

Diseño y Construcción de una Mano Robótica para el Proceso de Enseñanza – Aprendizaje de la Mecatrónica

Cruz Ramírez S. Rolando¹, Tapia Rodríguez Fidencio²

rolando.cruz@itesm.mx, fidencio.tapia@reach.mx

⁽¹⁾ Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey Campus San Luis

⁽²⁾ Reach Innovation S. A. de C. V.

Resumen

El presente trabajo contiene el diseño y la construcción de una mano robótica como un enfoque práctico para la enseñanza-aprendizaje de la mecatrónica. Los tópicos involucrados en este proyecto, como diseño, tecnología de fabricación, microcontroladores y control digital son parte de los temas principales a tener en cuenta y a ser evaluados. En los resultados preliminares, la mano robótica puede sostener objetos ligeros, mover cada dedo individualmente, detectar la temperatura en la parte de la palma y reproducir los movimientos humanos básicos. Fue trascendental que los estudiantes ganaran conocimiento mediante la aplicación de conceptos teóricos en un proyecto real y desafiante.

Palabras clave: Enseñanza-Aprendizaje de la Mecatrónica, Aprendizaje Basado en Proyectos, Mano Robótica.

1. Introducción

Los estudiantes de ingeniería realmente disfrutan trabajando en proyectos y su aprendizaje se vuelve más significativo y duradero cuando está comprometido con su propio trabajo; por esta razón, el aprendizaje basado en proyectos siempre ha sido de gran interés para la enseñanza de la ingeniería [1].

Una mano robótica se decidió como el proyecto a ser desarrollado ya que para su construcción, distintas materias de la Mecatrónica se requieren; por ejemplo diseño de máquinas, control automático, entre otros. Por otra parte, la construcción de la mano robótica se volvió más significativa para los estudiantes desde el principio del semestre.

En este trabajo, el objetivo a ser discutido es el impacto positivo en la enseñanza-aprendizaje de la Mecatrónica cuando los estudiantes participan en un proyecto desafiante, en este caso: el desarrollo y la construcción de una mano robótica. Técnicamente, la mano robótica tiene que tener una forma similar, el tamaño y movimientos como los de una mano humana. Además, tiene que ser capaz de responder a estímulos ambientales y los comandos del usuario. Así, en la sección 2 se describe el desarrollo de la mano robótica. En la sección 3 se presentan los resultados de impacto del método de enseñanza. La conclusión y trabajo futuro se resumen en la sección 4.

2. Desarrollo de la Mano Robótica

Esta sección incluye el diseño, desarrollo y construcción de la mano robótica. Entre otras cuestiones, implica la selección de los materiales de la mano; la identificación del sistema con el fin de obtener un movimiento controlado; y la programación tanto de la interfaz humano-máquina (HMI) como la de los microcontroladores.

La figura 1 muestra el diagrama general del sistema propuesto. Una computadora personal incluye la HMI desarrollada en LabVIEW la cual tiene comunicación con un microcontrolador maestro basado en la plataforma Arduino. El dispositivo anterior tiene comunicación con cinco microcontroladores esclavos donde cada uno tiene un control de lazo cerrado para cada uno de los dedos.

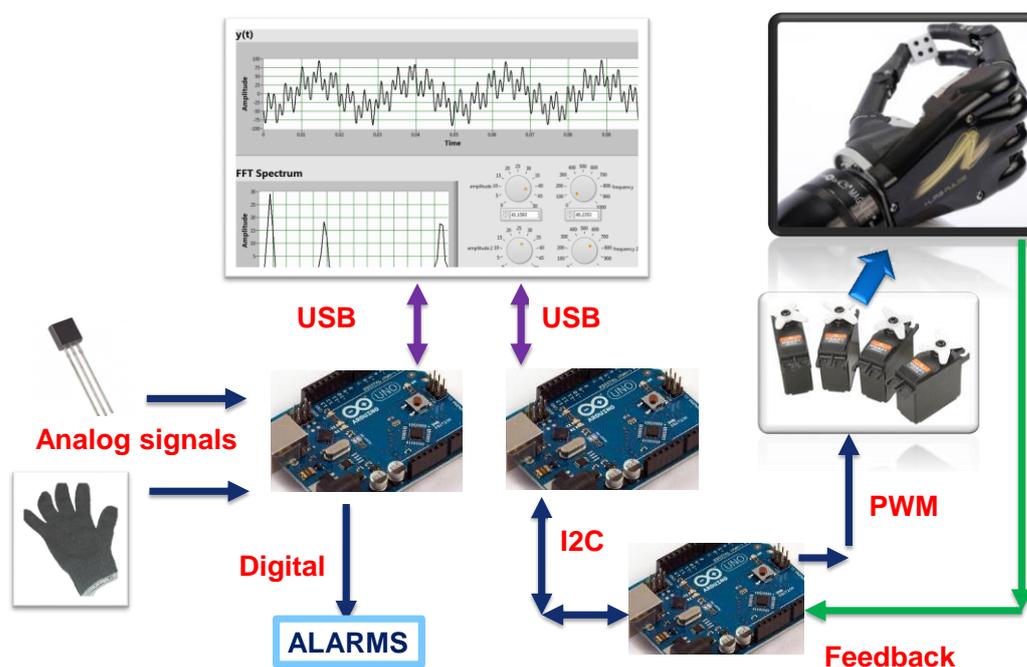


Figura 1. Diagrama general del sistema.

Un segundo microcontrolador maestro recibe la información de un sensor de temperatura y aquellos que se incluyen en un guante el cual puede ser utilizado también como un dispositivo de entrada.

En general, el diseño y desarrollo de la mano robótica se basó en la metodología presentada por Ulrich y Eppinger [2]. Primero se definen las necesidades, de allí se pasó a las especificaciones hasta llegar a la generación de conceptos.

2.1 Análisis y Diseño de los Mecanismos

Cada dedo está formado por tres barras pequeñas y tres enlaces que simulan las falanges, todos los componentes tienen juntas con un eje de movimiento como se muestra en la figura 2 (a). Tomando estos componentes, el siguiente sistema se puede construir: una base fija (tierra) que es la unión del primer enlace con la palma de la mano, dos enlaces con un grado de libertad cada uno, un hilo que es la unión del servomotor (actuador) con cada eslabón, esta junta permite que el actuador proporcione el movimiento como un sistema impulsado por tendones.

Para la fabricación de la mano robótica, fue elegido el proceso de impresión 3D. Este proceso usa plásticos de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) y la máquina de impresión 3D posiciona capas delgadas hasta que se complete la forma final. Una vez teniendo el diseño en

Solidworks, la información requerida se envía a la computadora que controla la impresora 3D. Para comenzar a trabajar, la máquina necesita algunos requisitos tales como: relleno de los polímeros y sujetadores de las piezas. La máquina comienza el proceso de construcción, que es semi-automático. Cada capa es aproximadamente de 0.1 mm de espesor. Este proceso podría tomar horas o incluso días. En este caso, tomó una semana para ser terminada. En la figura 2 (b) se puede apreciar uno de los dedos y en la figura 3 toda la mano impresa en 3D.

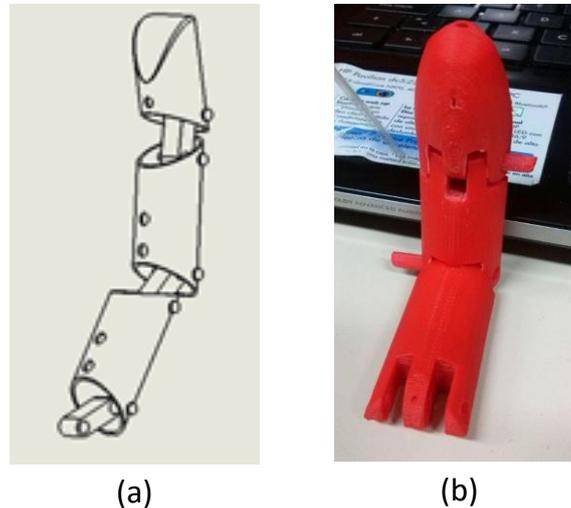


Figura 2. (a) Esquema de uno de los dedos. (b) Dedo robótico construido en una impresora 3D.

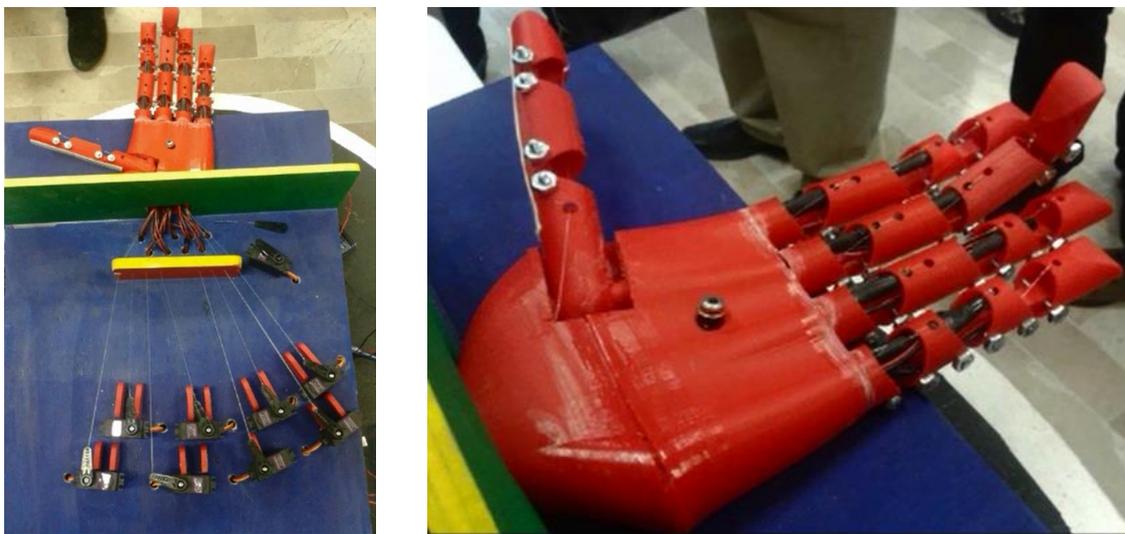


Figura 3. Mano robótica completa.

2.2. Microcontroladores

Se utilizaron microcontroladores porque era necesario tener sincronización al enviar y recibir comandos desde la computadora; el hacer cálculos; y el tomar decisiones programadas con el fin de realizar los movimientos deseados. Además de que el temario de enseñanza – aprendizaje así lo solicitaba.

En este proyecto, siete microcontroladores Arduino MEGA fueron utilizados, el primero recibe cinco señales analógicas que corresponden a los sensores colocados dentro de un guante y una señal extra proveniente del sensor de temperatura MLX90614. El segundo es el microcontrolador maestro que es responsable de enviar y recibir datos desde una PC Brix Gigabyte Ga BXT 1900 que incluye la HMI basada en LabVIEW, la figura 4 muestra estos dos elementos. LabVIEW envía información al dedo que se desea mover, y cuanto movimiento es requerido. La comunicación entre LabVIEW y estos dos microcontroladores está basada en I²C.

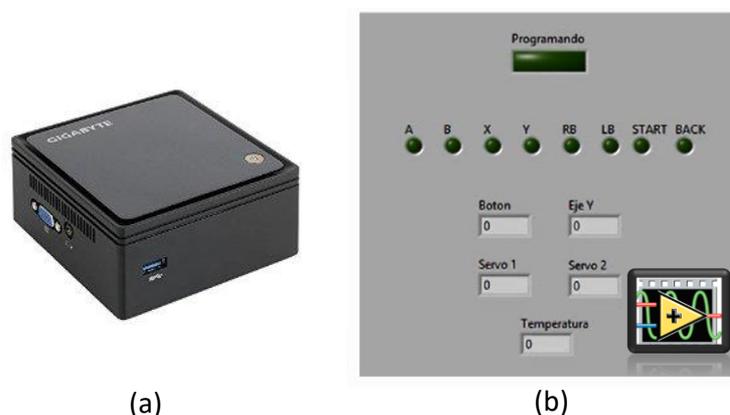


Figura 4. (a) PC portátil utilizada en el proyecto. (b) Apariencia de la HMI.

Los otros cinco microcontroladores funcionan como esclavos, cada uno tiene un control de lazo cerrado para uno de los dedos donde el movimiento de los servomotores se logra mediante el uso de Modulación por Ancho de Pulso (PWM).

2.3. Control Digital de Lazo Cerrado

Una planta en un sistema recibe una señal deseada (referencia), luego es procesada y una salida es generada. En un sistema de control de lazo cerrado, la salida se retroalimenta para ser comparada con la referencia y obtener una corrección de manera automática. En la mano robótica, cada microcontrolador esclavo es responsable de llevar este proceso de control en cada uno de los dedos. Un dedo incluye dos servomotores para su movimiento y los dos actuadores son controlados por un microcontrolador. La planta del sistema para cada uno de los dedos, se considera desde los servomotores hasta la falange final.

La retroalimentación de cada dedo son sensores flexibles de construcción tipo casera los cuales se componen de un emisor de luz y un receptor de luz. Un emisor se anexa al eslabón (i) y su receptor al eslabón ($i + 1$) con el fin de medir de manera indirecta el ángulo en base a la intensidad de luz recibida. Una vez que los sensores fueron colocados en los dedos de la mano, se realizaron las siguientes tareas: identificación del sistema; afinación de control del PID; y evaluación del desempeño.

Para la identificación del sistema, una función escalón fue introducida comenzando desde el valor más bajo en posición angular y terminando en el máximo. Luego se registraron continuamente los datos del sensor. Este procedimiento se completó tres veces para cada sensor con el fin de obtener un comportamiento promedio del sistema. Un ejemplo de la curva de comportamiento se grafica en la figura 5.

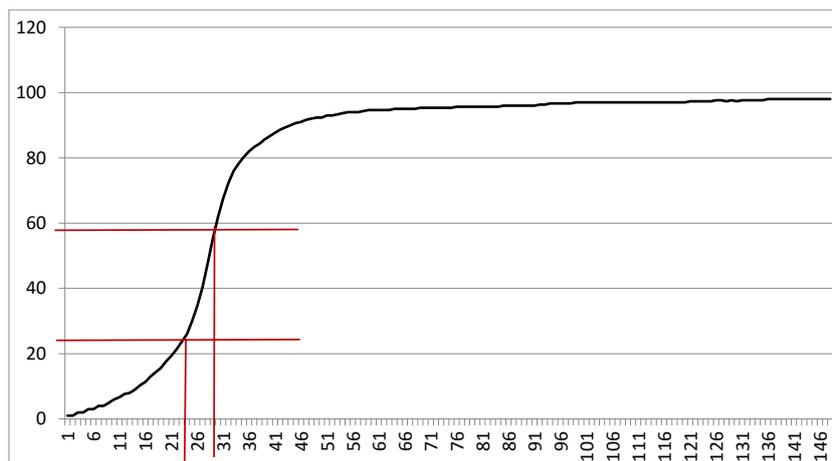


Figura 5. Respuesta al escalón de uno de los dedos.

Como se ve en la figura 5, la respuesta al escalón corresponde a un sistema de primer orden. Mediante el método gráfico de Cecil Smith [3], la función de transferencia es obtenida y está representada en la ecuación (1).

$$G(s) = \frac{2.4e^{-0.0036s}}{0.0012s+1} \quad (1)$$

Una vez teniendo la curva característica de cada sistema, se utilizó el método de criterios integrales para ajustar el controlador PID para cada planta. Los valores conseguidos, teniendo en cuenta el sistema descrito en la ecuación (1), son $K_c = 0.158$, $K_i = 46.393$ y $K_d = 0.001$, considerando la estructura ideal de un controlador PID [3] como se muestra en la ecuación (2),

$$U(s) = \left(K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (2)$$

Por último, para programar los controladores digitales en el hardware, es necesario discretizar los resultados. Por lo tanto, la aproximación bilineal para pasar del dominio s al z fue necesaria. Finalmente la transformada Z inversa se aplica para obtener la ecuación en diferencias asociada, la cual ya puede ser escrita en el código de los microcontroladores. La ecuación (3) incluye la ecuación en diferencias obtenida donde los coeficientes quedan en función de las constantes K_c , K_i y K_d . El PID discreto queda en función del error medido al igual que estados anteriores tanto del error como la señal de control.

$$u[k] = a_0 e[k] + a_1 e[k - 1] + a_2 e[k - 2] + b_0 u[k - 2] \quad (3)$$

3. Análisis de la Enseñanza-Aprendizaje

En la primera parte del semestre, se estudió la teoría de los cursos involucrados en el proyecto y hubo evaluaciones en forma tradicional. Durante la segunda parte del semestre, la evaluación se basó en el progreso del proyecto, una presentación final, la evaluación de todos los profesores involucrados y evaluaciones entre pares.

Con respecto a la opinión general de los estudiantes a los profesores, ésta varió de 1.27 a 1.6, siendo 1 una calificación perfecta y 5 la peor. En el punto de innovación educativa la calificación varió de 1.13 a 1.6, las cuales son consideradas como unas buenas evaluaciones.

Se presentan algunos de los comentarios de los estudiantes que tomaron parte en el proyecto:

El desarrollo de este proyecto fue un gran reto ya que no sólo tuvimos que aprender sobre los cursos del semestre, sino además tuvimos que aplicar los conocimientos adquiridos durante nuestra carrera. En mi opinión, durante el desarrollo del proyecto, además de aplicar las cosas que ya sabíamos, aprendimos muchas cosas que no necesariamente se podrían haber impartido en el aula.

Fue una experiencia divertida no sólo en la parte de ingeniería, sino en el trabajo en equipo y en las cosas administrativas, como el proceso de cómo hacer una compra; eso nunca lo hubiera visto en clase.

Personalmente vi este proyecto como una excelente forma de culminar mis estudios, ya que reunió las partes más importantes de mi carrera.

Este tipo de proyectos es un extra para nuestros estudios porque tuvimos la oportunidad de aplicar de forma real toda la teoría aprendida en las clases. La mayor parte de mi trabajo estaba en el área de control simulando el sistema y también construyendo algunos sensores. Fue una buena experiencia el ver cómo crear algo de la nada, hemos diseñado, construido e integrado un sistema completo.

Creo que nos faltó cubrir temas importantes del curso (teoría) dando preferencia al proyecto.

Finalmente, en nuestra escuela de Ingeniería siempre cerramos el semestre con una exposición de proyectos de las carreras y hay una votación interna por el mejor proyecto del semestre. El proyecto de la mano robótica ganó la votación pública al proyecto más completo en la Expo de Proyectos de Ingeniería Agosto - Diciembre 2014. La figura 6 muestra la exposición de estos proyectos durante la Expo.



Figura 6. Grupos de alumnos participantes en el proyecto Semestre Integrador para IMT.

4. Conclusiones

El diseño y fabricación de una mano robótica funcional que puede detectar cambios en su entorno como la temperatura y que cada dedo pueda realizar movimientos individuales, fueron logrados.

Algunas dificultades que se presentaron fueron las programaciones de las fechas durante la fabricación. Como trabajo a futuro, el control de los dedos puede mejorarse utilizando mejores sensores. Otra forma de mejorar el proyecto sería encontrar componentes más pequeños, lo que permitiría un diseño más práctico y con mejor apariencia.

Además del producto físico terminado, los estudiantes ganaron conocimiento mediante la aplicación de conceptos teóricos en un proyecto que trasciende a lo que podrían haber aprendido en el aula.

La mayoría de los estudiantes estuvieron muy contentos al desarrollar un proyecto real en el área de la Mecatrónica además de que representó un desafío para ellos. El proyecto tiene un valioso aprendizaje tanto para los estudiantes como los profesores involucrados. Estamos convencidos de implementar nuevamente este tipo de iniciativa educativa.

Referencias

- [1] Rodríguez E., Luna J, Vargas S. y Édgar M. “*Evaluación de la estrategia Aprendizaje Basado en Proyectos*”, *Educación y Educadores*. 13, 1, pp 13-25, (2010).
- [2] Ulrich K. T. & Eppinger, S. D. “*Product Design and Development*”, 4th Ed., ISBN: 978-970-10-6936-3.
- [3] Ogata K. “*Discrete-time control systems*”, 2nd. ed., Prentice Hall.

Reconocimientos

Los profesores del equipo agradecemos efusivamente a la iniciativa NOVUS 2014 del Tec de Monterrey por financiar este proyecto, agradecemos también la visita y apoyo de la Ford Motor Company S.A. de C. V., particularmente a los Ing. Beltsasar Rosas Hernandez y David Delgado Andrade (EXATEC IMT 2013). Agradecemos el apoyo y la colaboración de Carlos Pocerros, Hugo Borjas y Felipe Banda.