

Validación experimental de una pinza de dos dedos retráctiles

Enrique Soriano-Heras¹, Higinio Rubio-Alonso¹, Juan Carlos García-Prada¹ y Giuseppe Carbone²
¹ Universidad Carlos III de Madrid
² Università degli Studi di Cassino

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7507>

1. INTRODUCCIÓN

Una pinza, en inglés "gripper", es un dispositivo específico usado sólo para manipular uno o unos pocos objetos de formas y tamaños similares. Cuando hay que

manipular objetos variados se requiere el cambio de pinzas [1]. Por este motivo, existe una gran variedad de pinzas. Atendiendo a su sistema de actuación, las pinzas pueden clasificarse en las siguientes categorías [1-3]:

- Pinzas mecánicas: de mecanismos, de mecanismos sub-actuados, de sistema piñón-cremallera, de leva, de tornillo sinfín y de polea (Tabla 1).
- Pinzas de vacío, de Bernoulli, de agujas y magnéticas (de imán permanente o de electroimán), según

los diferentes tipos de elementos que ejercen la fuerza sobre el objeto que se manipula (Tabla 2).

- Pinzas universales (pinzas de sistema *Jamming*), empleadas cuando se trata de coger objetos de formas irregulares o frágiles (Tabla 2).

Las pinzas más empleadas son las de dos dedos, pues permiten el agarre de objetos de forma cilíndrica, prismática y piramidal. Estas pinzas de dos dedos pueden describir trayectorias rectilíneas, curvas o una combinación de ambas. Las pinzas de trayectoria lineal, también denominadas paralelas, son más usadas cuando la tarea de agarre no requiere el cambio de pin-

| Pinzas mecánicas | |
|-------------------------|-------------------------------|
| | |
| | |
| Actuadas por mecanismos | Actuadas por piñón-cremallera |
| | |
| | |
| Actuadas por levas | Actuadas por tornillo |
| | |
| Actuadas por polea | |

Tabla 1: Pinzas mecánicas atendiendo al método de actuación [1-3]

za. Las pinzas de trayectorias curvas son más utilizadas cuando se requiere cambio de pinza, sin embargo, cuando se trata de manipular micro-objetos se emplean trayectorias rectilíneas o combinadas [1], [4-6].

Los actuadores más empleados en las pinzas son los neumáticos por su facilidad de instalación y bajo coste. Sin embargo, los actuadores neumáticos, al contrario que los actuadores hidráulicos, no presentan una buena relación potencia peso y son más difíciles de controlar y alimentar que los actuadores eléctricos. No obstante, estas desventajas, en la mayoría de los casos, no tienen influencia alguna [7-8].

Cuando se han de manipular diferentes tipos de objetos, se emplean sistemas

multi-herramienta con cambiador automático, actualmente existen cambiadores automáticos de herramientas capaces de suministrar la energía necesaria a los dispositivos de agarre [9].

Además, para seleccionar un dispositivo de agarre, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos [10]:

- Fuerza de agarre necesaria
- Peso del dispositivo
- Prestaciones
- Condiciones ambientales durante el proceso de trabajo
- Necesidad de sensores
- Velocidad necesaria en los dedos o elementos de contacto
- Forma de los dedos o elementos de contacto.

2. FINALIDAD Y OBJETIVO

La pinza de agarre propuesta, objeto de estudio en el presente artículo (Fig. 1), soluciona el problema de la manipulación de objetos de tamaños comprendidos entre los 50 y 5 mm. y pesos no superiores a 100 gr. La pinza está diseñada para sujetar objetos que se encuentren en el interior de recintos comunicados con el exterior mediante pequeñas aberturas, como ocurre con recipientes de materiales biológicos (sangre, vacunas, ácidos, etc.), donde es necesario minimizar el contacto del objeto manipulado con el ambiente exterior. La solución propuesta permite retraer los dedos del dispositivo, reduciendo así su tamaño, para posteriormente, una vez dentro del recinto, desplegar los dedos o elementos de con-

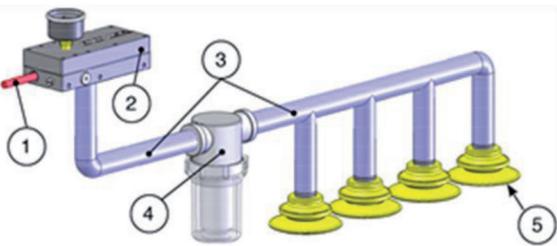
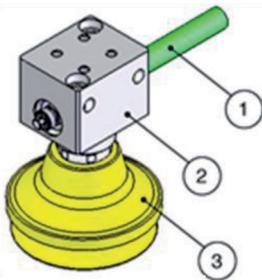
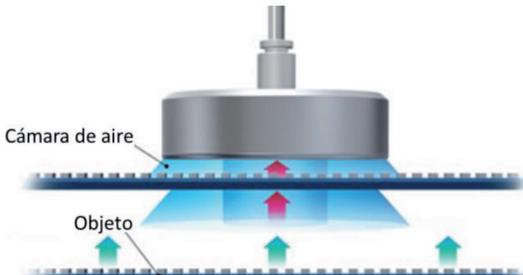
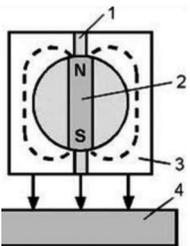
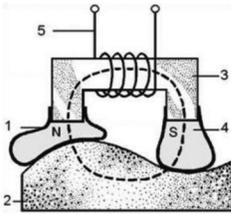
| Pinzas de vacío | |
|--|--|
|  <p>1) Línea de aire comprimido, 2) Generador de vacío, 3) Línea de vacío, 4) Filtro, 5) Ventosa</p> |  <p>1) Línea de aire comprimido 2) Generador de vacío 3) Ventosa</p> |
| Pinzas sistema Bernoulli (bajo contacto) | |
|  <p>Cámara de aire Objeto</p> | |
| Pinzas magnéticas | |
|  <p>1) Material no magnético. 2) Imán permanente. 3) Hierro. 4) Objeto.</p> |  <p>1) Material elástico. 2) Objeto. 3) Hierro. 4) Viruta de hierro. 5) Línea de conexión.</p> |
| Pinzas magnéticas de imán permanente | Pinzas magnéticas de electroimán |
| Pinzas de agujas | |
|  |  |

Tabla 2: Pinzas de vacío y magnéticas [1-6]

| Características mecánicas | | |
|----------------------------|--------|----------|
| Denominación | Unidad | Valor |
| Abertura pinza (ver Fig.3) | mm | 50 a 5 |
| Peso | kg | 1,2 |
| Fuerza de sujeción | N | 1 a 10 |
| Tiempo de cierre | s | 0.8 a 1 |
| Tiempo de apertura | s | 0.8 a 1 |
| Presión de trabajo | bar | 6 |
| Presión mínima | bar | 2 |
| Presión máxima | bar | 8 |
| Temperatura operación | °C | -10 a 90 |

Tabla 3: Características mecánicas de la pinza de dos dedos retráctiles propuesta

| Diámetro del vástago (mm) | Diámetro del émbolo (mm) | Carrera (mm) | Presión de servicio (bar) | Pérdidas por fricción (%) | Fuerza de avance (N) | Fuerza de retroceso (N) |
|---------------------------|--------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|
| 4 | 10 | 45 | 6 | 10 | 42,40 | 35,62 |

Tabla 4: Características del cilindro neumático



Fig. 1: Operación de agarre de un objeto en recinto un comunicado con el exterior mediante una abertura

tacto, permitiendo manipular el objeto, como se muestra en la Fig. 1.

3. DISEÑO PROPUESTO

Para conseguir la tarea de agarre propuesta anteriormente, se optó por un diseño de pinza mecánica de dos dedos, actuada por piñón-cremallera pues esta configuración se consideró inicialmente como la más sencilla para que la pinza sea compacta y facilite la posibilidad de retracción de los dedos, como se muestra en la Fig. 2.

Las características del diseño, incorporadas a un modelo implementado en el software Autodesk Inventor, se recogen en la Tabla 3. Las dimensiones de la pinza, con los dedos completamente retraídos y con los dedos sujetando los objetos, de tamaños máximo y mínimo, respectivamente, aparecen representadas en las Fig. 2 y Fig. 3.

La pinza se actúa mediante un cilindro neumático cuyas características se muestran en la Tabla 4.

Se precisa validar el diseño propuesto en términos de capacidad para realizar la tarea propuesta. Con esta finalidad se efectúan los análisis numéricos de las características del movimiento y se fabrica

un modelo del dispositivo en acero inoxidable, mostrado en Fig. 5.

4. MODELOS ANALÍTICOS

4.1. ANÁLISIS CINEMÁTICO

La pinza de dedos retráctiles consiste en un mecanismo de cuatro barras articu-

ladas cuyo eslabón de entrada está accionado por un sistema de piñón-cremallera y su barra acopladora es el elemento que, con su extremo, efectuará el agarre. La forma general de un cuadrilátero articulado se muestra en Fig. 6 y las posiciones de un punto cualquiera del acoplador, P(x,y), vienen dadas por las Ec. (1) y Ec. (2).

$$\bar{x} = \overline{x(\varphi)} = \bar{x}_a + \bar{x}_e \quad (1)$$

$$\bar{y} = \overline{y(\varphi)} = \bar{y}_a + \bar{y}_e \quad (2)$$

Sustituyendo en Ec. (1) y Ec. (2) por los valores geométricos del mecanismo de cuatro barras con punto acoplador, resultan Ec. (3) y Ec. (4).

$$x = a \cdot \cos \varphi + e \cdot \cos(\alpha + \theta) \quad (3)$$

$$y = a \cdot \sin \varphi + e \cdot \sin(\alpha + \theta) \quad (4)$$

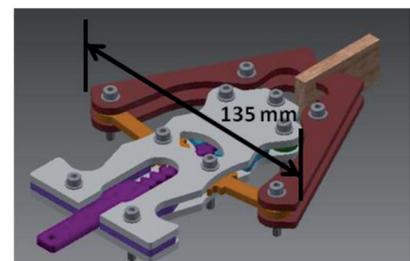
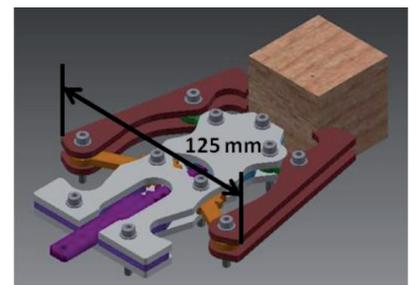
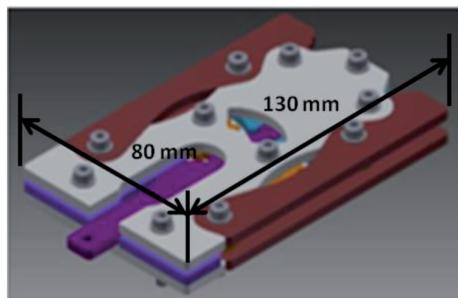


Fig. 2: Dimensiones de la pinza propuesta con los dedos retraídos y sujetando objeto máximo y mínimo

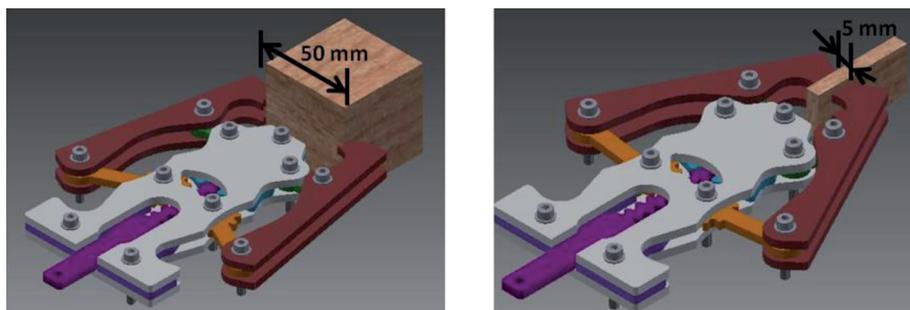


Fig. 3: Tamaño máximo y mínimo de objeto a considerar: máximo 50 mm, mínimo 5 mm



Fig. 5: Modelo de la pinza de dos dedos retráctiles en acero inoxidable

Sustituyendo en Ec. (3) y Ec. (4) por los ángulos Φ y δ , representados en Fig. 6, se obtienen Ec. (5) y Ec. (6).

$$x = a \cdot \cos \varphi + e \cdot \cos(\varphi - \alpha + \delta) \quad (5)$$

$$y = a \cdot \operatorname{sen} \varphi + e \cdot \operatorname{sen}(\varphi - \alpha - \delta) \quad (6)$$

Donde los parámetros δ , g y Φ se obtienen de Ec. (7), Ec. (8) y Ec. (9), respectivamente.

$$\delta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{a \cdot \operatorname{sen} \varphi}{d - a \cdot \cos \varphi} \right) \quad (7)$$

$$g = \sqrt{a^2 + d^2 - 2 \cdot a \cdot d \cdot \cos \varphi} \quad (8)$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{g^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot c \cdot g} \right) \quad (9)$$

En el caso que nos ocupa, inicialmente la barra acopladora es paralela a la dirección de empuje del cilindro neumático y, por tanto a la de desplazamiento de la cremallera. En la posición de agarre, para un objeto de 10 mm de ancho, la barra acopladora alcanza una posición angular que es necesario determinar. Véanse Fig.7 y Fig. 8.

Conocida la velocidad de entrada ω_2 (suministrada por un cilindro neumático que tira de la cremallera y está hace girar al piñón que es solidario a la barra 2, véase la Fig. 7), las velocidades angulares del resto de eslabones, ω_3 y ω_4 , del mecanis-

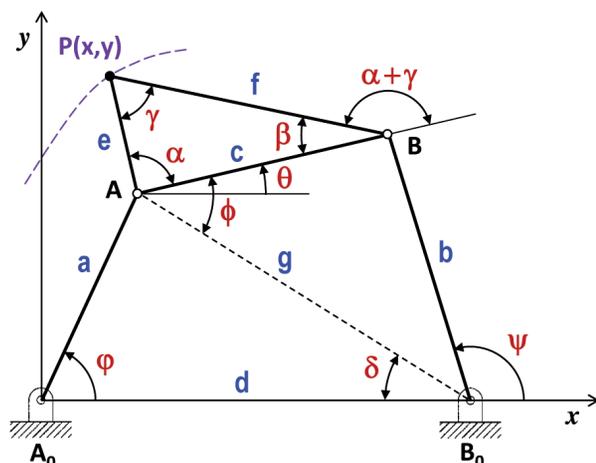


Fig. 6: Trayectoria de un mecanismo de 4 barras con punto acoplador

mo que constituye la pinza, vienen dadas por la Ec. (10) y Ec. (11).

$$\omega_3 = \omega_2 \cdot \frac{r_2}{r_3} \cdot \frac{\operatorname{sen}(\theta_4 - \theta_2)}{\operatorname{sen}(\theta_3 - \theta_4)} \quad (10)$$

$$\omega_4 = \omega_2 \cdot \frac{r_2}{r_4} \cdot \frac{\operatorname{sen}(\theta_2 - \theta_3)}{\operatorname{sen}(\theta_4 - \theta_3)} \quad (11)$$

Es necesario indicar que la aceleración α_2 (ver Fig. 8) se considera nula pues el cilindro neumático con regulación de caudal suministra una velocidad prácticamente constante. Las aceleraciones angulares de los eslabones 3 y 4 vienen dadas por Ec. (12) y Ec. (13), respectivamente.

4.2. ANÁLISIS DINÁMICO

Como se muestra en Fig. 9, el par de entrada M_2 (originado por la fuerza F_2 que suministra el cilindro neumático) se calcula mediante Ec. (14). Aplicando el principio de los trabajos virtuales, Ec. (15) y Ec. (16), se relacionan la fuerza de agarre en el punto de contacto F_{p3} , con la velocidad en el punto de contacto v_{p3} y el ángulo que forman ambos vectores Θ_{Fv} que viene dado por la Ec. (17). La velocidad en el punto de contacto v_{p3} se determina mediante el teorema de las velocidades relativas, Ec. (18). Operando Ec. (18), se obtiene Ec. (19).

Seguidamente, teniendo en cuenta las consideraciones angulares mostradas en la Fig. 9 y sustituyendo en la Ec. (16) por las Ec. (14) y Ec. (19) resulta la Ec. (20) donde, operando, se obtiene la relación entre la fuerza de contacto F_{p3} y la fuerza de entrada F_2 , Ec. (21). Esta relación permite evaluar la eficiencia de la pinza de dos dedos retráctiles.

5. ANÁLISIS NUMÉRICOS

El diagrama de flujo, mostrado en Fig. 10, indica el proceso de implementación en Matlab del modelo analítico del mecanismo de agarre propuesto en el apartado anterior.

5.1. ANÁLISIS CINEMÁTICO

En la Tabla 5 se recogen las longitudes de cada uno de los eslabones y los ángulos en la posición inicial y final del mecanismo, obtenidos de la simulación en Matlab. La simulación se ha establecido para agarrar un objeto de 10 mm de ancho. La trayectoria del mecanismo de la pinza con dos dedos retráctiles hasta agarrar el objeto de 10 mm se muestra en Fig. 11.

Como se muestra en Fig. 12, para determinar el ángulo del vector velocidad en

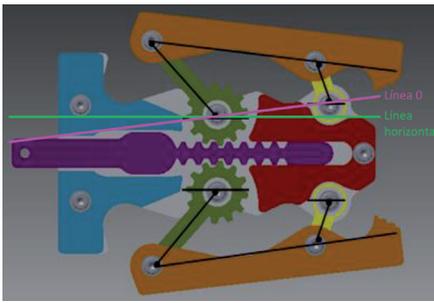


Fig. 7: Mecanismo de la pinza de dos dedos retráctiles

el punto de contacto, para agarrar un objeto de 10 mm, se determinó previamente el centro instantáneo de rotación I_3 , partiendo de las coordenadas de los puntos A_0 , A , B_0 y B . Las coordenadas de dichos puntos, del centro instantáneo de rotación y del punto de contacto P_3 se recogen en la Tabla 6.

Como se muestra en Fig. 12, el valor del ángulo Θ_m se determina mediante Ec. (22) y el ángulo de la velocidad en el punto de contacto Θ_{vp3} se determina mediante Ec. (23).

La Fig. 13 muestra la variación de la velocidad y de la aceleración del eslabón que establece contacto con el objeto, durante todo su recorrido. En la tabla 5 se muestran las posiciones mínima y máxima de Θ_2 .

5.2. ANÁLISIS DINÁMICO

Cuando se produce el agarre, el ángulo de presión de la fuerza de sujeción F_{P3} es prácticamente normal al eslabón 3, siendo el valor del ángulo Θ_1 , dado por la geometría del diseño propuesto, de $4,97^\circ$. Por tanto, el valor del ángulo Θ_{Fp3} , mostrado en Fig. 11, se determina mediante Ec. (24).

$$\theta_{Fp3} = \theta_1 - 90^\circ = -94,97^\circ \quad (24)$$

Entonces, en la posición de agarre, el ángulo entre la fuerza y la velocidad es próximo a 0° , como muestra Ec. (25).

$$\theta_{Fv} = \theta_{Fp3} - \theta_{vp3} = 0,29^\circ \approx 0^\circ \quad (25)$$

Sustituyendo los valores de los parámetros mostrados en la tabla 5 en la Ec. (21), dan como resultado una relación, entre la fuerza de agarre F_{P3} y la de entrada F_2 , de 0,2015. Por tanto, como la fuerza de entrada F_2 suministrada por el actuador neumático es de 21,2 N, la fuerza de agarre resultante es de 4,27 N.

Los resultados obtenidos, tanto de los modelos analíticos como de los modelos

$$\alpha_3 = \frac{r_2 \omega_2^2 \cos(\theta_4 - \theta_2) + r_3 \omega_3^2 \cos(\theta_4 - \theta_3) + r_4 \omega_4^2}{r_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (12)$$

$$\alpha_4 = \frac{r_2 \omega_2^2 \cos(\theta_4 - \theta_2) + r_4 \omega_4^2 \cos(\theta_4 - \theta_3) + r_3 \omega_3^2}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (13)$$

$$\overline{M}_2 = \overline{F}_2 \times \overline{R} \quad (14)$$

$$\overline{M}_2 \cdot \overline{\omega}_2 = \overline{F}_{P3} \cdot \overline{v}_{p3} \quad (15)$$

$$M_2 \omega_2 = F_{P3} v_{p3} \cos \theta_{Fv} \quad (16)$$

$$\theta_{Fv} = \theta_{Fp3} - \theta_{vp3} \quad (17)$$

$$\overline{v}_{P3} = \overline{v}_{A3} + \overline{v}_{P3A3} = \overline{v}_{A2} + \overline{v}_{P3A3} \quad (18)$$

$$\overline{v}_{P3} = \overline{\omega}_2 \times \overline{r}_2 + \overline{\omega}_3 \times \overline{r}_5 = \overline{\omega}_2 \times \overline{r}_2 \left(1 + \frac{r_2 r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_2 r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right) \quad (19)$$

numéricos, confirman la validez del diseño. No obstante, queda evidenciada una

$$F_2 R = F_{P3} r_2 \left(1 + \frac{r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right) \cos \theta_{Fv} \quad (20)$$

$$\frac{F_{P3}}{F_2} = \frac{R}{r_2 \left(1 + \frac{r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right) \cos \theta_{Fv}} \quad (21)$$

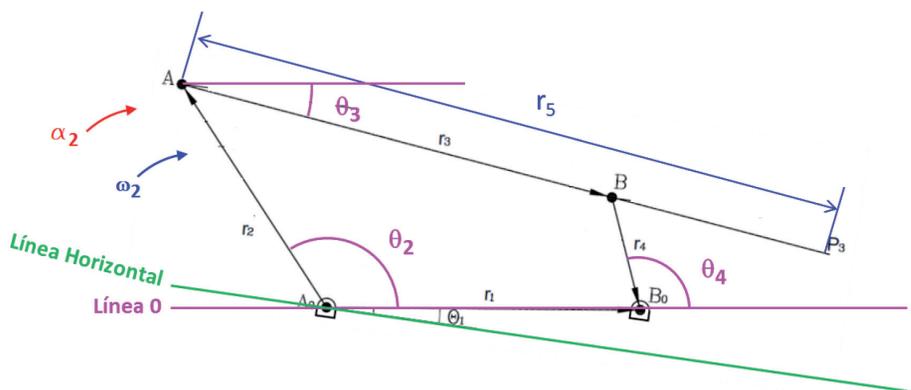


Fig. 8: Parámetros del Mecanismo de la pinza de dos dedos retráctiles I

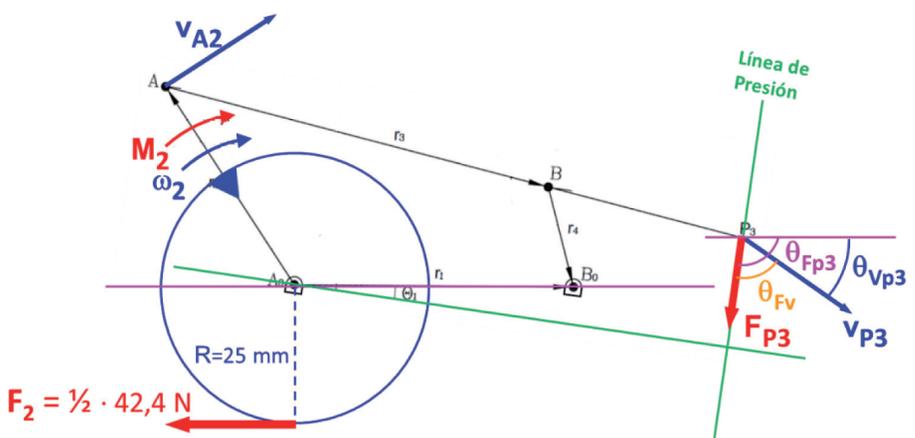


Fig. 9: Parámetros del Mecanismo de la pinza de dos dedos retráctiles II

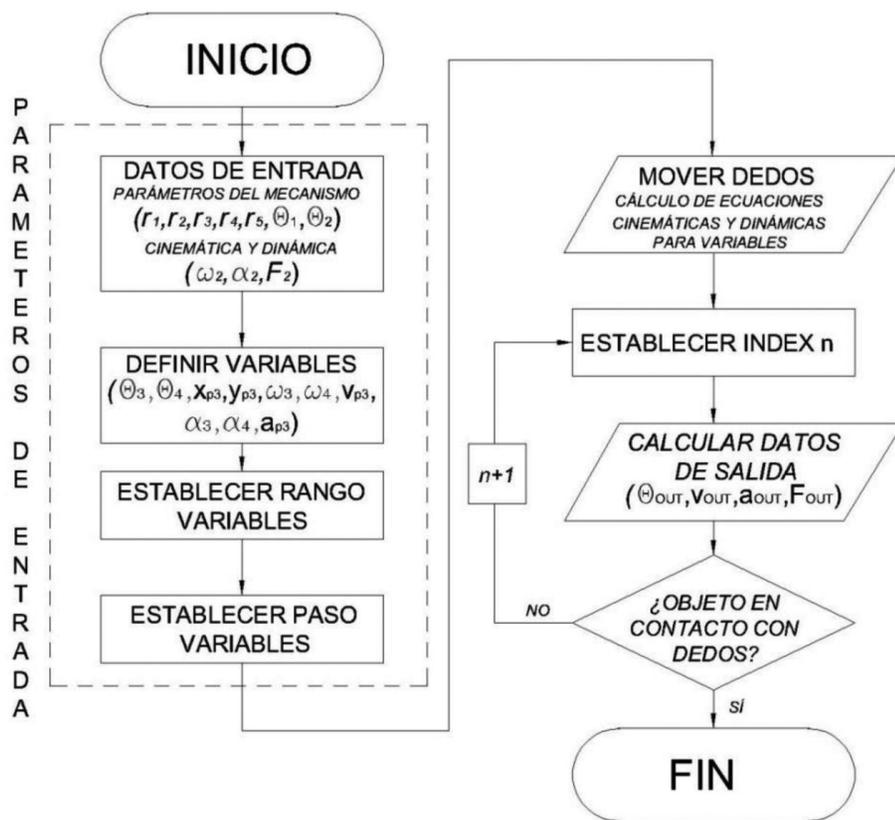


Fig. 10: Diagrama de flujo para análisis numérico

| Longitud eslabón (mm) | | Ángulo inicial (rad) | | Ángulo final (rad) | |
|-----------------------|-------|----------------------|---------|--------------------|---------|
| r_1 | 46,17 | Θ_1 | -0,0868 | Θ_1 | -0,0868 |
| r_2 | 40 | Θ_2 | 2,7375 | Θ_2 | 1,3423 |
| r_3 | 67 | Θ_3 | -0,0868 | Θ_3 | -0,5814 |
| r_4 | 19 | Θ_4 | 2,5923 | Θ_4 | 0,1141 |
| r_5 | 96 | | | | |

Tabla 5: Longitud de los eslabones y posiciones angulares inicial y final

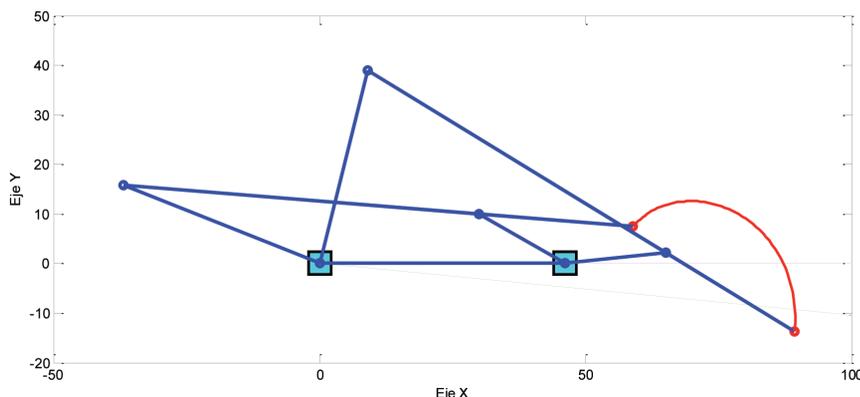


Fig. 11: Trayectoria descrita por el mecanismo de la pinza de dos dedos retráctiles

| A_0 | | A | | B_0 | | B | | I_3 | | P_3 | |
|----------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| X_{A0} | Y_{A0} | X_A | Y_A | X_{B0} | Y_{B0} | X_B | Y_B | X_{I3} | Y_{I3} | X_{P3} | Y_{P3} |
| 0 | 0 | 9,06 | 38,96 | 46 | 17 | 65,05 | 2,16 | -1,26 | -5,42 | 89,28 | -13,76 |

Tabla 6: Coordenadas de los puntos del mecanismo de pinza (en mm.) en la posición de agarre de un objeto de 10 mm

fuerte variación entre la fuerza de accionamiento y la fuerza de agarre, aspecto que requiere realizar una mejora en futuros diseños.

6. EXPERIMENTACIÓN

En la Fig. 14 se muestra el montaje experimental empleado para realizar los ensayos de validación experimental de la pinza con dos dedos retráctiles. El montaje experimental consta de:

1. Actuador neumático. Cilindro neumático (Tabla 4)
2. Acelerómetro. En nuestro caso no se necesita medir elevadas aceleraciones, por tanto se seleccionó un sensor para bajas aceleraciones (marca Freescale, modelo MMA7260Q) que proporciona la aceleración en cada una de las direcciones X, Y y Z
3. Sensor de fuerza CP 150
4. Amplificador y captación de datos National Instruments NI-USB 6009. Se trata de una tarjeta externa DAQ multifunción optimizada para aplicaciones de tipo general
5. Objetos para agarre (de 5 a 10 mm. de ancho)
6. Fuente de alimentación.

Para el control y adquisición de datos se implementó en Labview la instrumentación virtual mostrada en Fig. 15.

6.1. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Los ensayos fueron realizados siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

- Previamente a la realización del ensayo, se procedió a la instalación del prototipo de sistema de agarre, se comprobó la presión neumática de entrada (6 bar) y mediante válvulas reguladoras de caudal se reguló el consumo de aire, de esta forma se consiguió que la velocidad suministrada por pistón fuera constante.
- Se procedió a la colocación del acelerómetro aprovechando dos juntas del propio dispositivo de agarre, véase Fig. 14.
- Posteriormente se procedió a la colocación del sensor de fuerza. El sensor de fuerza fue adherido, siguiendo las especificaciones del fabricante, al elemento de contacto del prototipo.
- Seguidamente, se configuraron los equipos de adquisición de datos para la identificación y el trata-

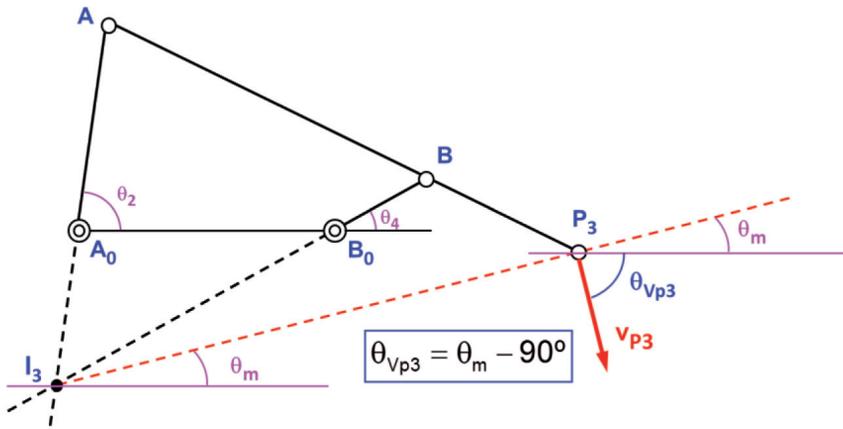


Fig. 12: Determinación ángulo de velocidad en el punto de contacto

$$\theta_m = \tan^{-1}\left(\frac{y_{P3} - y_{I3}}{x_{P3} - x_{I3}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-13,76 + 5,42}{89,28 + 1,26}\right) = -5,26^\circ \quad (22)$$

$$\theta_{vp3} = \theta_m - 90^\circ = -5,26 - 90 = -95,26^\circ \quad (23)$$

miento posterior de los resultados. sufre un brusco aumento cuando se esta-

blece contacto con el objeto y cuando el elemento llega a su posición final, completamente retraído.

En la Fig. 17 se presenta la progresión de la fuerza de agarre suministrada por el prototipo cuando agarra un objeto de 10 mm. de ancho. Tal como se aprecia en la figura, la fuerza de sujeción aumenta ligeramente durante el tiempo de sujeción, dado que el pistón neumático sigue actuando. Resultados similares se obtuvieron para objetos de anchos comprendidos entre 5 y 10 mm.

7. CONCLUSIONES

El trabajo muestra el desarrollo teórico y experimental de una pinza de dos dedos donde estos pueden ser retraídos para pasar por pequeñas aberturas y después desplegarse para manipular pequeños objetos. En el documento se realiza una descripción detallada de la pinza construida y se efectúa el análisis de su comportamiento

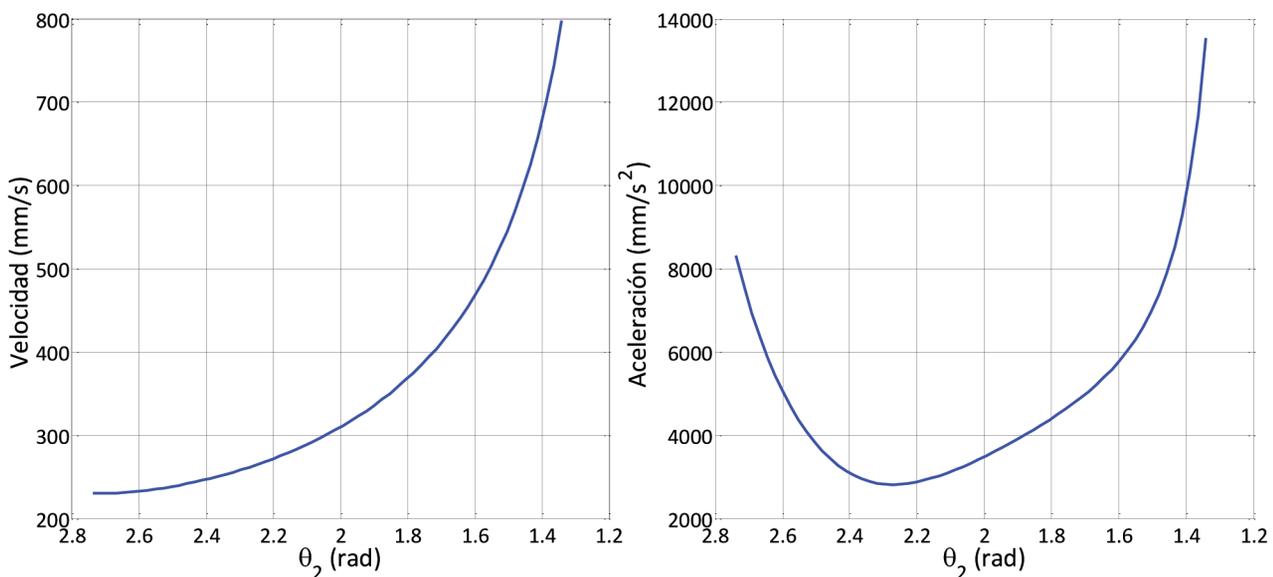


Fig. 13: Variación de la velocidad (dcha.) y de la aceleración (izda.) en función del ángulo de entrada

- Una vez configurados los equipos de adquisición de datos y calibrados los sensores de aceleración y fuerza, se dio comienzo al ensayo, iniciando simultáneamente la toma de datos de aceleración y fuerza de agarre para objetos de tamaño comprendido entre 5 y 10 mm, como se muestra en la Fig. 14.

6.2. RESULTADOS

En la Fig. 16 se ofrecen las gráficas de variación de aceleración experimentadas por el elemento de contacto del prototipo para el ciclo completo, agarre y desagarre, de un objeto de 10 mm. Tal como se aprecia en la citada figura, la aceleración

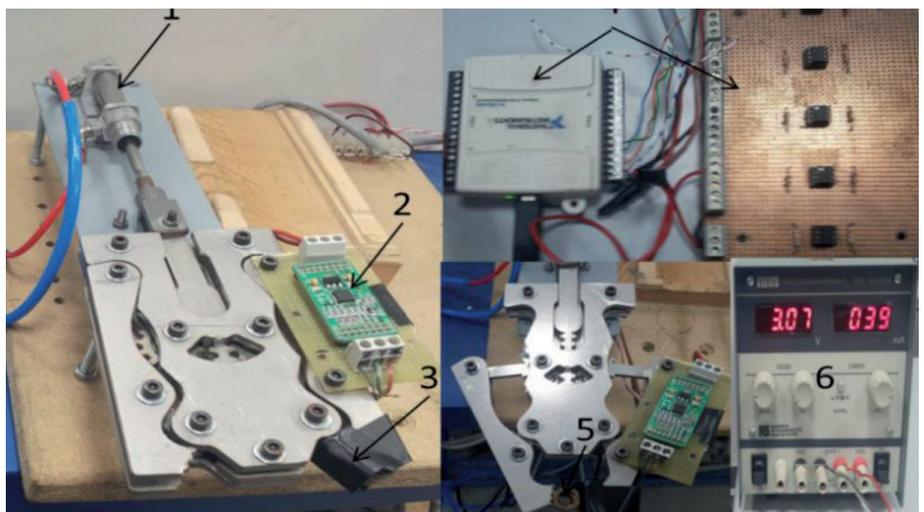


Fig. 14: Montaje experimental para validación experimental

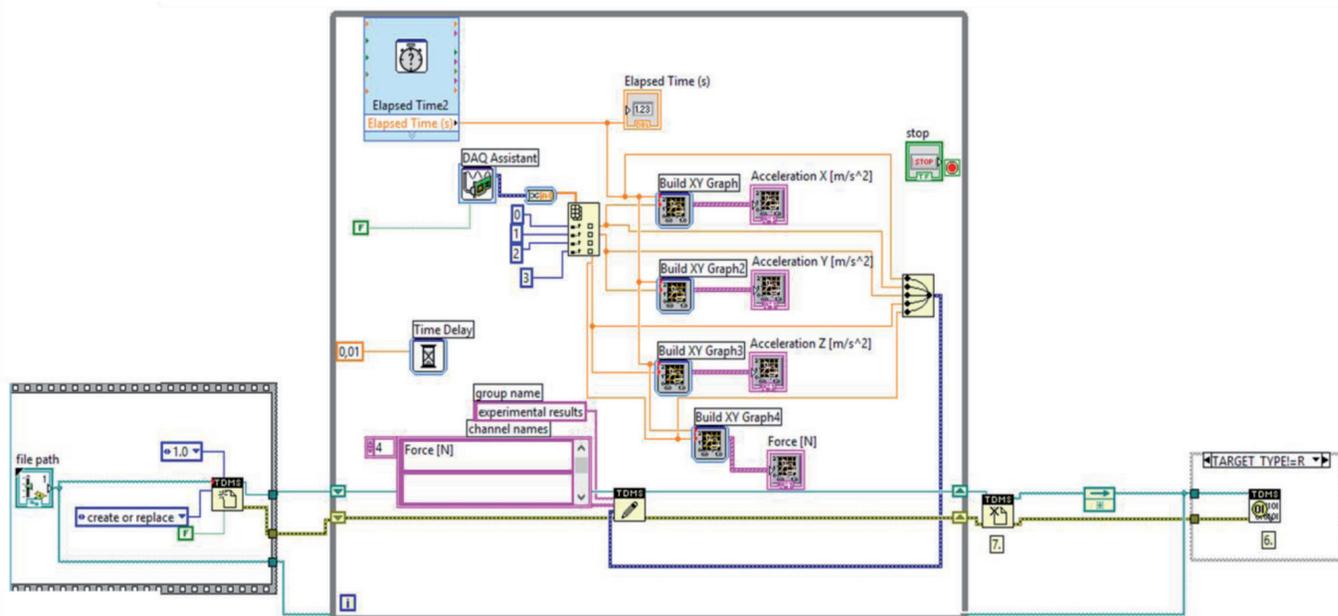


Fig. 15: Diagrama de bloques en software Labview de la instrumentación virtual

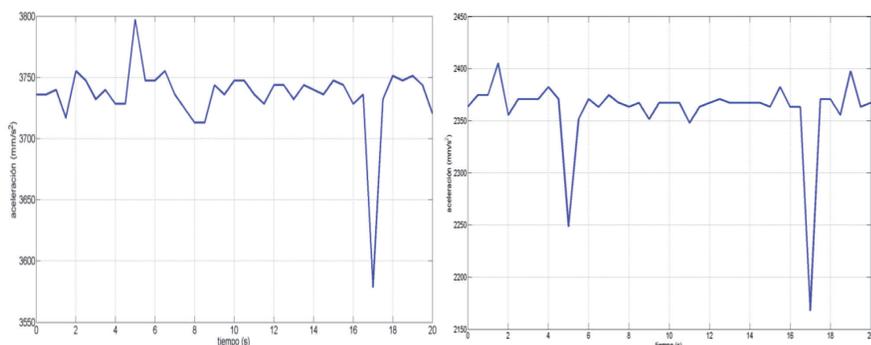


Fig. 16: Aceleración experimental (dcha.) en la dirección del eje X y del eje Y (izda.)

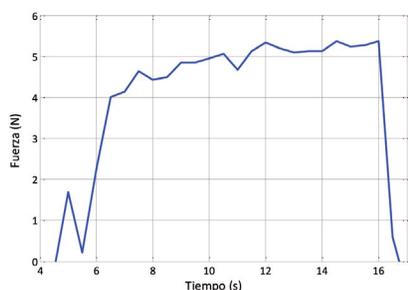


Fig. 17: Fuerza experimental de agarre

to con los modelos cinemático y dinámico. También se realiza el estudio experimental donde se aborda la fabricación, puesta a punto y medición experimental de los distintos parámetros de la pinza.

Al comienzo del artículo se hace una clasificación detallada de los principales tipos de pinzas mecánicas, atendiendo a su sistema de actuación. Posteriormente, se presenta un modelo nuevo de pinza de dos dedos retráctiles y se demuestra su interés en la manipulación de objetos ais-

lados por aberturas. Los resultados obtenidos de los modelos analíticos, numéricos y de los ensayos experimentales, sobre un prototipo realizado en acero inoxidable, han evidenciado su viabilidad y utilidad industrial pero conseguir un dispositivo eficiente requiere la necesidad de incorporar las siguientes mejoras, en un futuro modelo de pinza:

- Reducción de impacto con el objeto en avance y con la estructura del propio sistema en retroceso. Esto puede conseguirse mediante la instalación de materiales elásticos en las garras y en la parte trasera.
- Mejora de la eficiencia mecánica: el sistema actual consume gran cantidad de energía en desplegar los dedos, en relación a la fuerza de amarre conseguida. Esta labor requiere un rediseño de las dimensiones del mecanismo equivalente del cuadrilátero articulado y minimizar el gasto por fricción del sistema de transmisión por piñón-cremallera.

PARA SABER MÁS

- [1] Penisi O., "Industrial Grippers: State-of-the-Art and Main Design Characteristics". En: G. Carbone (ed.), Grasping in Robotics, Mechanisms and Machine Science 10. London: Springer-Verlag 2013. p. 107-131.
- [2] Pham D.T., Heginbotham W.B. (Eds), "Robot Grippers", Bedford: IFS Publications Ltd, 1986.
- [3] Giesen T., Bürk E., Fischmann C., Gauchel W., Zindl M., Verl A., "Advanced gripper development and tests for automated photovoltaic wafer handling", Assembly Automation. 2013, Vol. 33 No 4, pp. 334 - 344
- [4] Beroz J., Awtar S., Hart A.J. "Extensible-link kinematic model for determining motion characteristics of compliant mechanisms". In Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, (Portland 4-7 de agosto), 2013. P. 1-9.
- [5] Chen T., Pan M., Wang Y., Liu J., Chen L., Sun L., "Manipulation of Microobjects Based on Dynamic Adhesion Control" International Journal of Advanced Robotic Systems. 2012, Vol. 9. No 89, pp. 1-9.
- [6] Bütefisch S., Seidemann V., Büttgengach S. "Novel micro-pneumatic actuator for MEMS". Sensors and Actuators A. 2002, Vol. 97. No. 8, pp. 638-645.
- [7] Ok, J., Lu, Y.W., Kim, C.J., "Pneumatically driven microcage for microbe manipulation in a biological liquid environment". Journal of Microelectromechanical systems. 2006, Vol. 15. No. 6, pp. 1499-1505.
- [8] Clévy, C., Hubert, A., Agnus, J., Chaillet, N., "A micromanipulation cell including a tool changer". Journal of Micromechanics and Microengineering. 2005, Vol. 15, pp. 292-301.
- [9] Clévy, C., Hubert, A., Chaillet, N., "Flexible micro-assembly system equipped with an automated tool changer". Journal of Micro-Nano Mechatronics. 2008, Vol. 4, pp. 59-72.
- [10] Penisi O., Ceccarelli M., Carbone G., "Optimum design and testing of Mechanisms for two-finger grippers. International Journal of Mechanical Control. 2002, Vol. 3, No.1, pp. 9-20.