

AUTOMATIZACIÓN DE LA ETAPA DE CORTE DE UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO TERMOFIJO

AUTOMATION OF THE CUTTING STAGE OF A TERMOFIJO PLASTIC EXTRUDER

Miguel Magos Rivera

Universidad Autónoma Metropolitana
mrm@azc.uam.mx

Jose Antonio Lara Chavez

Universidad Autónoma Metropolitana
jalch@azc.uam.mx

Juan F. Cuevas Olivares

Universidad Autónoma Metropolitana

Resumen

En este artículo se presenta el diseño y la implementación de la automatización del sistema de corte para una extrusora de una empresa fabricante de plástico termofijo. El material producido por esta máquina es una pasta la cual es moldeada para que tome la forma de un cilindro continuo. Por requerimientos de los clientes, el material tiene que ser cortado en porciones de longitud determinada, antes de ser empacado. A su vez, dependiendo del tipo de material producido es necesario emplear diferentes mecanismos de corte. El sistema de control de corte diseñado está basado en un Controlador Lógico Programable y cuenta con tres modos distintos de operación. La configuración del sistema la realiza el operador mediante una interfaz diseñada para este fin. Por medio de una serie de menús que se despliegan en una pantalla LCD y con ayuda de un teclado, es posible elegir el método de corte a utilizar. Las etapas de diseño y construcción son presentadas, así como el resultado obtenido. El sistema tiene 24 meses operando adecuadamente necesitando únicamente el mantenimiento normal asociado a equipos industriales. El beneficio para la empresa se reflejó en una menor cantidad de piezas fuera de especificación, así como en la reducción del tiempo de paro relacionado con el cambio de tipo de corte.

Palabras clave: Automatización industrial, controladores lógicos programables, extrusora, interfaz de usuario, plástico termofijo.

Abstrac

This paper, presents the design and implementation of the automation of the cutting system of an extruder of a plastic manufacturer. The material produced by this machine is a paste which is molded to take the form of a continuous cylinder. For customer requirements, the material has to be cut into portions of determined length, before being packed. In turn, depending on the type of material produced it is necessary to use different cutting mechanisms. The cutting control system designed is based on a Programmable Logic Controller and it has three operation modes. System configuration is performed through an interface designed for this purpose. The cutting method to be used is selected by means of a keyboard and a series of menus that are displayed on an LCD screen. The design and construction stages are presented, as well as the result obtained. The system has 24 months operating properly, needing only the normal maintenance associated with industrial equipment. The benefit for the company was reflected in a smaller number of parts out of specification, as well as in the reduction of the time of unemployment related to the change of type of cut.

Keywords: Extruder, industrial automation, programmable logic controllers, thermofix plastic, user Interface.

1. Introducción

Problemática

Debido a su bajo costo y a sus propiedades mecánicas, los plásticos han remplazado a materiales tales como: la madera, acero, cerámica y cemento, sólo por mencionar algunos. Un ejemplo de lo anterior se encuentra en [Drobny,1988], donde se presentan diversas aplicaciones de los plásticos en industrias tan distintas como la automotriz y la médica.

La empresa para la cual se desarrolló el proyecto presentado se dedica a fabricar diversos compuestos moldeables, entre los cuales se encuentra un plástico

termofijo. Este material, una vez que ha sido moldeado, no puede cambiar de forma, a diferencia de los termoplásticos que mediante calor pueden fundirse y volver a utilizarse, [Stevens, 1998], [Groover, 2007]. El plástico termofijo es la base para la fabricación de diversos elementos empleados en la industria automotriz, eléctrica y de productos electrodomésticos, entre otras. Este termofijo es el resultado de la mezcla de diversos materiales de acuerdo a una formulación y proceso determinados, que establecen las cantidades de cada material, así como los tiempos de duración de cada una de las etapas del proceso. El producto obtenido es una pasta que se envía a los clientes bajo distintas presentaciones. En varias de las líneas de producción de la empresa, el material fabricado es introducido a una extrusora la cual produce un cilindro continuo de material, que es cortado en porciones de longitud determinada.

Antes de iniciar el proyecto de automatización que aquí se describe, el control de los dispositivos de corte del material se realizaba en forma manual. Este modo de funcionamiento implicaba demasiadas piezas fuera de especificación, lo cual provocaba desperdicio de material. A su vez, el cambio del tipo de mecanismo de corte, debido a especificaciones de los productos, requería varias horas de paro de las líneas de producción. Tomando en cuenta lo anterior, la empresa decidió llevar a cabo la automatización de la etapa de corte de sus extrusoras empleando como elemento central un Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés).

Estado del arte

El Controlador Lógico Programable es la herramienta más empleada en aplicaciones de automatización industrial. Lo anterior se debe a la enorme versatilidad que este tipo de equipos tiene para emplearse en el control de procesos de prácticamente cualquier rama industrial, [Peixoto, 2014]. Estos equipos cuentan con módulos de entradas y salidas digitales, siendo posible agregar puertos para entradas y salidas analógicas. De manera similar, pueden ser complementados con módulos de comunicación, lo cual amplía sus opciones de conectividad con otros equipos, [Kiran, 2013]. Existen múltiples trabajos en los cuales se reporta la aplicación de PLCs; en [Bittrick, 2007], se presenta un análisis del impacto que los

sistemas de automatización han tenido en la industria cervecera. Se destaca al PLC como un elemento que simplificó el control de los diversos procesos que intervienen en la fabricación de esta bebida. Por su parte, en [Magos, 2010] se presenta una aplicación de tipo industrial en la cual se emplea un PLC de la marca Siemens para el control de la secuencia de operación de una mezcladora para la fabricación de plástico. El empleo de estos dispositivos en industria automotriz también ha sido reportado; por ejemplo, en [Hamilton, 2018] se presenta la automatización de una línea de extrusión en una planta armadora de Mitsubishi en Brasil empleando PLCs de Allen Bradley. Aquí se destaca la reducción de tiempo que se tiene en la etapa de diseño al utilizar este tipo de equipos. La aplicación de este tipo de controladores en equipos CNC también ha sido estudiada. En [Gill, 2018] se plantea cual será el rol del PLC en los procesos de manufactura mecánica bajo el concepto de Industria 4.0. La implementación de algoritmos modernos de control en Controladores Lógicos Programables ha sido también reportada. En [Priyanka, 2018] se presenta el uso de un algoritmo de control PID basado en lógica difusa empleado para el monitoreo y control de flujo en oleoductos. A nivel laboratorio también existen aplicaciones que han sido reportadas. En [Bayindir, 2011] los autores presentan el empleo de un PLC para el bombeo de agua. En este trabajo se destaca la capacidad de comunicación del equipo, lo que facilita su conexión en lugares donde el cableado es difícil de implementar. Bajo esta misma línea de aplicaciones de laboratorio, podemos mencionar el trabajo presentado en [Aquino, 2015].

En este artículo los autores exponen la forma en que se empleó un Controlador Lógico Programable en el control del módulo de calentamiento de una máquina para ensayos de torsión en caliente. Los anteriores son solo algunos ejemplos de aplicación de este tipo de controladores, en [Alphonsus, 2016] los autores presentan una revisión bibliográfica más amplia de proyectos industriales en los cuales el PLC es el dispositivo central.

2. Método

El equipo automatizado realiza el corte de material plástico extruido mediante dos mecanismos. El primero se basa en una cuchilla montada en un pistón neumático,

mientras que el segundo emplea una cuchilla giratoria. A su vez el sistema neumático cuenta con dos opciones: cuchilla tipo placa y cuchilla de doble filo.

El elemento central del sistema de control del corte es un Controlador Lógico Programable, para esta aplicación se seleccionó un modelo que cuenta con un teclado y una pantalla alfanumérica. Estos elementos del controlador se emplearon para la elaboración de una interfaz que, mediante un menú de opciones, permite al usuario seleccionar el tipo de corte a utilizar.

Antes de detallar los elementos que componen a los mecanismos de corte, se presenta una breve descripción de la línea de producción. Esta sección del artículo concluye con la exposición de la automatización realizada.

Descripción de la línea de producción

La extrusora cuyo sistema de corte fue automatizado, se muestra en la figura 1. El equipo basa su operación en la rotación de un tornillo sinfín cuyo giro es producido por un motor eléctrico trifásico de 10 hp. Este elemento se encuentra acoplado al eje del tornillo mediante un sistema de cadenas de transmisión. La alimentación manual del producto se realiza en la parte superior del equipo y cuenta con boquillas intercambiables.

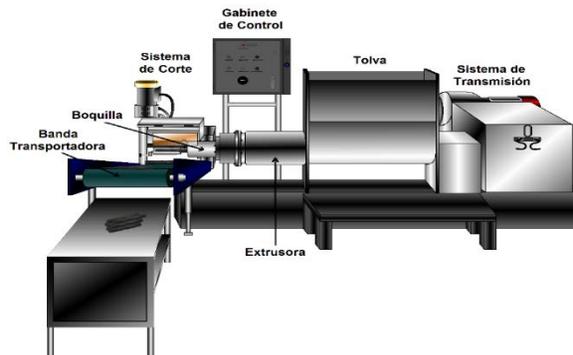


Figura 1 Línea de producción.

El material sale de la extrusora en forma continua, por lo que a la salida de la boquilla se cuenta con un sistema de corte que proporciona porciones de determinada longitud. Una banda transportadora recibe el cilindro de material cortado y lo traslada a la zona de empaque. El último elemento que conforma la línea de

producción, es un gabinete de control en el cual se ubica el controlador y algunos de los elementos eléctricos empleados en la automatización.

Sistema de corte neumático

Cuchilla tipo placa

En esta opción se utiliza como elemento de corte una placa metálica con filo en uno de sus lados, la cual se encuentra fija en el extremo de un cilindro neumático. Al detectarse que se tiene una porción de material de la longitud especificada, el sistema de control debe realizar las acciones necesarias para que se efectúe un ciclo bajar/subir del pistón, lo que provocará el corte de la pieza. La figura 2, muestra el mecanismo empleado.

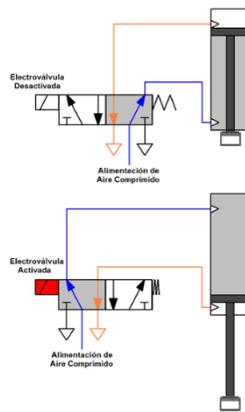


Figura 2 Sistema de corte neumático tipo placa.

Cuchilla de doble filo

Esta opción es similar a la anterior, también se realiza mediante el desplazamiento del elemento de corte por medio de un pistón neumático. La diferencia radica en que ahora la cuchilla es una lámina con doble filo colocada en un arco metálico fijo al extremo del cilindro neumático. Al momento que se detecta una porción de material de la longitud especificada, el control hace descender el pistón efectuando el corte. El pistón mantiene esa posición hasta que se detecta un nuevo cilindro de material, en ese momento se hace subir la cuchilla. Para este tipo de cuchilla una operación de corte se realiza con el ascenso o descenso del pistón neumático. La figura 3 muestra vista de la cuchilla empleada en esta opción de corte.



Figura 3 Cuchilla de doble filo.

Sistema de corte con cuchilla giratoria

Esta opción de corte está conformada por dos cuchillas con correderas metálicas montadas a 180° sobre un vástago como se muestra en la figura 4.

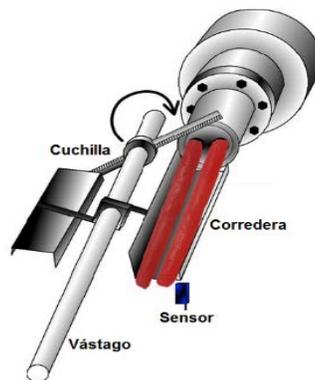


Figura 4 Sistema de corte con cuchillas giratorias.

El eje con las navajas se encuentra conectado a un motor eléctrico vía un embrague electromecánico. Este elemento cuenta con tres balatas, la primera al estar unida al eje del motor proporciona el movimiento giratorio, la segunda se encuentra sujeta a la carcasa del embrague y sirve como freno. Ubicada entre las dos primeras, la tercera balata puede desplazarse longitudinalmente para estar en contacto con la que gira o bien con la que sirve de freno. La posición de esta última balata es determinada por el estado de un electroimán incluido en el embrague, y es en ella que se encuentra instalado el vástago con las cuchillas.

En estado estable la balata con las cuchillas está en contacto con la que hace la función de freno. Al momento que se detecta una porción de material de la longitud especificada, el control activa el electroimán del embrague poniéndola esta vez en contacto con la balata del motor. La acción anterior dura el tiempo suficiente para

que el vástago gire 180° regresando el embrague a su posición de frenado. La secuencia de estos pasos permite realizar una operación de corte. La figura 5 muestra una vista del mecanismo descrito.

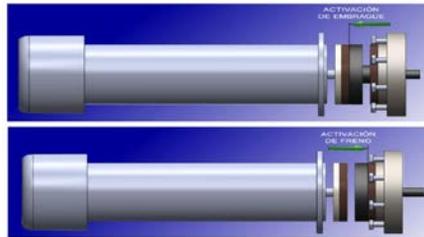


Figura 5 Funcionamiento del embrague del sistema de corte con cuchillas giratorias.

Sistema de control de corte

El objetivo de esta etapa del sistema es accionar, en el momento correcto, el elemento que realiza el corte de las porciones extruidas. En el caso del corte mediante pistón neumático, el elemento a controlar es la electroválvula que permite el paso de aire comprimido. Cuando el corte se realiza con las cuchillas giratorias el elemento a controlar es el embrague electromecánico, específicamente, el electroimán del mismo. En ambos casos, el instante correcto para efectuar una operación de corte es determinado por sensores de proximidad. Estos señalan al controlador que una porción de material con la longitud establecida ha sido extruida y debe ser seccionada. El mecanismo de corte con cuchillas giratorias cuenta con un sensor adicional que indica cuando el vástago ha girado 180°. Esta información permite al controlador generar las señales necesarias para colocar al embrague en su posición de frenado, una vez que el corte se ha realizado. La secuencia de control de corte es manejada mediante un Controlador Lógico Programable (PLC). El modelo seleccionado para este proyecto cuenta con una pantalla de cristal líquido, así como un conjunto de ocho teclas. Estos elementos conforman la interfaz de usuario que permite señalarle al controlador que tipo de corte se va a utilizar. Se elaboraron dos subrutinas de control una para cada tipo de corte. Con base en la información recibida desde la interfaz de usuario, el programa principal decide que subrutina se ejecutará. La figura 6 muestra un diagrama de bloques con las secciones que conforman el sistema de control de la etapa de corte de la extrusora.

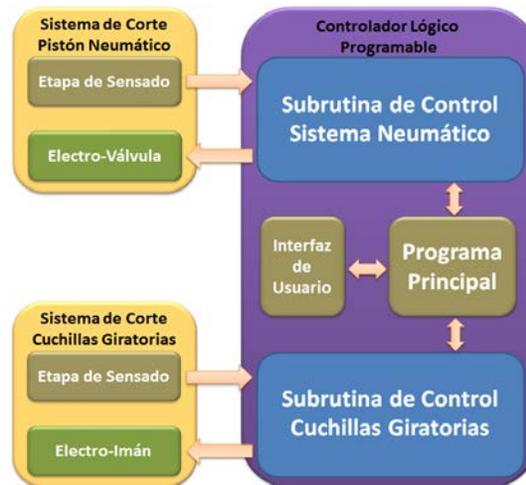


Figura 6 Diagrama de bloques del sistema de control de corte.

Sistema de corte neumático

Etapa de sensado. En este modo de operación se utiliza un sensor de presencia el cual se encuentra instalado frente a la boquilla del extrusor. Este elemento se ubica a una distancia igual a la longitud que se desea tenga el cilindro extruido. De esta forma, la detección del inicio del segmento de material señala que se tiene una porción del tamaño necesario. Se seleccionó para esta aplicación el modelo E3S-CL1 de la marca Omron, se trata de un sensor de tipo fotoeléctrico difuso con un alcance máximo de 20 cm. El rango de alimentación de voltaje es de 10 a 30 VDC, con salida de 24 VDC. Su encapsulado es de tipo rectangular con cable integrado [Omron, 2018]. Con el fin de acoplar la señal de salida del sensor (24 VDC) con la requerida en la entrada del PLC (120 VAC), se agregó un relevador electromecánico.

Electroválvula. Este dispositivo permite el paso de aire comprimido al cilindro neumático de doble efecto en cuyo extremo se encuentra montada la cuchilla. Se trata de una electroválvula 5/2 activada por una bobina de 120 VAC con retorno por resorte. Las condiciones de activación de la bobina de la electroválvula se encuentran establecidas en el programa del PLC. La configuración del equipo electromecánico es el mismo para los dos tipos de opciones de corte mediante pistón neumático, lo que cambia es la secuencia del controlador.

Sistema de corte con cuchillas giratorias

Etapa de sensado. En este sistema de corte están involucrados dos sensores: el que detecta el inicio de una porción de material y el que señala el giro de 180° del vástago con las cuchillas de corte. Para el primero de los dispositivos se eligió el mismo sensor que se empleó en el mecanismo neumático: el modelo E3S-CL1 de la marca Omron. En este caso también se utiliza un relevador para acoplar el nivel de voltaje de la salida del sensor con el de la entrada del controlador.

Para la detección del giro del vástago con las cuchillas, se seleccionó un sensor de fin de carrera con accionamiento lateral de la serie BAF1 de Honeywell. El dispositivo cuenta con un interruptor de 1 polo 2 tiros con capacidad de 15 A [Honeywell, 2015]. En este caso no se requiere de acoplamiento de señales ya que el sensor puede manejar los niveles de voltaje requeridos por el controlador.

Como ya se mencionó, este sistema realiza un corte haciendo girar 180° el vástago con las cuchillas. La señal de activación del embrague para iniciar el movimiento giratorio es proporcionada por el sensor fotoeléctrico, mientras que la señal para desactivar el embrague la entrega el sensor de giro. Para activar el movimiento únicamente 180°, el vástago cuenta con dos protuberancias las cuales accionan al sensor de límite. La figura 7 muestra el funcionamiento de esta sección de la etapa de sensado del sistema de corte con cuchillas giratorias.



Figura 7 Sensor de giro y protuberancias en el vástago con cuchillas.

Embrague electromecánico. Como ya se mencionó, el motor del sistema de corte opera en forma continua, por lo que se incluyó un sistema de embrague-freno de tipo electromecánico. Se empleó un modelo de la familia PMB del fabricante Thomson Industries, se trata de un conjunto que permite tanto transmitir el giro de

un motor a una carga, como frenarla. Su funcionamiento es por fricción entre discos que se acoplan mediante un electroimán. El voltaje de activación de este dispositivo es de 90 VDC. La generación de movimiento para este sistema de corte se realiza por medio de un motor trifásico 240 VAC y un variador de velocidad. El encendido del sistema de transmisión se realiza manualmente en el gabinete de control, mientras que la activación del embrague se realiza mediante una de las salidas del PLC. Se emplea un relevador electromecánico para acoplar el voltaje de salida del controlador (120 VAC) con el del embrague (90 VDC).

Controlador lógico programable

El sistema de control de corte está basado en un Controlador Lógico Programable, este dispositivo determina, con base en un programa almacenado en su memoria y la configuración que se proporciona vía la interfaz de usuario, cuál de los dos sistemas de corte se empleará: Neumático o Cuchillas Giratorias. Asimismo, es el encargado de activar el dispositivo asociado a la función de corte: electroválvula para el caso del sistema neumático o embrague para el sistema de cuchillas giratorias.

El controlador seleccionado para esta aplicación fue el modelo ZEN10C3AR-AV2 de la marca Omron. Se trata de un controlador de baja capacidad (96 líneas de programa), pero que cubre las necesidades del proyecto, además de abrir la posibilidad de modificaciones o ampliaciones futuras. Las características básicas de este controlador son: Alimentación de 120 VAC, con 6 entradas digitales a 120 VAC y 4 salidas a relevador. Cuenta con una pantalla alfanumérica con 4 líneas de 12 caracteres cada una. Así mismo, tiene 8 teclas que permiten el envío de comandos al programa de control [Omron, 2008].

Los elementos que fueron conectados a las entradas del PLC son dos: el sensor fotoeléctrico que detecta el inicio de una porción de material y el sensor de límite que detecta el giro del motor del sistema de corte por cuchillas giratorias.

En cuanto a las salidas también se tienen conectados dos elementos: la electroválvula del pistón para el sistema de corte neumático y el electroimán del embrague electromagnético para el sistema de corte con cuchillas.

Interfaz de usuario. Como ya se mencionó, el PLC cuenta con una pequeña pantalla LCD y 8 teclas las cuales fueron configuradas en esta aplicación para que el operador especifique el tipo de sistema de corte que se utilizará. Son 10 mensajes en los que se despliegan menús que guían al usuario en la configuración del sistema de control. Con ayuda de las teclas que el controlador tiene en su cara frontal, se seleccionan los parámetros necesarios para indicar la opción de corte que se desea emplear.

Programa del PLC. Al encenderse el sistema, se ejecuta el programa principal desarrollado para el Controlador Lógico Programable en diagrama de escalera. Este se encarga de desplegar los mensajes del menú de configuración, así como determinar, a partir de la información proporcionada por el usuario, el tipo de corte a efectuar. Enseguida se ejecuta una de tres subrutinas: Corte neumático con cuchilla tipo placa, Corte neumático con cuchilla de doble filo o Corte con cuchillas giratorias. La lectura de las señales de los sensores, así como el accionamiento del actuador correspondiente al modo seleccionado, la efectúa el PLC dentro de la subrutina asociada. En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo del programa implementado en el PLC.

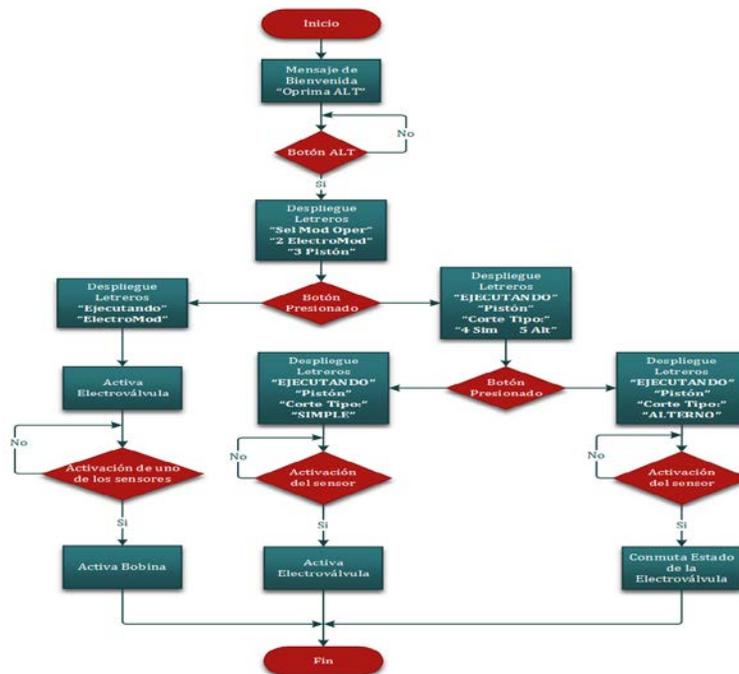


Figura 8 Diagrama de flujo del programa del PLC.

3. Resultados

A continuación, se presenta el desglose de los resultados obtenidos los cuales engloban la interface desarrollada, así como el equipo físico construido.

Interfaz de usuario

Como ya se mencionó, son 10 las pantallas que conforman la interfaz de usuario que permite la configuración del tipo de corte que se desea utilizar. En la figura 9 se muestran dos de las pantallas del sistema. La primera despliega el mensaje de bienvenida que aparece al encender el equipo, mientras que la segunda pantalla contiene el menú de selección del tipo de corte. En la figura 10 se muestran las pantallas que corresponden a la selección del tipo de corte neumático (pistón) con cuchilla tipo placa (simple). El resto de las pantallas son similares a las que se muestran a manera de ejemplo.

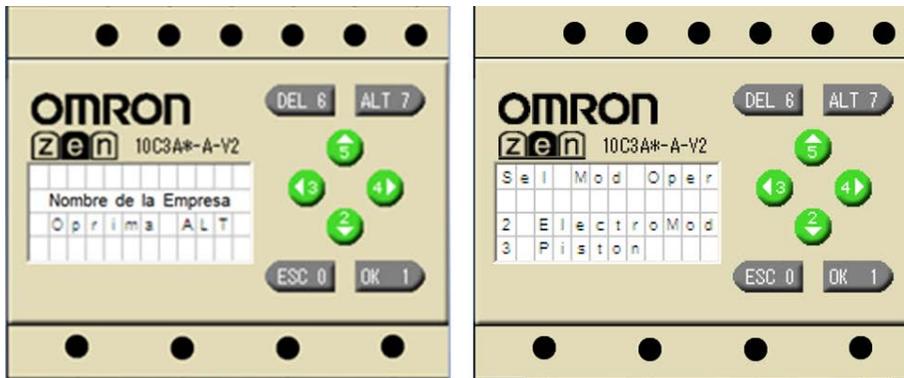


Figura 9 Mensaje de bienvenida y selección del tipo de corte.

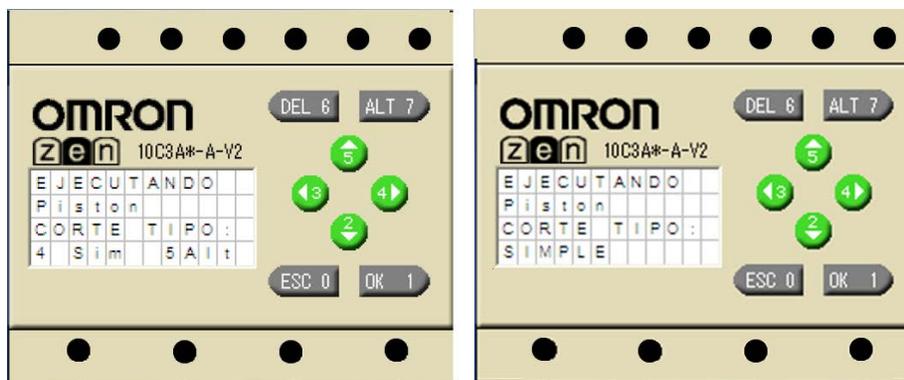


Figura 10 Selección del modo de operación.

Gabinete de control

El Controlador Lógico Programable se instaló al interior de un gabinete metálico de 550 mm de ancho, 510 mm de largo y 200 mm de profundidad, de la marca Square-D. Dentro de este tablero se encuentran los contactores y variadores de velocidad de los tres motores eléctricos involucrados en la línea de producción. También aquí se ubicaron los relevadores de acoplamiento descritos, así como la fuente de voltaje que alimenta de corriente continua a los elementos del sistema de control de corte. La mayoría de los dispositivos se montaron sobre segmentos de riel normalizado DIN, los cuales a su vez se fijaron a la platina metálica del gabinete. Las conexiones entre los componentes se realizaron empleando clemas y cables con etiquetas numéricas, lo anterior con el fin de facilitar futuras modificaciones, así como el mantenimiento del equipo. Los cables de conexiones se encuentran contenidos en diversos tramos de canaleta plástica de 1 pulgada. En la puerta del gabinete se instaló el interruptor de Encendido/Apagado del equipo, así como los botones de arranque y paro de los motores con sus indicadores correspondientes. Las figuras 11 y 12, muestran imágenes del gabinete de control construido.

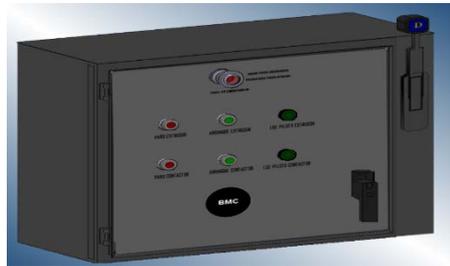


Figura 11 Vista exterior del tablero de control del sistema de corte.

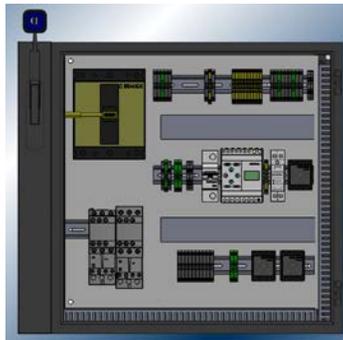


Figura 12 Vista interior del tablero de control del sistema de corte.

4. Discusión

No obstante que el controlador seleccionado para la aplicación tiene un número reducido de entradas y salidas, resultó suficiente para cumplir con los requisitos establecidos por el personal de la empresa. Más aun, quedaron disponibles puertos de conexión para posibles ampliaciones del sistema. Un comentario similar puede hacerse con respecto a la interfaz de usuario. El hecho de contar con un número reducido de líneas y caracteres para desplegar mensajes no representa un problema mayor. Como puede observarse en las pantallas que se incluyeron a manera de ejemplo en la sección anterior del artículo, se emplearon abreviaturas para la mayoría de las palabras. Lo anterior pudiese representar una fuente de error al configurar el sistema, pero debe tomarse en cuenta que el cambio de tipo de corte lo realiza un supervisor y esto no ocurre todos los días. La opción con cuchilla de doble filo permitió disminuir la cantidad de aire comprimido, así como el desgaste de los elementos neumáticos involucrados. Lo anterior comparando con el sistema de corte neumático mediante cuchilla tipo placa.

El empleo del embrague electromecánico en el corte con cuchillas giratorias está relacionado con el consumo de energía eléctrica del motor que proporciona el giro al vástago. Aunque el tiempo para extruir un segmento de material con las dimensiones correctas es variable, éste es de 5 segundos aproximadamente, lo anterior implicaría encender momentáneamente el motor cada vez que se cumple este período. Es conocido que en el arranque de un motor eléctrico se consume un pico de energía que es varias veces superior a la utilizada en el estado estable. Por lo anterior, el mantener encendido permanentemente el motor en lugar de activarlo cada 5 segundos, implica un menor consumo de energía, amortizando de esta forma la inversión realizada en el embrague.

5. Conclusiones

Tomando en cuenta los requisitos propuestos por la empresa al momento de plantear el proyecto, se considera que los objetivos fueron alcanzados en forma adecuada. Cabe mencionar que, dados los beneficios observados en los primeros meses de utilización del sistema, la empresa decidió replicar la automatización en

dos líneas de producción similares. Los equipos tienen cerca de 24 meses operando correctamente. Los paros por mantenimiento se han reducido considerablemente, así como el tiempo para cambiar el tipo de corte. Adicionalmente, el desperdicio de material que existía antes de realizar el proyecto descrito disminuyó considerablemente.

Como puede observarse, los beneficios para la empresa son importantes, pero también se debe considerar que la colaboración Empresa-Universidad para la realización de este tipo de proyectos implica que los profesores y alumnos participantes pueden estar en contacto con sistemas reales de producción. Lo anterior deja abierta la posibilidad a los profesores de transmitir conocimientos y experiencias a los estudiantes en el salón de clases. Por su parte, los alumnos involucrados en este tipo de trabajos obtienen experiencia profesional que en diversas instituciones de educación superior es difícil de tener.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Alphonsus, E.R. and Abdullah, M.O. (2016). A review on the applications of Programmable Logic Controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1185-1205.
- [2] Aquino, G. Magos, M. Mancilla, J.E. (2015). Control del módulo de calentamiento e instrumentación de una máquina para ensayos de torsión en caliente. *Pistas Educativas*, vol. 112, pp. 144-163.
- [3] Bayindir, R. and Cetinceviz, Y. (2011). A water pumping control system with a programmable logic controller (PLC) and industrial wireless modules for industrial plants-An experimental setup. *ISA Transactions*, vol. 50, issue 2, pp. 321-328.
- [4] Bittrick, P. (2007). Towards the lights-out brewery. A brewer's view of automation. *The brewer & distiller international*, vol. 3, issue. 4, pp. 1-5.
- [5] Drobny, J. (1988). Applications of thermoplastic elastomers. *Handbook of Thermoplastic Elastomers 2nd Edition*, Van Nostrand Reinhold, U.K..
- [6] Gill, S. (2018). Role of CNCs and PLCs in the factory of the future. *Control Engineering*, vol. 65, issue 1, pp. 27-28.

- [7] Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas, Ed. Mc Graw Hill Interamericana, España.
- [8] Hamilton, J. (2018). The benefits of a modular control system design approach. *Control Engineering*, vol. 65, issue 1, pp. 18-20.
- [9] Honeywell International. (2015). Micro switch BAF/DTF Series. Honeywell International, USA.
- [10] Kiran, A.R. Sundeep, B.V. Vardhan, C.S. and Mathews, N. (2013). The principle of programmable logic controller and its role in automation. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 4, issue 3, pp. 500-502.
- [11] Magos, M. Flores, O. Soldevilla, F. and Ángeles, L. (2010). Automatización de una mezcladora para la fabricación de plástico termofijo. *Proceedings XIV Congreso Latinoamericano de Control Automático*, pp. 301-308, Santiago de Chile.
- [12] Omron Corporation. (2008). ZEN Programmable relay. Operation manual, Omron Corporation, Japan 2008.
- [13] Omron Corporation. (2018). Distance settable photoelectric sensor with metal case, E3S-CL, Omron, Corporation, <http://www.ia.omron.com/products/family/415/>.
- [14] Priyanka, E.B. Maheswari, C. and Thangavel, S. (2018). Online monitoring and control of flow rate in oil pipelines transportation system by using PLC based Fuzzy-PID Controller. *Flow Measurement and Instrumentation*, in press.
- [15] Peixoto, J. Souza, J. Reis, B. and Pereira, C. (2014). MAS and PLC a comparasion on applications of manufacturing systems. *IFAC Proceedings*, vol. 47, issue 3, pp 2600-2604.
- [16] Stevens, M. (1998). *Polymer chemistry: An introduction*, Ed. Oxford University Press, Oxford, USA.