



# Diseño del control electrónico de una mano biónica impresa en 3D para realizar el agarre cilíndrico

L. E. Rosales Espinoza L. H. Rascón Madrigal

Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
Programa de Ingeniería Biomédica

## Resumen

Este documento contiene un acercamiento a la emergente tecnología de la biónica utilizando tecnología de impresión 3D. En él se encuentran las consideraciones que se han tomado para realizar un proyecto acerca de una mano biónica de bajo costo impresa en material ABS, así como la metodología que se siguió para concluirlo. Es importante recalcar el objetivo de este proyecto, el cual es controlar la fuerza de agarre de los objetos a través de un sistema de control PID. Los resultados obtenidos en este proyecto de titulación han sido satisfactorios según los objetivos establecidos al inicio del mismo. Se ha podido comprobar que es posible utilizar un control de lazo cerrado, utilizando sensores piezoresistivos como agentes de retroalimentación. Además, se ha logrado desarrollar un programa en el software LabVIEW™ para tener visualización de la respuesta del sistema durante la ejecución de las funciones prensiles.

## Introducción

La mano es uno de los instrumentos biológicos que juega un papel muy importante en nuestras vidas, ya sea para agarrar, manipular, sentir, acariciar o a veces hasta para comunicarnos. Debido a que la mano se involucra profundamente en nuestras vidas, su estado funcional es sumamente importante para determinar a exactitud, memoria utilizada y tiempo de respuesta del sistema [1]. En la actualidad la impresión 3D ha traído grandes avances en diferentes áreas como la manufactura, construcción, medicina, entre otras. La popularidad de tal tecnología para resolver problemas de la vida cotidiana ha hecho que la impresión 3D se adentre en el ámbito de las prótesis como una alternativa novedosa para rehabilitar a personas con amputaciones a un menor costo; sin embargo, las investigaciones de prótesis biónicas impresas en 3D son escasas en la actualidad ya que en su mayoría son prótesis con un control mecánico.

## Objetivos

Diseñar el control electrónico de una mano biónica capaz de realizar el agarre cilíndrico.

- Imprimir en 3D la mano biónica utilizando el diseño open-source Inmoov que cuenta con 3 grados de libertad en cada dedo.
- Armar el modelo de la mano Inmoov y acoplar los sensores a los dedos de la mano.
- Implementar el sistema de control tipo PID de lazo cerrado para la mano biónica utilizando el programa LabVIEW™ así como un circuito de divisor de voltaje para cada sensor.
- Realizar pruebas funcionales con la mano para definir la salida requerida de cada sensor para sostener tres diferentes objetos: una lámpara de mano, un desarmador y una bomba de aire de mano.
- Comprobar que la mano biónica es capaz de realizar el agarre en los objetos establecidos, utilizando la fuerza necesaria para sostenerlos a través del sistema de control implementado.

## Metodología

La Figura 1 muestra un esquema general de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto. La Figura 2 muestra un esquema del funcionamiento del sistema completo,

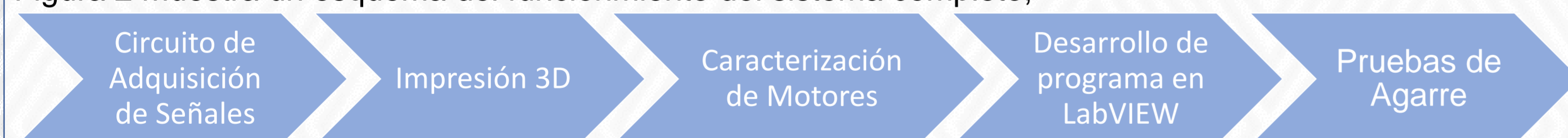


Figura 1. Esquema general de metodología.

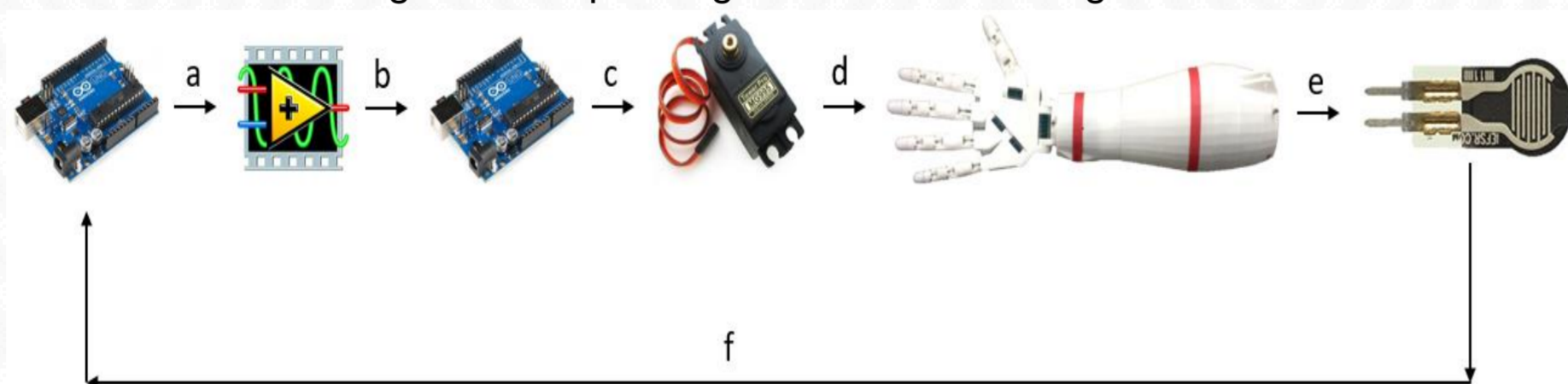


Figura 2. Esquema general de metodología.

Para obtener la señal del sensor se implementó un divisor de voltaje recomendado por el fabricante. El valor de resistencia que el fabricante recomienda es de 10 KΩ. La alimentación de este circuito se realizó con 5.0 V.

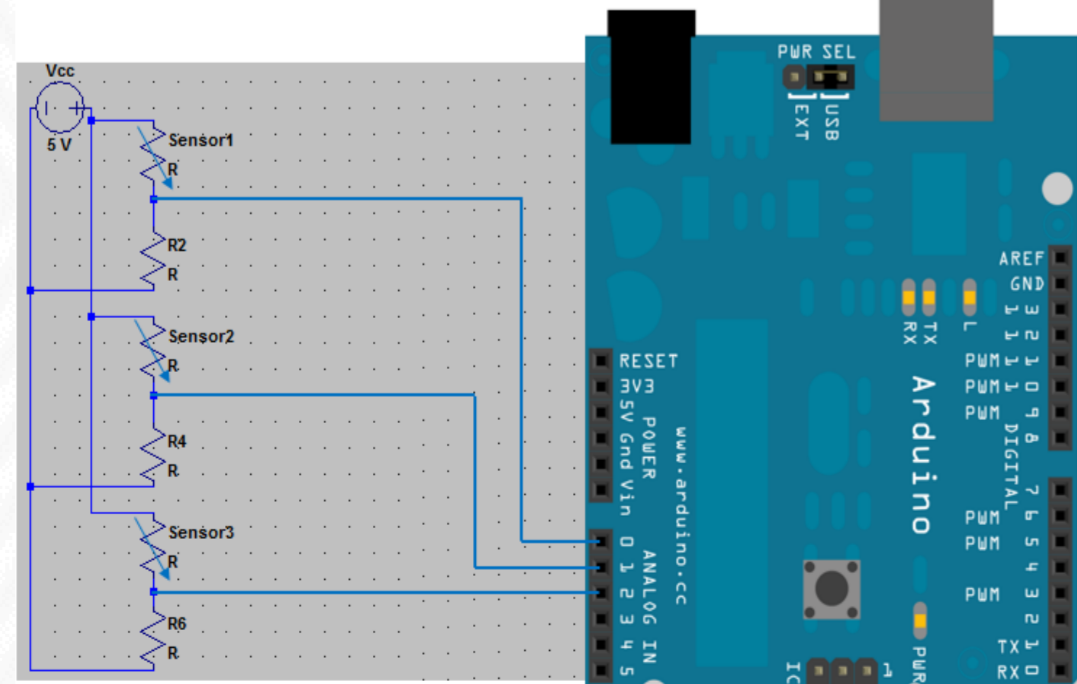


Figura 3. Circuito acondicionador para adquisición de señales

Se imprimió el modelo Inmoov con una impresora 3D en material ABS blanco a un 50% de densidad. Al tener la totalidad de las partes impresas, algunas partes tuvieron que ser lijadas y adecuadas al diseño, debido a que la impresión 3D es muy susceptible a las variables ambientales. La Figura 4 muestra las piezas de la impresión por separado y la mano ya al ser armada.



Figura 3. Mano robótica impresa en 3D armada.

## Metodología

Los servomotores fueron alimentados con fuente externa debido a que la placa Arduino no provee la corriente necesaria para alimentar a los motores. La señal PWM generada en la placa Arduino se conectó directamente a la terminal PWM del motor (Figura 5).

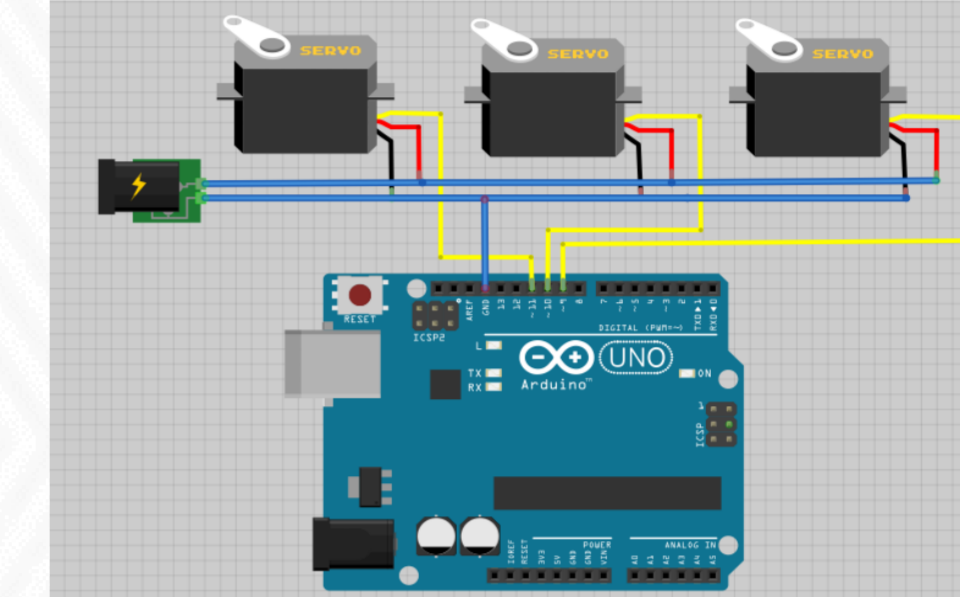


Figura 5. Alimentación para los servomotores.

Los sensores FSR 400 que se utilizaron fueron adheridos a las yemas de las falanges distales de los tres dedos establecidos en los objetivos del proyecto utilizando cinta aislante. Además, fue necesario agregar un aumento el cual presionara el sensor debido a que, por su naturaleza de film, estos no siempre hacían contacto con los objetos en el agarre.



Figura 6. Aumento que se adecuó a los sensores para lograr sentir el objeto.

## Resultados

Se realizaron pruebas de agarre con los tres objetos establecidos en los objetivos del proyecto: lámpara, bomba de aire y desarmador. La Figura 6 muestra los objetos con los que se realizaron las pruebas de agarre así como las gráficas de la respuesta de control al hacer el agarre con cada objeto.



Figura 6. Pruebas de agarres con los tres objetos establecidos.

Para poner a prueba la estabilidad del control PID de cada dedo se les hicieron perturbaciones externas a los dedos mientras hacían el agarre. Para realizar esta prueba, primero se posicionó a la mano en el estado inicial (abierto), luego se posicionó en estado final (cerrado), para después causar la perturbación al sistema y observar su respuesta. Por último, la mano se regresó a la posición inicial (abierto). La Figura 7 muestra la perturbación al liberar la presión de los dedos contra el objeto y la Figura 8 muestra la perturbación al presionar los dedos contra el objeto.

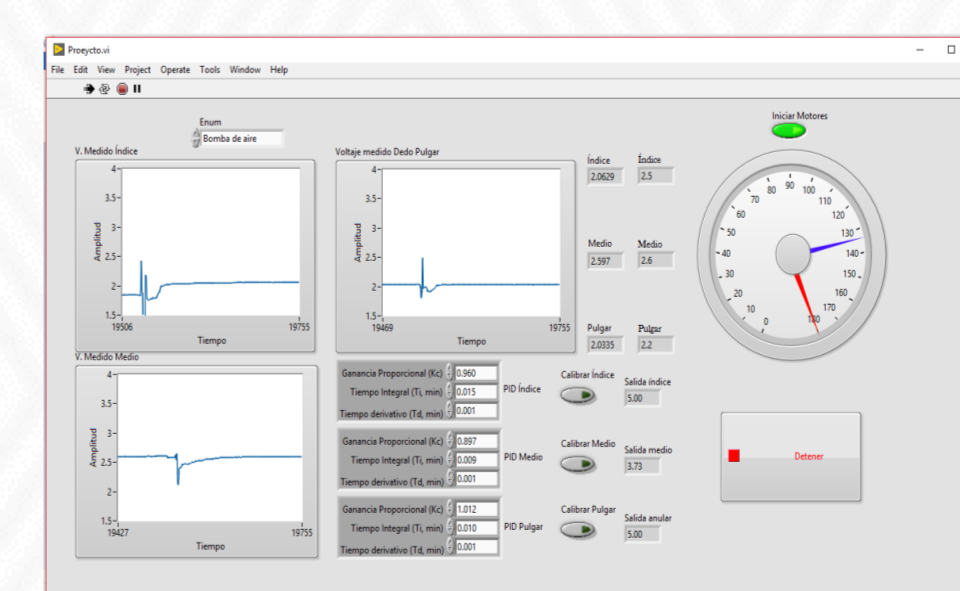


Figura 7. Perturbación al mover el objeto sostenido.

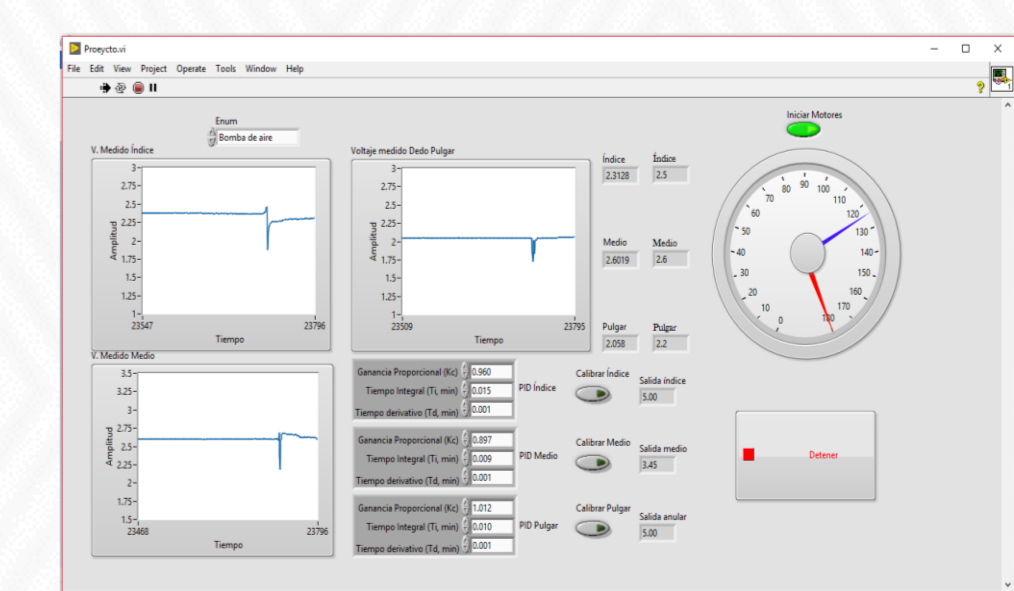


Figura 8. Perturbación al liberar la presión de los dedos contra el objeto.

## Conclusiones

En base a los objetivos que se definieron al inicio del proyecto, se puede decir que efectivamente es posible controlar el agarre de objetos de una mano biónica, al utilizar sensores piezoresistivos en las yemas de las falanges distales de los dedos, en conjunto con un programa de control desarrollado en LabVIEW™ y una placa Arduino UNO como tarjeta de adquisición. Esto, puede ser un antecedente importante para futuros prototipos de prótesis de manos biónicas de bajo costo. Es importante mencionar que el costo de la producción de la mano biónica de este proyecto, aún en fase de prototipo, es considerablemente menor al precio de una mano biónica capaz de controlar la fuerza de agarre existente en el mercado.

## Referencias

- [1] J. Yang, «A multi-fingered hand prosthesis,» Mechanism and Machine Theory, vol. 39, nº 6, pp. 555-581, 2004.