

# MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSPORTE Y CLASIFICACIÓN DE OBJETOS

***Miguel Magos Rivera***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*mrm@correo.azc.uam.mx*

***Ricardo Godínez Bravo***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*rgb@correo.azc.uam.mx*

***Marco Antonio Viguera Cabrera***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*al208331423@alumnos.azc.uam.mx*

***José Antonio Lara Chávez***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*jalch@correo.azc.uam.mx*

## **Resumen**

En este artículo se describe el diseño y la construcción de una banda transportadora modular y portátil para su uso como apoyo didáctico en cursos de automatización de procesos. El prototipo desarrollado tiene una longitud de 70 cm de largo con 16.5 cm de ancho, su peso es de 1500 g.; estas características hacen que sea fácil de manipular. La banda es accionada por un motor de pasos pudiéndose controlar su avance, retroceso y velocidad. Cuenta una barra de soporte sobre la cual se montan de forma muy simple dispositivos tales como: desviadores, lectores de códigos de barra y sensores de proximidad, entre otros. Las señales digitales de activación del motor y del desviador, así como las que generan los sensores, se encuentran normalizadas a 24 VDC, haciendo a éste compatible con la mayoría de los equipos de control industrial. Tres sistemas como el que se describe, se encuentran en uso y han demostrado ser un apoyo

en cursos de automatización, microcontroladores y electrónica de potencia entre otros.

**Palabra(s) Clave(s):** Prototipos didácticos, Automatización, Banda transportadora, Motores a pasos, Controladores Lógicos Programables

## **1. Introducción**

El avance presentado en las últimas décadas por los dispositivos de estado sólido, ha permitido que la relación beneficio costo de los equipos empleados en el control y la automatización de procesos se incremente. Una mayor capacidad de procesamiento, incremento en la velocidad de respuesta, algoritmos de control más avanzados y mayores opciones para comunicarse con otros dispositivos, son solo algunas de las características que cada día son más comunes encontrar en los equipos [1, 2, 3]. Lo anterior, aunado a la presión creciente por mejorar los procesos productivos, ha provocado que las empresas del país busquen incrementar el grado de automatización en sus equipos. Esta situación conlleva la necesidad creciente de recursos humanos capacitados en estas tecnologías. Conscientes de esta situación, las escuelas y facultades de ingeniería están incluyendo cursos relacionados con esta área del conocimiento en sus planes de estudios. Diversos trabajos de investigación educativa se han publicado en los cuales se subraya la importancia que tiene el trabajo práctico como apoyo para la comprensión de los conceptos teóricos en ingeniería [4, 5, 6]. Lo anterior implica que las universidades cuenten en sus laboratorios con equipos experimentales que permitan a los alumnos el manejo de dispositivos similares a los que encontrarán durante el ejercicio de su actividad profesional. Dados los altos costos que la mayoría de estos equipos tienen, una opción que diversas instituciones en México y el mundo han explorado es la del autoequipamiento. En la bibliografía se pueden encontrar trabajos sobre simuladores físicos para la experimentación en procesos a escala de laboratorio [7, 8, 9]. Los simuladores virtuales tienen una gran aceptación dada su facilidad de manejo y su bajo costo [10, 11, 12]. También se tienen los laboratorios a distancia, en donde el simulador se encuentra en un lugar y el usuario en otro [13, 14].

Bajo esta idea, se decidió diseñar y construir un sistema modular basado en una banda transportadora de pequeñas dimensiones el cual, mediante diversos dispositivos instalados, permitiera el movimiento y clasificación de objetos.

Al momento de redactar este documento se cuenta con tres equipos como el que aquí se describe. Estos serán utilizados en el siguiente trimestre lectivo como apoyo en los cursos de Controladores Lógicos Programables que se impartirán a estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Electrónica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

En la segunda sección de este documento se describen las características principales del sistema desarrollado y se presentan las grandes partes que lo conforman. Las cuatro secciones siguientes describen el diseño y la construcción de las partes mecánicas del dispositivo. La sección 7 expone la implementación del Circuito Electrónico de Control que permite el accionamiento de los motores empleado en la construcción del prototipo. La sección 8 del artículo muestra los resultados obtenidos, así como un ejemplo de aplicación empleando un PLC y monitoreando el proceso por medio de una pantalla gráfica. Finalmente, en la última sección del trabajo se presentan las conclusiones, así como el trabajo a futuro.

## **2. Descripción general del prototipo desarrollado**

La banda transportadora que se describe en este documento fue diseñada para cumplir con necesidades específicas de espacio de los laboratorios de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Las limitaciones que la institución tiene en sus espacios obligan a tener equipos didácticos que sean portátiles, esto es, que puedan ser almacenados mientras no se emplean y que sean fáciles de instalar por los usuarios cuando se requiera su uso. Así mismo, se buscó que el sistema diseñado tuviese la flexibilidad de tener distintas configuraciones para poder, con un solo equipo, servir de apoyo didáctico en varias prácticas de cursos diversos. En la figura 1, se puede observar una vista del prototipo desarrollado con una serie de aditamentos desmontables que permiten modificar la configuración del equipo.

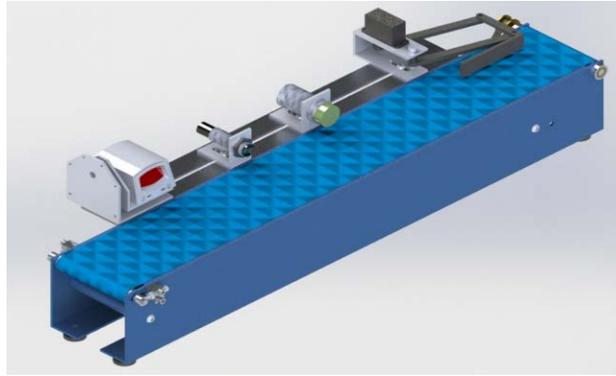


Figura 1 Vista del sistema desarrollado.

El prototipo tiene las siguientes dimensiones: 700 mm de largo, 165 mm de ancho y 115 mm de altura. La banda empleada es de lona y la tracción de la misma se realiza mediante un motor a pasos. Se diseñó un circuito electrónico que permite el control del motor para que la banda pueda, mediante señales digitales de entrada, avanzar, retroceder o detenerse. Se tiene una barra ranurada en la cual se pueden colocar diversos sensores de proximidad, así como lectores de código de barras. El sistema cuenta con un desviador de objetos, el cual también es accionado por una entrada digital.

La estructura de soporte, así como la mayoría de las partes mecánicas del sistema, fueron construidas en aluminio buscando de esta forma disminuir el peso del equipo completo. Para una mejor explicación de las partes que componen el sistema desarrollado, se ha dividido este en cinco grandes bloques:

- Sistema de Transmisión
- Desviador
- Soporte de Accesorios
- Estructura de Soporte
- Circuito Electrónico de Control

Los cuatro primeros bloques constituyen la parte mecánica del dispositivo, mismos que se observan en explosión en la imagen de la figura 2.

Los bloques que integran el sistema mecánico, así como el Circuito Electrónico de Control se describirán en las siguientes secciones del artículo.

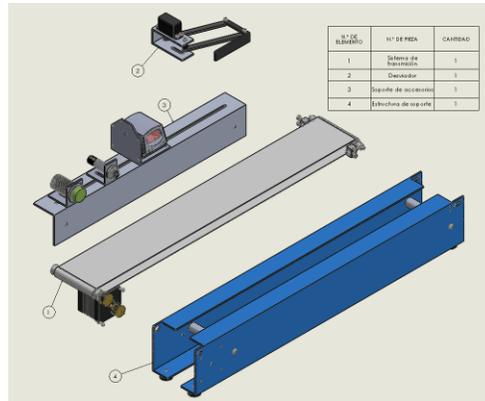


Figura 2 Explosionado del sistema mecánico de la banda transportadora.

### 3. Sistema de transmisión

Este bloque es el encargado de mover el objeto sobre la banda transportadora, sus elementos pueden ser agrupados en tres grandes partes: Sistema de Tracción, Eje de Libre Movimiento y Banda de Lona. En figura 3 puede observarse el sistema de transmisión completo, mientras que en figura 4 se tienen sus bloques en explosión.

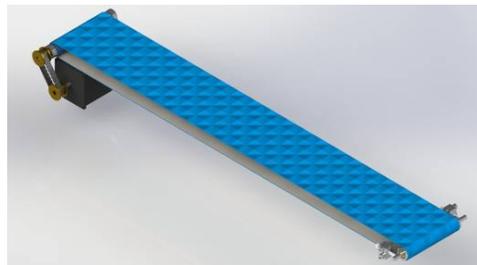


Figura 3 Sistema de transmisión.

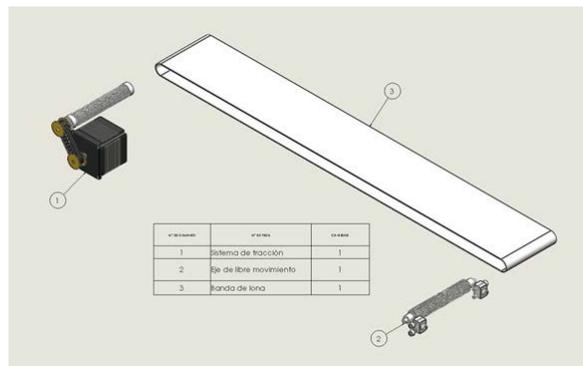


Figura 4 Sistema de transmisión en vista explosionada.

**Sistema de tracción.** Este es el subensamble encargado de proporcionar movimiento a la banda de lona. La base de este mecanismo es un motor a pasos modelo WO 5718M-02 de la marca Lin Engineering; se trata de motor bipolar NEMA 23, de 1.8° por paso, 2.1 A y torque de 1.22 N-m. Mediante un juego de poleas y una banda dentada, el movimiento del motor es transmitido a un eje metálico sobre el cual se encuentra la banda de lona. Para disminuir la fricción, el eje se encuentra montado sobre rodamientos colocados en la estructura de soporte. En la imagen que se muestra en la figura 5, se observan las partes que componen este subensamble.

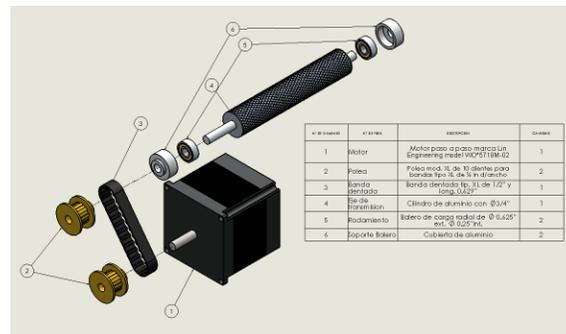


Figura 5 Componentes del sistema de tracción.

**Eje de libre movimiento.** Para lograr el movimiento adecuado de la banda, se cuenta con un eje adicional de libre movimiento, el cual, al igual que el de tracción, se encuentra montado en baleros. Con el fin de ajustar el movimiento de la banda de lona, se integró un sistema de tensado que permite alinear esta con la estructura de soporte, y de esta forma evitar algún bloqueo. En la imagen que se muestra en la figura 6, se observan las partes que componen este subensamble.

**Banda de lona.** Este elemento está elaborado en poliuretano con baja fricción en su superficie exterior para evitar deslizamientos del objeto que transporte.

#### 4. Desviador

Con el fin de que los sistemas de control que se conectarán al equipo puedan seleccionar objetos diferentes, lo anterior a partir de las señales que los

sensores, el sistema cuenta con un desviador (figura 7). Este dispositivo se diseñó en base a un mecanismo de 4 barras que, impulsado por un servomotor, permite desplazar perpendicularmente un objeto que se encuentre sobre la superficie de la banda. El servomotor utilizado es de la marca Power HD, modelo 1501 MG Analog Servo. El Circuito Electrónico de Control, cuyo diseño se explica más adelante, se encarga de generar las señales necesarias para que el motor gire el ángulo necesario para desviar la pieza deseada, lo anterior a partir de la recepción de una señal de entrada digital.

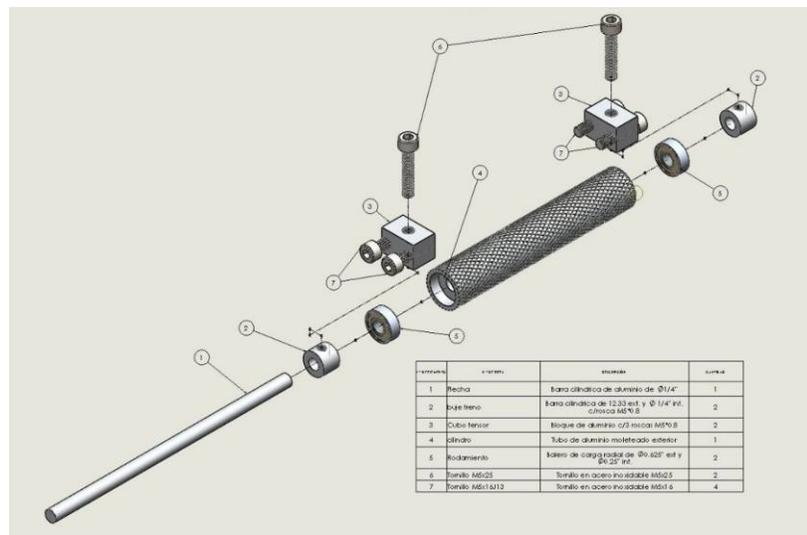


Figura 6 Componentes asociados al eje de libre movimiento.

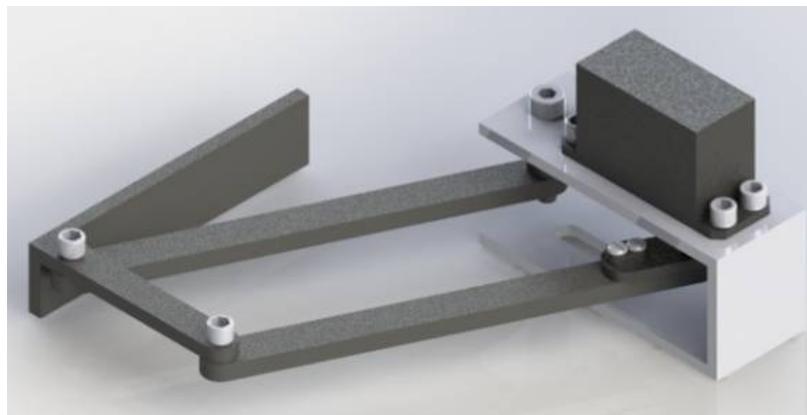


Figura 7 Vista del mecanismo desviador construido.

## 5. Soporte de accesorios

El soporte de accesorios permite la sujeción de forma sencilla de dispositivos tales como: sensores de proximidad, lectores de código de barras, lectores RFID, sensores de color y del desviador descritos en la sección anterior. Básicamente, se trata de un perfil ranurado sobre el cual se colocan los distintos soportes diseñados para cada uno de los elementos y el que a su vez se fija en una de las paredes laterales de la estructura de soporte del equipo. La figura 8 muestra una vista del soporte con algunos de los elementos que pueden colocarse sobre este.

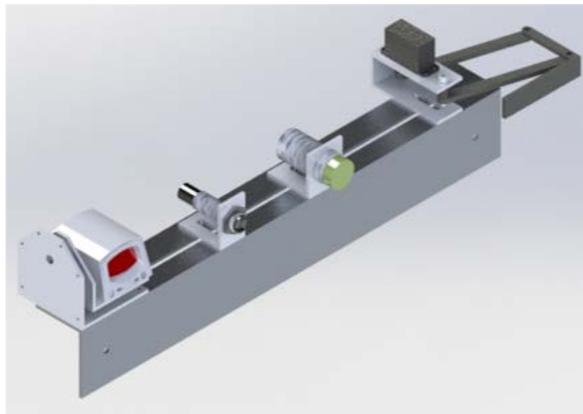


Figura 8 Soporte de accesorios con algunos elementos instalados.

El perfil fue fabricado en placa de aluminio calibre 11 a partir de la cual se formó el ángulo. Para lograr la sujeción al soporte de los elementos que se deseen emplear para un determinado experimento, se diseñaron una serie de bases especiales para cada accesorio. Estas bases son de fácil colocación, lo que permite configurar el sistema de forma sencilla y rápida.

## 6. Estructura de soporte

La estructura de soporte es la encargada de darle estabilidad a todo el sistema, cumpliendo con la rigidez requerida para una correcta rigidez al momento de entrar en funcionamiento. La mayor parte de este bloque está constituido por piezas de aluminio esto con la finalidad de reducir su peso y facilitar el transporte, manipulación o configuración de las bandas

transportadoras. En figura 9 puede observarse la estructura de soporte completa, mientras que en figura 10 se tiene el ensamble en explosión.



Figura 9 Estructura de soporte.

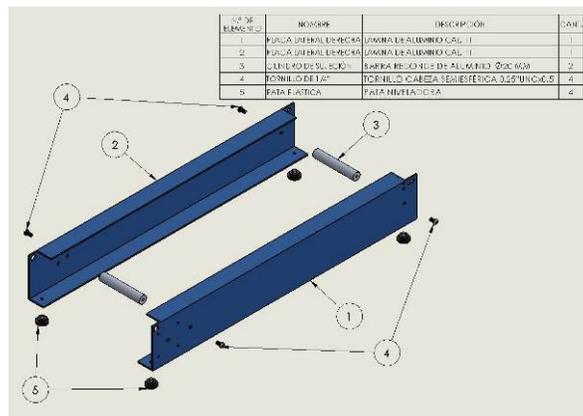


Figura 10 Componentes de la estructura de soporte.

## 7. Circuito Electrónico de Control

En esta sección se describe el diseño e implementación del Circuito Electrónico de Control encargado del control de movimiento y dirección del motor a pasos del sistema de transmisión, así como del servomotor del desviador sobre una banda transportadora. El sistema está basado en la plataforma Arduino UNO, cuenta con una fuente de alimentación externa basada en el CI LM2576, una fuente externa de 24 volts marca PHOENIX CONTACT y un módulo de potencia para motores paso a paso FMD2704A.

En la figura 11 se muestra el diagrama a bloques de esta etapa del prototipo en él se muestran los principales módulos del sistema, mismos que se explican más adelante.

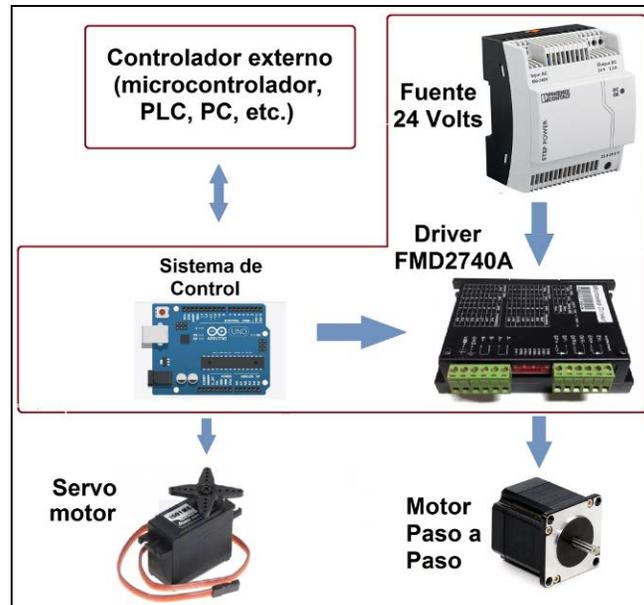


Figura 11 Diagrama a bloques del sistema electrónico.

**Sistema de control.** El diagrama a bloques del circuito electrónico encargado del control se muestra en la figura 12. El elemento central es una plataforma Arduino Uno, cuenta con una fuente regulada para la alimentación de este elemento. El bloque se complementa con un circuito acondicionador de niveles lógicos de 24 a 5 volts para la tarjeta Arduino.

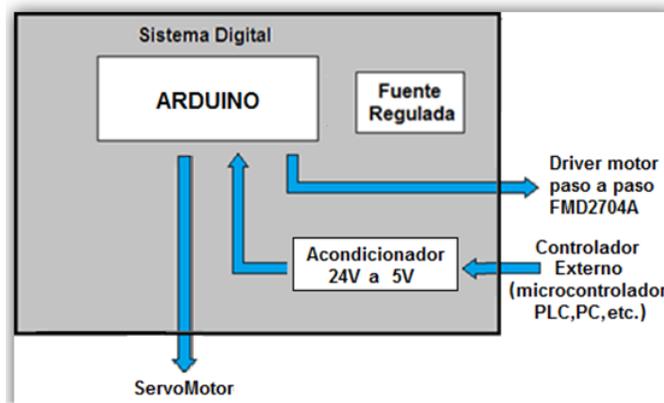


Figura 12 Diagrama a bloques del sistema digital.

En figura 13, se muestra el circuito acondicionador de voltaje diseñado para colocarse sobre la placa del Arduino.

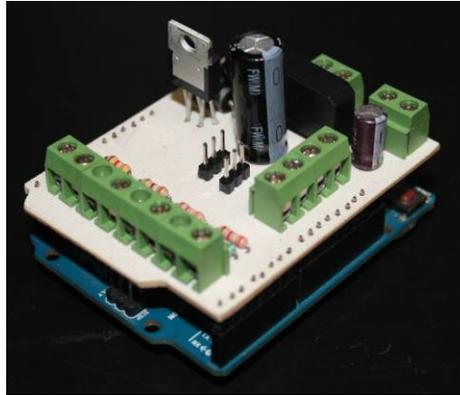


Figura 13 Vista del circuito acondicionador de voltaje colocado sobre la placa de Arduino.

La programación de la placa de Arduino, se realizó con el programa que el fabricante proporciona para este fin. Se elaboraron algoritmos para el control de los desviadores y para la activación y control del sentido de giro de la banda. La figura 14 muestra el diagrama de flujo del programa elaborado para la plataforma Arduino.

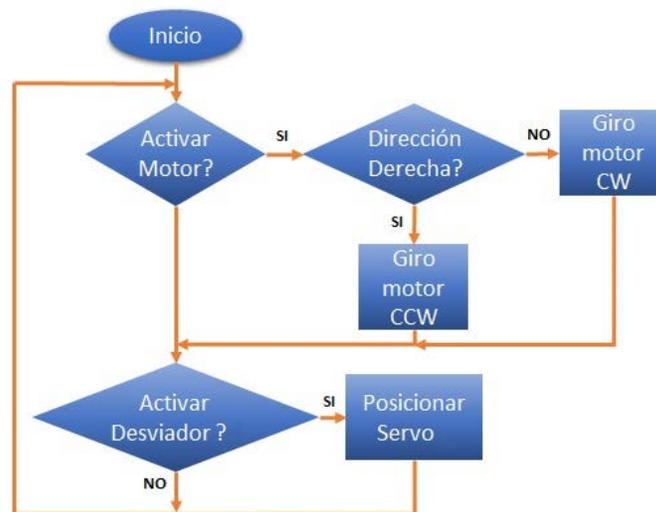


Figura 14 Diagrama de flujo desarrollado para la plataforma Arduino.

**Fuente 24 volts.** Se incluyó una fuente de voltaje de 24 VDC para la alimentación del driver del motor a pasos. Se decidió poner una fuente distinta a la del Arduino para evitar la generación de ruido que afectara a este último. Se

trata de una fuente de 24 volts de corriente directa que proporciona hasta 2.7 amperes, corriente que resulta suficiente para el manejo del motor a pasos.

**Driver FMD2740A.** El módulo FMD2740A es un driver para motor a paso bipolar con corriente inferior a 4 A. La precisión y potencia pueden ser configuradas mediante interruptores. Puede ser controlado mediante una señal de habilitación, otra señal para indicar la dirección de movimiento, ya sea a favor o en contra de las manecillas del reloj y una señal cuadrada cuya frecuencia determina la velocidad de giro del motor. En esta aplicación, es el Arduino el elemento que controla el funcionamiento del módulo de potencia para el motor a pasos, lo anterior con base en las señales de entrada digital que se reciben del dispositivo de control externo.

## 8. Resultados

Al momento de redactar este documento, se tienen en funcionamiento tres equipos como el que aquí se describe. La figura 15 muestra una vista del prototipo en una configuración que incluye dos sensores de proximidad y un desviador.

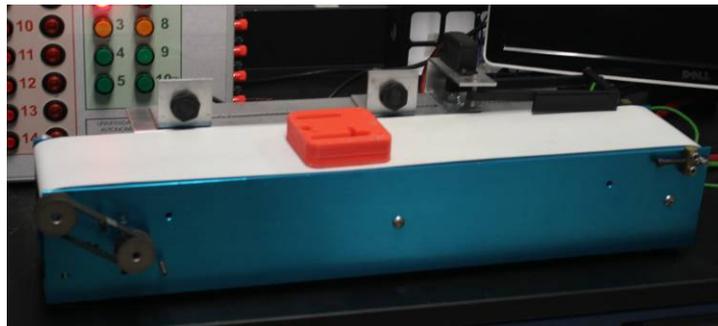


Figura 15 Vista del equipo construido.

Para verificar el funcionamiento correcto del equipo, se propuso un ejemplo en el cual la banda es controlada mediante un tablero didáctico basado en un PLC S7-1200 de la marca Siemens, mismo que cuenta con una pantalla táctil modelo KTP600 del mismo fabricante.

El ejercicio considera una configuración similar a la que se muestra en la figura 16: dos sensores de proximidad y un desviador. Al momento que un objeto es

depositado en la banda, el primer sensor lo detecta, haciendo que la banda inicie su movimiento. Al ser detectado el objeto por el segundo sensor, el desviador se acciona, haciendo que salga de la banda.



Figura 16 Vista de la implementación del ejemplo descrito.

Como se mencionó anteriormente, este sistema puede ser empleado bajo distintas plataformas, una de ellas es con sistemas de Interface Hombre-Máquina. En figura 17, se observa una vista de la pantalla de monitoreo gráfico del tablero didáctico empleado, en la cual se desarrolló una animación en tiempo real que muestra el movimiento de la banda.



Figura 17 Vista de la implementación del interface Hombre-Máquina del ejemplo descrito.

## 9. Conclusiones

En este artículo se describió el diseño y la construcción de una banda transportadora modular para aplicaciones didácticas. Las etapas de construcción del prototipo fueron explicadas, así como las características principales del mismo. Se incluyó a manera de ejemplo, una configuración del sistema para la detección de objetos y el desvío de este de la banda. En el desarrollo del ejercicio pudo comprobarse la facilidad que el sistema tiene para cambiar la configuración del mismo en forma sencilla y rápida. Lo anterior le da versatilidad para poder ser empleado como apoyo en diversas prácticas y con distintas plataformas de control.

Como trabajo a futuro se analizará el impacto que tiene el equipo como apoyo en cursos de Controladores Lógicos Programables. Cabe mencionar que el diseño de otro sistema transportador de características similares, pero esta vez basado en una banda de cadena plástica se encuentra avanzado.

## 10. Bibliografía y Referencias

- [1] J. Payne, "PLC vs. PAC". *Control Engineering Magazine*. Vol. 60 No. 2. February 2013. Pp 30-32.
- [2] J. Montague, "PLCs Taking some excellent Adventures". *Control*. Vol. 26 No. 1. January 2013. Pp 71-73.
- [3] S. Natsui, "PLC Developments Increase Flexibility and Speed". *Control Engineering Magazine*. Vol. 59 No. 8. August 2012. Pp 28-31.
- [4] R. M. Felder, "Learning and Teaching Styles in Engineering Education". *Engineering Education*. Gainesville, Florida, E.U.A. June 2002.
- [5] R. M. Felder, D. R. Woods, J. E. Stice, A. Rugarcia, "The Future of Engineerin Education II. Theaching Methods that Work". *Chemical Engineering Education*, Gainesville, Florida, E.U.A. 2000.
- [6] F. Bjarne, E. Tor, "Game Play in Engineering Education – Concept and Experimental Results" *Int. J. Engng Ed*. Vol. 22. No. 5. 2006. Pp. 1043-1052.

- [7] I. Siller, A. Alcántara, J. Jaimes, I. Ramírez, N. Nájera, "An Educational Level Control System". WSEAS/IASME International Conference on Educational Technologies. Bucharest, Romania. October 2006.
- [8] U. Cortés-Ramírez, J. J. Vásquez-Sanjuan, M. A. Alonso-Pérez, "Plataforma didáctica de control automático basada en un reductor de tensión cd-cd (buck)". *Pistas Educativas*. Instituto Tecnológico de Celaya. No. 108. Octubre 2014. Pp 389-410.
- [9] M. Magos, L. Delgado, "Banco de tanques para realizar prácticas de Laboratorio de Ingeniería Química". XXXIII Encuentro Nacional de la Asociación Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química. San José del Cabo, BCS. México. Mayo 2012.
- [10] İ. Öztel and C. Öz, "Developing a virtual driving simulator for educational purpose". *Balkan Journal of Electrical & Computer engineering*. Vol. 2 No.2. June 2014.
- [11] G. Sánchez-Mares, E. Ortega-Maldonado, I. Castorena- Alvarado, "Implementación de Simulaciones Usando Easy Java Simulations para Laboratorio Virtual". *Avances de Ingeniería Electrónica 2013*. Universidad Autónoma Metropolitana. Pp. 113-121. 2013.
- [12] M. Macías, A. Izaguirre, "Virtual Reality Machines to Improve Training in Automation". Eleventh Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Cancun, México. August 2013.
- [13] C. Pereira, S. Paladini, F. Menine, "Control and automation Engineering Education: combining physical, remote and virtual labs". *IEEE 9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices*, Chemnitz, Germany. March 2012.
- [14] M. Hincapié, O. Salas, M. Ramirez, B. Carranza, "Implementation of a Teleoperated Didactic Manufacturing Cell through Internet2 as a Means of Engineering Education\*". *International Journal of Engineering Education*. Vol. 29. No 1. 2013. Pp. 1-11.

## **11. Autores**

Dr. Miguel Magos Rivera. Es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestro y Doctor en Control Automático por la Universidad Claude Bernard de Lyon (Francia). Actualmente es profesor investigador en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Ing. Ricardo Godínez Bravo es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana. Actualmente cuenta con el 100% de créditos de la Maestría en Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Ecatepec además de ser profesor-investigador en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

Marco Antonio Vigueras Cabrera, es estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica en la Universidad Autónoma Metropolitana.

Ing. José Antonio Lara Chávez. Es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana y actualmente es ayudante del Departamento de Electrónica de la misma Institución.