



Análisis con MSC ADAMS de un dedo mecánico basado en mecanismos planos de cuatro barras

Analysis with MSC ADAMS of a mechanical finger based on flat four-bar mechanisms

Análise com MSC ADAMS de um dedo mecânico baseado em mecanismos de quatro barras planas

Sócrates Miguel Aquino-Arroba ^I
saquino@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6393-9408>

Edwin Rodolfo Pozo-Safla ^{II}
edwin.pozo@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8931-3577>

Luis Santiago Choto-Chariguaman ^{III}
fernando.vasquez64@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0003-0655-2503>

Eduardo Harry Medina-Quintero ^{IV}
eduardoharrym@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-5336-4164>

Correspondencia: saquino@epoch.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 26 de enero de 2021 ***Aceptado:** 20 de febrero de 2021 * **Publicado:** 11 de marzo de 2021

- I. Ingeniero Mecánico, Magíster en Diseño, Producción y Automatización Industrial, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica - Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación GIEBI, Chimborazo, Ecuador.
- II. Ingeniero Mecánico, Magíster en Diseño, Producción y Automatización Industrial Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación GIEBI, Chimborazo, Ecuador.
- III. Ingeniero Automotriz, Master en Manufactura y Diseño Asistidos por Computador, Investigador Particular, Universidad de las Fuerzas Armadas, Chimborazo, Ecuador.
- IV. Ingeniero Automotriz, Master en Diseño Mecánico (cursando), Investigador Particular, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

Resumen

La mano humana permite realizar tareas de agarres de objetos, es muy común debido a accidentes la pérdida de los dedos humanos, siendo necesario buscar artefactos mecánicos que sean capaces de reemplazarlos. En la investigación se parte estudiando las trayectorias que debe generar cada una de las articulaciones de un dedo humano, a partir de este estudio se desarrolla un mecanismo de dedo basado en la unión de mecanismos de cuatro barras.

El mecanismo desarrollado permite generar un modelo sólido que se importa al software MSC ADAMS en donde se parte analizando la cinemática: el movimiento, posiciones, velocidades y aceleraciones. Posteriormente se analiza la dinámica que permite establecer los valores de fuerzas, torques y el consumo de potencia del servomotor, estos análisis se realizan con la existencia de cargas externas y sin ellas con la finalidad de analizar su influencia en los modelos.

En base a los análisis cinemáticos y dinámicos se analiza el funcionamiento de mecanismo para que posteriormente se puedan desarrollar las validaciones de resistencia de los eslabones y pasadores, además los valores generados pueden ser útiles para desarrollar modelos básicos de control automático.

Palabras Clave: Ingeniería mecánica; diseño de levas; sistemas mecánicos; elementos de máquinas; mecanismos.

Abstract

The human hand allows to carry out tasks of grasping objects, the loss of human fingers is very common due to accidents, being necessary to look for mechanical devices that are capable of replacing them. The research starts by studying the trajectories that each of the joints of a human finger must generate, from this study a finger mechanism is developed based on the union of four-bar mechanisms.

The mechanism developed allows to generate a solid model that is imported into the MSC ADAMS software, where it starts by analyzing the kinematics: movement, positions, speeds and accelerations. Subsequently, the dynamics that allow establishing the values of forces, torques and the power consumption of the servomotor are analyzed, these analyzes are carried out with the existence of external loads and without them in order to analyze their influence on the models.

Based on the kinematic and dynamic analysis, the operation of the mechanism is analyzed so that later the resistance validations of the links and pins can be developed, in addition the generated values can be useful to develop basic models of automatic control.

Keywords: Mechanical engineering; cam design; mechanical systems; machine elements; mechanisms.

Resumo

A mão humana permite realizar tarefas de agarrar objetos, a perda de dedos humanos é muito comum devido a acidentes, sendo necessário procurar dispositivos mecânicos que sejam capazes de substituí-los. A pesquisa começa estudando as trajetórias que cada uma das articulações de um dedo humano deve gerar, a partir deste estudo é desenvolvido um mecanismo de dedo baseado na união de mecanismos de quatro barras.

O mecanismo desenvolvido permite gerar um modelo sólido que é importado para o software MSC ADAMS, onde começa por analisar a cinemática: movimento, posições, velocidades e acelerações. Posteriormente, são analisadas as dinâmicas que permitem estabelecer os valores das forças, torques e consumo de energia do servomotor, essas análises são realizadas com a existência de cargas externas e sem elas para analisar a sua influência nos modelos.

Com base na análise cinemática e dinâmica, o funcionamento do mecanismo é analisado para que posteriormente sejam desenvolvidas as validações de resistência dos elos e pinos, além dos valores gerados podem ser úteis para desenvolver modelos básicos de controle automático.

Palavras-chave: Engenharia mecânica; design de cam; sistemas mecânicos; elementos de máquina; mecanismos.

Introducción

Una prótesis tiene dos funciones específicas, una de ellas es ortopédica y otra es estética. Una prótesis ortopédica puede reemplazar a un miembro faltante del cuerpo sea este un dedo, mano, brazo, entre otros, dentro de las prótesis existen prótesis activas o que generan movimiento y pasivas o que no generan movimiento [1].

La mano humana formada por los dedos brinda una gran posibilidad funcional, permitiendo generar movimientos que permiten desarrollar acciones como agarrar y mover objetos con facilidad [2]. El estudio de mecanismos que sean capaces de generar los movimientos producidos por los dedos humanos encierra varias áreas de estudio como es el diseño de mecanismos y partes mecánicas, diseño de sistemas de actuación, teoría de control, sensores táctiles, planeación de agarre, calibración cinemática y tele manipulación [3], [4].

En el desarrollo de una prótesis activa de dedo es de gran importancia el análisis cinemático que permite estudiar el movimiento sin tomar en cuenta las fuerzas que los producen y el análisis dinámico que permite estudiar las fuerzas desarrolladas por un mecanismo [5], [6].

Las lesiones de miembros superiores son muy comunes debido a accidentes de tránsito, violencia común, accidentes laborales, enfrentamientos armados y minas antipersonales. El 40 % de las lesiones de la mano producidas por accidentes laborales o de trabajo, comprometen en mayor porcentaje los dedos índice y pulgar, lo cual establece que es de gran ayuda el desarrollar artefactos mecánicos que sean capaces de reemplazar a estos dedos amputados.

En la presente investigación se plantea estudiar un mecanismo capaz de imitar el movimiento de los dedos humanos, el mecanismo se someterá al estudio cinemático que permitirá verificar el correcto movimiento del mecanismo, las velocidades y aceleraciones que se producen en cada una de las articulaciones del mecanismo, así como también los toques desarrollados [7].

Marco teórico/metodología

Biomecánica de la mano

La mano se encuentra unida al antebrazo mediante la muñeca (sus huesos forman el carpo), también está formada por la palma (sus huesos forman el metacarpo), de la cual se forman 5 dedos o falanges. Las manos contienen catorce huesos digitales o falanges: dos en el pulgar, y tres en cada uno de los otros cuatro dedos; cabe mencionar que el pulgar no tiene falange media [2].

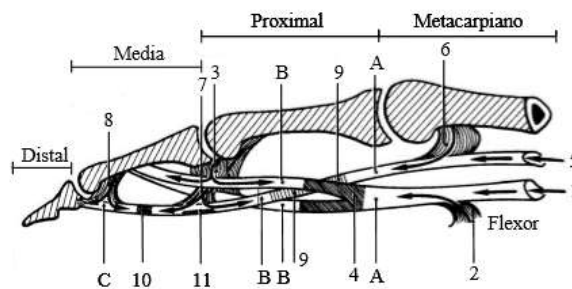
Figura 1: Huesos de la mano izquierda.



La mano humana en cada dedo existe un hueso metacarpiano y falanges proximal, media y distal, sin embargo, el dedo pulgar solamente presenta las falanges proximal y distal como se puede comparar entre la figura 1 y figura 2 [2].

Los dedos humanos tienen tres articulaciones principales que son: articulación metacarpo falángica (MCP): encargada de unir la falange metacarpiana y la proximal de un dedo o pulgar; articulación interfalángica proximal (PIP): ubicada entre las falanges media y proximal del dedo; articulación interfalángica distal (DIP): situada entre las falanges media y distal del dedo. En la Figura 2 se detalla en un esquema del dedo índice sus falanges y tendones flexores [4].

Figura 2: Dedo índice y sus partes: (A) zona proximal, (B) zona intermedio, (C) zona distal, (1) microvasos longitudinales intrínsecos, (2) vaina sinovial, (3) vinculum brevis, (4) segmento avascular, (5) y (6) vasos comparables a los del flexor superficial, (7) vinculum longus, (8) vinculum brevis sobre la tercera falange, y (9,10,11) segmentos de zonas avasculares.



Los dedos humanos tienen características muy similares a lo mostrado en la Figura 2, sin embargo, las dimensiones varían de acuerdo a diversos factores, en la Tabla 1 muestra rangos de variación de las partes de un dedo índice.

Tabla 1: Dimensiones del dedo índice humano (mm).

Longitud de la falange distal	19.67	±	1.03
Longitud de la falange media	24.67	±	1.37
Longitud de la falange proximal	43.57	±	0.98
Longitud metacarpal	71.57	±	5.60
Espesor de la articulación DIP	5.58	±	0.92
Espesor de la articulación PIP	7.57	±	0.45
Espesor de la articulación MCP	15.57	±	0.84

Las articulaciones de los dedos permiten una gran variedad de movimientos como son flexión, extensión, abducción y adducción, siendo necesario para lograr estos movimientos cubrir desplazamientos angulares de las articulaciones. En la Tabla 2 se muestran los rangos mínimos y máximos que pueden generarse en las distintas articulaciones de un dedo humano de acuerdo al movimiento requerido.

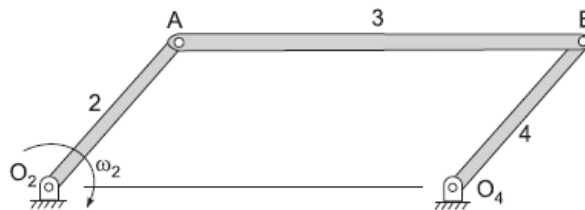
Tabla 2: Rangos de movimiento del dedo índice humano.

Articulación	Movimiento	Rango de Movimiento
DIP	Flexión/Extensión	50.36°/6.6°
PIP	Flexión/Extensión	89.50°/11.7°
MCP	Flexión/Extensión	85.3°/18.4°
MCP	Abducción/Adducción	50.4°/6.6°

Mecanismo para generar el movimiento del dedo humano

Se plantea desarrollar un mecanismo basado en la unión de varios mecanismos articulados de cuatro barras, en la Figura 3 se muestra el mecanismo de cuatro barras, que está formado por tres barras móviles y una cuarta barra fija. Las barras móviles están enlazadas a la fija mediante pivotes [6]. Por lo general las barras se numeran de la siguiente forma:

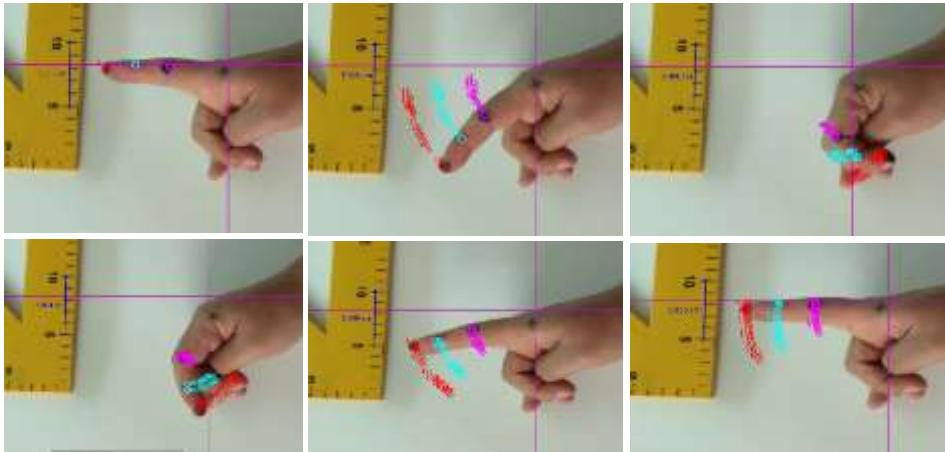
- Barra 2. Barra que proporciona movimiento al mecanismo.
- Barra 3. Barra superior.
- Barra 4. Barra que recibe el movimiento.
- Barra 1. Barra fija imaginaria (bancada).

Figura 3: Mecanismo de cuatro barras y sus partes.

Metodología

Para lograr desarrollar un mecanismo que sea capaz de copiar los movimientos de los dedos se plantea estudiar el dedo índice ya que todos los dedos tienen movimientos muy similares variando únicamente sus dimensiones, la investigación parte determinando experimentalmente las trayectorias que debe generar cada una de las articulaciones de un dedo índice, en la Figura 4 se utiliza un software que determina las trayectorias recorridas por las articulaciones (TRACKER), a partir de un video del movimiento del dedo índice.

Figura 4: Generación experimental de las trayectorias del dedo índice.



El software permite la captura de movimiento en base a puntos de referencia, logrando generarse gráficas que muestran el comportamiento de los puntos de referencia respecto a un sistema de coordenadas, donde de acuerdo a la Figura 4, el color rojo equivale al extremo del dedo identificado como articulación A, el color celeste identifica a la articulación B, y el color morado indica a la articulación C.

En la Figura 5a, Figura 5b y Figura 5c se indica las trayectorias recorridas por cada una de las articulaciones del dedo en estudio, estos datos permitirán buscar un mecanismo que copie estas trayectorias.

Figura 5a: Trayectoria seguida por la articulación A.

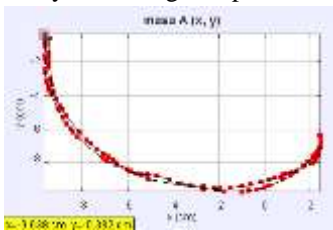


Figura 5b: Trayectoria seguida por la articulación B.

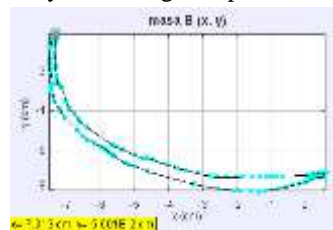
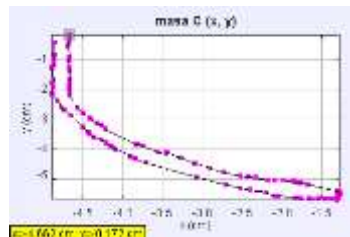


Figura 5c: Trayectoria seguida por la articulación C.



En la Figura 6a, Figura 6b y Figura 6c se indica el desplazamiento de las articulaciones del dedo índice respecto al eje Y en función del tiempo, valores que servirán para comparar con los del dedo mecánico.

Figura 6a: Posición respecto al eje Y de la articulación A en función del tiempo.

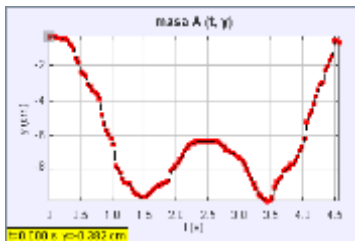


Figura 6b: Posición respecto al eje Y de la articulación B en función del tiempo.

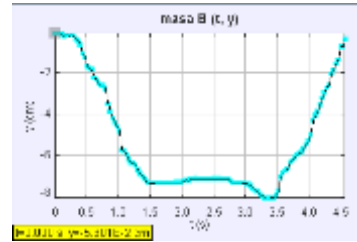
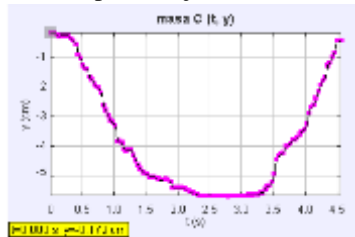


Figura 6c: Posición respecto al eje Y de la articulación C en función del tiempo.



En la Figura 7a, Figura 7b y Figura 7c se indica el desplazamiento de las articulaciones del dedo índice respecto al eje X en función del tiempo, valores que servirán para comparar con los del dedo mecánico.

Figura 7a: Posición respecto al eje Y de la articulación A en función del tiempo.

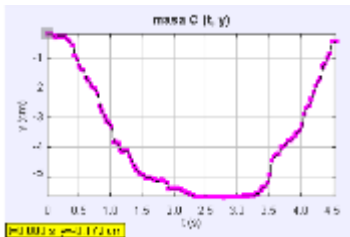


Figura 7b: Posición respecto al eje X de la articulación B en función del tiempo.

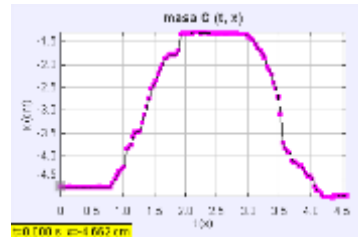
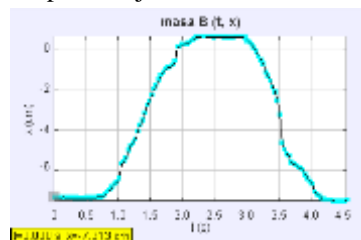


Figura 7c: Posición respecto al eje X de la articulación C en función del tiempo.



En la Figura 8a, Figura 8b y Figura 8c se indica el desplazamiento angular de cada una de las articulaciones en estudio en función del tiempo, valores que se comparan con los de TABLA II.

Figura 8a: Desplazamiento angular de la articulación A en función del tiempo.

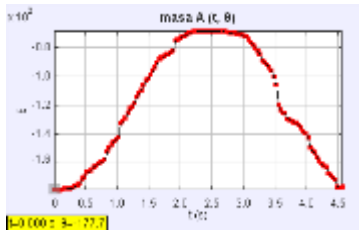


Figura 8b: Desplazamiento angular de la articulación B en función del tiempo.

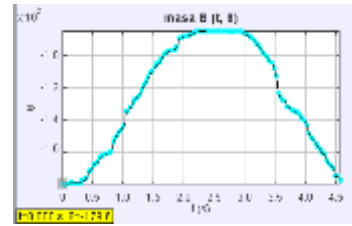
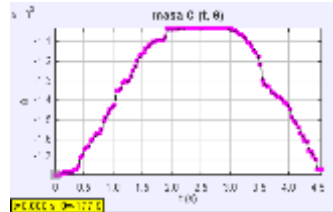


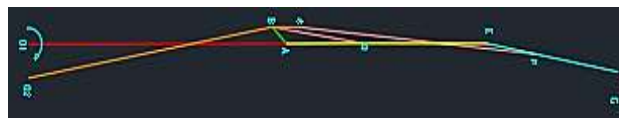
Figura 8c: Desplazamiento angular de la articulación C en función del tiempo.



El análisis del mecanismo se dividió en dos partes un diseño cinemático con ayuda del software MSC ADAMS y un diseño dinámico con el mismo software.

Para el desarrollo del análisis se inicia generando el mecanismo con las dimensiones adecuadas en base a la TABLA 1 y las trayectorias que se estudiaron anteriormente en la Figura 5, Figura 6 y Figura 7. El modelado inicial del mecanismo se desarrolló en base a la unión de varios mecanismos articulados de cuatro barras, desarrollándose el modelo mostrado en la Figura 9.

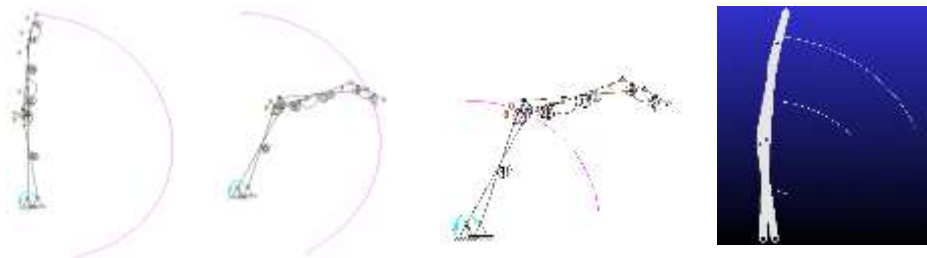
Figura 9: Mecanismo que reemplaza a un dedo humano.



Generado el modelo geométrico del mecanismo se procede a verificar si cumple con los recorridos de las trayectorias adecuados para reemplazar a un dedo humano.

En la Figura 10 se muestra el mecanismo y las trayectorias de la articulación A, B y C respectivamente.

Figura 10: Trayectorias generadas por la articulación A, B y C, de un mecanismo de dedo mecánico.



En la Figura 11a, Figura 11b y Figura 11c se indica el desplazamiento respecto al eje Y de las articulaciones de mecanismo de un dedo mecánico (tomar en cuenta la posición de la Figura 10).

Figura 11a: Posición respecto al eje X de la articulación A de un mecanismo de dedo mecánico.

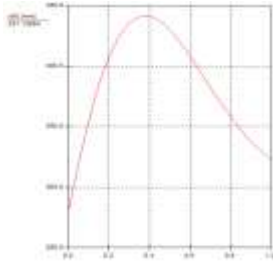


Figura 11B: Posición respecto al eje X de la articulación B de un mecanismo de dedo mecánico.

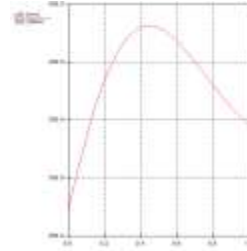
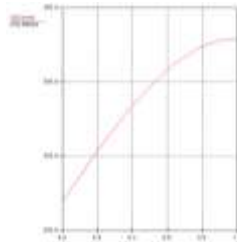


Figura 11c: Posición respecto al eje X de la articulación C de un mecanismo de dedo mecánico.



En la Figura 12a, Figura 12b y Figura 12c se indica el desplazamiento respecto al eje Y de las articulaciones de mecanismo de un dedo mecánico (tomar en cuenta la posición de la Figura 10).

Figura 12a: Posición respecto al eje Y de la articulación A de un mecanismo de dedo mecánico.

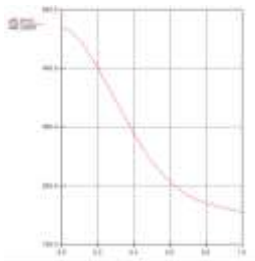


Figura 12b: Posición respecto al eje Y de la articulación B de un mecanismo de dedo mecánico.

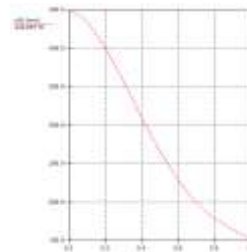
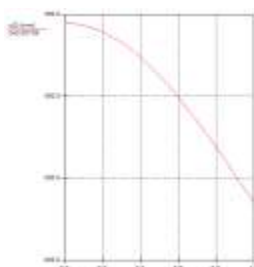


Figura 12c: Posición respecto al eje Y de la articulación C de un mecanismo de dedo mecánico.



De acuerdo con la Figura 11 y Figura 12 se establece que el movimiento es adecuado, por tanto, se procede a generar un modelo sólido del mecanismo como se observa en la Figura 13.

Figura 13: Modelo sólido de un mecanismo de dedo mecánico.



En el modelo sólido del mecanismo generado en SolidWorks se puede desarrollar el análisis cinemático y dinámico del mecanismo en el software MSC ADAMS. En la Figura 14 se muestra el mecanismo importado a MSC ADAMS donde se ingresa las condiciones de movimiento de los pares, condiciones inerciales y de los actuadores para conseguir la simulación de movimiento del mecanismo y su posterior análisis.

Figura 14: Modelo sólido de un mecanismo de dedo mecánico en MSC ADAMS.

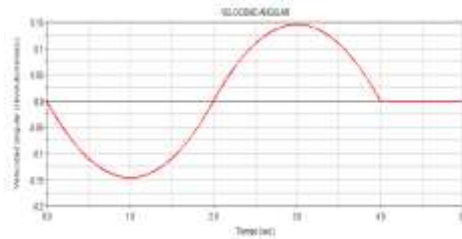


Análisis cinemático

El análisis cinemático del mecanismo permite establecer el las posiciones, velocidades y aceleraciones de un mecanismo.

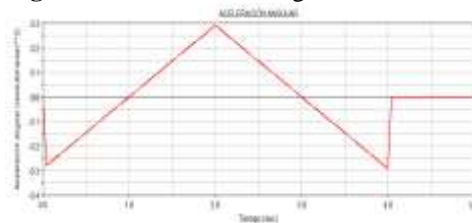
En la Figura 15 se muestra la velocidad angular del actuador que se ubica en el PAR 1 mostrado en la Figura 14, la velocidad tiene una parte de curva positiva y una negativa debido a la inversión de giro en el movimiento del mecanismo para que retorne a la posición inicial.

Figura 15: Velocidad angular del actuador.



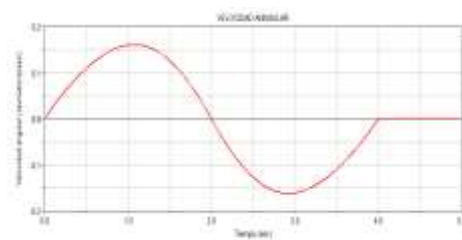
En la Figura 16 se muestra la aceleración angular del actuador que se ubica en el PAR 1 mostrado en la Figura 14.

Figura 16: Aceleración angular del actuador.



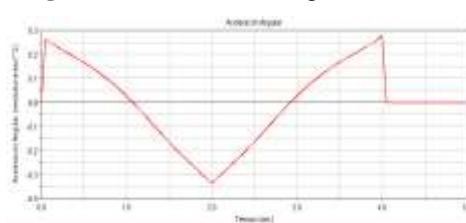
En la Figura 17 se muestra la velocidad angular del PAR 2 mostrado en la Figura 14, la velocidad tiene una parte de curva positiva y una negativa debido a la inversión de giro en el movimiento del mecanismo para que retorne a la posición inicial.

Figura 17: Velocidad angular del PAR 2.



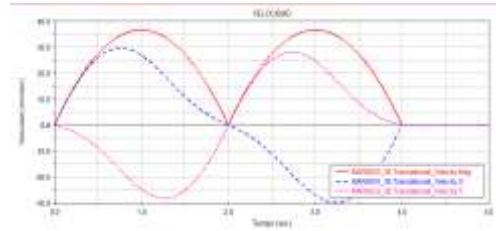
En la Figura 18 se muestra la aceleración angular del actuador que se ubica en el PAR 2 mostrado en la Figura 14.

Figura 18: Aceleración angular del PAR 2.



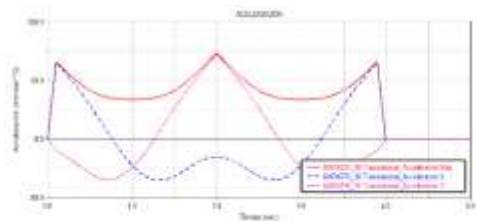
En la Figura 19 se muestra la velocidad lineal del PAR C mostrado en la Figura 14, la velocidad tiene una componente en X, componente en Y de estas dos se obtiene la magnitud resultante.

Figura 19: Velocidad lineal del PAR C.



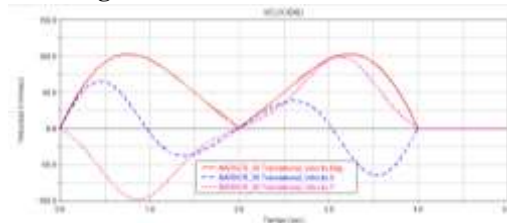
En la Figura 20 se muestra la aceleración lineal del PAR C mostrado en la Figura 14, aceleración tiene una componente en X, componente en Y de estas dos se obtiene la magnitud resultante.

Figura 20: Aceleración lineal del PAR C.



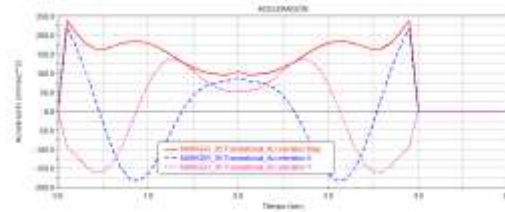
En la Figura 21 se muestra la velocidad lineal del PAR B mostrado en la Figura 14, la velocidad tiene una componente en X, componente en Y de estas dos se obtiene la magnitud resultante.

Figura 21: Velocidad lineal del PAR B.



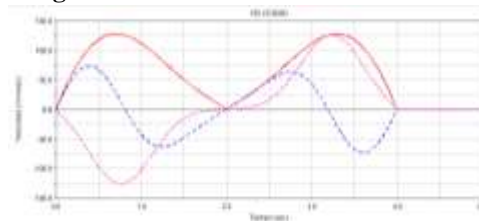
En la Figura 22 se muestra la aceleración lineal del PAR B mostrado en la Figura 14, aceleración tiene una componente en X, componente en Y de estas dos se obtiene la magnitud resultante.

Figura 22: Aceleración lineal del PAR B.



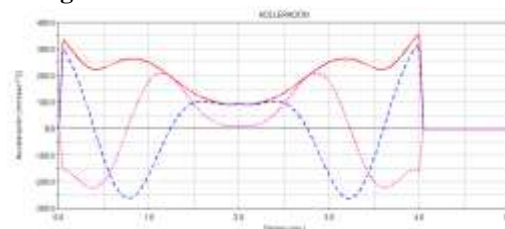
En la Figura 23 se muestra la velocidad lineal del PAR A o el extremo del dedo, mostrado en la Figura 14, la velocidad tiene una componente en X, componente en Y de estas dos se obtiene la magnitud resultante.

Figura 23: Velocidad lineal del PAR A.



En la Figura 24 se muestra la aceleración lineal del PAR A o el extremo del dedo, mostrado en la Figura 14, aceleración tiene una componente en X, componente en Y de estas dos se obtiene la magnitud resultante.

Figura 24: Aceleración lineal del PAR A.

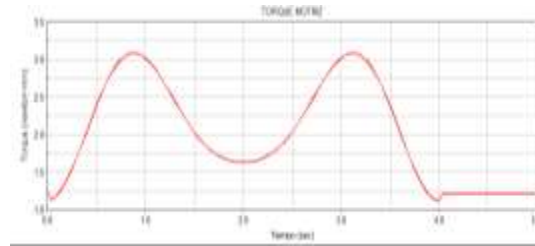


Análisis dinámico

El análisis dinámico del mecanismo permite establecer los torques y fuerzas y en base a estas la potencia de los actuadores.

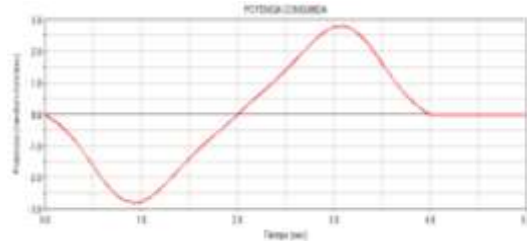
En la Figura 25 se muestra el torque requerido por el motor para lograr el movimiento del dedo mecánico, el valor de torque calculado es en vacío es decir sin la acción de fuerzas externas.

Figura 25: Torque generado por el motor.



En la Figura 26 se muestra la potencia consumida por el motor para lograr el movimiento del dedo mecánico, los datos generados son en vacío es decir sin la acción de fuerzas externas.

Figura 26: Potencia consumida por el motor.



En la Figura 27, Figura 28 y Figura 29 se muestran las fuerzas dinámicas generadas en PAR 2, PAR C y PAR B respectivamente, los datos generados son en vacío es decir sin la acción de fuerzas externas.

Figura 27: Fuerzas generadas en el PAR 2.

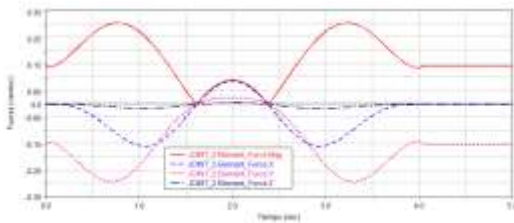


Figura 28: Fuerzas generadas en el PAR C.

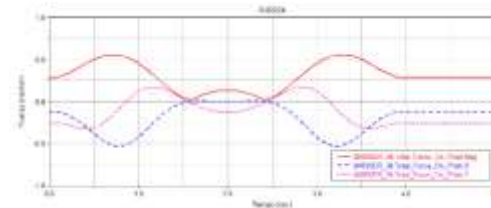
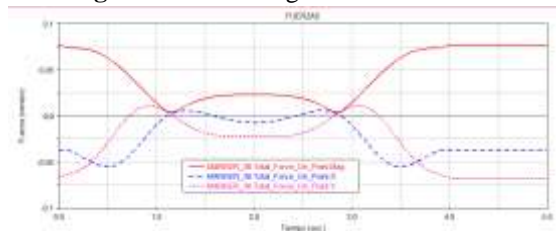


Figura 29: Fuerzas generadas en el PAR B.



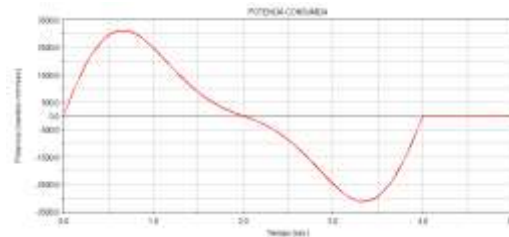
La función de un dedo no es solo generar el movimiento adecuado sino también ser capaz de producir fuerzas necesarias para poder sujetar objetos. En la Figura 30 se muestra la aplicación de una fuerza de 20 N en el extremo del dedo.

Figura 30: Aplicación de fuerzas en el dedo.



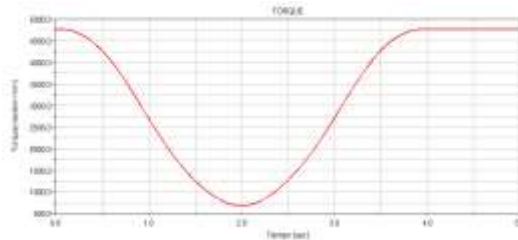
En la Figura 31 se muestra el torque requerido por el motor para lograr el movimiento del dedo mecánico, estos resultados incluyen la aplicación de la fuerza de agarre de objetos.

Figura 31: Torque generado por el motor con existencia de fuerzas externas.



En la Figura 32 se muestra la potencia consumida por el motor para lograr el movimiento del dedo mecánico, con la acción de fuerzas externas.

Figura 32: Potencia consumida por el motor con aplicación de fuerzas externas.



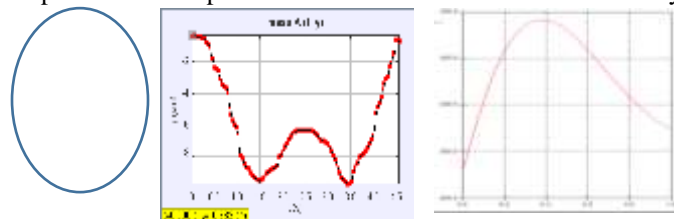
Resultados y discusión

Las trayectorias generadas experimentalmente de Figuras 5a, 5b, 5c sirven de base para buscar un mecanismo que siga las mismas trayectorias lo cual se consigue con un mecanismo formado por

mecanismo de cuatro barras, la Figura 10 se muestran las trayectorias del mecanismo, las que son muy similares a las generadas por el dedo.

El desplazamiento de las articulaciones del dedo índice respecto al eje Y de las Figuras 6a, 6b, 6c, muestran el análisis de un ciclo de extensión - flexión - extensión, mientras que en las Figuras 11a, 11b, 11c se indica el desplazamiento del dedo mecánico respecto al eje X, pero solo de un ciclo de extensión - flexión. Se debe analizar gráficas opuestas debido a que las posiciones de análisis de dedo y mecanismo estas desfasados noventa grados como se puede ver al comparar la Figura 4 y Figura 10. En la Figura 33 se muestra la comparación de dos figuras donde se observa que son idénticas, están invertidas debido a la posición de los ejes coordenados entre un análisis y otro de acuerdo a la Figura 4 y Figura 10.

Figura 33: Comparación de desplazamientos de la articulación A del dedo y mecanismo.



La comparación figuras de las posiciones entre:

Figura 6b con Figura 11b.

Figura 6c con Figura 11c.

Figura 7a con Figura 12a.

Figura 7b con Figura 12b.

Figura 7c con Figura 12c.

Las comparaciones demuestran similitudes altas lo cual demuestra que el mecanismo mecánico seleccionado para reemplazar los movimientos del dedo es adecuado.

Los rangos de movimiento mostrados en Figura 8a, Figura 8b y Figura 8c oscilan aproximadamente entre 80 grados, estos datos al ser comparados con la TABLA II se demuestran que son adecuados.

De acuerdo al análisis de velocidad angular y aceleración angular en el motor se muestra cambios de dirección resultados que son adecuados ya que el motor debe tener inversión de giro para poder conseguir el movimiento de extensión - flexión - extensión.

Al comparar las velocidades de los pares A, B y C (Figura 19, Figura 21, Figura 23) se observa que el mayor valor de velocidad tiene el par A, seguido por los valores de velocidad del par B, el par C posee los menores valores de velocidad, estos resultados son adecuados ya que la mayor velocidad debe tener el punto más extremo. Una comparación muy similar se produce en las aceleraciones (Figura 20, Figura 22, Figura 24).

El torque máximo para mover el dedo mecánico sin cargas es de 32 N.mm, mientras que al añadir una fuerza de 20 N el toque aumenta a 4700 N.mm, incrementándose más 100 veces el torque lo cual se puede observar al comparar la Figura 25 y Figura 32.

El valor de potencia consumida por el motor para mover el dedo mecánico sin cargas es de 30 N.mm/s, mientras que al añadir una fuerza de 20N la potencia aumenta a 3000 N.mm/s, incrementándose 100 veces la potencia lo cual se puede observar al comparar la Figura 26 y Figura 31.

Con el análisis dinámico se puede tomar el máximo valor de potencias consumida de 3000 N.mm/s para la selección del motor, se toma un porcentaje extra de potencia para compensar los efectos de la fricción que no se considera en el análisis, por tanto, se construye el mecanismo con un servomotor de potencia 4500 N.mm/s.

Conclusiones

El diseño de la prótesis mecánica realizó con medidas promedio tomadas de encuestas que permitieron generar datos estadísticos, a partir de los datos estadísticos los softwares de ingeniería como AutoCAD, Solidworks, SAM, ADAMS se utilizaron para validación virtual del prototipo antes de construir el prototipo.

Debido a que el mecanismo está conformado por dos mecanismos de cuatro barras se observó que las velocidades en los puntos lejanos al motriz son de gran magnitud y por lo tanto también sus aceleraciones son altas.

La síntesis dimensional de los mecanismos articulados ha sido desarrollada con consideraciones para obtener las proporciones de la transmisión necesarias y evitar interferencias entre los diferentes eslabones para un movimiento antropomórfico de agarre.

Los modelos cinemáticos y dinámicos desarrollados son muy útiles para el diseño del mecanismo y posteriormente desarrollar los análisis de resistencia de los eslabones del mecanismo.

El mecanismo requiere de un control automático adecuado ya que posiciones o velocidades muy altas pueden ser inadecuadas para las tareas de agarre, otro parámetro que se debe controlar es la fuerza ya

que de generarse fuerzas muy altas se podría llegar a dañar los objetos que se requiere agarrar. Para poder desarrollar los modelos básicos de control usar los datos generados de MSC ADAMS, pero para el desarrollo de modelos avanzados más eficientes se requiere desarrollar los modelos matemáticos cinemáticos y dinámicos.

Es necesario continuar con la investigación en busca de desarrollar un mecanismo de dedo en donde no se requiera de un actuador sino se implante en la mano y el simple movimiento de la mano controle el movimiento de extensión - flexión - extensión.

Referencias

1. N. Dechev. "Design of a multi-fingered, passive adaptive grasp prosthetic hand: better function and cosmesis", M.A.Sc. Thesis, Toronto: Department of Mechanical and Industrial Engineering, 1998.
2. KL. Moore. "Fundamentos de Anatomía con orientación clínica", 4ta. ed. Editorial Médica Panamericana: 2002. p. 777, 795.
3. A. HERNÁNDEZ. "Las prótesis de una nueva generación" , (31 de 08 de 2015). Excelsior. Obtenido de <https://www.excelsior.com.mx/hacker/2015/08/31/1043104>
4. J. Zapata. "Amputaciones y su tratamiento de rehabilitación", Escuela de rehabilitación humana. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
5. S. Jacobsen, J. Wood, D. Knutti and K. Boggers, "The Utah/MIT dextrous hand: work in progress," The International Journal of Robotics Research 3, pp. 21-50, 1984.
6. D. Myszka. "Máquinas y Mecanismos", México: PEARSON, Cuarta Edición 2012. pp. 223 – 258.
7. R. Budynas y J. K. Nisbett. "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", México: McGraw-Hill, Novena Edición 2008. pp. 4-6.
8. R. L. Norton. "Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos", México: McGRAW-HILL, Cuarta Edición 2004. pp. 499- 520.
9. A. Erdeman y G. Sandor. "Diseño de Mecanismos, Análisis y Síntesis", México: PEARSON, Tercera Edición 1998. Pp. 353 – 416.
10. B. J. Hamrock, B. Jacobson y S. R. Schmid. "Elementos de Máquinas", México: McGRAW-HILL, Primera Edición 2000. pp. 4-6.
11. D. G. Ullman. "The Mechanical Design Process", McGRAW-HILL, Quinta Edición 2015. pp. 4-6.
12. C. Riba. "Diseño Concurrente", Barcelona: s.n., 2002. Primera Edición 2000. P.P. 59-60-61.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).