

# Development of a 2-DOF Mechanism for Pick-and-Place Tasks

Miguel Magos Rivera, Doctorado<sup>1</sup>, José Antonio Lara Chávez, Licenciatura<sup>1</sup>, Edgar Alonso González, Licenciatura<sup>1</sup>, and Ricardo Godínez Bravo, Licenciatura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, Ciudad de México, México  
mrm@azc.uam.mx, jalch@azc.uam.mx, rgb@azc.uam.mx

*Abstract— Automation training in engineering schools requires laboratories equipped in order to complement theoretical courses and develop students' ability to solve practical problems. The high cost of educational models makes access to these equipment difficult. The development of an academic mechatronic system with two degrees of freedom for Pick-and-Place tasks is presented. The device can hold objects up to 200 gr and move them in a plane XZ. The object is held by a vacuum system. On the horizontal axis the displacement range is 45 cm and on the vertical axis 10 cm. The prototype has a connection board where the sensors and actuators signals are available. This allows students to control the device through different technologies. These signals are also available on an-Ethernet port to expand the communication capacity of the device. Preliminary tests show the correct functioning of the mechanical and electronic systems developed.*

*Keywords — Ethernet communication, Mechatrónica, Educational Model, Pick-and Place.*

|  |
|--|
| Digital Object Identifier (DOI):<br><a href="http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.599">http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.599</a><br>ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390 |
|--|

# Desarrollo de un Mecanismo 2-DOF para Aplicaciones Pick-and-Place

Miguel Magos Rivera, Doctorado<sup>1</sup>, José Antonio Lara Chávez, Licenciatura<sup>1</sup>, Edgar Alonso González, Licenciatura<sup>1</sup>, and Ricardo Godínez Bravo, Licenciatura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, Ciudad de México, México  
mrm@azc.uam.mx, jalch@azc.uam.mx, rgb@azc.uam.mx

**Resumen—** La capacitación en el área de Automatización en las escuelas de ingeniería, requiere de laboratorios equipados que permitan complementar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en los cursos teóricos y apoyen el desarrollo de habilidades para resolver problemas prácticos. El alto costo de este tipo de equipos hace que generalmente su adquisición sea complicada. En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema mecatrónico para fines didácticos, el equipo cuenta con 2 grados de libertad y está concebido para aplicaciones Pick-and-Place. El dispositivo puede sujetar, mediante vacío, objetos de hasta 200 gr y desplazarlos en un plano XZ. El rango de movimiento en el eje horizontal es de 45 cm, mientras que en el vertical es de 10 cm. El prototipo cuenta con un tablero de conexiones en el cual las señales de los sensores y actuadores están disponibles. Lo anterior permite a los estudiantes controlar el movimiento del dispositivo empleando distintas tecnologías. Estas mismas señales están también disponibles en un puerto Ethernet lo que expande la capacidad de comunicación del equipo. Pruebas preliminares mostraron un funcionamiento correcto de los sistemas mecánicos y electrónicos construidos.

**Palabras Claves—** Comunicación Ethernet, Mecatrónica, Modelo Educativo, Pick-and-Place.

## I. INTRODUCCIÓN

Los diversos avances tecnológicos en las últimas décadas han provocado cambios importantes en la forma que la sociedad funciona. Esta tendencia lejos de estabilizarse continuará acelerándose cada vez más rápido. El campo de la automatización de procesos no ha sido ajeno a esta situación, con el paso del tiempo los fabricantes están poniendo a la disposición de la industria controladores más poderosos, versátiles y económicos. La incorporación en el manejo de los sistemas producción de ramas de la ingeniería tales como: Tecnologías de la Información, Internet de las Cosas, Big Data, Inteligencia Artificial y Robótica Colaborativa, entre otras, provocará en el corto plazo una transformación radical en la forma en la que la industria funciona. Es de esta forma que el concepto de Industria 4.0 nació hace una década para describir la idea de una producción en la cual máquinas y productos son capaces de intercambiar información entre sí. Los beneficios de esta nueva forma de producir bienes y servicios son diversos: Globalización de la producción, Flexibilidad de la producción, Soluciones orientadas al consumidor, Optimización de la logística y Generación y Análisis de datos, entre otros.

Para que la industria logre realizar esta transformación, es necesario contar con personal que tenga amplias habilidades y fuertes competencias en el área de la automatización industrial. Cada vez son más las Instituciones de Educación Superior que están incorporando

cursos relacionados con la automatización de procesos en sus las carreras de ingeniería. Temas como: Neumática, Instrumentación Industrial, Interfaces Hombre-Máquina, Controladores Lógicos Programables, Comunicaciones Industriales y Robótica, por mencionar solo algunos, empiezan a tomar importancia en los programas de estudio a nivel ingeniería.

Ha sido ampliamente demostrada la importancia que el trabajo práctico tiene en la formación y capacitación de los futuros ingenieros [1], [2], [3], [4]. El poner en contacto a los estudiantes con equipos similares a los que se encontrará en su vida laboral, así como enfrentarlo a situaciones lo más cercanas a la realidad de la industria, permite aumentar significativamente sus posibilidades de insertarse adecuadamente en sector profesional. Lo anterior implica que los centros de capacitación cuenten con laboratorios equipados con bancos de conexiones que incluyan dispositivos industriales sobre los cuales realizar trabajos prácticos que apoyen su formación. De forma adicional sería conveniente que estos equipos fueran diseñados considerando los nuevos conceptos de la Industria 4.0. Esto permitiría a las instituciones contar con equipos didácticos que coadyuven a la formación del personal que la industria empezará a requerir en el corto plazo.

La División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana plantel Azcapotzalco, como muchas otras facultades de ingeniería en el mundo, ha enfrentado durante muchos años el grave problema de equipar sus laboratorios con equipos didácticos modernos. El camino seguido por la institución ha sido el del auto equipamiento. Durante la última década varios han sido los prototipos que se han desarrollado con fines didácticos. [5], [6], [7], [8], [9].

Con el objetivo de equipar al Laboratorio de Control del Departamento de Electrónica con un mecanismo sobre el cual se pudiesen implementar secuencias de movimiento con diversos equipos de control, se propuso el diseño y la construcción de un sistema mecatrónico cartesiano de dos grados de libertad para el desplazamiento de objetos. Considerando su propósito didáctico, las señales de los sensores y de los actuadores se encuentran disponibles en bornes de conexión. Lo anterior permite controlar los movimientos del prototipo mediante cualquier sistema de control que considere los niveles de voltaje de las señales.

## II. ESTADO DEL ARTE

Son diversos los trabajos relativos a la construcción y desarrollo de equipos o sistemas destinados a la capacitación en Automatización y Control. Tres de las filosofías que se

más se han manejado en los últimos años para el diseño y la construcción de equipos didácticos de laboratorio son: Equipos físicos, Prototipos virtuales y Laboratorios remotos virtuales.

**Equipos físicos.** Diversos autores consideran que el manejo de equipos reales en los cuales los estudiantes vean físicamente el experimento que se lleva a cabo permite comprender mejor los conceptos teóricos que se buscan complementar con el trabajo práctico. Bajo este concepto se tiene el artículo [10] en el cual se describe un proceso de separación por membrana a escala. Este equipo permite a los estudiantes implementar algoritmos de control, así como desarrollar interfaces para monitoreo y configuración del sistema. En [11] se describe el empleo de robots móviles contruidos con Lego Mindstorms NTX. El objetivo del prototipo es el de ser empleado en la enseñanza de algoritmos de control PID programados en lenguaje ADA. En el campo de la capacitación en el control de equipo CNC se tiene el trabajo [12]. En éste se describe la construcción y empleo de un plóter 2D desarrollado para la experimentación en el control de posición en un plano. También bajo este concepto se tiene el trabajo [8] en el cual se describe la construcción de un sistema de mezclado de líquidos. El equipo permite la realización de experimentos relacionados con balance de materia y energía en el cual los principales parámetros son configurables por el usuario.

**Prototipos virtuales.** Otro concepto que se maneja en la literatura es el desarrollo de prototipos virtuales para fines didácticos, el cual ha sido considerado fuertemente en las dos últimas décadas. En [13] se presenta un sistema que simula el funcionamiento de un quadrotor con el objetivo de ser empleado en cursos de control. Mediante una interfaz se configuran los parámetros de operación y se monitorea el experimento. Otro desarrollo de un proceso virtual es el que se presenta en [14]. En este trabajo se describe un simulador del proceso de maceración de una cervcería artesanal. Los parámetros de funcionamiento y el monitoreo del sistema se configuran mediante diversas pantallas que conforman la interfaz de usuario. La comunicación con el equipo de control externo se realiza mediante herramientas DDE. La simulación de un sistema de desplazamiento XY se describe en [15]. En este trabajo se implementó mediante SolidWorks un dispositivo mecatrónico virtual el cual puede ser comunicado con elementos reales vía LabVIEW. El ejemplo de aplicación consistió en el control del mecanismo virtual mediante un joystick físico.

**Laboratorios remotos virtuales.** Otra variante cada vez más empleada, gracias al incremento de velocidad de la comunicación vía Internet y a la aparición de herramientas de cómputo más sofisticadas, son los laboratorios remotos virtuales. Algunas de las herramientas que se han empleado para el desarrollo de este tipo de plataformas son: LabVIEW [16], Matlab [17], Simulink [18] y C++ [19].

### III. DESCRIPCIÓN GENERAL

El sistema mecatrónico que se describe en este documento cuenta con dos grados de libertad, en los ejes XZ. A su vez tiene una ventosa que permite sujetar y desplazar un objeto, mediante el vacío generado por una

bomba de aire. Adicionalmente, se tiene un tablero de conexiones el cual funciona como interfaz entre los actuadores y sensores que forman parte del equipo y cualquier sistema de control externo que quiera emplearse. En la Fig. 1 puede observarse el sistema mecánico construido, mientras que en la Fig. 2 se muestra el tablero de conexiones dentro del cual se encuentran las etapas de potencia de los motores que se emplean en el prototipo.

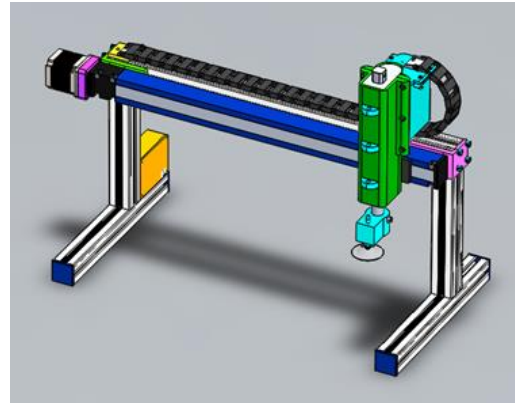


Fig. 1 Mecanismo del Sistema mecatrónico de dos grados de libertad.



Fig. 2 Tablero de conexiones del sistema.

Para facilitar la explicación de las partes que componen el sistema, éste se dividió en dos grandes partes: Sistema mecánico y Sistema electrónico. El diagrama a bloques correspondiente se muestra en la Fig. 3.

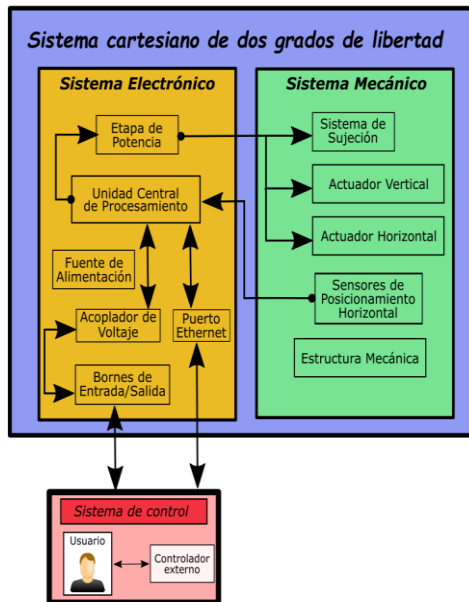


Fig. 3 Diagrama a bloques del sistema

#### IV. SISTEMA MECÁNICO

El bloque correspondiente al sistema mecánico contempla los elementos de soporte y movimiento horizontal y vertical del dispositivo mecatrónico. Así mismo, en esta parte se tiene el sistema de sujeción de objetos basado en una ventosa y una bomba de vacío. El equipo permite un desplazamiento horizontal de 45 cm, mientras que verticalmente el rango es de 10 cm. La capacidad de carga del prototipo es de 200 gr. Los rangos de movimiento se muestran en la Fig. 4 para el eje horizontal y en la Fig. 5 para el vertical.

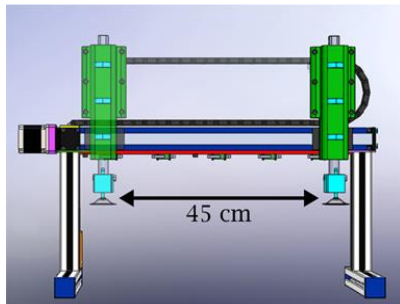


Fig. 4 Rango de operación del actuador horizontal.

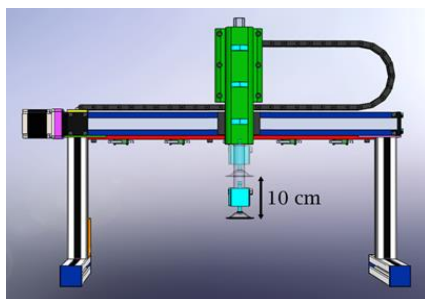


Fig. 5 Rango de operación del actuador vertical.

El sistema mecánico está conformado por cinco grandes subensambles los cuales se describen a continuación.

**Actuador horizontal.** Este subensamble se encarga de proporcionar el movimiento horizontal al sistema de sujeción. Los dos elementos principales de este mecanismo son una barra de desplazamiento lineal marca THK® modelo VLAST45-12-0500 con un rango de movimiento de 45 centímetros y un motor a pasos de la marca LIN ENGINEERING, modelo 5718M-05P-RO. Este último proporciona movimiento angular al eje de la barra la cual lo transforma en un desplazamiento lineal de una placa de soporte. En la Fig. 6 se muestra al actuador horizontal ensamblado, mientras que en la Fig. 7 se tiene una vista explosionada con los elementos que lo conforman.

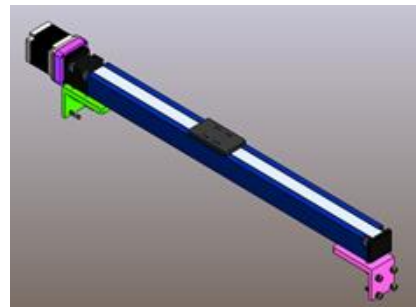


Fig. 6 Vista del actuador horizontal ensamblado.

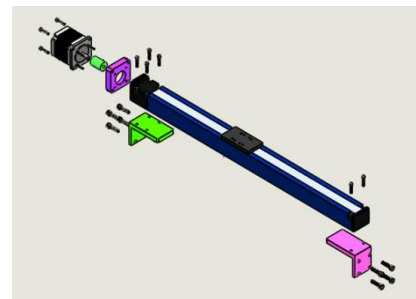


Fig. 7 Vista explosionada del actuador horizontal.

**Actuador vertical.** Este bloque se encuentra instalado en la placa de soporte del actuador horizontal y es el encargado de desplazar verticalmente al sistema de sujeción de objetos. El elemento principal es un pistón electromecánico de la marca Glideforce®, modelo LACT4P, con un rango de movimiento de 10 cm. Este dispositivo funciona mediante un motor de 12 vdc., y tiene integrado un sensor de tipo resistivo que permite conocer en todo momento la posición del vástago del pistón. En la Fig. 8 se muestra al actuador horizontal ensamblado, mientras que en la Fig. 9 se tiene una vista explosionada con los elementos que lo conforman.

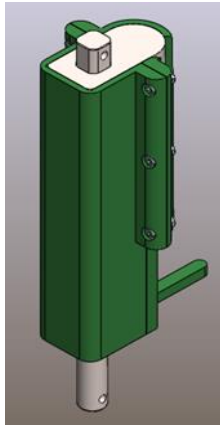


Fig. 8 Vista del actuador vertical ensamblado.

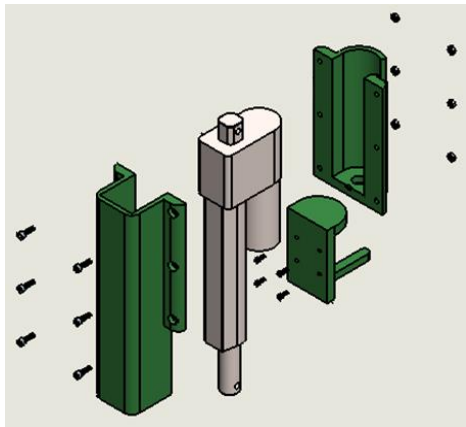


Fig. 9 Vista explosionada del actuador vertical.

**Sistema de sujeción.** El bloque está compuesto básicamente de una bomba de vacío modelo D2029B que opera con 12 vdc con tiene una capacidad de 12 l/min y una ventosa de hule cónica, con diámetro de 40 mm. El primer elemento está fijo al cuerpo del actuador vertical, mientras que el segundo está instalado en el extremo del pistón electromecánico. El peso máximo del objeto que puede sujetarse es de 200 gr. El tipo de sujeción empleado exige que la pieza a mover cuente con una superficie plana de por lo menos 45 mm. de diámetro, para asegurar la generación de vacío entre ésta y la ventosa. En la Fig. 10 se muestra en color azul al sistema de sujeción ensamblado, mientras que en la Fig. 11 se tiene una vista explosionada con los elementos que lo conforman.

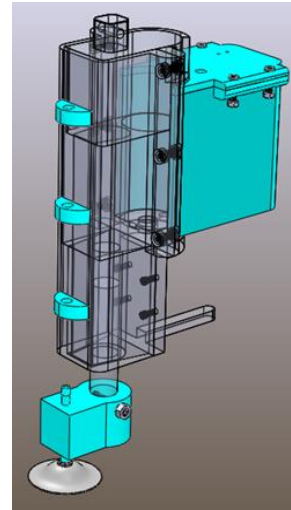


Fig. 10 Vista del sistema de sujeción ensamblado.

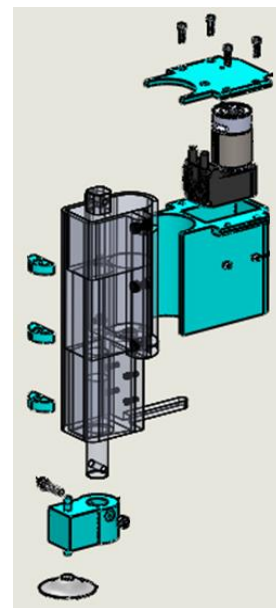


Fig. 11 Vista explosionada del sistema de sujeción.

**Sensores de posicionamiento horizontal.** En la parte inferior del actuador horizontal, se encuentra fija una placa con cinco sensores de límite distribuidos homogéneamente. Estos elementos permiten conocer, en forma discreta, la posición de la placa del actuador. La Fig. 12, muestra una vista de la placa con los sensores mencionados.

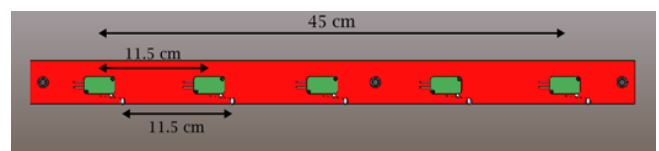


Fig. 12 Sensores de posicionamiento horizontal.

**Estructura mecánica.** Finalmente se tiene la estructura mecánica que soporta a los subsistemas descritos. Fue construida con perfil modular de aluminio de 40 x 40 mm. Tiene 65 cm de ancho, 33 cm de altura y 34 cm de profundidad. En este soporte también se encuentra una cadena porta cables, así como una caja de conexiones en la cual se agrupan las terminales de los sensores y actuadores del bloque mecánico y que permite enviar las señales al



sistema electrónico. En la Fig. 13 se muestran los elementos que conforman a la estructura mecánica del prototipo.

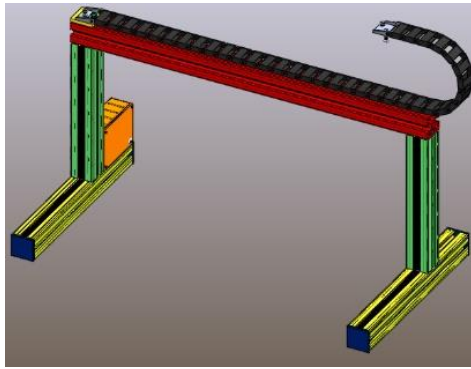


Fig. 13 Estructura mecánica del sistema mecatrónico.

## V. SISTEMA ELECTRÓNICO

El sistema electrónico desarrollado contempla las etapas de acondicionamiento de señales, tanto de entrada como de salida, así como las etapas de potencia de los actuadores integrados en el bloque mecánico: Motor a pasos del actuador horizontal, motor de 12 vdc del actuador vertical y motor de 12 vdc de la bomba de vacío. Estos bloques electrónicos se encuentran instalados dentro de un tablero de conexiones el cual sirve de interfaz con el equipo externo que se emplee para controlar los movimientos del dispositivo. La Fig. 14 muestra la cara frontal del tablero en donde se encuentran los bornes de conexión en los cuales se tiene las señales de entrada y salida del sistema electrónico.

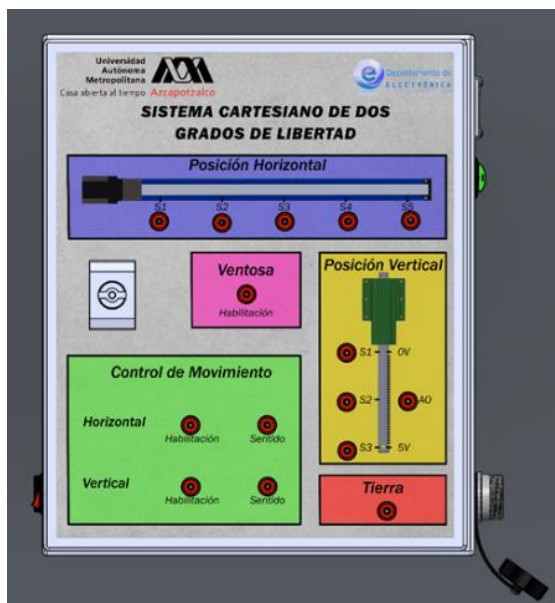


Fig. 14 Cara frontal del tablero de conexiones.

Los bloques que conforman el sistema electrónico se describen a continuación.

**Bornes de entrada/salida.** Consiste en un conjunto de bornes colocados en la parte frontal de un gabinete metálico que funcionan como entradas y salidas. Se encuentran agrupados dependiendo de su función. Para el control de movimiento horizontal se tienen dos bornes. El primero de estos sirve para habilitar el movimiento y el segundo para

indicar el sentido de este. De esta forma, cualquier dispositivo externo que envíe señales lógicas a estas terminales puede controlar este grado de libertad. Mismo funcionamiento se tiene para el actuador vertical. En el caso de los sensores, las señales de éstos están disponibles en los bornes señalados. En el caso de los sensores de movimiento vertical, se tienen tres terminales que envían igual número de señales discretas indicando si el pistón se encuentra en posición superior, media o inferior. También se tienen terminales con una señal analógica proporcional a la posición del dispositivo. En el caso del actuador horizontal, se tienen bornes con las señales discretas de los sensores de límite instalados en el mecanismo. Adicionalmente se tiene un borne para el encendido del sistema de sujeción y otro más para la referencia eléctrica del equipo. Los niveles lógicos que se manejan pueden ser de 5 vdc o de 24vdc seleccionable mediante un interruptor. Cabe mencionar que las señales de entrada y salida también están disponibles en un conector RJ-45 que permiten conectar al equipo con algún controlador vía Ethernet.

**Unidad central de procesamiento.** Se tiene un bloque basado en Arduino Mega 2560® para generar las secuencias de pulsos del motor a pasos y el control por ancho de pulso para el motor de 12 vdc del actuador vertical. Así mismo este dispositivo se encarga de la comunicación Ethernet con algún controlador externo, en el caso que se desee el intercambio de información por este método. El diagrama de flujo simplificado del programa para el Arduino se muestra en la Fig. 15.

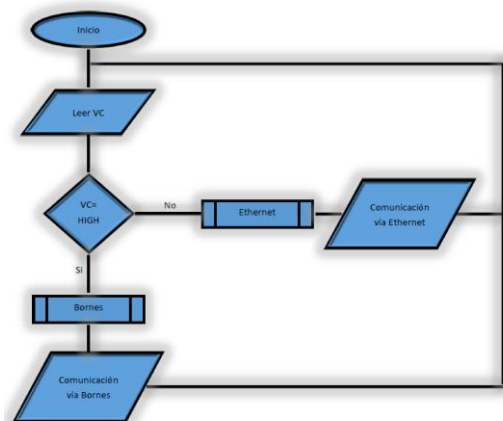


Fig. 15 Diagrama de flujo del programa utilizado en la unidad central de procesamiento.

**Acopladores de voltaje.** Esta parte se encarga de acoplar el voltaje de las señales de entrada y salida (5 vdc ó 24 vdc) con el voltaje que maneja la unidad central de procesamiento para que puedan ser procesadas. Se diseñaron y construyeron circuitos para elevar los niveles de voltaje de la unidad central a 24 vdc para las salidas. Así mismo, se construyeron reductores de voltaje para acoplar las entradas de 24 vdc a los niveles de voltaje de la unidad central.

**Etapas de potencia.** Este bloque proporciona, a partir de las señales provenientes de la unidad central de procesamiento, la energía necesaria a los motores del equipo

**Puerto Ethernet.** Se incluye un puerto de comunicación Ethernet como una segunda opción para el

intercambio de información entre el equipo y el controlador externo. Este elemento se implementó mediante el Arduino Ethernet Shield®.

**Fuente de alimentación.** Se encarga de suministrar el voltaje a todos los dispositivos del sistema. Se trata de una fuente de alimentación conmutada de múltiples salidas que entrega 24 vdc a 1 A., 12 vdc a 2 A. y 5 vdc a 5 A., se trata del modelo HTT-120F-D de la marca Haitaik®.

## VI. RESULTADOS

El diseño del bloque mecánico del equipo descrito en este documento, así como del tablero de conexiones, se realizó con ayuda del programa de cómputo SolidWorks. En éste se analizaron los movimientos del equipo, buscando que éstos cumplieran con los requerimientos planteados inicialmente. Para la construcción de la estructura de soporte se empleó aluminio modular con patas que le dan estabilidad al equipo. Para los actuadores de movimiento se eligieron dispositivos comerciales los cuales se adaptaron para realizar la función deseada. El sistema de sujeción es similar al que se emplea en equipos industriales de este tipo: mediante vacío en una ventosa.

La Fig. 16 muestra una vista frontal del bloque mecánico del equipo construido.

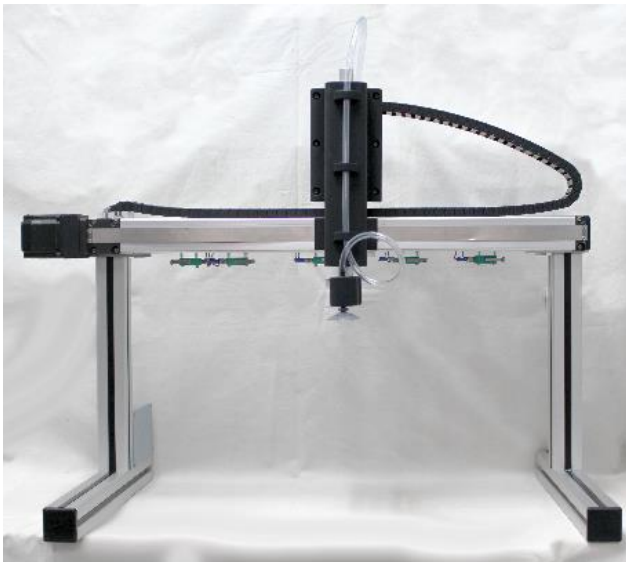


Fig. 16 Parte mecánica del sistema mecatrónico construido.

El tablero en cuya cara frontal se encuentran los bornes de conexiones para los actuadores y sensores se muestra en la Fig. 17. Se observan en el costado derecho del gabinete el conector RJ-45 del puerto Ethernet y el selector de modo de operación: por bornes o vía Ethernet. También se observa en la parte inferior del mismo costado, el conector para el cable de intercambio de señales con el bloque mecánico, las cuales, como se mencionó, se encuentran en la caja de conexiones instalada en la estructura de soporte.



Fig. 17 Tablero de conexiones construido.

En el costado derecho del tablero se encuentra el conector para el tomacorriente, así como el interruptor de encendido general. En la parte superior del gabinete se tiene un ventilador que, en conjunto con las perforaciones realizadas en el costado derecho del mismo, evita el sobre calentamiento de los elementos instalados al interior del tablero. La Fig. 18 muestra una vista del interior del gabinete de conexiones.



Fig. 18 Vista del interior del tablero de conexiones.

## VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se describieron los bloques que conforman un sistema mecatrónico de dos grados de libertad capaz de levantar y trasladar objetos en un plano. Al momento de redactar este artículo, se han realizado pruebas simples del equipo, esto es, proporcionando de forma manual los niveles lógicos para accionar de manera independiente los movimientos de los actuadores. El sistema de sujeción de objetos también ha operado de acuerdo a lo

esperado, siempre y cuando se respete la condición de la superficie lisa para la generación del vacío. La comunicación Ethernet también ha mostrado el comportamiento que se esperaba.

Entre algunos de los trabajos considerados a futuro, se pretende realizar pruebas de operación continua empleando un Controlador Lógico Programable (PLC). Lo anterior permitirá conocer los tiempos de funcionamiento máximos de los experimentos que se pueden realizar con el equipo. Desde un punto de vista de control, se iniciará el desarrollo de equipos basados en Arduino, Raspberry, Microcontroladores, PLCs, etc., para activar los movimientos. También se tiene contemplado conectar el sistema, mediante su puerto Ethernet, a programas para el control y monitoreo de procesos por computadora.

#### REFERENCIAS

- [1] L. R. Vega, "La educación en ingeniería en el contexto global: propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del Siglo XXI." *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 14, no. 2, pp. 177-190, 2013.
- [2] W. Chen, U. Shah, and C. Brechtelsbauer, "A framework for hands-on learning in chemical engineering education—training students with the end goal in mind," *Education for Chemical Engineers*, vol. 28, pp. 25-29, July 2019.
- [3] S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M.K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, and M.P. Wenderoth, "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 23, pp. 8410-8415, June 2014.
- [4] H. Posadas, and V. Eugenio, "Uso de recursos profesionales en la enseñanza del desarrollo de SW embebido," *Revista Iberoamericana de Tecnologías de Aprendizaje, RITA-IEEE*, vol. 4, no. 1, pp. 17-24, marzo 2016.
- [5] M. Magos, J.A. Lara, L.W. Rodríguez, L. Loyo, and M.A. López, "Automatización de un sistema didáctico para estudios de tiempos y movimientos," *Pistas Educativas*, no. 120, pp. 37-53, octubre 2016.
- [6] J.A. Lara, M. Magos, Z.E. Gutiérrez, M.A. Figueroa, R.M. Ramírez, and D.A. Farfán, "Tablero didáctico para prácticas con controladores lógicos programables," *Pistas Educativas*, no. 120, pp.77-93, octubre 2016.
- [7] M. Magos, and R. Godínez, "Diseño y construcción de un tablero didáctico de neumática para la capacitación en automatización industrial," *Memorias del Congreso Nacional de Control Automático*, pp. 454-459, Cuernavaca México, octubre 2015.
- [8] M.L. Delgado, and M. Magos, "Banco de tanques para realizar prácticas de laboratorio de Ingeniería Química," *memorias del XXXIII Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química*, pp. 1028-1232, San José del Cabo México, mayo 2012.
- [9] R. Godínez, M. Magos, and D.A. Mendieta, "Equipo didáctico para control y monitoreo de temperatura," *X Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Panamá, julio 2012.
- [10] A. Sharma, M. Jelemenský, R. Valo, M. Kalúz, and M. Fikar, "Process control education using a laboratory separation process," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 6, pp. 4-9, June 2016.
- [11] C. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Beregguel, and S. Dormido, "Teaching real-time programming using mobile robots," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 6, pp. 10-15, June 2016.
- [12] J. Oravec, M. Kalúz, P. Bakarac, and M. Bokosova, "Improvements of educational process of automation and optimization using 2D plotter," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 6, pp. 16-21, June 2016.
- [13] M.D. Murphy, "A modular virtual laboratory for quadrotor control simulation," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 6, pp. 93-98, July 2016.
- [14] J.A. Flores, M. Magos, J.A. Lara, J.M.Domínguez, and J.A. Godínez, "Simulación y control del proceso de maceración de una cerveza artesanal," *Pistas Educativas*, vol. 128, no. 139, pp. 487-505, febrero 2018.
- [15] G. Aquino, M. Magos, and R. Godínez, "Control en tiempo real de un mecanismo XY virtual por medio de un joystick," *Pistas Educativas*, vol. 112, pp. 1210-1231, noviembre 2015.
- [16] M. Stefanovic, V. Cvijetkovic, M. Matijevic, and V. Simic, "A LabVIEW based remote laboratory experiments for control engineering education," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 19, no. 3, pp. 538-549, September 2011.
- [17] G. Farías, R.D. Keyser, S. Dormido, and F. Esquembre, "Developing networked control labs: a Matlab and easy Java simulations approach," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 10, pp. 3266-3275, 2010.
- [18] E. Fabregas, G. Farías, S. Canto, S. Dormido, and F. Esquembre, "Developing a remote laboratory for engineering education," *Computers & Education*, vol. 57, no. 2, pp. 1686-1697, 2011.
- [19] R. Costa, M. Valles, L. Jiménez, L. Dfáz, A. Valera, and R. Puerto, "Integración de dispositivos físicos de un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: Labview, Matlab y C/C++," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 7, no. 1, pp. 23-34, 2010.