

## Desarrollo Prototipo Didáctico de una Mano Robótica Controlada por un Guante

### Prototype Development of a Didactic Robotic Hand Controlled by a Glove

Rogelio Acedo-Ruiz <sup>a, b\*</sup>, Jorge Oswaldo Rivera-Nieblas <sup>a, b</sup>, Eduardo Chávez-Mendiola <sup>a, b</sup>, Juan Carlos Grijalva-Acuña <sup>a, b</sup>, Elmer Moreno-Ruiz <sup>a</sup>, José Luis Molina-Quijada <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Carreras de Ingeniería Biomédica, Semiconductores y Electrónica, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Hermosillo, Ave. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, C.P. 83170 Hermosillo, Sonora, México.

<sup>b</sup> Departamento de Metal-Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecatrónica y Mecánica, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Hermosillo, Ave. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, C.P. 83170 Hermosillo, Sonora, México.

Correo electrónico: [rogelio.acedor@hermosillo.tecnm.mx](mailto:rogelio.acedor@hermosillo.tecnm.mx)

(Recibido: 04 de febrero 2024; Aceptado: 20 de abril 2024; Publicado: 01 de mayo 2024)

#### Resumen

Este artículo detalla las ventajas de contar con un kit didáctico compuesto por un guante equipado con sensores de flexión ubicados en las articulaciones proximales de cada dedo. Esto para la impartición de materias de Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Biomédica. Un microcontrolador se encarga de supervisar, procesar y transmitir en tiempo real mediante comunicación inalámbrica los movimientos realizados por la mano del usuario. Las señales son recibidas por un segundo microcontrolador, el cual controla servomotores que, gracias al mecanismo diseñado, replican el movimiento de una mano robótica. Se describe tanto el diseño mecánico como el electrónico del sistema de control de un dedo de forma individual. La diferencia entre los demás dedos radica en sus dimensiones longitudinales y el punto de pivote. Se presentan aplicaciones prácticas del prototipo y se resalta su valor en la formación académica de estudiantes de los últimos semestres de Ingeniería Biomédica y Mecatrónica.

**Palabras claves:** Mano robótica, Sensor de flexión, Microcontrolador, Servomotor.

#### Abstract

This article details the advantages of having a didactic kit consisting of a glove equipped with flex sensors located at the proximal joints of each finger. This is for the teaching of Mechatronic Engineering and Biomedical Engineering courses. A microcontroller is responsible for supervising, processing, and transmitting in real-time, via wireless communication, the movements performed by the user's hand. The signals are received by a second microcontroller, which controls servomotors that, thanks to the designed mechanism, replicate the movement of a robotic hand. Both the mechanical and electronic design of the control system for an individual finger are described. The difference among the other fingers lies in their longitudinal dimensions and pivot points. Practical applications of the prototype are presented, highlighting its value in the academic training of students in the final semesters of Biomedical and Mechatronic Engineering.

**Keywords:** Robotic hand, Flex sensor, Microcontroller, Servomotor.

## 1. Introducción

La Educación Pública en Ingeniería en México es un pilar fundamental para el desarrollo tecnológico e industrial del país. Instituciones como el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y los Institutos Tecnológicos del Tecnológico Nacional de México (TecNM) ofrecen una formación de alta calidad a miles de estudiantes en diversas ramas de la ingeniería. Estas universidades y tecnológicos cuentan con planes de estudio actualizados, laboratorios especializados y programas de vinculación con la industria, permitiendo que los egresados adquieran conocimientos teóricos y prácticos relevantes para el sector productivo. A pesar de los desafíos en infraestructura y financiamiento, la educación pública en ingeniería sigue siendo una de las principales opciones para la formación de profesionales altamente capacitados, contribuyendo al avance científico y tecnológico del país.

Las Universidades Públicas en México han enfrentado una creciente crisis de financiamiento que ha afectado su funcionamiento y calidad educativa. La reducción de presupuestos asignados por el gobierno federal ha limitado la inversión en infraestructura, actualización de equipos y contratación de personal docente, lo que impacta directamente en la formación de los estudiantes. Instituciones como la UNAM, el IPN y el TecNM han manifestado la necesidad de mayores recursos para garantizar la continuidad de programas de investigación, becas estudiantiles y mantenimiento de instalaciones. A pesar de estos desafíos, las universidades han buscado alternativas como convenios con el sector privado y estrategias de autogestión para mitigar los efectos del recorte presupuestal. Sin embargo, la falta de inversión pública sigue siendo un obstáculo para el crecimiento y fortalecimiento de la educación superior en el país. [1]

La enseñanza de la Ingeniería Mecatrónica y la Ingeniería Biomédica requieren la integración de diferentes áreas del conocimiento. La mayoría de las veces se espera que estos ingenieros creen cosas nuevas fusionando pequeñas piezas de diferentes tecnologías para formar un todo.

En el campo de la Ingeniería Mecatrónica, los laboratorios y talleres de máquinas de las universidades e institutos públicos mexicanos están más orientados a la automatización con neumática, hidráulica y circuitos eléctricos, celdas de manufactura, controladores de motores eléctricos, electrónica digital y de potencia. Es

decir, cada una de las disciplinas individuales que componen la ingeniería mecatrónica aisladas entre sí. [2] En el caso de la Ingeniería Biomédica la situación es similar.

La propuesta implica el diseño y la fabricación de una mano robótica controlada por servomotores, la cual se maneja a través de un guante equipado con sensores que transmiten la información de manera inalámbrica. El guante cuenta con resistencias flexibles colocadas en las articulaciones de los dedos, las cuales envían datos a un microcontrolador, que a su vez replica la posición de los dedos del guante en la mano robótica.

Existen algunas publicaciones relacionadas, aunque con diferentes objetivos. Borghetti [3] llevó a cabo investigaciones utilizando un guante con resistencias flexibles, con fines terapéuticos para la rehabilitación, complementado con visión por computadora, obteniendo resultados positivos. Por otro lado, Romero [4] desarrolló un guante que permite controlar de manera remota un robot antropomórfico, utilizando la flexión de los dedos y los movimientos de la muñeca, como el cabeceo y la rotación, mediante sensores de fibra óptica. Ohnishi [5] propone un diseño mecánico de una mano antropomórfica, junto con un análisis detallado de los movimientos de una mano humana real, con el objetivo de replicarlos en la mano robótica.

En ocasiones los docentes solicitan a equipos de estudiantes la realización de proyectos de integración sin que la universidad les provea los materiales necesarios, como se observa en las figuras 1, 2 y 3.

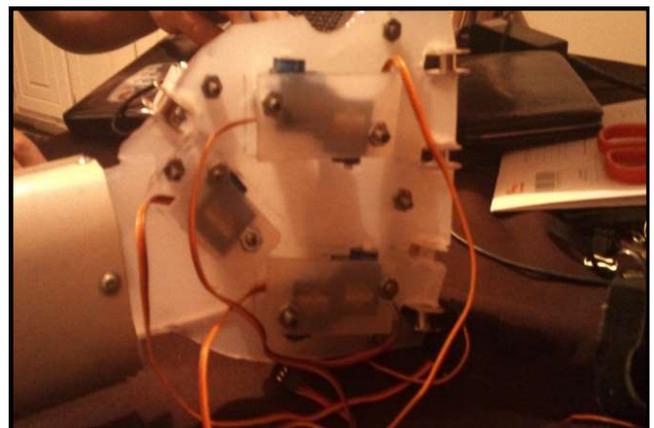


Fig. 1 Mecanismo de una mano robótica hecha con materiales de desecho para un proyecto escolar.



Fig. 2 Mano robótica hecha con materiales de desecho para un proyecto escolar.



Fig. 3 Guante con potenciómetros accionados por cable para detectar flexión.

Este tipo de desarrollos presentan los siguientes inconvenientes:

- 1) Los alumnos gastan demasiado dinero de su bolsillo.
- 2) El producto resultante carece en la mayoría de las veces, de la robustez necesaria para poder funcionar correctamente el 100% de las veces.

La propuesta es la fabricación de un *kit* didáctico robusto, confiable y de calidad que permita su implementación en proyectos integradores para estudiantes de Ingeniería Mecatrónica y Biomédica.

## 2. Desarrollo

El objetivo principal de la propuesta es la fabricación de un *kit* didáctico que pueda ser utilizada en el aula y en los laboratorios para realizar actividades prácticas que refuercen los conceptos teóricos y que puedan facilitar al docente desarrollar en los estudiantes la competencia de seleccionar dispositivos por separado e integrarlos sinérgicamente en un sistema tecnológico

completo. Esta es la competencia específica más representativa del Ingeniero Mecatrónico y un gran porcentaje de sus actividades en su práctica profesional están relacionadas con ella. El estudiante de ingeniería Mecatrónica no debe ver los sistemas aislados sino como una integración de múltiples disciplinas. [6]

## 3. Metodología

La metodología de diseño de prototipos consta de cuatro partes principales. La primera comienza con el análisis de los conceptos y requerimientos para fijar las especificaciones y restricciones en las que trabajará el prototipo. En la segunda etapa se generan ciclos de diseño-prueba que permiten ajustar o mejorar el diseño, con el fin de lograr la síntesis del concepto a través de un *software* de simulación, y una vez obtenido el resultado esperado, se pasa a la tercera etapa, que es el desarrollo del prototipo. Una vez obtenido el movimiento controlado, este es el final de la etapa tres, se pasará a la cuarta etapa, la validación, la realización de material didáctico y su difusión.

## 4. Resultados

Los resultados de esta propuesta se presentan mediante:

- 1) Diseño mecánico.
- 2) Diseño CAD.
- 3) Fabricación DMF.
- 4) Diseño Electrónico.

### 4.1 Diseño Mecánico

Las dimensiones utilizadas en el diseño de la mano mecánica son de acuerdo a la tabla 3.1.6 del libro Dimensiones Antropométricas de Ávila et. al. [7]

El operador ejecuta los movimientos a través de un guante equipado con sensores de flexión, los cuales permiten replicar dichos movimientos en la mano mecánica. En las siguientes páginas se explicará en detalle el funcionamiento de los sensores, el sistema de control y los actuadores.

La mano robótica está diseñada para permitir un movimiento independiente de cada dedo, replicando el rango de movilidad de un dedo. Específicamente, se busca lograr los movimientos de flexión y extensión,

utilizando un solo actuador para integrarlos. Desde una perspectiva biomecánica, la extensión se define como la alineación de las tres falanges del dedo. Para la flexión, se requiere que cada falange realice un movimiento casi de noventa grados.

## 4.2 Diseño CAD

En esta fase del Diseño Mecánico, se comenzó con el desarrollo del mecanismo, evaluando la propuesta desde una perspectiva bidimensional y priorizando una cinética adecuada para el movimiento deseado. Se buscó un mecanismo capaz de ejecutar el movimiento requerido, analizando velocidades lineales y angulares, torques y desplazamientos óptimos. El objetivo era obtener un mecanismo que no superara los límites de movimiento humano en el plano sagital, logrando así una similitud motriz tanto desde el punto de vista cinético como cinemático. Esto permitió alcanzar el movimiento preciso para la flexión y extensión de los dedos de manera individual y de la mano en su conjunto, ver figura 4. Todo este proceso se llevó a cabo mediante la plataforma de simulación y análisis cinético-cinemático del *software* ARTAS Sam 6.1®.

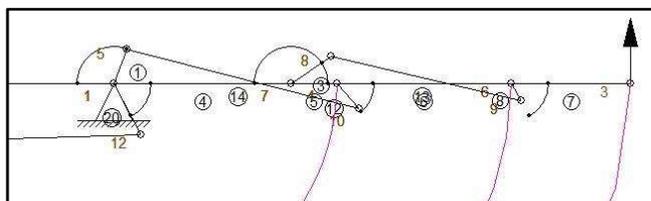


Fig. 4 Mecanismo 2D de un dedo de la mano robótica.

Después de la obtención de un mecanismo funcional en un plano bidimensional, este fue llevado a una plataforma virtual donde se analizó la distribución espacial en un ambiente tridimensional, ver figura 5.

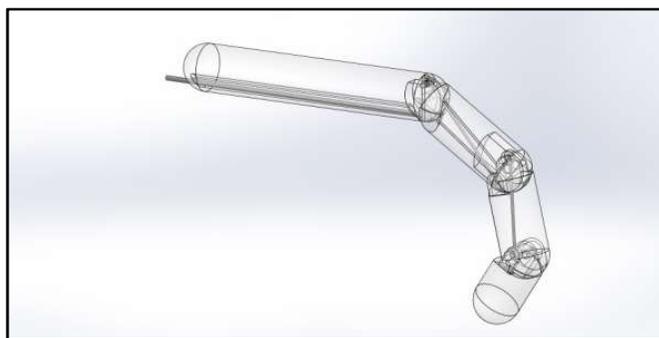


Fig. 5 Perspectiva tridimensional del dedo ensamblado.

Se evaluaron y definieron dimensiones, posiciones, volúmenes, restricciones y movimientos libres de colisiones dinámicas internas y externas, necesarias para desempeñar el movimiento buscado.

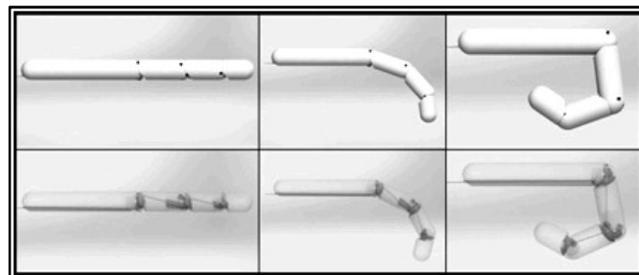


Fig. 6 Movimiento de flexión y extensión.

Posteriormente fue creado el diseño tridimensional de lo que sería, el mecanismo integrado final, apoyado completamente en la plataforma virtual SolidWorks® de Dassault Systems®.

Para simplificar la fabricación del dispositivo y reducir costos, se estableció como requisito de diseño que el sistema de actuación encargado del movimiento de las tres falanges, tanto para la transición de extensión a flexión como viceversa, funcione mediante un solo actuador.

Se buscó asemejar el movimiento vinculado, a manera de ligar el movimiento de las tres falanges, sin afectar la relación rotación-traslación de manera independiente y conjunta, esto para obtener un resultado satisfactorio en las dos posiciones buscadas (extensión y flexión). Con el movimiento y el sistema de activación, y tras varias propuestas para el mecanismo, se conglomeró en un solo diseño; la incorporación de la funcionalidad que ofrecen los mecanismos naturales de un dedo, manteniendo un fenotipo similar, tanto en apariencia como en dimensiones. Un mecanismo poligonal compuesto por tres enlaces de puntos fijos relativos, que combina tanto el cuerpo del sistema como parte del mismo mecanismo (híbrido), hablando de manera particular de una falange, ya que el cuerpo y el sistema de enlaces (barras) conforman el mecanismo.

Desde una perspectiva generalizada para las tres falanges, el funcionamiento independiente de cada una, consiste en un punto de admisión de movimiento, un punto de pivote, uno de anclaje y un punto de salida hacia la siguiente falange.

El movimiento rotacional del actuador, es convertido a traslacional por medio de una barra, alojada al interior del metacarpo el cual a su vez se encuentra ensamblado

con la falange proximal, a la cual le transmite el movimiento, esto gracias a la distribución de su punto de pivote y su punto de anclaje excéntrico experimenta una rotación en el plano sagital, de manera simultánea esta transmite un movimiento lineal forzado para transformarlo a rotacional hacia la falange media, y esta, estando anclada a la falange proximal, experimenta un movimiento rotacional proporcional al movimiento generado por la falange proximal, lo mismo pasa con la falange distal, en donde a diferencia de las falanges proximal y media no transmite movimiento de salida, es únicamente esclava del movimiento de las falanges antecesoras.

### 4.3 Fabricación DMF

Para la fabricación de los falanges, utilizamos técnicas de impresión en 3D con resina de polímeros termoplásticos, por ser fácil, sencillo y muy económico; se analizaron los diferentes métodos posibles y el más factible es del tipo integrado o de fabricación ensamblada, así como de geometría compleja, se optó por una impresión tridimensional (FDM), ya que bajo este método de fabricación es posible integrar durante el proceso de impresión, los anclajes, barras o elementos de seguridad en una sola sesión de impresión; es decir, el mecanismo que permite el movimiento, será ensamblado durante el proceso de impresión, tales como injertos y las barras de anclaje.

Este mecanismo ensamblado durante la impresión con un cuerpo de resina termoplásticas de ABS, con módulo de elasticidad  $E=45$  MPa. Las Barras de que fungen como manivelas son de alambre acerado de 1/16 in. De diámetro, AISI E=200 GPa, con tolerancia h-11, Pasadores de seguridad de latón C 260,  $E=110$  GPa, maquinado según diámetro requerido.

Una vez realizado el análisis y diseño mecánico, y habiendo llevado a cabo el dimensionamiento de cada elemento de la mano en el software Solidworks®, se procede a guardar en extensión STL, (Stereo Lithography) el cual se importa al *software* INSIGHT®. Este *software* procesa las capas que se irán realizando para conformar la pieza, las rutas de impresión, así como los soportes que serán utilizados para sustentar ciertas partes de la pieza y todo lo necesario para realizar su impresión.

Finalmente se abre el programa CONTROL CENTER para localizar la pieza en el área de impresión. Se inserta el archivo con extensión CMB, generado por el programa INSIGHT®, el cual será enviado a la impresora Fortus 400MC®, para su proceso. Esta

impresora se encuentra instalada en el Laboratorio de Mecatrónica, y es propiedad de la empresa MASSON Design Group, S.A. DE C.V.

El modelo mecánico descrito es para un solo dedo, pero se aplica a los cinco dedos, ajustando las dimensiones longitudinales y el punto de pivoteo de los mismos. Para cada dedo existe un solo actuador. Se pretende replicar varias veces este dispositivo y nos pareció importante hacerlo sencillo de fabricar y mantener relativamente bajo su costo, privilegiando así lo que los estudiantes puedan hacer en lo que se refiere a su configuración mediante la programación de los microcontroladores.

### 4.4 Diseño Electrónico

En la figura 7 se muestra el diagrama a bloques general de la parte electrónica y de control.

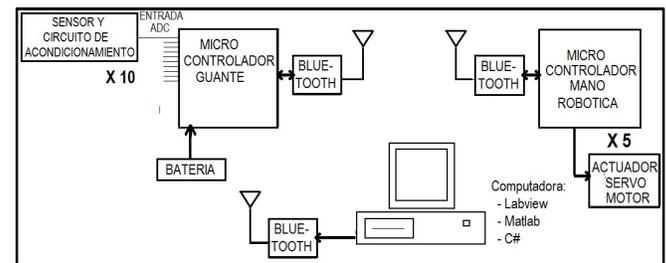


Fig. 7 Diagrama a bloques general del sistema.

El guante tendrá en las articulaciones resistencias flexibles marca SpectraSymbol® (ver figura 8) cuyo valor varía en función de la flexión.

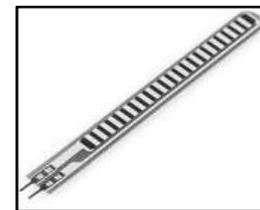


Fig. 8 Resistencia sensible a la flexión. Marca SpectraSymbol®.

En la figura 9 se muestra el circuito para su conexión.

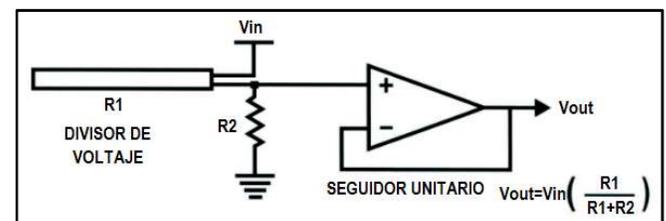


Fig. 9 Circuito básico de conexión del sensor de flexión y circuito de acondicionamiento.

Las resistencias flexibles pesan solo unos cuantos gramos y sus dimensiones no interfieren con movilidad del guante. El sensor consiste en dos capas:

- 1) El elemento sensor, el cual consiste en un material basado en plata, con propiedades piezoresistivas.
- 2) Un sustrato flexible compuesto de polímero, el cual protege al elemento sensor.

Cuando el sensor se dobla el material piezoresistivo es sometido a una microtensión, la cual incrementa la resistencia porque las partículas conductoras se alejan entre sí, incrementando la resistencia.

La resistencia es inversamente proporcional al radio de curvatura del elemento sensor. Entre más pequeño es el radio (o sea, entre más flexionado se encuentre) la resistencia será más grande.

Los sensores son colocados en las dos articulaciones principales de cada dedo, uno entre la falange medial y la falange proximal y el otro entre la falange proximal y el metacarpo como se muestra en la figura 10.

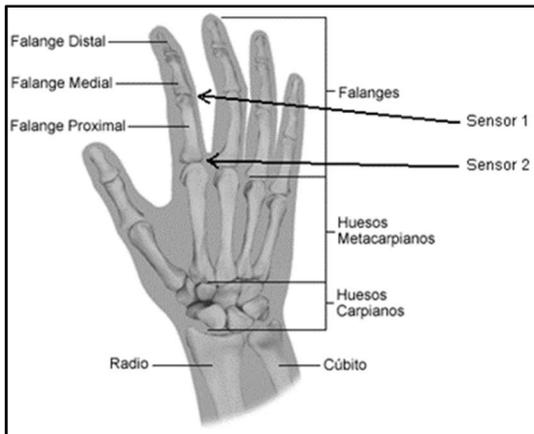


Fig. 10 Colocación de los sensores de flexión.

Las resistencias flexibles están adheridas con resina a un guante comercial de tela plastificada.

Tal y como se muestra en la figura 9, la salida del acondicionador de señal será un voltaje analógico que variará de 0 a 5 Vcd, en función del grado de flexión de cada elemento sensor. El voltaje analógico es leído, convertido a una señal digital y posteriormente procesado mediante un microcontrolador marca Microchip®, de la familia PIC, modelo 16F887® (Figura 11). Se escogió este microcontrolador porque es muy robusto, versátil y a la vez fácil de programar. Es de las opciones más populares y económicas que existen en el mercado.

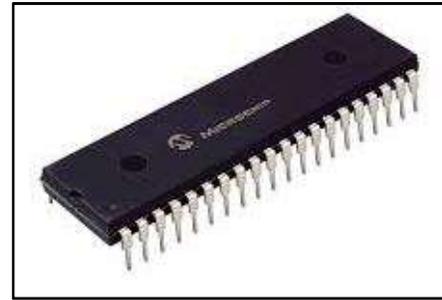


Fig. 11 PIC 16F887 de Microchip®.

Este PIC tiene 32 entradas/salidas, de las cuales 14 pueden ser entradas analógicas, las cuales están multiplexadas a un convertidor analógico digital de 10 bits. Cuenta también con varias opciones de periféricos de comunicación digital, como una UART, una USART y permite comunicación I2C y RS232. En el guante tendremos un microcontrolador para leer las señales analógicas, convertirlas a señal digital y procesarlas. Mediante comunicación inalámbrica se transmiten los datos a otro microcontrolador el cual controlara los servomecanismos que moverán la mano robótica. Tenemos 5 servomecanismos (uno para cada dedo). Estamos utilizando el servomotor Hitech HS-805®. (Figura 12).



Fig. 12 Servomotor Hitech HS-805®.

El servomotor se alimenta de 5 V y tiene una entrada digital, la cual recibe un pulso modulado en anchura (PWM, *pulse width modulation*). La posición angular del elemento final del servomotor dependerá del tiempo que dure el pulso positivo (Figura 13).

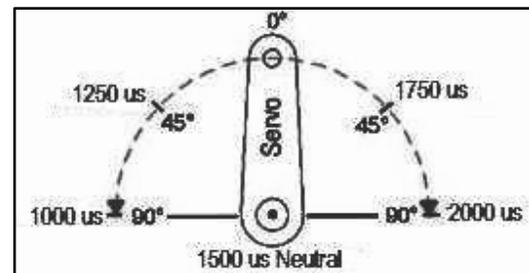
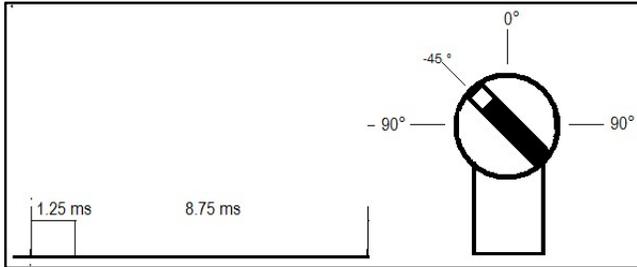


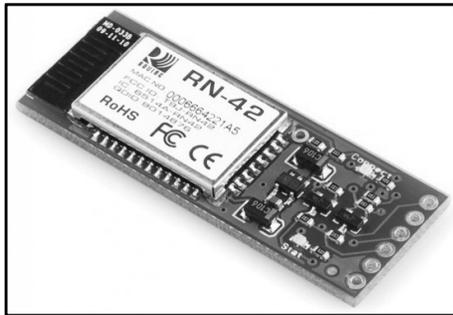
Fig. 13 Diagrama de los pulsos.

El tiempo que dura el pulso positivo, se complementa con el pulso negativo para completar un periodo de 10 ms. Si el pulso positivo se incrementa, la parte negativa se tiene que decrementar, y viceversa. En la figura 14 se muestra el ejemplo de posicionamiento del servo a  $-45^\circ$ , lo que implica que el pulso positivo tiene que ser de 1.25 ms y el negativo de 8.75 ms.



**Fig. 14** Ejemplo de temporización de pulsos del PWM para posicionar el servo en  $-45$  grados.

La comunicación inalámbrica se da a través de un módulo Bluetooth Marca Roving Networks®, modelo RN-42 (Figura 15). El módulo es de bajo consumo de potencia, tiene un alcance de 10 metros. La interfaz de comunicación que estamos utilizando es la RS232.



**Fig. 15** Módulo Bluetooth. Marca Roving Networks®, modelo RN-42.

A continuación, se muestra un ejemplo reducido del trabajo general que realizaría la mano completa. El código está hecho en lenguaje C, utilizando el compilador PCWHD Compiler de CCS Inc. Mostramos un programa en un solo PIC, el cual lee dos entradas analógicas que representan los dos sensores de un solo dedo (en el renglón 18 y 19 lee “q”, y en el 20 y 21 lee “p”). El convertidor analógico a digital (ADC) del PIC nos entrega un número que variará de forma lineal entre 0 cuando lleguen 0 volts al canal analógico y 1023 cuando reciba el máximo, que para este caso serán 5 volts.

Como tenemos 2 sensores para mover un solo actuador, se propuso una relación de dos tercios para la articulación proximal-metacarpo y un tercio para la

articulación proximal-medial. Esta relación puede cambiarse muy fácilmente dependiendo de la tarea que realizaría la mano robótica y parte de las actividades prácticas que podrán realizar los estudiantes.

En el renglón 22 se puede ver la fórmula para obtener la relación de movimiento de 2 entradas a una sola salida. Con esta fórmula obtenemos “r”, debido a que la suma de los factores es uno, “r” varía entre 0 y 1024. Esta variación nos servirá de factor de cambio en el PWM. En el renglón 18 se activa el pulso positivo y en el 19 se le da el retraso es 1000 ms más “r”.

Se requiere un pulso de 1000 ms es para alcanzar la posición mínima, 90 grados a la izquierda, la cual se alcanzará cuando  $r=0$ . Si  $r=1024$  el retraso sería de 2024 ms, lo cual nos mandará a la posición máxima, 90 grados a la derecha. Funciona de la misma manera para las posiciones intermedias. Al incrementar el pulso positivo tenemos que decrementar el pulso negativo, como lo hacemos en el renglón 28 y así asegurar un periodo de 10 ms entre los pulsos.

```

1 #include <16f887.h>
2 #device adc=10
3 #use delay(clock=4000000)
4 #fuses INTRC,NOWDT,NOPUT,NOPROTECT
5 #byte port_a=0x05
6 #byte port_b=0x06
7
8 void main()
9 {
10  set_tris_b(0x00);
11  int16 q,p,i;
12  float r;
13  setup_adc_ports(0);
14  setup_adc_ports(1);
15  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
16  while(true)
17  {
18    set_adc_channel(0);
19    q=read_adc();
20    set_adc_channel(1);
21    p=read_adc();
22    r=(0.333*q)+(0.666*p);
23    for(i=0;i<50;i++)
24    {
25      output_high(pin_b0);
26      delay_us(1000+r);
27      output_low(pin_b0);
28      delay_us(9000-r);
29    }
30  }
31 }

```

Esta señal PWM tiene que estar presente durante todo el tiempo que tarde el actuador en posicionarse, por eso la repetimos 50 veces, mediante el ciclo for, para darle medio segundo al servomotor para que llegue a la posición que necesita. [8]

## 5. Conclusiones

Este artículo presenta el desarrollo de una mano robótica servocontrolada a través de un guante sensorizado, comunicado por señal inalámbrica, el cual conjunta un sistema mecatrónico integral, para ser analizado como tal, por estudiantes de ingeniería Mecatrónica.

Existe una gran cantidad de actividades prácticas que se pueden realizar con el prototipo:

En la parte mecánica, estudio del mecanismo (desplazamientos, esfuerzos, deformaciones y tensiones), análisis de fricción.

En la parte electrónica y *software* se puede cambiar la programación de los microcontroladores para hacer lo que el estudiante desee, desde rutinas predefinidas automatizadas hasta incluso manejar lenguaje de señas. Se pueden aprovechar las interfaces RS232 para interactuar el prototipo con *software* de ingeniería como Matlab® o Labview®, e inclusive interactuar con Controladores Lógicos Programables (PLC's) vía un servidor OPC. El estudiante puede también diseñar su propio *software* con C# o Visual Basic. Los usuarios podrán utilizar el protocolo de comunicaciones diseñado para el sistema e inclusive diseñar e implementar un protocolo propio, lo cual sería extremadamente complicado con algún otro tipo de sistema con un protocolo nativo.

En la parte de control, se puede ver como ajustar la linealidad de los sensores y la relación entre las dos articulaciones para lograr diferentes efectos en el movimiento del actuador de cada dedo de la mano robótica, para distintas aplicaciones, de fuerza, destreza y precisión. Igualmente, se pueden estudiar los diferentes métodos de muestreo, técnicas de multiplexado y sus efectos en los tiempos de respuesta.

El prototipo tiene potencial incluso para prácticas orientadas a la rehabilitación quiropráctica o a la ergonomía.

## 6. Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Hermosillo Ernesto Arguelles Arteaga, Amed Alexi Saavedra Salcido y René Francisco González Gutiérrez.

## 7. Referencias

- [1] El Economista. (2024, noviembre 19). Alertan sobre el recorte a universidades públicas en México. El Economista. <https://www.economista.com.mx/politica/alertan-recorte-universidades-20241119-734803.html>
- [2] K. Craig, and J. DeMarchi. Mechatronic System Design at Rensselaer, Journal of Computer Applications in Engineering Education, Vol. 4, No. 1, 1996, pp. 67-78.
- [3] C. Angulo, C. Torrens, P. Ponsa. Mecatrónica. Una asignatura basada en proyectos y gestionada por portfolio. CIDUI'02 Segundo Congreso Internacional de Docencia Universitaria e Innovación, Tarragona, 2002.
- [4] Borghetti, Sardini y Serpelloni. Sensorized Glove for Measuring Hand FingerFlexion for Rehabilitation Purposes. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Volumen:PP, Ejemplar: 99, Julio 2013.
- [5] K. Ohnishi, T. Tajima y Y. Saito. Anthropomorphic hand control for robotic hand-arm system. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Volumen:2. 2000.
- [6] Romero, Marcial y Montes. A Robotic Arm Telemanipulated through a Digital Glove. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2007. CERMA 2007
- [7] Ávila, Prado, González. Dimensiones Antropométricas. Universidad de Guadalajara Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Editorial Tabla 3.1.6. Pp. 96.
- [8] Bolton, W. Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. 2da Edición. Editorial Alfa Omega. España. 2001.(Pp. 15)