

Sasil Palacios Chavarria  
Facultad de IngenieríaDaniela González Cruz  
Facultad de IngenieríaHernando Efraín Caicedo Ortiz  
Facultad de Ingeniería

## INTRODUCCIÓN

Este documento explica todo lo relativo a los cálculos y procedimientos necesarios para elaborar una férula articulada automatizada, misma que busca servir como una herramienta para el paciente y el médico durante el periodo de rehabilitación de una lesión en las articulaciones de la mano o un padecimiento similar. Se busca generar una estructura segura que cumpla con todos los requerimientos médicos y que además sea fácil de usar en la comodidad del hogar, ahorrando al médico y al paciente tiempo y esfuerzo. Los objetivos son optimizar el diseño y automatizar una férula dinámica articulada previamente diseñada; determinar la velocidad necesaria para una recuperación eficiente de los ligamentos de una mano, dados el tiempo y la presión ejercida; establecer parámetros de presión de manera sencilla para el usuario, indicados en valores del 1 al 10 y explicar el concepto de fuerza, velocidad, tiempo y presión.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó el diseño del aparato de acuerdo con la investigación previa; se imprimió en 3D y se ensambló el modelo; se programaron y conectaron los sensores piezoeléctricos al Arduino y a una pantalla LCD; se integraron los sensores al prototipo; se construyó una caja para almacenar el cableado; se hicieron los cálculos correspondientes con las siguientes fórmulas:

$$F = -k dx$$

$$\Delta \bar{x} = \frac{3\sigma}{\sqrt{N-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$x = Vot + \frac{at^2}{2} + Xo$$

$$a = \frac{2x}{t^2}$$

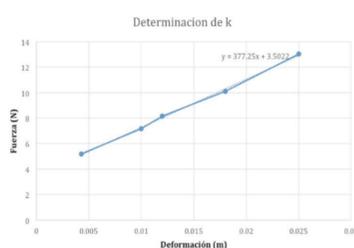
$$V = at + Vo$$

Después, se hicieron pruebas de fuerza y se compararon los valores de respuesta del sensor; y se calculó la velocidad y aceleración de cada dedo y de la mano completa.

## RESULTADOS

Deformación (m)	Fuerza (N)
0.0043 ± 0.0001	5.1993 ± 0.0001
0.01 ± 0.0001	7.1613 ± 0.0001
0.012 ± 0.0001	8.1423 ± 0.0001
0.018 ± 0.0001	10.1043 ± 0.0001
0.025 ± 0.0001	13.0473 ± 0.0001

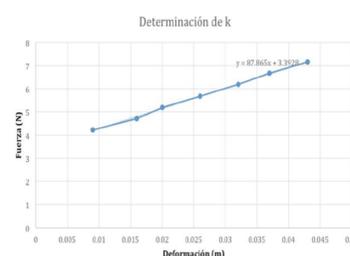
Resorte 1: fuerza contra deformación



Unidad	Deformación(m)	Trabajo (J)
1	0.00039 ± 0.00001	0.000057 ± 0.000002
2	0.00078 ± 0.00001	0.000228 ± 0.000002
3	0.00116 ± 0.00001	0.00051 ± 0.000005
4	0.00155 ± 0.00001	0.000908 ± 0.000006
5	0.00194 ± 0.00001	0.00142 ± 0.000008
6	0.00233 ± 0.00001	0.002047 ± 0.000009
7	0.00272 ± 0.00001	0.002788 ± 0.000011
8	0.00310 ± 0.00001	0.003632 ± 0.000012
9	0.00349 ± 0.00001	0.004599 ± 0.000014
10	0.00388 ± 0.00001	0.005682 ± 0.000015

Resorte 1: deformación y trabajo

Deformación (m)	Fuerza (N)
0.001 ± 0.001	3.2373 ± 0.0001
0.009 ± 0.001	4.2183 ± 0.0001
0.016 ± 0.001	4.7088 ± 0.0001
0.02 ± 0.001	5.1993 ± 0.0001
0.026 ± 0.001	5.6898 ± 0.0001
0.032 ± 0.001	6.1803 ± 0.0001
0.037 ± 0.001	6.6708 ± 0.0001
0.043 ± 0.001	7.1613 ± 0.0001



Resorte 2: fuerza contra deformación

Unidad	Deformación (m)	Trabajo (J)
1	0.00167 ± 0.00001	0.000244 ± 0.000002
2	0.00333 ± 0.00001	0.000975 ± 0.000003
3	0.005 ± 0.00001	0.002197 ± 0.000005
4	0.00667 ± 0.00001	0.003907 ± 0.000007
5	0.00833 ± 0.00001	0.006099 ± 0.000008
6	0.01 ± 0.00001	0.008786 ± 0.00001
7	0.01167 ± 0.00001	0.011963 ± 0.000011
8	0.01333 ± 0.00001	0.015616 ± 0.000013
9	0.015 ± 0.00001	0.019769 ± 0.000015
10	0.01667 ± 0.00001	0.024412 ± 0.000016

Resorte 2: deformación y trabajo

Unidad	Fuerza (N)
1	0.1464 ± 0.0001
2	0.2928 ± 0.0001
3	0.4393 ± 0.0001
4	0.5857 ± 0.0001
5	0.7322 ± 0.0001
6	0.8786 ± 0.0001
7	1.0251 ± 0.0001
8	1.1715 ± 0.0001
9	1.3179 ± 0.0001
10	1.4644 ± 0.0001

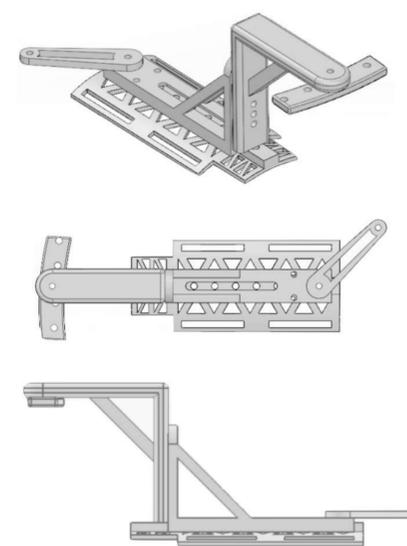
Valores captados por el sensor

Unidad	Velocidad (m/s)	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )
1	7.7636 x 10 <sup>-6</sup>	7.7636 x 10 <sup>-5</sup>
2	1.5527 x 10 <sup>-6</sup>	1.5527 x 10 <sup>-5</sup>
3	2.329 x 10 <sup>-5</sup>	2.329 x 10 <sup>-4</sup>
4	3.1054 x 10 <sup>-5</sup>	3.1054 x 10 <sup>-4</sup>
5	3.8818 x 10 <sup>-5</sup>	3.8818 x 10 <sup>-4</sup>
6	4.6581 x 10 <sup>-5</sup>	4.6581 x 10 <sup>-4</sup>
7	5.4345 x 10 <sup>-5</sup>	5.4345 x 10 <sup>-4</sup>
8	6.2109 x 10 <sup>-5</sup>	6.2109 x 10 <sup>-4</sup>
9	6.9872 x 10 <sup>-5</sup>	6.9872 x 10 <sup>-4</sup>
10	7.7636 x 10 <sup>-5</sup>	7.7636 x 10 <sup>-4</sup>

Velocidad y aceleración resorte 1

Unidad	Velocidad (m/s)	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )
1	3.3333 x 10 <sup>-5</sup>	3.3333 x 10 <sup>-4</sup>
2	6.6666 x 10 <sup>-5</sup>	6.6666 x 10 <sup>-4</sup>
3	1 x 10 <sup>-4</sup>	1 x 10 <sup>-3</sup>
4	1.3333 x 10 <sup>-4</sup>	1.3333 x 10 <sup>-3</sup>
5	1.6666 x 10 <sup>-4</sup>	1.6666 x 10 <sup>-3</sup>
6	2 x 10 <sup>-4</sup>	2 x 10 <sup>-3</sup>
7	2.3333 x 10 <sup>-4</sup>	2.3333 x 10 <sup>-3</sup>
8	2.6666 x 10 <sup>-4</sup>	2.6666 x 10 <sup>-3</sup>
9	3 x 10 <sup>-4</sup>	3 x 10 <sup>-3</sup>
10	3.3333 x 10 <sup>-4</sup>	3.3333 x 10 <sup>-3</sup>

Velocidad y aceleración resorte 2



## REFERENCIAS

1. Armstrong T. Biomechanics of Hand Work: Force. The University of Michigan. Slides 1-72; 2002.
2. Ardila A Física experimental, 2a ed., Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2007.
3. Zambudio R. Prótesis, Ortesis y ayudas técnicas, España: Elsevier; 2009.
4. Ortiz S, Velásquez E. (2016). Férula dinámica para mano con extensor de dedos, pulgar y muñeca. Universidad Autónoma de Nuevo León; 2016.
5. Ahued A. 26 por ciento de accidentes laborales son en muñecas y manos. Secretaría de Salud; 2017.
6. INEGI. Distribución porcentual de los accidentes de trabajo por región anatómica según sexo; 2002.

## DISCUSIÓN

Al final, se logró crear un prototipo funcional fácil de usar para la rehabilitación de una lesión en las articulaciones y/o ligamentos del brazo a través de una ortesis para rehabilitación de articulaciones automatizada con sensores de fuerza, que permite que el usuario realice sus ejercicios de rehabilitación de la mano en su hogar por medio de series de 10 segundos, aplicando la presión indicada por el médico en cada dedo. De igual manera, se determinó el tiempo óptimo que debe ejercer cierta presión para recuperarse de manera más rápida y eficiente. Al marcar la presión en la pantalla en un rango del 1 al 10, pudimos determinar la constante de los resortes mediante la ley de Hooke, al igual que calcular las fuerzas y la deformación de estos para así determinar el valor de cada nivel de presión en Newtons.