



Title: Análisis paramétrico de los elementos del actuador chevrón

Authors: TECPOYOTL-TORRES, Margarita, RODRIGUEZ-FUENTES, Sahiril Fernanda,
KOSHEVAYA, Svetlana y VARGAS-CHABLE, Pedro

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2020-04

BCIERMMI Classification (2020): 211020-0004

Pages: 15

RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 Itzopan Street

La Florida, Ecatepec Municipality

Mexico State, 55120 Zipcode

Phone: +52 1 55 6159 2296

Skype: ecorfan-mexico.s.c.

E-mail: contacto@ecorfan.org

Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

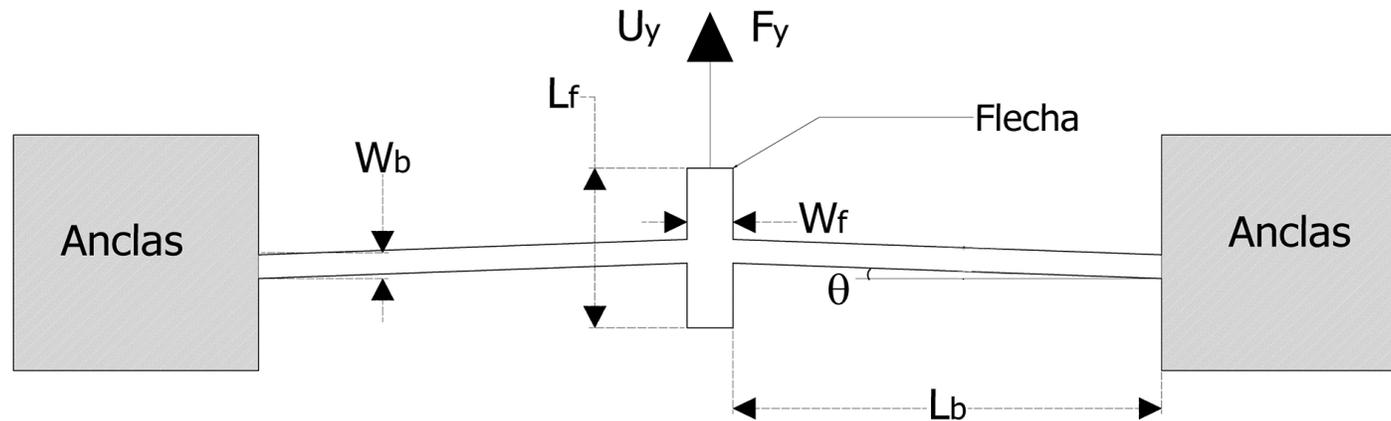
Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

En este capítulo, analizamos la parametrización de los elementos de un actuador chevrón, así como sus efectos sobre el desplazamiento y la fuerza de reacción en la flecha, para cada caso.

Figura 1 Elementos de un actuador chevrón de dos brazos



Los actuadores de tipo Chevrón, también llamados actuadores térmicos con brazos-V, o actuadores de viga flexionada, se encuentran entre los actuadores MEMS más conocidos.

Un actuador chevrón consiste básicamente de:

- un arreglo de pares de brazos, anclados en sus extremos exteriores, con un ángulo inicial predefinido (θ), y
- una flecha, también llamada haz central, masa de prueba o vástago móvil, la cual permite el acoplamiento de los brazos.

El actuador chevrón básico está conformado por dos brazos.

En este caso, se consideran las dimensiones mostradas en la Tabla 1.

La simulación se lleva a cabo en el software ANSYS Workbench, para obtener el desplazamiento y la fuerza resultante, parametrizando a los siguientes elementos del actuador:

- Ángulo de inclinación
- Largo y ancho del brazo
- Largo y ancho de la flecha
- Grosor de la estructura

Tabla 1 Parámetros de diseño del actuador chevrón

Variable	Descripción	Tamaño
L_b	Longitud del brazo	600 μm
w_b	Ancho del brazo	5 μm
t_b	Grosor del brazo	15 μm
w_f	Ancho de la flecha	30 μm
L_f	Longitud de la flecha	65 μm
θ	Ángulo de inclinación	0.9°

Modelado matemático

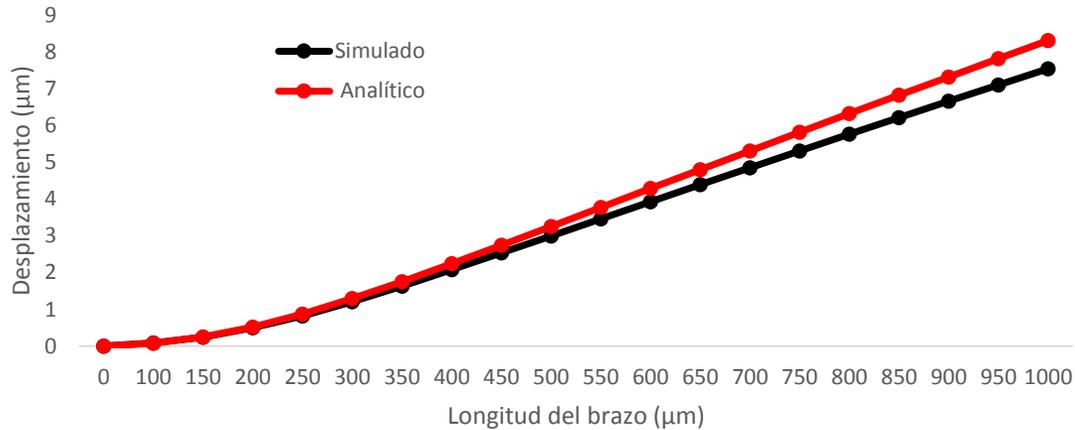
Función	Ecuación	Variables	Referencia
Desplazamiento	$U_y = \frac{F_y}{N \left(S^2 \frac{EA}{L} + C^2 \frac{12EI}{L^3} \right)}$	<p>N es el número de brazos, E el Módulo de Young, L la longitud del brazo, F_y es la fuerza de actuación, A es el área de sección transversal, I es el momento de inercia, S y C son la función seno y coseno del ángulo de apertura de cada brazo.</p>	(Zhu, Corigliano, & Espino, 2016)
Desplazamiento con un gradiente de temperatura	$U^{\Delta T} = \alpha \Delta T L \frac{s}{(S^2 + C^2 \frac{12I}{AL^2})}$	<p>α corresponde al coeficiente de expansión térmica, ΔT al gradiente de temperatura, L a la longitud del brazo, A es el área de sección transversal, I es el momento de inercia, S y C son la función seno y coseno del ángulo de apertura del brazo.</p>	(Yong, Corigliano, & D Espinosa, 2006)
Momento de inercia	$I = \frac{w^3 t}{12}$	<p>w corresponde al ancho del brazo, y t al grosor del dispositivo.</p>	(Kaajakari, 2009)
Fuerza	$F_y = N \alpha E A \Delta T \sin \theta$	<p>N corresponde al número de brazos, α al coeficiente de expansión térmica, E al Módulo de Young, A es el área de sección transversal, ΔT gradiente de temperatura, $\sin \theta$ es el ángulo de inclinación del brazo.</p>	(Vargas-Chable, Tecpoyotl-Torres, Robles-Casolco, & Cabello-Ruiz, 2015)
Resistencia de la viga	$R = \frac{\rho L}{A}$	<p>ρ es la resistividad, L y A fueron previamente definidas</p>	(Báez Álvarez, 2011)
Constante de rigidez	$k = \frac{2NE(12I \cos^2 \theta + AL^2 \sin^2 \theta)}{L^3}$	<p>Todas las variables han sido previamente definidas</p>	Trung Hoang, Tien Nguyen, & Hong, 2019

Resultados de parametrización

Con el actuador chevrón de 2 brazos, se lleva a cabo la parametrización de sus elementos.

- Se eligió un grosor de $15\ \mu\text{m}$, debido a que es común en la literatura.
- Se consideró una temperatura máxima de 56°C .
- Los valores de los elementos del actuador se toman de la Tabla 1.
- Se realiza la parametrización sobre el elemento bajo análisis, en cada caso.

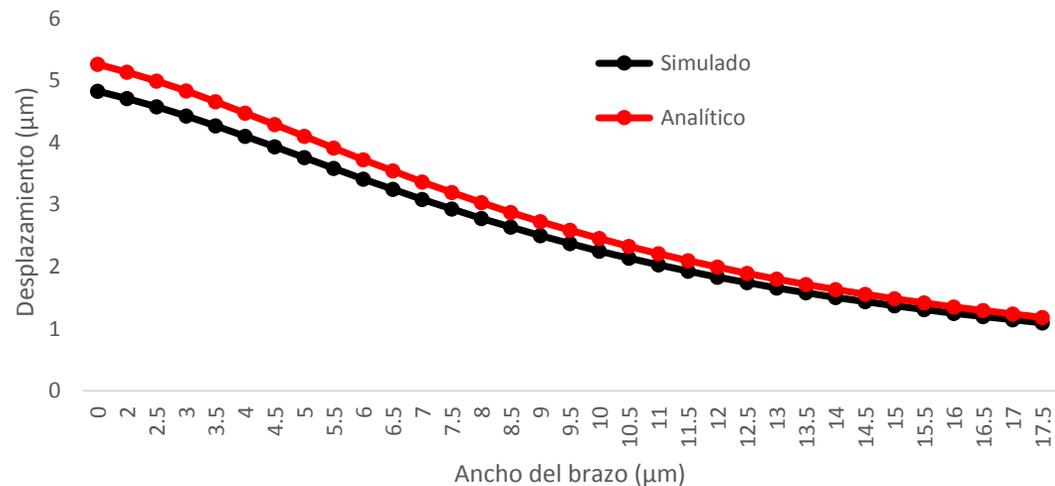
Gráfico 1 Longitud de brazo contra desplazamiento



El gráfico 1, muestra el *desplazamiento de la flecha, correspondiente a las longitudes de brazo* consideradas en el barrido.

- Puede apreciarse una alta linealidad en el comportamiento a partir de 250 µm.
- El error entre los resultados teóricos y la simulación es bajo para todos los casos, alcanzando su valor más alto (9.1%), en 1000 µm.

Gráfico 2 Ancho de brazo contra desplazamiento.



En el gráfico 2, se presenta una relación inversamente proporcional entre el *ancho del brazo y el desplazamiento de la flecha*, de acuerdo con (Kwan, y otros, 2012).

- Si se incrementa el ancho del brazo disminuye el error entre la aproximación analítica y los resultados obtenidos mediante simulación.
- El error máximo corresponde a 8.3% para el menor ancho considerado.

Gráfico 3 Ancho de brazo contra fuerza.

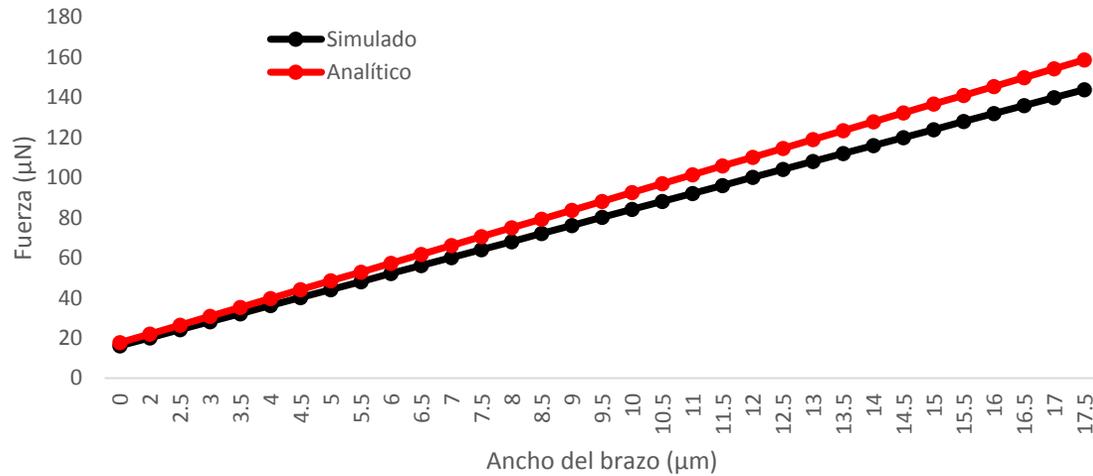
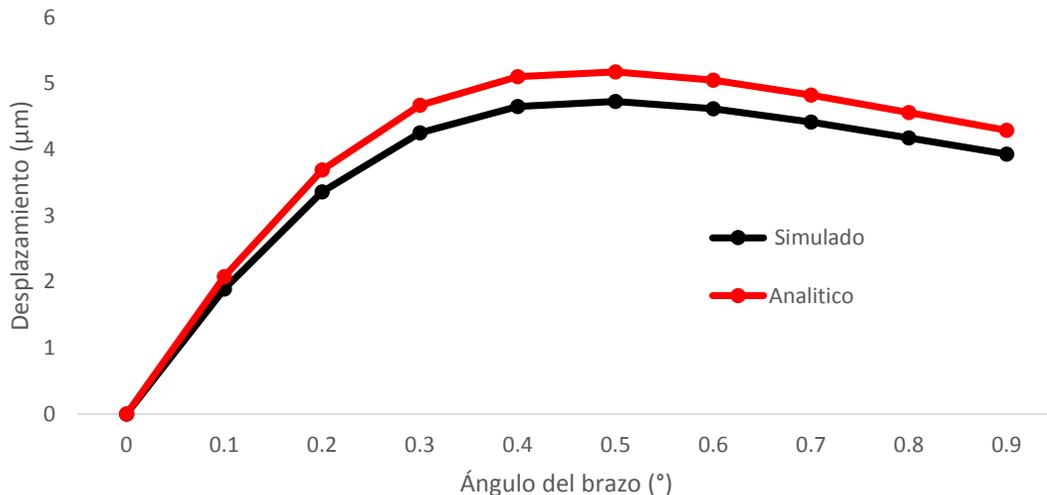


Gráfico 4 Ángulo de inclinación contra desplazamiento.



Con relación a la variación del *ancho del brazo y la fuerza* que se genera en la punta de la flecha:

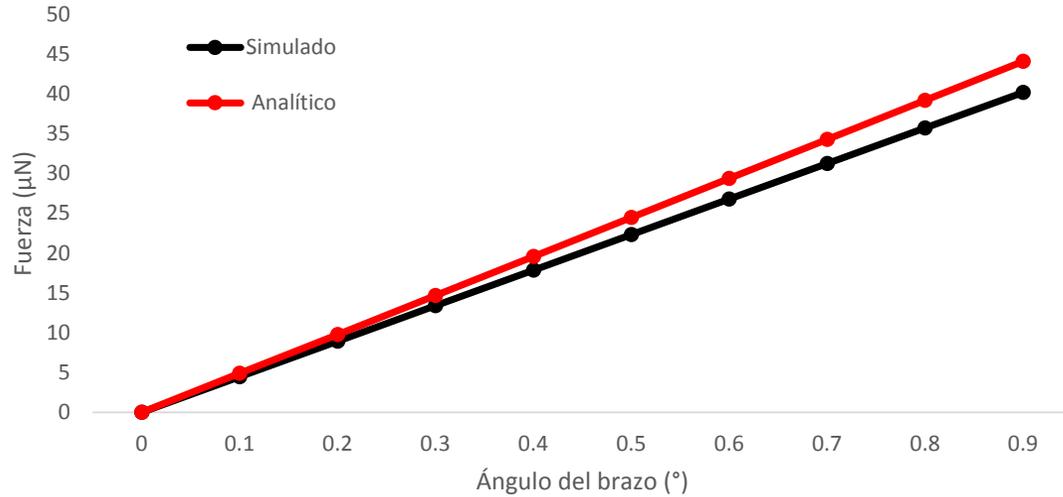
- Comportamiento lineal.
- El error entre la aproximación analítica y los resultados de la simulación, se mantiene menor al 9%.

Se sugiere que, el ancho del brazo se encuentre entre 5 y 10 µm, con la finalidad de que las dimensiones sean prácticas, evitando áreas excesivamente grandes.

En el gráfico 4, se muestra la relación entre *ángulo de inclinación y el desplazamiento*, puede observarse que:

- El porcentaje más alto de error entre los valores corresponde a 8.7% (entre 0.4° y 0.5°).
- Las curvas muestran un comportamiento no lineal, siendo creciente hasta 0.5° y decreciente más allá de este valor.

Gráfico 5 Ángulo de inclinación contra fuerza.

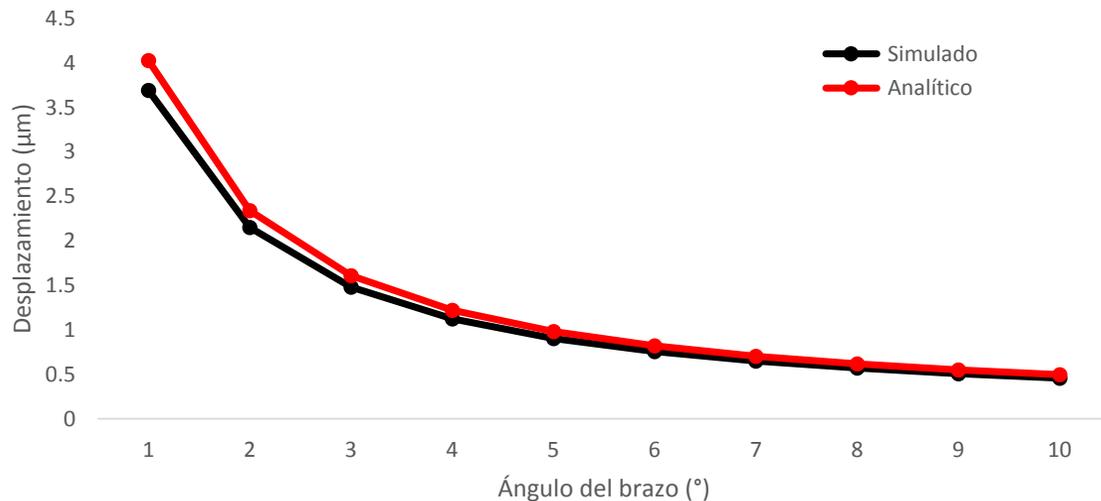


Con relación a la variación entre el *ángulo de inclinación y la fuerza*, mostrada en el gráfico 5, se observa:

- Un comportamiento lineal.
- El error en 0.1° es 5.3%, mientras que en 0.9° es de 8.8%.

Para la selección del ángulo en este rango deben considerarse nuevamente a las limitaciones del proceso de fabricación y la aplicación a la que se destine.

Gráfico 6 Ángulo de inclinación contra desplazamiento.

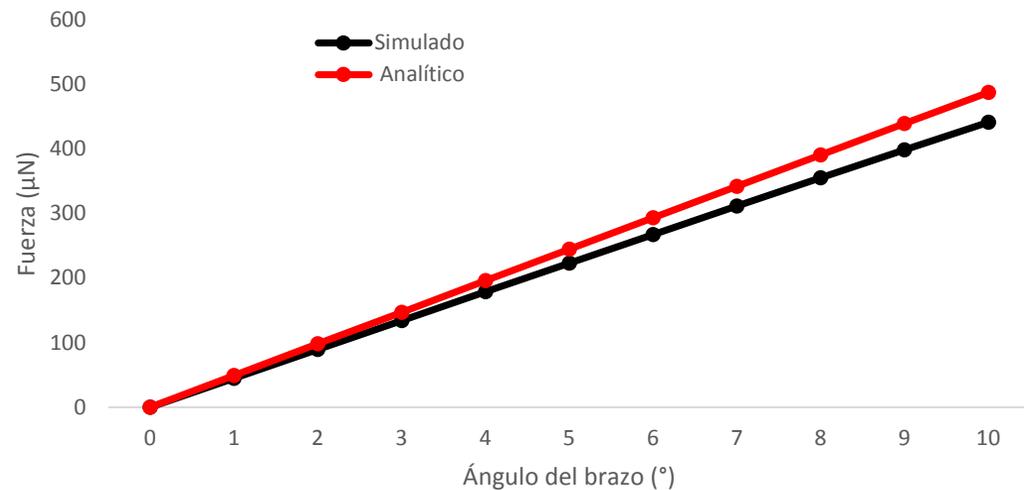


El gráfico 6 muestra la relación entre *ángulo y desplazamiento*, en la que se observa:

- Un comportamiento decreciente conforme se incrementa el tamaño del ángulo.
- El mayor error es del 8.4%.

La sugerencia es utilizar ángulos menores a 3° debido al amplio desplazamiento obtenido en la flecha, sin embargo, de acuerdo con la aplicación, debe considerarse también a la fuerza proporcionada (vea Gráfico 7).

Gráfico 7 Ángulo de inclinación contra fuerza.

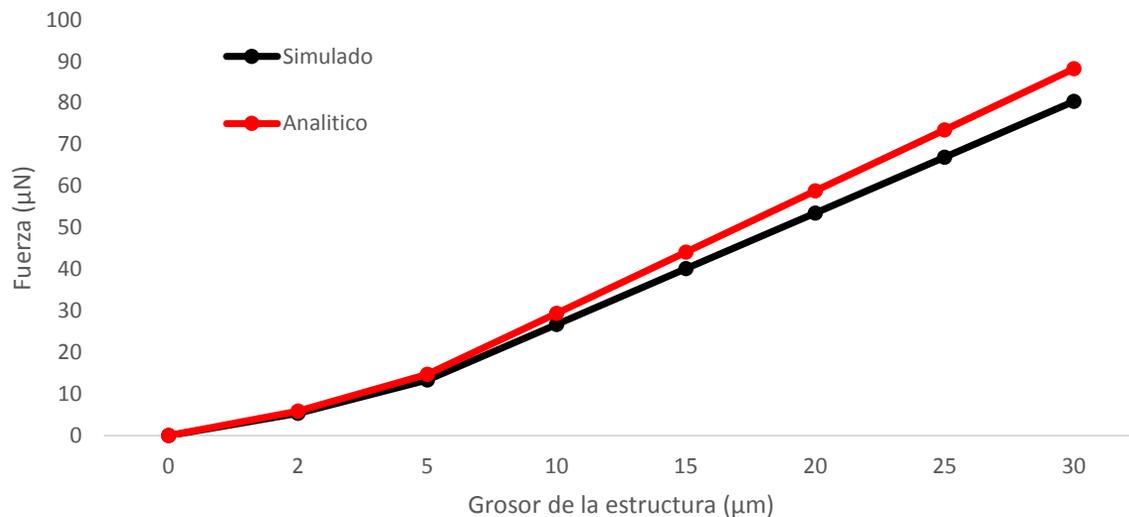


En el gráfico 7 se observa a la relación del *ángulo con la fuerza*, se observa que:

- Se obtiene una relación lineal
- El error máximo se encuentra en 10° y corresponde a 9.6%.

Si lo que se requiere es fuerza, se sugiere utilizar ángulos mayores, de acuerdo con la necesidad a atender.

Gráfico 8 Grosor del actuador contra fuerza.

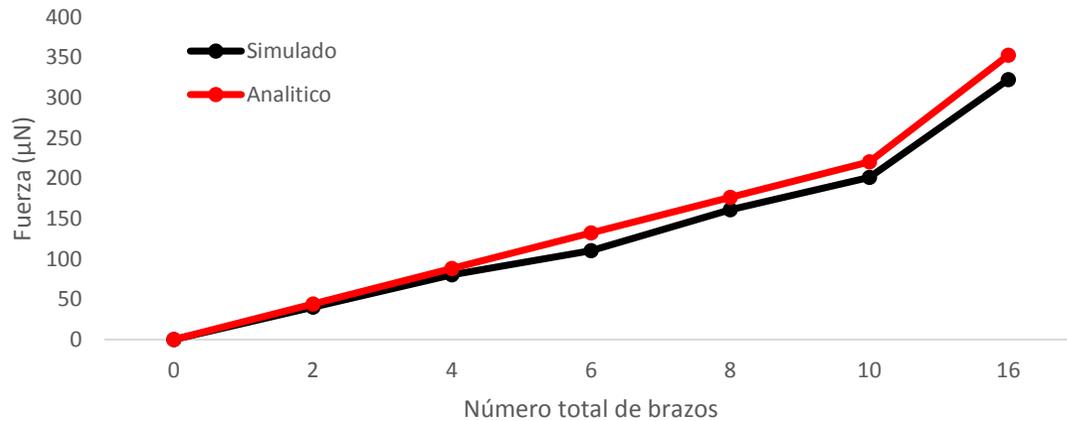


En el gráfico 8 se muestran los valores de la *fuerza al variar al grosor del dispositivo*. Se observa:

- Una variación lineal creciente de $2 \mu\text{m}$ a $30 \mu\text{m}$.
- En el último valor de grosor, se tiene un error de 8.9%.

En la literatura se encuentra comúnmente a grosores menores a $5 \mu\text{m}$, en la simulación de dispositivos. En nuestro caso, seleccionamos $15 \mu\text{m}$.

Gráfico 9 Número de brazos del actuador contra fuerza.



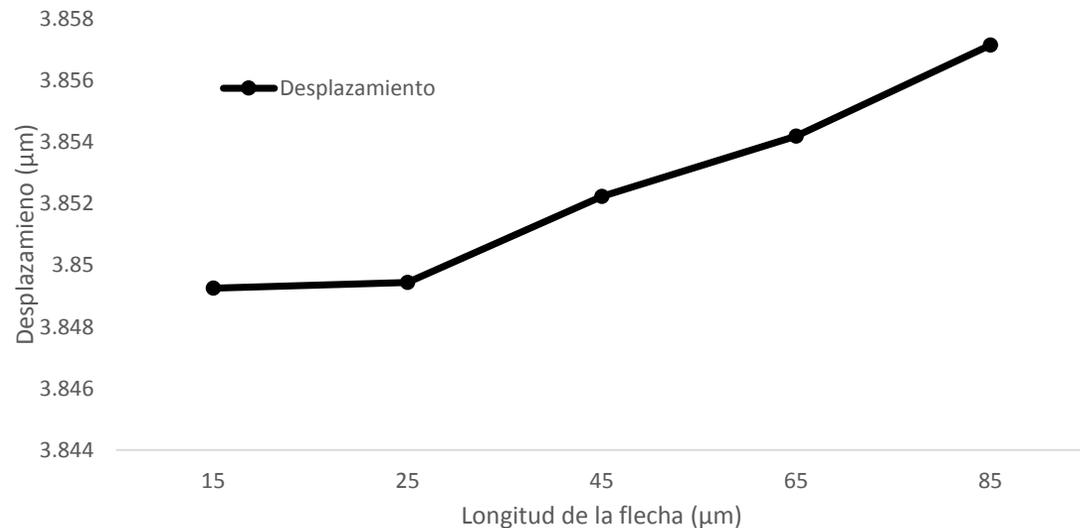
El Gráfico 9 muestra la relación entre la *fuerza y el número de brazos*.

Los datos mostrados para cada par de brazos, simulados y analítico, se obtuvieron por separado, de manera puntual.

En este caso, el mayor error obtenido fue de 9.39% para 16 brazos.

Aunque la fuerza se incrementa linealmente con el incremento en el número de brazos, suelen considerarse en general no más allá de 16.

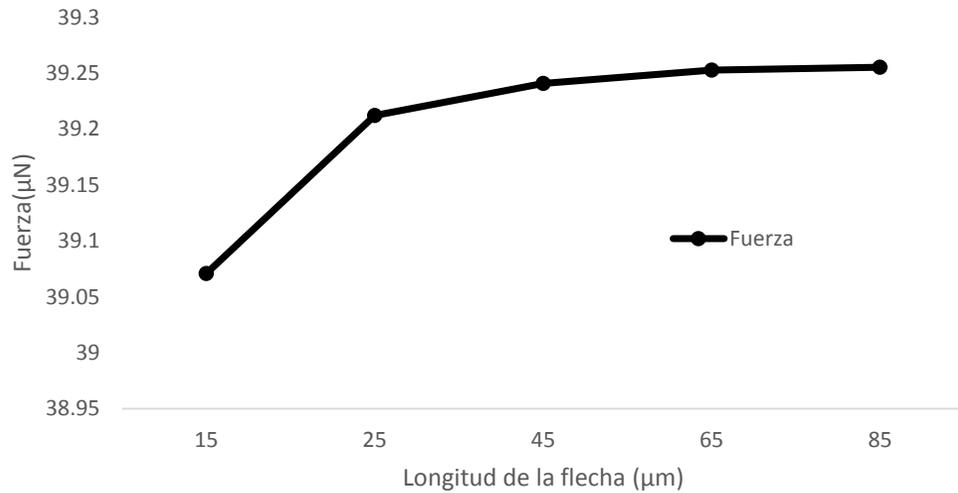
Gráfico 10 Longitud de la flecha contra desplazamiento.



Sobre el Gráfico 10, que presenta a la variación de la *longitud de la flecha y el desplazamiento* que genera, no se hallaron aproximaciones analíticas, por lo que solo se consideró a la simulación (también en los Gráficos siguientes).

Este caso fue analizado en (Báez Álvarez, 2011), para varias longitudes, de manera discreta, se coincide en que, al incrementar la longitud se incrementa al desplazamiento, aunque no se trata de una relación totalmente lineal. El autor menciona además que, con el incremento en las dimensiones de la flecha, se reduce su temperatura.

Gráfico 11 Longitud de la flecha contra fuerza.



Al incrementar la *longitud de la flecha*, se tiene:

Un incremento considerable en la fuerza entre 11 y 20 µm, y de ahí hasta 85 µm, no se observa un incremento notable.

Para obtener un comportamiento estable, se sugiere utilizar largo de flecha de 25 a 90 µm.

Gráfico 12 Ancho de la flecha contra desplazamiento.

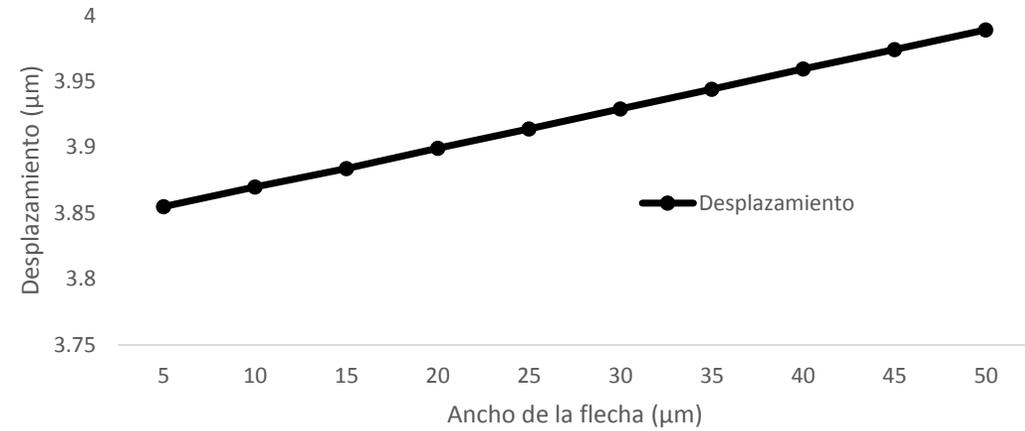
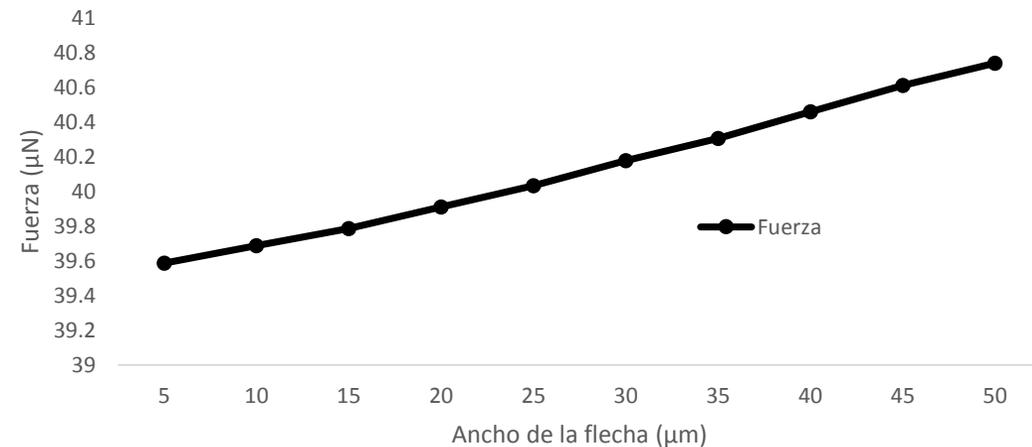
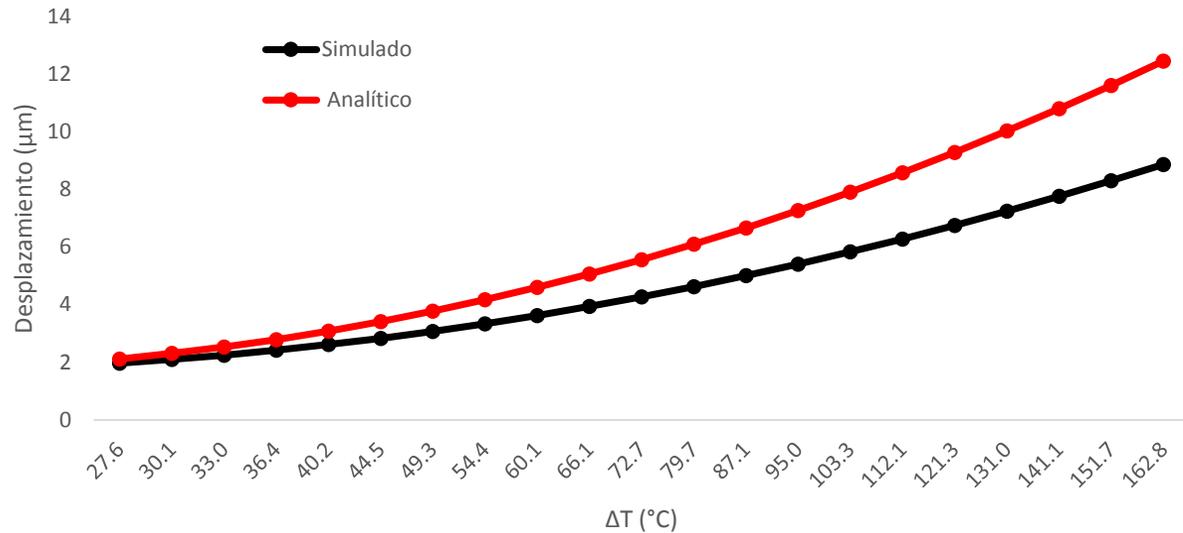


Gráfico 13 Ancho de la flecha contra fuerza.



Las variaciones del *ancho de la flecha sobre el desplazamiento y la fuerza* se muestran en los Gráficos 12 y 13. En ambos casos se aprecia la linealidad de la relación, con un comportamiento creciente. Sin embargo, los cambios en el rango de barrido no son significativos.

Gráfico 14 Gradiente de temperatura vs desplazamiento.

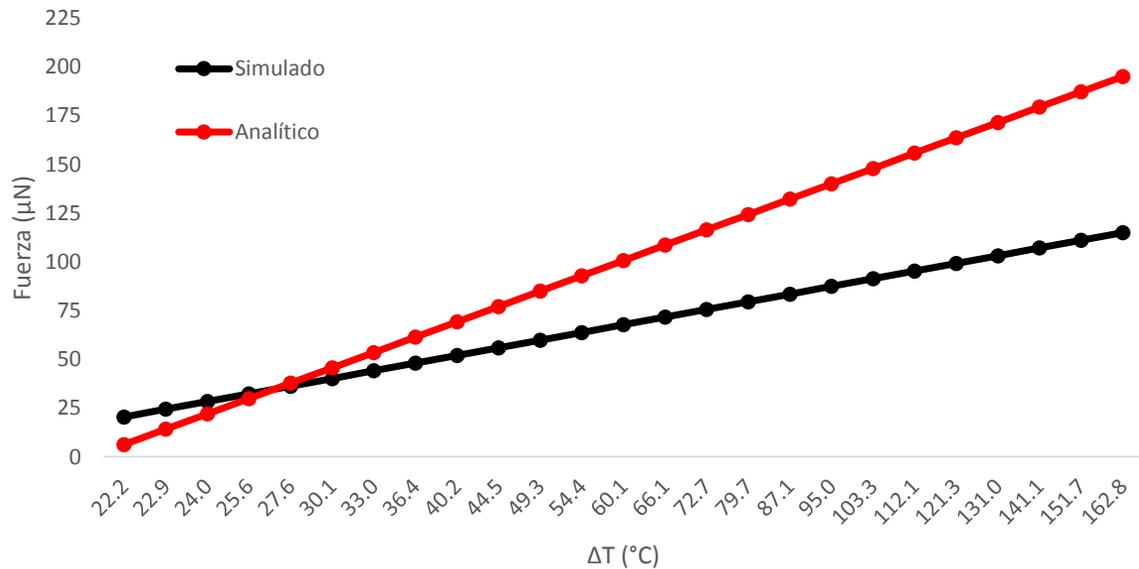


En el Gráfico 14, se muestra la relación entre el **gradiente de temperatura contra desplazamiento**:

- El mayor valor del error entre los resultados analíticos, obtenidos de la ecuación 2, y los obtenidos mediante simulación, es del 18%.
- Se observa un comportamiento creciente, conforme se incrementa la temperatura, en el rango considerado.

El valor del coeficiente de expansión térmica se mantuvo constante, como comúnmente se lleva a cabo en la literatura.

Gráfico 15 Gradiente de temperatura vs fuerza.



En el gráfico 15 se observa la relación de la **temperatura con la fuerza**:

Se tiene un comportamiento creciente y lineal.

- El error mayor entre las aproximaciones analítica y mediante simulación corresponde a 41.5%.
- Los incrementos observados en la simulación no son tan considerables, como en el caso analítico

Conclusiones

En este capítulo, se analizó la parametrización de los elementos de un actuador chevrón y se analizaron sus efectos sobre el desplazamiento y la fuerza de reacción en la flecha. Se presentan porcentajes de error, entre los resultados analíticos y los obtenidos mediante la simulación, menores al 10%, excepto en los casos de gradiente de temperatura contra fuerza y desplazamiento. Por lo que, es deseable que en un trabajo futuro se considere a la variación de los parámetros del material que dependen de la temperatura, en particular, del coeficiente de expansión térmica.

Con las parametrizaciones realizadas, pueden generarse recomendaciones que pueden ser útiles en el diseño de este tipo de actuadores.

Las tendencias observadas de manera gráfica, coinciden con los resultados que se hallaron en la literatura, correspondientes a otros grupos de trabajo, obtenidos mediante la simulación de manera discreta.

Conclusiones

Los procesos de parametrización, al realizar barridos rápidos de manera automatizada, reducen considerablemente el tiempo para obtener información sobre la tendencia del desempeño que muestra cada uno de los elementos bajo análisis, previendo el comportamiento del dispositivo.

En este caso, la parametrización de los elementos seleccionados y su efecto sobre el desplazamiento y la fuerza de reacción del actuador chevrón, permiten contar con criterios de selección de las dimensiones más adecuadas. Debe considerarse, además, que se satisfagan los requerimientos establecidos por la aplicación a la que se destinará el actuador, y también a los procesos de fabricación que se emplearán.

La simulación es una herramienta necesaria para obtener una aproximación sobre el desempeño de los dispositivos bajo análisis, para posteriormente implementarlos o fabricarlos, reduciendo el riesgo de posibles fallas que impliquen pérdidas económicas y de tiempo relacionadas. Una vez fabricados los prototipos, es posible realizar las pruebas experimentales para probar la factibilidad de su aplicación.

Referencias

- Zhu, Y., Corigliano, A., & Espino, H. (2016). A thermal actuator for nanoscale in situ microscopy testing: design and characterization. *J. Micromech. Microeng.* 16, 242–253.
- Yong, Z., Corigliano, A., & D Espinosa, H. (2006). A thermal actuator for nanoscale in situ microscopy testing: design and characterization. *Journal of Micromechanics and Microengineering Volume 16, Number 2*, 242-253.
- Kaajakari, V. (2009). *Practical MEMS*. Las Vegas, NV 89107: Small Gear Publishing.
- Vargas-Chable, P., Tecpoyotl-Torres, M., Robles-Casolco, S., & Cabello-Ruiz, R. (2015). Structural optimization of an electrothermal chevron V- shape microactuator device. *2015 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)* (págs. 262-267). Cuernavaca, Morelos: IEEE. DOI: 10.1109/ICMA.2015.7237626.
- Báez Álvarez, C. R. (2011). *Caracterización de Microactuadores Tipo Chevrón Fabricados con la Tecnología PolyMEMS-INAOE. Tesis de Maestría*. Tonantzintla, Puebla, Puebla, México: INAOE.
- Trung Hoang, K., Tien Nguyen, D., & Hong, P. (2019). Impact of design parameters on working stability of the electrothermal V-shaped actuator. *Microsystem Technologies* 26, 1479–1487.
- Kwan, A., Song, S., Lu, X., Lu, L., Teh, Y.-K., Teh, Y.-F., . . . Zeng, F. (2012). Improved design for an electrothermal in-plane microactuator. *Microelectromech Syst Vol. 21 No. 3*, 586-595.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)