

Diseño de un sistema para la emulación de movimiento en una mano robotizada a bajo costo

Oscar M. Duque S,
oduques@sena.edu.co
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

Andres M Puentes V,
apuentesv@sena.edu.co,
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

David A Arredondo R,
david0910sena@gmail.com,
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

Elmer D Yaruro V
eduvanyaruro@gmail.com,
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

Resumen. En el presente artículo, se describirá el desarrollo de un sistema de emulación de movimiento robotizado en mano con bajo costo siguiendo la metodología STEM. (Science Technology Engineering Mathematics). Los desarrollos de un sistema de emulación de mano suelen ser costosos y Tecnoacademia Cúcuta tiene la limitante de hacer desarrollo con el material de formación. Como etapa inicial se realizó un estudio de antecedentes y STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema para la emulación del movimiento de mano, además la anatomía de mano; para seleccionar los dispositivos de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto. La etapa siguiente, consistió en diseñar el sensor de lectura de movimiento de falange y un guante que compila todos los dedos de la mano y una maqueta de emulación de mano donde se puede visualizar los mandos (órdenes) obtenidos de la lectura de movimiento de cada falange. Para el logro del objetivo general, fue necesario realizar el código de control en una tarjeta de desarrollo que registrara los datos del sensor de cada falange y las remite los actuadores de la maqueta de emulación de mano. Para finalizar, se articuló el sistema de sensado de los movimientos de cada falange con la mano robotizada de cinco falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y con interfaz de visualización en Excel de señales de Microsoft Education.

Palabras Clave: TEM, mano, robotizado, Velostat, mando, sensor.

Abstract. In this article, we will describe the development of a robotic hand-held emulation system with low cost following STEM methodology. The developments of a hand-held emulation system are usually expensive and Tecnoacademia Cúcuta has the limitation of developing with the training material. As an initial stage, a background study and STEM of Microsoft Education was carried out in the development of a system for the emulation of hand movement, in addition to hand anatomy; to select the instrumentation, processing, visualization and materials necessary for the project. The next stage was to design the phalange motion reading sensor and a glove that compiles all the fingers of the hand and a hand-held emulation model where you can visualize the controls (orders) obtained from the movement

reading of each phalanx. In order to achieve the general objective, it was necessary to carry out the control code on a development card that recorded the sensor data of each phalanx and sent by the actuators of the hand-held emulation model. Finally, the sensing system of the movements of each phalanx was articulated with the robotic hand of five phalanges with which Tecnoacademia Cúcuta has an Excel display interface for Microsoft Education signals.

Keywords: STEM, hand, robotic, Velostat, control, sensor.

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de poder reproducir el funcionamiento de la anatomía humana ha sido, a lo largo del tiempo, uno de los mayores intereses de la ciencia. Desde la antigüedad, el hombre ha construido diferentes dispositivos que le permiten emular sus movimientos, con el fin de ser empleados, ya sea para estudiar el comportamiento fisiológico del hombre o para facilitar las labores en el diario vivir [1]. Estos se diseñaron para funcionar automáticamente o empleando un sistema de control hombre – máquina. Pero es hasta mediados del siglo veinte en donde se logran construir los primeros robots industriales pesados, con electrónica compleja y con un rango de funciones muy limitado. El verdadero reto sería poder transmitir la sutileza de la mano humana como principal componente de la manipulación para el hombre en un sistema robotizado.

La ingeniería y la medicina han unido fuerzas y experiencias en la búsqueda de dispositivos que permitan mejorar la calidad de vida de las personas [2], esto ha permitido el diseño de instrumentos más precisos y eficaces de emulación [3]. El presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de emulación de movimiento robotizado de la mano humana de bajo costo para los procesos de aprendizaje de Tecnoacademia Cúcuta y como principio para aplicaciones en tele-operación robotizada, manipulación segura y diseños biomecánicos de imitación del movimiento.

II. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

A. Problema.

Tecnoacademia Cúcuta como escenario de aprendizaje dotado de tecnologías emergentes en la línea de Ingeniería robótica que busca apropiar conocimientos a través del desarrollo de proyectos de investigación aplicada e innovación, teniendo como población objetivo a los estudiantes de los colegios. Dentro de las áreas de interés de Tecnoacademia Cúcuta esta la bioingeniería y el desarrollo de sistemas de emulación de movimiento humano y el uso de dichas señales para generar mandos (órdenes) en sistemas robotizados. [4]

El principal limitante de los desarrollos de los proyectos de investigación en Tecnoacademia Cúcuta es el costo asociado a los mismos, dado que se debe trabajar con los materiales de formación disponibles y el 90% de los aprendices son de bajos recursos entre los estratos 1 y 2. Para los procesos formativos bajo metodología STEM es importante el desarrollo de proyectos de ingeniería aplicada, pero al alcance de los recursos con los que se disponen.

¿Cómo se podrían generar mandos y órdenes a un sistema de emulación del movimiento de mano robotizado de bajo costo por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta?

B. Justificación.

Tecnoacademia Cúcuta cuenta con un fuerte programa de formación en electrónica, robótica e investigación, esta última a través del semillero SEIINTAC y dentro de sus líneas de investigación está la biomecánica y bioingeniería. El desarrollo de un sistema de emulación de movimiento de mano robotizada de bajo costo y bajo metodología STEM es completamente viable si articulamos esfuerzos entre los recursos disponibles en los materiales de formación de Tecnoacademia Cúcuta, los conocimientos adquiridos y los lineamientos STEM de Microsoft Education.

El desarrollo del proyecto de emulación del movimiento robotizado de mano daría continuidad a un proyecto anterior desarrollado por aprendices de Tecnoacademia Cúcuta en el diseño de una mano robotizada de cinco falanges y al cual complementaría el desarrollo de la emulación. Mediante la adecuada selección de elementos se podría establecer un sensor de movimiento lo suficientemente útil y de bajo costo para cada falange de manera que se midan los movimientos [5], y enviar estas señales a actuadores que permitan la emulación del movimiento, siempre en el marco del uso de software, hardware abierto, de elementos de bajo costo; delimitados a los materiales de formación y contenidos formativos de Tecnoacademia Cúcuta.

III. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

A. Objetivo General

- Desarrollar un sistema de emulación de movimiento robotizado de mano de bajo costo siguiendo metodología STEM.

B. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de antecedentes y de STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema de

emulación de movimiento de mano, además de anatomía de mano; para seleccionar los elementos de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto.

- Diseñar el sensor de lectura de movimiento de falange y un guante que compile todos los dedos de la mano y una maqueta de emulación de mano donde se pueda visualizar los mandos (órdenes) obtenidos de la lectura de movimiento de cada falange.
- Realizar el código en una tarjeta de desarrollo que registre los datos del sensor de cada falange y las remita a los actuadores de la maqueta de emulación de mano.
- Articular el sistema de sensado de los movimientos de cada falange con la mano robotizada de cinco falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y con interfaz de visualización en Excel de señales de Microsoft Education

C. Metodología del desarrollo de la investigación

Como metodología pedagógica se usó, la STEM que por política Tecnoacademia es la debemos usar basada en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática. Como metodología de diseño usaremos “diseño concurrente” que es ideal para el diseño de prototipos mecatrónicos, y se basa en analizar el diseño desde todos los puntos de vista, mecánico, electrónico, de programación al mismo tiempo. [6] Las fases son estudio y diseño del prototipo, diseño e implementación, pruebas de conexión y emulación. [7] Los productos son:

1. Prototipo de sensor de movimiento de falanges acoplado en forma de guante.
2. Conexión a interface en Excel para percibir el porcentaje de extensión de cada variable
3. Emulación del movimiento robotizado de mano.

D. Antecedentes

“Diseño de un prototipo electromecánico para la emulación de los movimientos de un brazo humano” desarrollado por Gallo Sánchez, Luisa Fernanda; Guerrero Ramírez, Mónica Alejandra; Vásquez Salcedo, Juan Diego; desarrollado en el 2016 en la Universidad de Ibagué [8], este trabajo aportó ideas en la forma de crear emulación de mano.

También en el 2016, se desarrolló en la Universidad de Pamplona el trabajo titulado “Diseño de un sistema de percepción de señales mioeléctricas usando reconocimiento de patrones para control de una prótesis virtual de mano”, desarrollado por Carlos David Flórez Mora y Elkin Said Jaimes Martínez [9]. Este segundo trabajo, aportó formas de generar mandos o órdenes a una emulación.

En el 2013 el proyecto “Filtrado de señales de EMG de superficie basado en la red neural cuántica para el control de la mano robótica” Desarrollado por Gandhi, Vaibhav S. y McGinnity, Thomas-Martin y presentado en la “International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)” en Dallas, Texas USA [10]. El tercer antecedente aportó formas de reconocimiento de patrones y las ordenes

que pueden acabar en una mano robotizada. Se debe hacer énfasis que se tomó en cuenta aquello que se podía aplicar.

E. Criterios de Diseño y Selección

Para hacer el desarrollo de la emulación y la implementación de la mano robotizada que iba a ejecutar las órdenes, con el equipo de trabajo se realizó el levantamiento de los criterios de diseño y selección de los actuadores, sensores, tarjeta de procesamiento [11] y la maqueta de mano robotizada, ver Tabla 1.

TABLA I. CRITERIOS DE DISEÑO.

CRITERIOS ACTUADORES	CRITERIOS SENSOR	CRITERIOS TARJETA DE PROCESAMIENTO	CRITERIOS MANO ROBOTIZADA
BAJO PESO	BAJO COSTO	BAJO COSTO	MORFOLOGÍA DE MANO Y FALANGE CON BUENA EMULACIÓN
BAJO VOLUMEN	FÁCIL DE ADAPTAR A NIVEL ELECTRÓNICO	PRESENTE EN LA LINEA DE FORMACIÓN DE LOS APRENDICES DE TECNOACADEMIA CÚCUTA	LOS MECANISMOS DE MOVIMIENTO DE LAS FALANGES SEAN DE BAJO TORQUE
BAJO CONSUMO ENERGÉTICO	ALTA RESOLUCIÓN Y SENSIBILIDAD	ACEPTABLE RELACIÓN ENTRADAS SALIDAS, QUE DISPONGA SALIDAS PWM Y ENTRADAS ANALÓGICAS	RELACIÓN VOLUMEN-PESO BAJA
ADAPTABLE TECNOLÓGICAMENTE A LA TARJETA DE PROCESAMIENTO Y DE PREFERENCIA PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES	ADAPTABLE TECNOLÓGICAMENTE A LA TARJETA DE PROCESAMIENTO Y DE PREFERENCIA PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES	PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES	ADAPTABLE TECNOLÓGICAMENTE A LA TARJETA DE PROCESAMIENTO Y DE PREFERENCIA PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES

FUENTE: PROPIA

IV. DESARROLLO DEL DISEÑO

Se inició con la selección de la instrumentación y la tarjeta de procesamiento. Para el desarrollo del sensor escogimos el material Velostat de referencia ADAFR 1361 que es sensible a la presión y a la extensión ejercida sobre él, de tal manera que, a estos cambios, el material modifica su resistencia.

A. Instrumentación con ADAFR 1361 Velostat

Este material conductivo también conocido como Velostat o Linqstat es un accesorio ideal para tus sensores tipo Wearable. Este material es sensible a la presión ejercida sobre él de tal manera que a mayor presión menor resistencia.

Características:

- Grosor 4mil / 0.1mm
- Límites de temperatura - 45°C hasta 65°C
- Resistividad por volumen <500 ohm-cm

- Resistencia por superficie < 31KΩ/cm cuadrado

B. Procesamiento ARDUINO UNO

Para el procesamiento se escogió la Arduino UNO, dado que cuenta con 14 pines entra/salida y 6 entradas analógicas. Suficientes para las necesidades del proyecto.

Características

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje Operativo: 5v
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 V.
- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM) Pines de Entradas Analógicas: 6
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB
- Bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328) EEPROM: 1 KB (ATmega328) Velocidad del Reloj: 16 MHZ

C. Visualización – HMI en Excel de STEM de Microsoft Education

Se optó por seleccionar la interfaz de visualización, por lo que se escogió la HMI (interface humano máquina) en Excel de STEM de Microsoft Education. Todo bajo la guía STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema de emulación de movimientos de mano para la generación de ordenes en una mano robotizada, [12] ver Fig. 1.

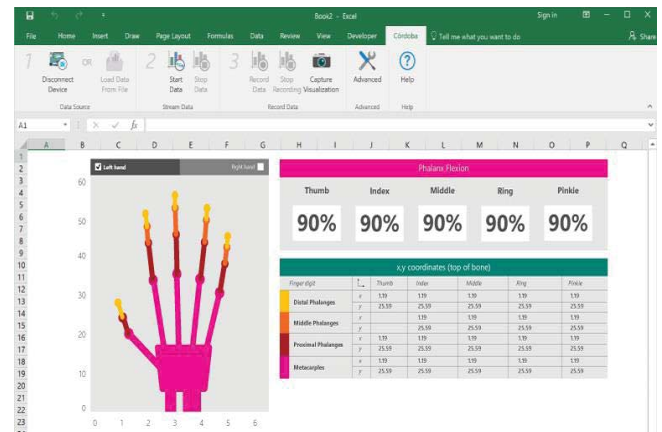


Fig. 1 HMI en Excel de STEM de Microsoft Education para la emulación de movimiento de mano. Fuente: Microsoft Education [13]

D. Desarrollo del sensor de ADAFR 1361 Velostat

A continuación, en la Fig. 2, se puede visualizar la composición en capas del sensor desarrollado.

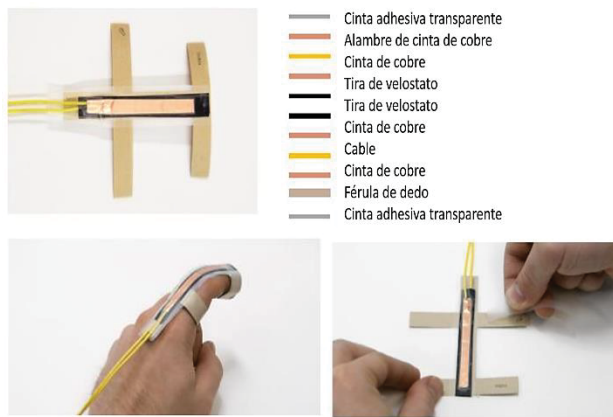


Fig. 2 Sensor de ADAFR 1361 Velostat, para medir el movimiento de un dedo. Fuente: Microsoft Education [7]

E. Desarrollo de una maqueta de prueba de emulación inicial

En la Fig. 3, se puede visualizar una maqueta inicial que se realizó, para poder probar la lectura de los movimientos de los dedos de la mano, la correcta lectura del sensor de Velostat y la creación de órdenes en los actuadores (servomotores) a partir de las señales sensadas. [14]



Fig. 3 Maqueta de Ejecución de mandos y guante con distribución de sensores de ADAFR-1361 -Velostat en los dedos del usuario. Fuente: Propia.

F. Captación de la señal de los sensores y código de lectura

Se creó el código en la tarjeta de desarrollo Arduino que registra los datos del sensor de cada falange y las remite a los actuadores de la maqueta de emulación de mano. El código puede resumirse, en convertir la variación de resistencia del Velostat con el movimiento de cada falange en una variación de voltaje que es entregada a las entradas analógicas de la arduino; que mediante una escala de variación transmite la orden al grado en que debe posicionarse cada micro servo de la maqueta de emulación. En la Fig. 4, se puede visualizar el plano de conexión de los sensores de Velostat que van en cada dedo del usuario a la tarjeta Arduino y las referencias de los servomotores usados en las maquetas de emulación de movimiento. La referencia Micro Servo 9g SG90 TowerPro fue utilizada en la maqueta inicial de prueba y la referencia Micro-Servomotor GS9018 GDTECK COMPANY, fue utilizado en la mano robotizada final; este microservo de piñonaría metálica y de mayor torque era más eficiente para las necesidades de nuestro desarrollo. [15]

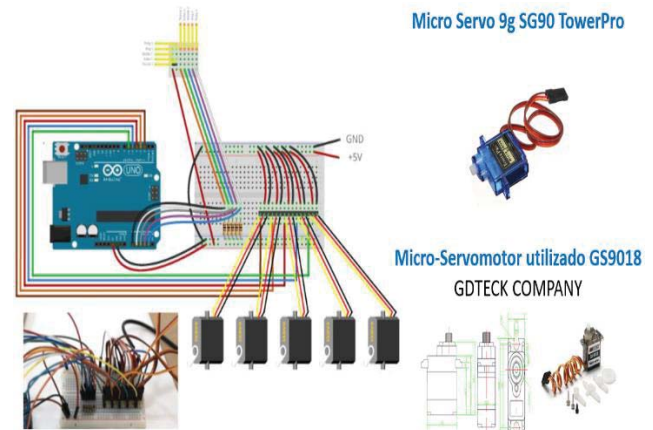


Fig. 4 Plano de conexión de sensores de ADAFR 1361 Velostat a la tarjeta y maqueta, también las referencias de los microservos utilizados. Fuente: Propia.

G. Articulación del guante de sensores de Velostat y maqueta de mano robotizada de 5 falanges.

Para el cuarto objetivo que consistía en articular el sistema de sensado de los movimientos de cada falange con la mano robotizada de cinco falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y que se muestra en la Fig. 5. Se buscaba aprovechar un proyecto anterior que consistió en el desarrollo de una mano robotizada basada en microservos y de la cual, se obtuvieron 2 publicaciones; una en la revista CON-CIENCIA Y TÉCNICA de las Tecno academias, y la revista Sennova; ambas en el 2018. Usar dicha mano robotizada era viable dado que los mandos también lo reciben micro servomotores, pero con la ventaja de que la estructura de la mano era más consistente y por tal, se podría lograr una mejor emulación.



Fig. 5. Mano robotizada de 5 falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y muestra de las publicaciones asociadas a ella en el 2018. Fuente: Propia.

A continuación, en la Fig 6, se puede visualizar los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, realizando pruebas y ajuste del código y del prototipo desarrollado, 2 evidencias de la validación del proyecto, en el cual los sensores fueron

ensamblados a un guante para mejor presentación y acoplados a la mano robotizada de 5 falanges.



Fig. 6. Aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, realizando pruebas y ajustes al proyecto. Fuente: Propia.

Luego del perfeccionamiento del código y de las escalas de lectura de cada sensor, se formalizaron las conexiones y se sustituyó el circuito de una protoboard a una baqueta realizada por los aprendices, ver Fig 7.



Fig. 7. Versión final del prototipo desarrollado y muestras de las ejecuciones de mandos a través de la lecturas registradas por los sensores de Velostat acoplados al guante. Fuente: Propia.

V. CONCLUSIONES

La emulación del movimiento de mano tiene múltiples aplicaciones en el avance de sistemas de manipulación de elementos. En el desarrollo de un sistema de emulación de movimiento robotizado de mano a bajo costo es innegable las capacidades que provee la motricidad fina de un ser humano; el ideal sería poder hacer uso de dicha capacidad en los sistemas robóticos. [16]

Sensar la extensión y contracción de las falanges provee una oportunidad para una vez consolidadas en una señal, estas; puedan ser usadas como mandos de control (órdenes) en sistemas robóticos. Esto abre la puerta al desarrollo de sistemas de tele-operación robotizados.

En la actualidad diseñar sistemas de emulación haciendo uso de materiales de bajo costo, es accesible debido a la amplia gama de productos open hardware y software, por tal; el desarrollo de prototipos está al alcance de estudiantes de bachillerato de la región.

La metodología STEM llevada al plano del desarrollo de proyectos de investigación aplicada por estudiantes de bachillerato y en este caso por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, provee un marco metodológico, basado en la sinergia de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] *Manual técnico de OSHA. ROBOTS industriales y seguridad del sistema ROBOT "sección IV: Capítulo 4 - Occupational Safety and Health Administration.* 2011-01-28.
- [2] Angelo J. *Robótica: una guía de referencia a la nueva tecnología.* Bibliotecas ilimitadas. págs. 258-327.2011, ISBN978-1-57356-337-6.
- [3] Vaibhav G.; McGinnity, Thomas-Martin. *Quantum Neural Network based surface EMG signal filtering for control of Robotic,* 2013.
- [4] Ollero, A. (2001). *Robótica: Manipuladores y robots móviles.* Barcelona: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12480>.
- [5] Vera Luzuriaga, J. G. (2017). *Control de trayectoria de la simulación de un brazo robot de 5 grados de libertad.* valencia: tesis de grado.
- [6] Reyes Cortes F. *Robótica: Control De Robots Manipuladores.* Editorial: S.A. MARCOMBO 2011.
- [7] Fusario R. J, Crotti P. S, Andrés P.M. Bursztyn, *Teoría De Control Para Informáticos* Editorial: S.A. MARCOMBO 2013
- [8] Sánchez G, Guerrero L, Vásquez M. *Diseño de un Prototipo Electromecánico para la Emulación de los Movimientos de un Brazo humano.* INGE CUC Volumen: 12 Número: 2. 2016, Páginas: 17-25
- [9] Flórez C, Jaimes E. *Diseño de un sistema de percepción de señales mioelectricas usando reconocimiento de patrones para control de una prótesis virtual de mano,* UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, Ingeniería Mecatrónica, 2016.
- [10] Hand. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) Ubicación: Dallas, TX Fecha: AUG 04-09. Int Neural Network Soc; IEEE Computat Intelligence Soc 2013 *INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN) Colección: IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN),* 2013.
- [11] K S FY; R C González, *Robótica Control Detección Visión e Inteligencia.* Editorial: MCGRAW-HILL 2011.
- [12] Cuenca Lacruz Ángel; Salt Llobregat, *Automática Industrial Y Control* Editorial: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA 2005.
- [13] STEM MICROSOFT. *ROBOTIC HAND – MICRO BIT VERSION (2018). Building machines that emulate humans, Lesson-1 y 2; Hacking STEM MICROSOFT.*
- [14] P.M. TAYLOR, *MANUAL DE CONTROL ROBOTICO,* Editorial: CEAC. 1992.
- [15] Vivas Albán O. A, *Diseño Y Control De Robots Industriales. Teoría Y Práctica.* Editorial: ELALEPH. 2011.
- [16] Bullo F, Cortés J, Martínez S, *Distributed Control of Robotic Networks E-book.* Editorial: Princeton University Press. 2009.