

# **GENERACIÓN DEL AGARRE DE PRECISIÓN MEDIANTE DEDOS ROBÓTICOS MULTIARTICULADOS CON CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS Y ANTROPOMÓRFICAS BASADO EN MECANISMOS PLANARES DE 4 BARRAS**

*GENERATION OF PRECISION GRIP BY MEANS OF MULTI-ARTICULATED ROBOTIC WITH ANTHROPOMETRIC AND ANTHROPOMORPHIC CHARACTERISTICS BASED ON 4-BAR FLAT MECHANISMS*

**Reyes Rivas Alonso**

Instituto Politécnico Nacional. CICATA  
*alonso.2r@hotmail.com*

**Morales Sánchez Eduardo**

Instituto Politécnico Nacional. CICATA  
*emoraless@ipn.mx*

## **Resumen**

El objetivo del presente proyecto es la generación del agarre de precisión mediante el un dedo índice robótico y un dedo pulgar robótico basados en mecanismos de planos de cuatro barras acoplados. La metodología seguida fue: A partir de la revisión bibliográfica se determinaron los rangos de movilidad que deben alcanzar el dedo índice y el pulgar para poder oponerse entre sí y poder generar lo que se conoce como agarre de precisión ; Se realizó un diseño en CAD donde se incorpora un dedo índice de un grado de libertad y un dedo pulgar que cuenta con tres grados de libertad lo que permite la oposición de ambos dedos robóticos lo cual genera el agarre de precisión, ambos dedos son accionados mediante micro reductores acoplados por transmisión tuerca-tornillo; Se procedió a realizar una simulación de movimiento con apoyo del software de diseño CAD para identificar los problemas de movilidad y dimensionamiento; Se construyeron ambos dedos utilizando impresión 3D; Se ensamblaron y comprobaron los rangos de movilidad de ambos dedos. Se concluye que los dedos índice y pulgas

multiarticulados propuestos tiene los grados de libertad y el rango de movilidad necesario para generar el agarre de precisión, además tiene un dimensionamiento antropométrico y apariencia más antropomórfica el cual puede ser utilizado para una mano robótica.

**Palabras clave:** dedos robóticos; multiarticulados, agarre de precisión.

## **Abstract**

*The objective of the present project is the generation of precision gripping by means of a robotic index finger and a robotic thumb based on four-bar coupled plane mechanisms. The methodology followed was: from the bibliographic review the ranges of mobility that must reach the index finger and the thumb were determined to be able to oppose each other and to generate what is known as a precision grip; A CAD design was carried out where an index finger was incorporated of a degree of freedom and a thumb that has three degrees of freedom which allows the opposition of both robotic fingers which generates the grip of precision, both fingers are powered by micro-reducers coupled by transmission nut-screw; A motion simulation was carried out with the support of CAD design software to identify mobility and dimensioning problems; Both fingers were built using 3d printing; They were assembled and checked the mobility ranges of both fingers. It is concluded that the index fingers and proposed multiarticulate fleas has the degrees of freedom and the range of mobility necessary to generate the grip of precision, also has an anthropometric dimensioning and appearance more anthropomorphic which can be Used for a robotic hand.*

**Keywords:** *robotic fingers; multiarticulate, precision grip.*

## **1. Introducción**

La mano humana se compone de 27 huesos divididos en tres grupos: el carpo, los metacarpianos y las falanges, se conecta a la muñeca a través de la palma y está dotada de veinte GDL (grados de libertad) accionados por cerca de cuarenta músculos (Schwart, 1955), La estructura ósea de la mano se muestra en figura 1.

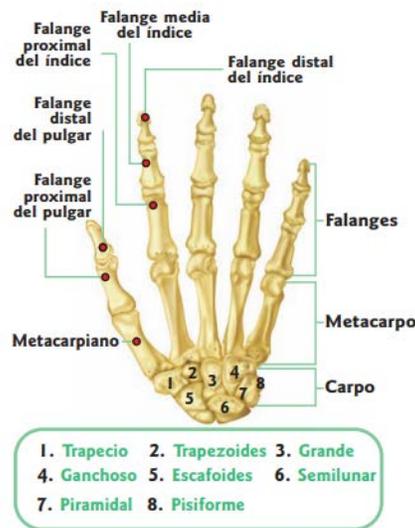


Figura 1 Estructura ósea de la mano.

### Sobre la fisiología del dedo humano

De acuerdo con Tubiana (1980) un dedo consiste de una estructura esquelética formada por tres huesos llamados falanges, los cuales están definidos en función a su proximidad con la estructura principal o palma, y son del más cercano al más lejano, proximal, medial y distal, continuando con ese orden las juntas que unen cada uno de los huesos se definen como junta Metacarpo falangeal (MCF), Proximal Interfalángica (PIF), y Distal Interfalángica (DIF).

El rango completo de destreza existente en la mano humana es verdaderamente destacable, cada una de las juntas que conecta a las falanges es una revoluta independiente y está controlada por su propio musculo flexor digitorum en el antebrazo. La junta que une los huesos Metacarpianos y la falange proximal, usualmente denominada nudillo, es similar a una junta esférica con desplazamiento restringido, la cual, por medio de los músculos lumbricales, ubicados entre los dedos proveen un movimiento de abducción-aducción, para cada uno de los dedos.

### Rango de Movilidad de los Dedos

Cada dedo está compuesto por tres falanges (Distal, Intermedia y proximal), a excepción del dedo pulgar que solo tiene dos (Distal y Proximal). El dedo pulgar

este fijo por debajo de los otros dedos y puede realizar los movimientos de cierre y rotación, debido a la gran movilidad de su metacarpo. Esto permite variar la orientación en que se desarrolla el movimiento de doblado y extensión del dedo pulgar, propiedad a través de la cual es posible oponer el dedo pulgar a los otros dedos. El dedo pulgar es el agente de la pinza pulgar-dedos, sin él, los movimientos de los dedos constituirían solo presiones globales en vez de movimientos precisos. El dedo pulgar puede realizar los siguientes movimientos:

- Abducción-extensión, figura 2a separa el dedo pulgar del eje de la mano, su amplitud es de 35 a 40°, este movimiento abre la mano.
- La aducción, figura 2b aproxima el dedo pulgar al eje de la mano. Su amplitud es de 35 a 40°.
- La oposición, figura 2c combinada con la flexión dedo meñique. Se trata de un movimiento de prensión o cierre de la mano y presenta una amplitud de 45 a 60°.
- La reposición, figura 2d devuelve el dedo pulgar a su posición inicial de partida, su amplitud es necesariamente igual a la del movimiento precedente.

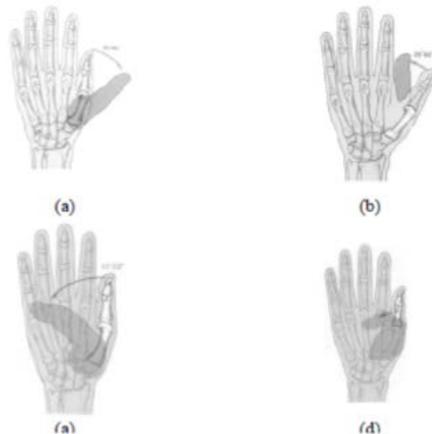


Figura 1 Movimientos del dedo pulgar.

Los dedos presentan principalmente tres articulaciones (García, 2003); articulación metacarpo falángica (MCP): que une la falange metacarpiana y la proximal de un dedo o pulgar; articulación interfalángica proximal (PIP): localizada entre las

falanges media y proximal del dedo; articulación interfalángica distal (DIP): ubicada entre las falanges media y distal del dedo. La figura 3 muestra los rangos de movilidad permisibles por los dedos humanos.

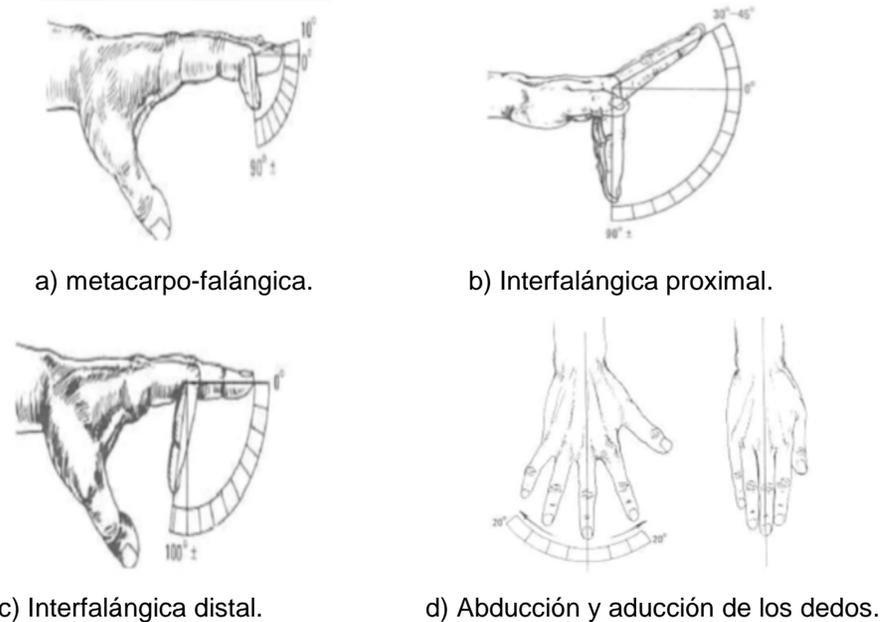


Figura 2 Rangos de movilidad de las articulaciones.

De acuerdo a estudios de biomecánica de la mano y de medidas antropométricas, en la tabla 1 se presenta las características del dedo índice cuyo aspecto es muy similar a los demás dedos.

Tabla 1 Articulaciones y límites de la mano humana (García, 2001).

Parte	Articulación	DOF	Ángulo flexión extensión	Angulo abducción aducción
Dedos	DIP	1	60	-
	PIP	1	100	-
	MCP	2	90	60
Pulgar	IP	1	85	-
	MCP	2	50	30
	CMC	2	120	45

### Clasificación y Tipos de Agarre de la Mano

Definición de agarre: “La aplicación de fuerzas funcionales de la mano hacia un objeto para realizar una tarea determinada”. Existen diversas formas para sujetar

un objeto, que se obtienen a partir de la cinemática y la cinética de la mano, para ello es necesario manejar 30 variables mecánicas: 6 por cada dedo, 3 componentes de fuerza y 3 componentes de momento, para sostener un objeto de forma estable, en la mano humana, la propuesta que se presenta cuenta con 12 Grados de libertad, buscando una simplificación y orientándola a tareas de agarre (Velásquez, 2007).

La fuerza aplicada en cada uno de los dedos puede ser alterada como la cinemática del agarre, usando diferentes posiciones en las falanges de los dedos, para sujetar un objeto determinado, generando de esta manera los distintos tipos de agarre como se muestra en la figura 4.



Figura 3 Agarres básicos de la mano humana.

### **Agarres de Precisión**

Napier clasifica los agarres en dos categorías (Napier, 1956):

- Agarre de fuerza.
- Agarre de precisión.

Se define como agarre de fuerza cuando el pulgar se encuentra en el plano de la palma, la articulación Metacarpo falángica y Carpo metacarpiana se encuentran en abducción, los dedos están flexionados, rotados lateralmente e inclinados hacia el lado cubital de la mano, los dedos están flexionados en oposición a la palma, con un ángulo de flexión dependiente de las dimensiones del objeto, y la muñeca está colocada en una desviación cubital, neutral entre la flexión y la extensión.

El agarre de precisión ocurre cuando el pulgar está en abducción y medianamente rotado en la articulación metacarpo-falángica y carpo-metacarpiana, los dedos

están flexionados y en abducción sobre la articulación metacarpo-falángica, produciendo un grado de rotación axial en los dedos, la muñeca está firme, en la posición central entre la desviación radial y cubital y el objeto esta sujetado en oposición con los dedos y el pulgar, especialmente entre el pulgar y el dedo índice, el cual es usado para sujetar objetos pequeños, como se muestra en la figura 5.

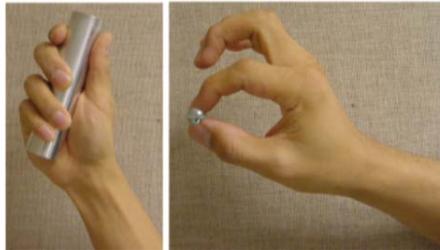


Figura 4. Representación de la diferencia entre el agarre de fuerza y precisión.

## 2. Métodos

Para comenzar con el diseño de la estructura mecánica de los dedos índice y pulgar se toma en consideración la antropometría física de la mano humana de un hombre adulto promedio. El diseño actual se basa en la Norma DIN 33 402-2, que especifica medidas estándar del cuerpo humano, según Melo (2009), son utilizadas en el diseño de herramientas, utillajes y mandos, con el fin de lograr un prototipo estético y funcional en relación a una mano real. La figura 6 muestra las medidas antropométricas de la mano según la Norma DIN 33 402-2.

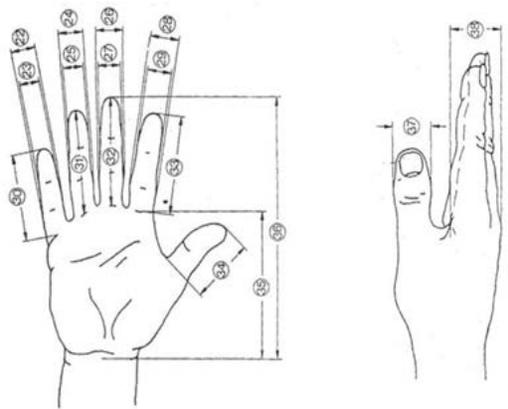


Figura 5 Medidas Antropométricas de la Mano según Norma DIN 33 402-2.

## Diseño y selección

El diseño mecánico del dedo índice y pulgar robóticos se realiza con el software de diseño asistido por computador SolidWorks®, éste permite crear modelos 3D de una manera rápida, productiva y reduciendo los costes de operación, generando así soluciones en el desarrollo de productos. La tabla 2 expresa en percentiles los valores correspondientes.

Tabla 2 Medidas antropométricas de la mano según la Norma DIN 33 402.

	Percentiles		
	5%	50%	95%
22. ANCHO DEL MEÑIQUE EN LA PALMA DE LA MANO	1,8	1,7	1,8
23. ANCHO DEL MEÑIQUE PRÓXIMO DE LA YEMA	1,4	1,5	1,7
24. ANCHO DEL DEDO ANULAR EN LA PALMA DE LA MANO	1,8	2,0	2,1
25. ANCHO DEL DEDO ANULAR PRÓXIMO A LA YEMA	1,5	1,7	1,9
26. ANCHO DEL DEDO MAYOR EN LA PALMA DE LA MANO	1,9	2,1	2,3
27. ANCHO DEL DEDO MAYOR PRÓXIMO A LA YEMA	1,7	1,8	2,0
28. ANCHO DEL DEDO ÍNDICE EN LA PALMA DE LA MANO	1,9	2,1	2,3
29. ANCHO DEL DEDO ÍNDICE PRÓXIMO A LA YEMA	1,7	1,8	2,0
30. LARGO DEL DEDO MEÑIQUE	5,6	6,2	7,0
31. LARGO DEL DEDO ANULAR	7,0	7,7	8,6
32. LARGO DEL DEDO MAYOR	7,5	8,3	9,2
33. LARGO DEL DEDO ÍNDICE	6,8	7,5	8,3
34. LARGO DEL DEDO PULGAR	6,0	6,7	7,6
35. LARGO DE LA PALMA DE LA MANO	10,1	10,9	11,7
36. LARGO TOTAL DE LA MANO	17,0	18,6	20,1

El diseño inicial toma como base los valores obtenidos en la Norma DIN 33 402-2 la cual establece el dimensionamiento promedio de las partes del cuerpo humano esto en conjunto con los rangos de movilidad angular mencionados anteriormente por García et al., en el año 2001 en mecanismos de 4 barras acoplados como se muestra en las figuras 7 y 8.

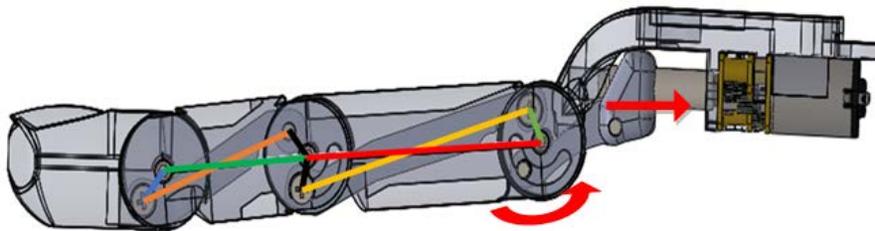


Figura 6 Representación de los mecanismos que conforman la estructura del dedo índice.

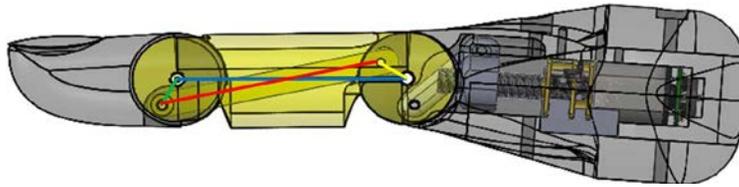


Figura 7 Ensamble de los elementos que conforman el dedo pulgar.

### 3. Resultados

#### Análisis de los grados de movilidad y rangos de movimiento de los dedos robóticos desarrollados

Como se mencionó anteriormente el dedo índice debe realizar el movimiento de flexión – extensión con un solo grado de libertad. Esto se logra por medio de una transmisión tuerca tornillo acoplado donde también se representan los mecanismos de 4 barras acoplados. El diseño incorpora al actuador físicamente dentro del metacarpo del dedo pulgar. La figura 9 muestra el diseño final del dedo índice antropomórfico y antropométrico diseñado en base a dos mecanismos 4 barras acoplados para realizar el movimiento de flexo extensión. Obsérvese que el dedo índice tiene una forma anatómicamente humana es decir antropomórfico.

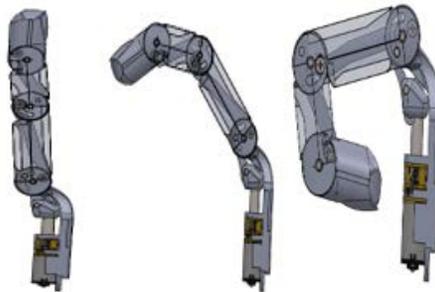


Figura 8 Flexo extensión del dedo índice diseñado.

Con los dibujos correspondientes se procedió a construir en impresión 3D el dedo índice, además, se muestra en la secuencia de tres imágenes el recorrido que realiza el dedo pulgar robótico realizando el movimiento de flexo extensión cubriendo el movimiento angular posible analizando con anterioridad.

Por otra parte, el dedo pulgar contiene 3 grados de libertad los cual le permite generar los rangos de movilidad necesarios para poder oponerse al dedo índice y

así generar el agarre de precisión en la figura 10 se representa una serie de imágenes que representan los tres grados de libertad permisibles del dedo pulgar.

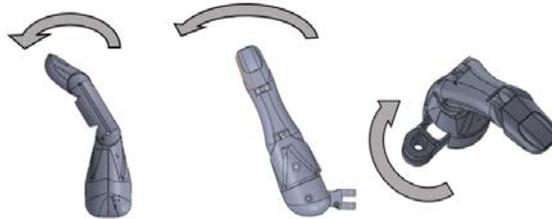


Figura 9 Movimiento de flexo-extensión, abducción y rotación del dedo pulgar.

### **Construcción del dedo índice por impresión 3D**

A partir del diseño CAD que se obtuvieron los archivos slt para imprimir en 3D. Se imprimió en material PLA. La figura 11 muestra el dedo índice construido en PLA. Se muestra el movimiento de flexo extensión del dedo demostrando que el dedo es capaz de realizar el movimiento de flexo extensión como de acuerdo al objetivo principal del proyecto. Como trabajo a futuro, el dedo índice construido servirá para construir una mano robótica multi articulada basada en mecanismos 4 barras acoplados.



Figura 10 Dedo índice robótico multi-articulado antropométrico y antropomórfico.

### **Construcción del dedo pulgar por impresión 3D**

A partir del diseño CAD que se obtuvieron los archivos. slt para imprimir en 3D. Se imprimió en material PLA. La figura 12 muestra el dedo pulgar construido en PLA. Se muestra el movimiento de flexo extensión del dedo demostrando que el dedo es capaz de realizar el movimiento de flexo extensión como de acuerdo al objetivo principal del proyecto. Como trabajo a futuro, el dedo pulgar construido

servirá para construir una mano robótica multi articulada basada en mecanismos 4 barras.



Figura 11 Dedo pulgar construido mediante impresión 3D.

### **Representación del agarre de precisión.**

El diseño y la construcción de dedo índice y pulgar permiten simular el agarre de precisión característicos de la mano humana, este tipo de agarre es posible realizarlo con la combinación de los tres grados de movilidad del dedo pulgar (abducción, flexión y rotación) y la flexión del dedo índice. Como se muestra la siguiente secuencia de imágenes figura 13.



Figura 12 Representación del agarre de precisión generado por el prototipo ensamblado.

## **4. Discusión**

Basados en la construcción de los prototipos se concluye que es posible diseñar dedos robóticos con dimensiones antropométricas mediante mecanismos de 4 barras acoplado a diferencia de los prototipos común mente reportados en la literatura donde se basan en accionamiento por tendones. Por otra parte, durante la construcción de los prototipos en 3D fue posible definir que el proceso de manufactura por impresión 3D permite un prototipado rápido y de bajo costo, pero con el inconveniente de no tener precisión. La falta de precisión en las piezas

ocasiona problemas de fricción y juego mecánico lo cual ocasiona que la movilidad de dichos dedos no se genere de manera fluida. Por último, al realizar la construcción de los prototipos y habiendo comprobado la movilidad de estos se concluyó que es posible realizar las trayectorias necesarias de los dedos para el movimiento de agarre de precisión, pero sin poder generar fuerzas en dicho agarre, una propuesta para trabajos futuros rediseñar los mecanismos propuestos para incorporar actuadores que nos permitan generar fuerza en estos tipos de agarre.

Se concluye que es posible realizar el agarre de presión con dos dedos robóticos (un índice y un pulgar basados en mecanismos de 4 barras acoplados. La impresión 3D (manufactura aditiva) permite que el proceso de diseño y construcción sea muy rápido y que se puedan realizar las mejoras al diseño en tiempos muy cortos logrando un producto de buena calidad y desempeño. El dedo índice y pulgar construidos formarán parte de una mano robótica que tendrá también las características de antropométrica y antropomórfica.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] "The Anatomy and Mechanics of the Human Hand", G.L. Taylor, R. J. Schwart, Artificial Limbs, 1955, Vol.2, pp.22-35.
- [2] "Anatomía Humana descriptiva, topográfica y funcional", H. Rouviere, A. Delmas., "Fixed and moving Polodes for a New Articulated Finger Mechanism", 6th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria Danube Region RAAD97 pp. 319-324.
- [3] F. García, J. Martínez R. Saltaren, A. Guerrero, J. López, "Diseño mecatrónico de un dedo antropomorfo Parte I: Mecánica", Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Politécnica de Cartagena, 2001.
- [4] Caracterización Cinemática E Implementación De Una Mano Robótica Multiarticulada, M. en C. Alejandro Tonatiu Velásquez Sánchez, 2007
- [5] The Prehensile Movements of the Human Hand, J. R. Napier, November 1956.