arreglo se logra controlar tanto la velocidad de flexión como de extensión de los dedos.

También se ha logrado el movimiento de los dedos mediante mecanismos compuestos por barras Figura 2, que es una secuencia cerrada de eslabones conectados por articulaciones, el más común y más fácil de utilizar es el de 4 barras. La razón principal para usarlos es porque mediante este mecanismo se puede lograr generar una trayectoria específica para uno o más puntos del mecanismo y esto se puede utilizar para lograr la trayectoria deseada para algunas de las falanges y así simular la trayectoria del dedo humano en un movimiento de flexión, además se logra buena precisión en los movimientos con mecanismos sencillos que pueden ser fabricados de una amplia variedad de materiales, desafortunadamente este mecanismo genera movimientos sobre un plano y si no se realiza un buen diseño el mecanismo puede tener posiciones de bloqueo. En las prótesis de mano no se utiliza un solo mecanismo de este tipo para lograr el movimiento de los dedos, realmente se utiliza una serie de eslabones que pueden ser considerados como un conjunto de mecanismos de 4 barras, los mecanismos de barras pueden funcionar cuando son alimentados con movimientos tanto circulares como rectos.

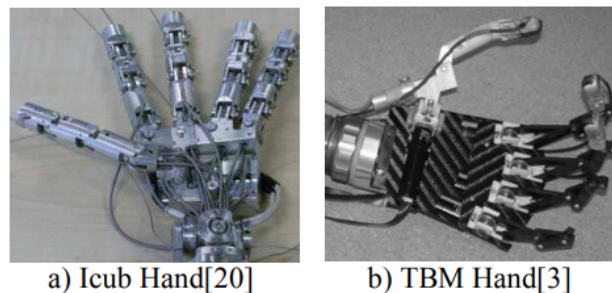


Figura 8. Mecanismos para mover los dedos mediante a) cables, b) barras.

Figura 2: Mecanismos para mover los dedos



Figura 3: Prótesis estéticas

Protésis electromecánicas

En México la principal causa de amputación es por la diabetes, ya que es una enfermedad en la que se presentan amputaciones tardías que afectan vasos sanguíneos, nervios craneales y periféricos, piel y cristalino; estas lesiones originan la amputación de extremidades entre otras complicaciones, otra causa es que las personas tengan algún accidente y por esta causa puedan perder un miembro superior parcial o totalmente. El avance del diseño de prótesis está totalmente enlazado con el desarrollo de materiales manejables, el análisis de la cinemática y cinética de funcionamiento y el estudio del movimiento del cuerpo mecánico a través de la biomecánica e ingeniería. Una prótesis es un aditamento desarrollado para que la persona afectada recupere algunas de las funciones perdidas con el miembro amputado, pero también ayuda a la recuperación psicológica de la pérdida del miembro creando una percepción de totalidad al recobrar movilidad y aspecto [7].

Prótesis electromecánica de mano y muñeca, esto dará mayor movilidad a la prótesis para que no solo tenga estética sino que además tenga mejor uso y funcionalidad es decir al implementar el movimiento de muñeca en una prótesis de mano se logra mejores posturas de la prótesis logrando dar mayor movimiento. Se espera tener un control adecuado de los movimientos de la prótesis usando señales biométricas, esto mejora bastante el uso de la prótesis por que se podrá entrenar a los usuarios para poder mover la prótesis con impulsos mioeléctricos o señales obtenidas del cuerpo. Al lograr implementar todas estas características conllevará a una disminución de costos en las prótesis puesto que existirá en el mercado una prótesis con mayores prestaciones y funcionalidades.

Tipos de prótesis de mano

Existen varios tipos de prótesis de mano que se han desarrollado utilizando diferente tecnología y conocimiento. Prótesis estéticas Las prótesis estéticas como se pueden ver en la Figura 9, conocidas como prótesis pasivas, no tienen movimiento y solo cubren el aspecto estético del miembro amputado, en la fabricación de las mismas se emplean polímeros como PVC rígido, látex flexible o silicona.

Prótesis mecánicas Las prótesis mecánicas como se puede ver en la Figura 4 cumplen funciones básicas como la apertura y cerrado de la mano, limitadas al agarre de objetos grandes y movimientos imprecisos, la señal mecánica es obtenida por medio de otro miembro del cuerpo como el codo o hombro.

Prótesis eléctricas Las prótesis eléctricas como se puede ver en la Figura 5 se basan en el uso de motores eléctricos, que pueden ser controlados por medio de servo-contróles, pulsantes o interruptores, su principal desventaja es su reparación, su alto costo y su exposición a ambientes hostiles, así como también su peso.

Prótesis neumáticas Las prótesis neumáticas como se puede ver en la Figura 6 hacen uso de aire a presión obtenido por medio de un compresor, su ventaja principal es proporcionar una gran fuerza y rapidez de movimientos; sus desventajas principales son los dispositivos que se implementan para su control y funcionamiento ya que son relativamente grandes y su mantenimiento es costoso y dificultoso.

Prótesis mioeléctricas Las prótesis mioeléctricas como se puede ver en la Figura 7 son en la actualidad una de las de mayor aplicación en el mundo, ya que brindan un mayor grado de estética y un elevado porcentaje de precisión y fuerza, basándose en la obtención de señales musculares las mismas que son obtenidas mediante el uso de electrodos que permiten la extracción de la señal que es amplificada, procesada y filtrada al control para el manejo de la prótesis.

Prótesis híbridas Las prótesis híbridas como se puede ver en la Figura 8 son utilizadas por personas que tienen amputaciones desde arriba del codo, ya que combina la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad. Es muy frecuente en las prótesis híbridas que utilicen un codo accionado mediante el cuerpo y un dispositivo al final controlado en forma mioeléctrica, que puede llegar a ser un gancho o una mano.



Figura 4: Prótesis mecánicas



Figura 5: Prótesis eléctricas



Figura 6: Prótesis neumáticas

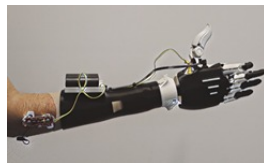


Figura 7: Prótesis mioeléctricas



Figura 8: Prótesis híbridas

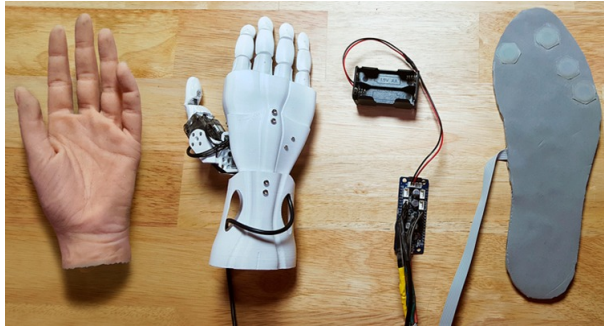


Figura 9: Prótesis de mano

Métodos de Manufactura

Por mucho tiempo, el hombre ha tratado de sustituir alguna extremidad faltante de su cuerpo por otra que otorgue una funcionalidad semejante. Este es un proceso profundo y complejo, donde los resultados obtenidos no son totalmente satisfactorios en comparación con el comportamiento natural del cuerpo [10]. Los datos estimados de personas que han perdido alguna extremidad, las estadísticas de las principales instancias de salud del país reportan que las enfermedades como la diabetes ocasiona cerca de 70,000 amputaciones al año y que sólo el IMSS ha registrado la realización de poco más de 4,000 amputaciones de miembro, mientras que en Estados Unidos se menciona que existen más de 50,000 personas sin alguna parte de su brazo y que no tienen ninguna prótesis [9].

En 2014 la prevalencia de la discapacidad en México es de 6 por ciento de la población. Existen diversos tipos de prótesis en el mercado los cuales son creados con materiales sofisticados, además de que algunas cuentan con sensores como son los de presión que permite al usuario saber que fuerza puede aplicar sobre objeto para no dañarlo, o incluso electrodos especiales los cuales dan a la persona que la utiliza la sensación de sentir la textura de los objetos que toca, este tipo de prótesis con control de los dedos cuestan hasta 60,000 dólares aproximadamente.

En la actualidad en nuestro país (México) se carece de elaboradores de prótesis que atiendan a los sectores poblacional de escasos recursos, los cuales mayormente habita en regiones rurales apartadas, donde se dificulta la entrada a este y varios otros servicios de salud. Para el diseño y utilización de un sustituto servible similar al natural, se afronta a diversos inconvenientes involucrados con diferentes zonas de la Ingeniería y de la salud [5]. La extremidad preeminente es un sistema sin igual, con sobresaliente manejo físico y propiedades especiales, en la actualidad no existe forma de reproducirlas por completo. Gracias a la dificultad anatómica y servible que ha de suplir la prótesis, los resultados funcionales conseguidos son pobres comparados con la utilización de la extremidad natural, habiendo inconformidad del paciente por su estado de hoy. Actualmente se hallan diferentes procedimientos para la producción de prototipos de partes, sin embargo, una forma común de forma presente y de bajo precio es la utilización de la impresión 3D. Esta consta de tecnologías de construcción por agregación donde es realizado un objeto tridimensional mediante la superposición de algunas capas de material. Las impresoras 3D en la mayor parte de los casos son más rápidas, baratas y de simple uso. Esta tecnología es bastante eficaz para crear prototipos de objetos personalizados. [2].

Modelo geométrico de las prótesis de mano

De acuerdo con un estudio realizado por el Grupo de Investigación en Movimiento Corporal de la Universidad del Cauca, se determinaron los movimientos funcionales de la mano, más comunes realizados por varias personas en diversas tareas de la vida cotidiana. Estos movimientos comunes llevan a los tipos de agarre que puede utilizar la mano como son: pinza, agarre cilíndrico, agarre esférico, palmar, lateral y de gancho. Estos agarres pueden ser llevados a cabo con solo tres dedos, el dedo medio, el índice y el pulgar, actuando los dedos anular y meñique solo de soporte. Con el fin de conjugar funcionalidad y simplicidad en la prótesis, se decidió por los tres dedos anteriormente nombrados, con tres grados de libertad por dedo, para un total de nueve grados de libertad. Es de anotar que la mano humana posee cerca de 30 grados de libertad, que, haciendo uso de la tecnología actual, resulta extremadamente difícil moverlos todos a partir de simples sensores colocados sobre el brazo del paciente.

Arquitectura de la mano: La prótesis se ha definido como una mano de tres dedos (medio, índice y pulgar). Esto hará que el diseño matemático sea más simple, proporcionando sin embargo las funcionalidades básicas de una mano

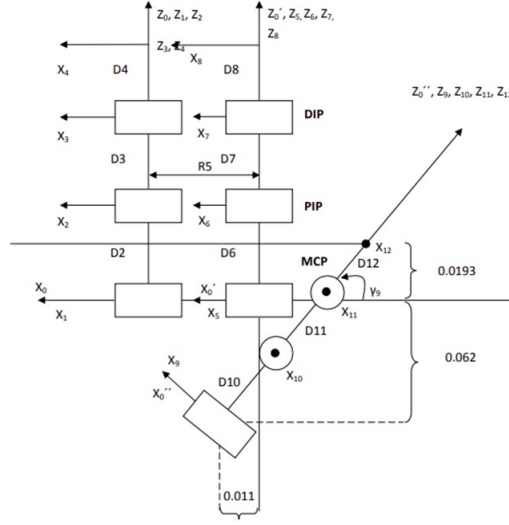


Figura 10: Arquitectura de mano robótica

humana. Como se puede observar en la siguiente Figura 10 de la arquitectura robótica de una mano.

La tabla de parámetros geométricos se muestra a continuación, teniendo en cuenta que se trata de una estructura tipo arborescente (Figura 11).

j	σ_j	γ_j	b_j	α_j	d_j	θ_j	r_j
1	0	0	0	0	0	θ_1	0
2	0	0	0	0	D2	θ_2	0
3	0	0	0	0	D3	θ_3	0
4	0	0	0	0	D4	0	0
5	0	0	0	0	0	θ_5	R5
6	0	0	0	0	D6	θ_6	0
7	0	0	0	0	D7	θ_7	0
8	0	0	0	0	D8	0	0
9	0	γ_9	0	0	0	θ_9	0
10	0	0	0	90°	D10	θ_{10}	0
11	0	0	0	0	D11	θ_{11}	0
12	0	0	0	0	D12	0	0

D2 = 0.057; D3 = 0.039; D4 = 0.027; D6 = 0.052; D7 = 0.036; D8 = 0.025; D10 = 0.032; D11 = 0.039; D12 = 0.044; R5 = 0.021; $\gamma_7 = 45^\circ$; $x_1 = 0.062$; $x_2 = 0.011$.

Figura 11: Tabla. Parámetros geométricos de la mano

Obsérvese que los parámetros θ_j hacen referencia a las variables de cada articulación rotoides; d_j hace referencia a la longitud de cada falange; α_j al ángulo entre ejes X_j ; b_j la distancia entre los ejes de cada dedo; r_j representa la distancia en tres ejes Z_j ; σ_j determina que el tipo de articulaciones utilizadas son todas rotoides; y γ_j representa el ángulo del dedo pulgar respecto a los otros dedos (definido igual a 45°).

Modelo geométrico directo: El modelo geométrico directo permite encontrar la posición y orientación de la punta de cada dedo, dadas las posiciones articulares de cada articulación [4]. Dada la particular estructura arborescente de la mano compuesta por tres dedos, se obtiene la matriz de transformación entre bases de referencia teniendo en cuenta los parámetros vistos en la tabla anterior esta matriz (4x4) es:

$${}^i T_j = \begin{bmatrix} C\gamma_j C\alpha_j & -C\gamma_j S\alpha_j C\theta_j + S\gamma_j S\theta_j & C\gamma_j S\alpha_j S\theta_j + S\gamma_j C\theta_j & C\gamma_j C\alpha_j r_j + S\gamma_j d_j \\ S\alpha_j & C\alpha_j C\theta_j & -C\alpha_j S\theta_j & S\alpha_j r_j + b_j \\ -S\gamma_j C\alpha_j & S\gamma_j S\alpha_j C\theta_j + C\gamma_j S\theta_j & -S\gamma_j S\alpha_j S\theta_j + C\gamma_j C\theta_j & -S\gamma_j C\alpha_j r_j + C\gamma_j d_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Luego, las matrices de transformación entre la punta de los dedos (P) y la base de referencia (0), para los dedos medio, índice y pulgar respectivamente son:

Dedo medio:

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C1 & -S1 & 0 \\ 0 & S1 & C1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad {}^1T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C2 & -S2 & 0 \\ 0 & S2 & C2 & D2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C3 & -S3 & 0 \\ 0 & S3 & C3 & D3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad {}^3T_E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & D4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dedo índice:

$${}^{0'}T_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & R5 \\ 0 & C5 & -S5 & 0 \\ 0 & S5 & C5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad {}^5T_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C6 & -S6 & 0 \\ 0 & S6 & C6 & D6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^6T_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C7 & -S7 & 0 \\ 0 & S7 & C7 & D7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad {}^7T_E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & D8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dedo pulgar:

$${}^{0''}T_9 = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2}S9 & \frac{\sqrt{2}}{2}C9 & 0 \\ 0 & C9 & -S9 & 0 \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2}S9 & \frac{\sqrt{2}}{2}C9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad {}^9T_{10} = \begin{bmatrix} 0 & -C10 & S10 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S10 & C10 & D10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{10}T_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C11 & -S11 & 0 \\ 0 & S11 & C11 & D11 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad {}^{11}T_E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & D12 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La mano se compone de tres cadenas cinemáticas independientes.

$${}^0T_E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C12C3 - S12S3 & -C12S3 - S12C3 & -C12S3D4 - S12C3D4 - S12D3 - S1D2 \\ 0 & S12C3 + C12S3 & -S12S3 + C12C3 & -S12S3D4 + C12C3D4 + C12D3 + C1D2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{0'}T_E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & R5 \\ 0 & C45C6 - S45S6 & -C45S6 - S45C6 & -C45S6D7 - S45C6D7 - S45D6 - S4D5 \\ 0 & S45C6 + C45S6 & -S45S6 + C45C6 & -S45S6D7 + C45C6D7 + C45D6 + C4D5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{0''}T_E = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} S9 & (-C10+C9S10)C11+(S10+C9C10)S11 & -(C9S10-C10)S11+(C9C10+S10)C11 & -(C9S10-C10)S11+(C9C10+S10)C11 & D12+(C9C10+S10)D11+C9D10-x2 \\ \frac{2}{\sqrt{2}}C9 & -\frac{2}{\sqrt{2}}S9S1011 & -\frac{2}{\sqrt{2}}S9C1011 & & -(S9C1011)D12-S9C10D11-S9D10 \\ S9 & (C10+C9S10)C11+(C9C10-S10)S11 & -(C9S10+C10)S11+(C9C10-S10)C11 & -(C9S10+C10)S11+(C9C10-S10)C11 & D12+(C9C10-S10)D11+C9D10-x1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Mecanismos y electrónica de las prótesis

Para la fabricación de una prótesis electromecánica es necesario utilizar varios componentes electrónicos para que la prótesis pueda realizar los movimientos deseados, como en el caso de una prótesis de mano, los movimientos principales serían el poder abrir y cerrar la mano con facilidad, además de ajustar la fuerza de agarre que tendrá la mano al cerrarla, para estar seguros de que no rompa algún objeto de la presión, o no logre sostenerlo por una presión muy baja. Al ver este prototipo de la prótesis de brazo, vemos que la mano necesita de ciertos motores y actuadores para que pueda realizar los movimientos sin problemas. Los músculos y articulaciones de la mano permiten una gran variedad de configuraciones de sujeción que pueden ser clasificadas en tres grandes grupos: las presas o pinzas, las presas con la gravedad y las presas con acción. La parte mecánica está compuesta por: un mecanismo de cuatro barras que se implementa en los dedos con el fin de tener un cierre de la mano que se adapte a la geometría del objeto y pueda realizar distintos tipos de agarre. Los actuadores utilizados en la prótesis se seleccionan de acuerdo con las necesidades que tenga cada paciente. La prótesis mostrada cuenta con 5 motores de corriente directa que son el sistema motriz y proveen 5 grados de libertad como se mira en la Figura 12 los cuales le permitirán hacer movimientos de flexión y extensión al brazo, rotación de muñeca, tres movimientos independientes -uno para el dedo pulgar, otro para el índice y medio y, otro para el dedo meñique y anular- y un grado de libertad pasivo adicional en la oposición del dedo pulgar [1].

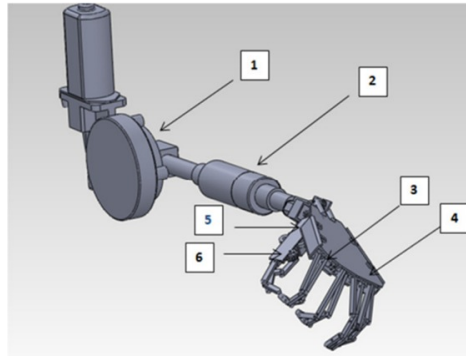


Figura 12: Diseño de una prótesis de brazo hecha en SolidWorks

El control de los cinco actuadores lo proporciona un controlador PID (proporcional integral derivativo) que pretende dar una estabilidad calculando la desviación entre un valor medido y un deseado, por cada actuador se adaptaron la posición de los motores, obteniendo una buena respuesta de salida. Los actuadores están controlados y comunicados por medio de una tarjeta de desarrollo arduino mega con el microcontrolador Atmega128; donde se usan salidas (I/O) por cada motor y se utilizará un puente “H” para manejar la etapa de potencia; de esta forma se suministra la corriente necesaria que requieren los actuadores [1]. A continuación, en la Figura 13, se presenta el diagrama esquemático que se propone en el artículo para el control de estos motores, teniendo en cuenta las características mencionadas previamente.

Para proteger al arduino de posibles ruidos y sobre picos de corriente, se adaptó optoacopladores en medio de la tarjeta arduino y los puentes H para separar las masas de estos dos circuitos con el fin de evitar daños en la tarjeta. Además, se utilizó una batería de litio polímero la cual abastece al circuito de potencia compuesto por los 5 actuadores [1]. Los mecanismos de cuatro barras se usan generalmente en la robótica, en este caso se utilizará un mecanismo así para poder simular el cierre de la mano con los dedos. Se propone un mecanismo de 4 barras para los dedos índice, medio, anular y meñique, con tres barras y faringes en movimiento y un eslabón fijo, teniendo movimiento angular en el extremo fijo con una unión de revoluta [7], como se muestra en la figura 14. Como vimos anteriormente, no se menciona al dedo pulgar para usar el mecanismo de 4 barras en él, para este dedo se usará un mecanismo diferente. Para que este dedo realiza los movimientos de abrir y cerrar se propone usar una articulación de dos ejes, como la junta cardán, que se muestra en la figura 15. Este mecanismo permite el movimiento en 2 ejes, X y Y y estos son perpendiculares, además de dos superficies, que permiten una relación de movimiento en los dos planos perpendiculares. Dentro del análisis se establecen los diseños de forma y cavidad de los dedos para el desarrollo de la prótesis, estos dedos tendrán la capacidad de tomar objetos e interiormente contar con cables tensores para darles la movilidad y el desplazamiento necesario de extensión y contracción [7]. En el proceso de

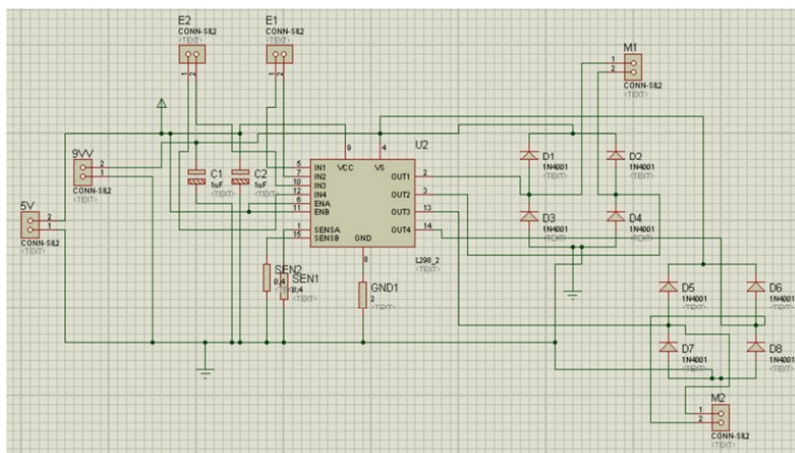


Figura 13: Diagrama esquemático para el control de los motores

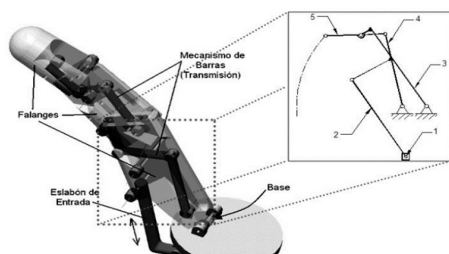


Figura 14: Mecanismo de 4 barras para los dedos

análisis, se proponen y establecen los diseños de forma y cavidades que tendrán los dedos para el mejor desarrollo de la prótesis, los dedos deben de tener la capacidad de agarrar objetos, e interiormente deben de contar con cables sensores para darle la movilidad y desplazamiento deseados para la extensión y contracción de los dedos, esto se ve en la figura 16. En esta investigación nos centramos en la parte de la mano y sus mecanismos y electrónica, ahora veremos un posible mecanismo que podemos usar para simular el movimiento de la muñeca de nuestro brazo, y para ello usaremos un mecanismo esférico. Un mecanismo esférico es aquel en el cual cada eslabón móvil rota respecto a un punto estacionario común, cualquier punto sobre un eslabón está restringido a moverse en una superficie esférica, donde sus movimientos son concéntricos, un mecanismo esférico 4R es uno de los mecanismos tridimensionales que se asemeja al movimiento de la muñeca, como se muestra en la figura 17 [7].

Prótesis comerciales

Los componentes protésicos incluyen los sistemas de receptáculo, suspensión y control, articulaciones y apéndices. Existen muchas opciones diferentes para las prótesis, pero todas tienen como objetivo lograr un ajuste estable y cómodo. El protesista ayuda a los pacientes a elegir el tipo de prótesis y las opciones que necesitan para lograr sus objetivos. Por ejemplo, las prótesis pueden diseñarse para la movilidad diaria general, para actividades específicas como la natación o para deportes competitivos y de alto impacto, como correr. Las capacidades físicas y cognitivas del paciente y la tolerancia de los dispositivos son importantes en la selección inicial de los componentes protésicos [6].

Las prótesis de miembros son exoesqueléticas o endoesqueléticas.

Las prótesis exoesqueléticas tienen una estructura plástica externa rígida con la forma del miembro. Son fijas en forma permanente y no son ajustables. Las prótesis exoesqueléticas son más duraderas y se prefieren principalmente cuando la prótesis puede estar expuesta a condiciones ambientales adversas, como daños por impacto durante el trabajo físico o un entorno cáustico.

Las prótesis endoesqueléticas tienen una estructura esquelética interna central que incluye componentes modulares

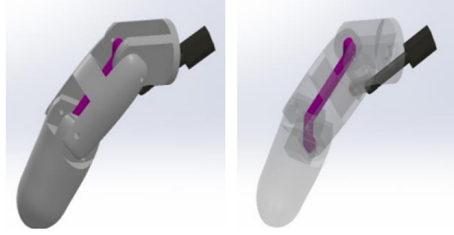


Figura 15: Mecanismo para el dedo pulgar

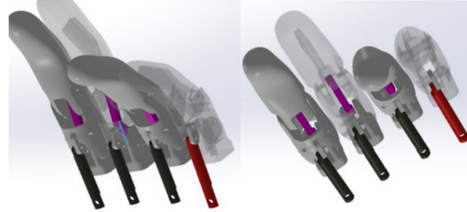


Figura 16: Simulación de 4 dedos

y acoplamientos que proporcionan un ángulo ajustable en los tres planos y facilitan la extracción de los componentes dañados. El sistema endosquelético a menudo está cubierto con un material blando que posee la forma del miembro y una piel sintética aplicada sobre la forma anatómica.

Hacer una prótesis robótica de una calidad aceptable requiere de un enorme esfuerzo, no solo en el campo de la mecatrónica si no también en neurociencia, ingeniería eléctrica, ciencias cognitivas, procesamiento de señales, diseño de baterías, nanotecnología, y ciencias del comportamiento. Las prótesis de brazo tienen como muchos tres grados de libertad: se puede abrir y cerrar el gancho, se puede extender y retraer el codo, y con los modelos más sofisticados se puede rotar la muñeca. Aun así, esos movimientos sencillos requieren de entrenamiento, concentración, y esfuerzo, lo cual resulta en un movimiento que no es fluido ni preciso. Esto contrasta con un brazo humano que tiene más de 25 grados de libertad y por lo tanto una mayor destreza, además de la habilidad de determinar si algo está frío o caliente [11].

3. Estado del Arte

El movimiento de la mano es dinámico, pero se considera estático porque aquí las fuerzas de inercia se pueden decir que son insignificantes con las fuerzas estáticas durante su respectivo montaje. Han sido muchos años de esfuerzo para lograr consolidar un diseño, construcción y control de prótesis de mano, con otros tipos de mecanismos y control manipulando una gran variedad de materiales recientes aprovechados por la tecnología actual. En muchos institutos de investigación de todo el mundo existen las nuevas manos robóticas desarrolladas con el avance de la teoría y la tecnología en este ámbito ya que se necesitan diferentes estrategias y conocimientos acerca del tema. Con este análisis, se estructuran los elementos que formaran parte de la prótesis, considerando la movilidad y la dinámica, en base a lo anterior se desarrollan los modelos de los sistemas para su simulación analizando las cargas, fuerzas y momentos presentes en el equipo para desarrollar el proyecto. Los tipos de prótesis dependen del tipo de amputación, el tipo de displasia de la que se trate, la funcionalidad de esta y el factor económico, se tienen prótesis estéticas, mecánicas, eléctricas, neumáticas, mioeléctricas, híbridas, hasta llegar a las prótesis biónicas [7]. La mano humana es una herramienta mecánica y sensible, que es el principal órgano de manipulación física gracias a las funciones de presión y tacto que le permiten realizar movimientos y manipular objetos. Gran parte de los movimientos se atribuyen al dedo pulgar la facilidad de rotar 90°, este dedo es el de mayor funcionalidad y la pérdida de este reduce un 40% [3]. Una prótesis de mano tiene como finalidad ayudar a proporcionar algunas funciones, pero jamás reemplazar un miembro faltante del cuerpo del ser humano que se perdió por diferentes situaciones; uno de los objetivos de la construcción de estas es mejorar la calidad de vida de los pacientes amputados. Ingenieros del MIT y

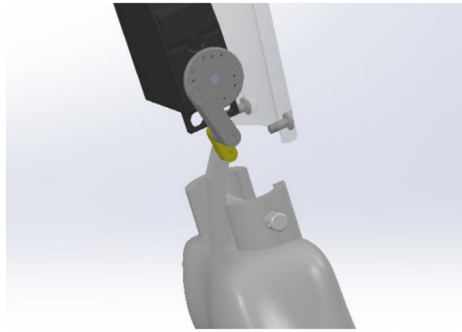


Figura 17: Simulación del mecanismo de la muñeca

la Universidad Jiaotong de Shanghái han diseñado una mano neuro estética económica, liviana y flexible e informan sobre su desarrollo en la revista científica *Nature Biomedical Engineering* [12]. Los investigadores encontraron que la prótesis, diseñada con un sistema de retroalimentación táctil, restauró algunas de las sensaciones originales en el torso de un voluntario. Además, el nuevo diseño es increíblemente duradero y se recupera rápidamente de un golpe con un martillo o de un accidente automovilístico. Para dar un paso más en su diseño, los investigadores trataron de habilitar la retroalimentación táctil, una característica que no está incorporada en la mayoría de las neuro prótesis comerciales. Para ello, han cosido en la yema de cada dedo un sensor de presión que, al tocarlo o apretarlo, produce una señal eléctrica proporcional a la presión detectada. Cada sensor está conectado a un lugar específico del muñón del amputado, de modo que el usuario puede "sentir" cuando se presiona el pulgar de la prótesis, por ejemplo, frente al dedo índice [13]. Por todo esto y mucho más en el presente proyecto de investigación daremos a conocer cuales son las características, avances tecnológicos mas recientes y manufactura de las prótesis de mano.

4. Conclusiones

Después de la investigación sobre la prótesis de mano y distintos parámetros sobre esta, así como también sobre mecanismos con los que se puede generar su movimiento, se logró apreciar él porque es importante conocer sobre estos conceptos, además de que también se comprendió de mejor manera el cómo se pueden utilizar los parámetros geométricos de la prótesis de mano para generar distintos cálculos, ya sea para observar dichos cálculos de cada dedo de la mano, o también sobre la mano completa y de esta manera poder aplicarlo hacia un proyecto en específico. También se observó la electrónica sobre los motores que se encargan del movimiento, por lo que así podemos ver a detalle más básico el como es el mecanismo y comprender de una manera más simple, y así poder tener un panorama mas amplio acerca de todos los requisitos necesarios al momento de diseñar e implementar una prótesis.

Referencias

- [1] Juan Pablo España Aguilar. Diseño y construcción de un prototipo electromecánico de prótesis transhumeral comandado por movimientos del brazo funcional. *Scientia et technica*, 21(2):191–198, 2016.
- [2] (s. f.). BBC News Mundo. La mano robótica que ganó los prestigiosos premios dyson. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/08/150825_tecnologia_mano_robotica-premios_dyson_mes, Agosto 2015.
- [3] Jofre L Brito, Marlon X Quinde, David Cuzco, and John I Calle. Estudio del estado del arte de las prótesis de mano. 2013.
- [4] CA Quinayás Burgos and Oscar Andrés Vivas Albán. Diseño y construcción de una prótesis robotica de mano funcional adaptada a varios agarres. *Popayán, enero del*, 2010.
- [5] Germánico González-Badillo, David Israel Torres Urestí, Víctor Esteban Espinoza López, and Guillermina Guerrero Mora. Control de una prótesis de mano fabricada por impresión 3d utilizando señales electromiográficas y lógica difusa.

- [6] (s. f.). Jan J. Stokosa. Opciones para las prótesis de los miembros. <https://www.msmanuals.com/es-mx/professional/temas-especiales/miembro-protC3A9sico/opciones-para-las-prC3B3tesis-de-los-miembros>, Febrero 2021.
- [7] Alejandro LINARES-ENRÍQUEZ and Daniel ROSAS-ACOSTA. Desarrollo de prótesis electromecánica de miembro superior development of upper limb electromechanical prosthesis. *Revista de Ingeniería*, 3(10):23–30, 2019.
- [8] JAIR L LOAIZA and NELSON ARZOLA. Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano evolution and trends in the development of hand prosthesis.
- [9] Alejandro Ortega Mena, Gaby Yolanda Vega Cano, and Nancy Ruíz Vega. Adquisición y procesamiento de una señal electromiográfica para control de una prótesis.
- [10] M Pérez, A Velázquez, G Urriolagoitia, H Hernández, G Urriolagoitia, and O Juárez. Antecedentes históricos de las prótesis de extremidad superior. *XV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura CUJAE. Cuba*, pages 1–5, 2010.
- [11] Lisandro Puglisi and Héctor Moreno. Prótesis robóticas. *Revista del Departamento de Automática e Informática Industrial*, pages 1–2, 2006.
- [12] (s. f.). R. Diseñada la mano neuroprotésica más sensible, ligera y asequible hasta el momento. <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20210817/7667130/disenada-mano-neuroprotesica-mas-sensible-ligera-asequible-momento.html>, Agosto 2021.
- [13] Marlon Orlando Rodríguez Aparicio et al. Aplicación de ingeniería inversa en el desarrollo de prótesis de mano. 2019.