

Clasificación del artículo:
REFLEXIÓN

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL SECTOR PLÁSTICO: EL CASO DE UNA INYECTORA

AUTOMATION OF PROCESSES IN THE PLASTIC SECTOR: THE CASE OF AN INJECTOR

Alfredo Chacón García[1]
Jaime Leonardo Martínez Rodríguez[2]
Edgar Yesid Torres Castro[3]

Resumen

En Colombia, la industria del plástico se ha caracterizado por ser la actividad manufacturera más dinámica de las últimas tres décadas, sin embargo, el procesamiento de piezas plásticas es realizado con tecnologías poco apropiadas para garantizar producción con buenas características; problema que se relaciona con el diseño, operación y control del equipo instalado en las empresas. El caso que nos ocupa es la reconversión tecnológica hecha en una planta de grifería, buscando el mejoramiento de la productividad a través de la reducción de tiempos de producción, la elevación de la calidad del producto y la disminución de costos. Este artículo describe el desarrollo de una automatización en una inyectora de plástico, implementando un sistema de control de movimientos incluyendo corepull, el control de temperatura –mediante un controlador lógico programable– y el control de presiones de inyección; el monitoreo agregado se realiza con la visualización, programada con un esquema algorítmico, que unifica la supervisión de la máquina para generar señales de alarma y verificación de su estado o del proceso, a través de interfaces de usuario.

Palabras claves
Industria, Plásticos, Automatización, Control, corepull, inyectora, proceso, eficiencia, optimización.

Summary
In Colombia, the industry of the plastic has been characterized to be the manufacturer activity more dynamic of the last three decades,

1 Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital, Especialista en Instrumentación Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Msc. (c) en Ingeniería Electrónica de la Universidad Javeriana, integrante del grupo de investigacion INTEGRA de la Universidad Distrital. alfredochacon@yahoo.com

2 Ingeniero en control electrónico e instrumentación industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. jaimeele76@hotmail.com

3 Ingeniero en control electrónico e instrumentación industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. edgaryt@hotmail.com

however, the processing of plastic pieces is carried out with not very appropriate technologies to guarantee production with better characteristics; this is related with the design, operation and control of the equipment installed in the companies. This article describes the implementation of a control system by means of programmable logical controller in an injector of plastic of a fitting plant, oriented to the improvement of the productivity through the reduction of the time of production, to the increase of quality of the product and the decrease of costs, with the purpose of contributing to the profitability of the process and the consolidation of the company in the sector.

Key words
Industry, Plastics, Automation, Control, corepull, Injector, process, optimization, efficiency,

Introducción

La creciente expansión en el uso de plásticos ha hecho que esta industria sea la de mayor desarrollo y crecimiento en el mundo. Particularmente en Colombia, la industria del plástico se ha caracterizado por ser, en condiciones normales, la actividad manufacturera más dinámica de las últimas tres décadas, con un crecimiento promedio anual del 7%. En el año 2000, la actividad transformadora de materias plásticas registró un valor de producción de 2.215 millardos de pesos (1.061 millones de dólares) y un valor agregado de 1.073 millardos de pesos (514 millones de dólares), con una contribución al total industrial nacional del 4% en las dos variables. En el mismo período, la energía eléctrica utilizada fue de 614 millones de kilowatios-hora, lo que equivale al 5,7% del consumo total de la actividad manufacturera. En el año 2003 el sector de los plásticos exportó 249 millones de dólares FOB, con un promedio de participación del 3,3% en el total de las exportaciones industriales. En el mismo año, las importaciones de productos manufacturados de plástico alcanzaron los 260 millones de dólares, equivalentes al 2,2% de las importaciones industriales, [9],[10].

Sin embargo, en general, el procesamiento de piezas plásticas a nivel local, es realizado en forma muy empírica y rudimentaria en algunas empresas, con tecnologías poco apropiadas para garantizar la producción y buenas características de las piezas; esto está relacionado con el diseño, operación y control del equipo instalado, [9],[10].

El caso de estudio, es una planta de grifería colombiana del grupo Colcerámica dedicada a la producción de mueble plástico. Aunque la planta de dicha organización cuenta con la tecnología necesaria que le permite estar homologada por empresas de gran prestigio a nivel latinoamericano; y el negocio de mueble cuente con inyectoras "CINCINNATI", "REED PRENTICE", "MIR", las cuales se encuentran a la vanguardia en tecnología del proceso de la inyección de plástico; se busca optimizar el funcionamiento de las mismas, con el fin de aumentar su rendimiento productivo a partir de la aplicación de técnicas de automatización y la implementación de elementos libres de mantenimiento. El objetivo es disminuir los costos que la maquina le produce a la empresa causado por el alto número de paros por mantenimiento, y por rotura de las piezas inyectadas.

Detectando que una alternativa al problema pasaba por la renovación del control de la máquina –hecho bajo lógica cableada con

elementos de control electromecánicos–, se busca implementar en las inyectoras, un confiable sistema de control junto con la reingeniería del sistema hidráulico.

Los parámetros escogidos para optimizar el ciclo productivo de la máquina, fueron el de regulación de presiones, movimientos generales –en el ciclo de inyección–; y regulación de temperaturas para mantenerlas en zonas dentro del rango permisible de inyección –del barril inyector–. Por otra parte, se impone la necesidad de unificar, a través de un algoritmo, la supervisión de la máquina para generar señales de alarma y verificación de su estado o del proceso. Finalmente, se busca un control general de la máquina centralizado en un controlador lógico programable o PLC, para asumir la interrelación de todas las entradas y salidas que se requieren para el desarrollo del ciclo automático, incluyendo además las señales análogas de temperatura y presión.

1. Condiciones previas de operación de la inyectora

El control de la máquina para los ciclos de inyección y cierre de prensa, son en general realizados mediante accionamientos electromecánicos (relés, contactores y temporizadores manuales). El control de temperatura on-off, mediante pirómetros análogos de configuración manual que controlan, mediante corte y energización, las resistencias calefactoras del barril durante tiempos constantes (7 segundos en el encendido y 3 segundos en el apagado). En síntesis, un sistema de control de estas características sin corepull[4], además de no permitir a la máquina realizar otras referencias de producción, es inadecuado ya que se constata que en cuanto a:

- **Temperatura:**

- Se alcanzan temperaturas de hasta 30°C por encima del valor de set point fijado por zona.

- Se hace peligroso el proceso tanto para la máquina como para el operario, pues no se monitorea la temperatura en el aceite.

- **Presiones:**

- No existe un manejo de presiones necesario para realizar los procesos de inyección y cierre de prensa. La máquina trabaja bajo solo dos niveles de alta presión: 2000 p.s.i y la presión de trabajo 500 p.s.i, es decir, para un movimiento de prensa a presión constante, se suelen presentar colisiones (choque brusco entre las caras fija y móvil del molde) lo que eventualmente produce fisuras en los moldes instalados en la máquina; por ello en la inyectora solo era posible el montaje de sólo dos tipos de moldes para la fabricación correspondiente de herrajes.

En cuanto a temporizaciones y movimientos:

- Son realizadas en forma análoga y de ajuste manual, implicando que los tiempos de inyección sean tan inexactos que afectan directamente el rendimiento de la máquina.

- El movimiento de la unidad de inyección es manual usándose para ello, un selector de dos posiciones.

En cuanto al monitoreo:

- No se permite monitorear la presencia de material en la tolva, lo que significa

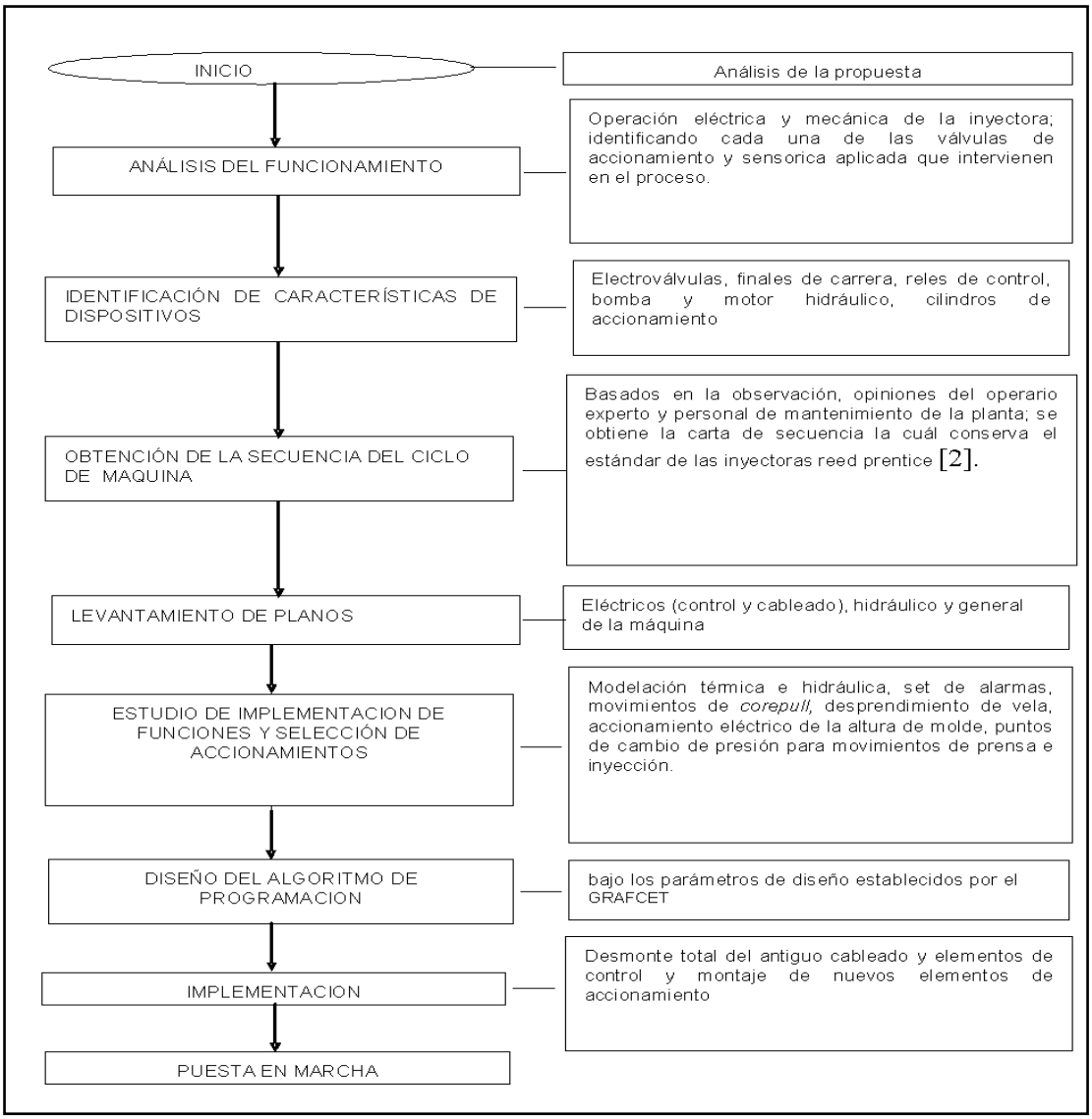
4 El corepull puede definirse como un agregado mecánico que hace ingresar o salir insertos en los machos con agujeros de moldes en las inyectoras, la traducción significa tracción de núcleos o saca núcleos; para construcción de piezas se programan secuencias de corepull donde son necesarios movimientos en presencia de condiciones de vacío, temperatura y presiones específicas

que al no existir material para inyectar, la máquina sigue trabajando sin realizar ningún estado de paro o alarma, incrementando el consumo de energía y un desgaste innecesario.

- No se cuenta con un monitoreo de temperatura en el cuello de la tolva; ocasionando allí un apelmazamiento de material, y es necesario, en tal caso, suspender el proceso y llevar la máquina a condiciones iniciales de arranque manual.
- En general, no se emitían señales de alarmas de falla ni señalización de paradas de emergencia o de funcionamiento normal.

2. Desarrollo metodológico para la implementación

El siguiente Diagrama de flujo, muestra los pasos realizados para la investigación y desarrollo de la alternativa .



3. Modelamiento físico de la máquina

3.1. Modelamiento del sistema térmico

Este sistema involucra los conceptos de transferencia de calor de una sustancia a otra y de las características convectivas del cilindro el cual se analiza en términos de resistencia y capacitancia térmica. La función de transferencia se obtiene partiendo de que la temperatura del termoplástico que entra se mantiene constante y que el flujo de calor de entrada del sistema cambia, al igual que la salida cambien de manera proporcional a la entrada [6]; la función de transferencia de la temperatura respecto al flujo es:

$$\frac{T(S)}{Q(S)} = \frac{R}{RC(S)+1} \quad (1)$$

Reemplazando valores según características propias del barril inyector de la máquina se obtiene:

$$\frac{T(S)}{Q(S)} = \frac{195.971}{0.5(S)+1} \quad (2)$$

y la respuesta en Matlab para este sistema es:

4.2.Modelamiento sistema hidráulico

Para el análisis del sistema hidráulico, mostrado en la figura 7, se toman los dos cilindros de accionamiento de inyección y prensa, como dos tanques conectados mediante una tubería de resistencia (R) para el flujo de líquido en la tubería. Esta resistencia se define como:

$$R = \frac{\Delta Desplazamiento(m)}{\Delta Velocidad de flujo\,(m^3/seg)} \quad (3)$$

Otra de las variables ínteractuantes es la capacitancia (C) y se define como:

$$C = \frac{\Delta líquido desplazado(m^3)}{\Delta Desplazamiento(m)} \quad (4)$$

Resultado del análisis de las ecuaciones de caudal y desplazamiento del sistema se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$\frac{L_2(s)}{Q_0(s)} = \frac{22.66}{5.59*10^{-3}(S)^2 + 0.234(S)+1} \quad (5)$$

Figura 6. Respuesta del sistema en lazo abierto

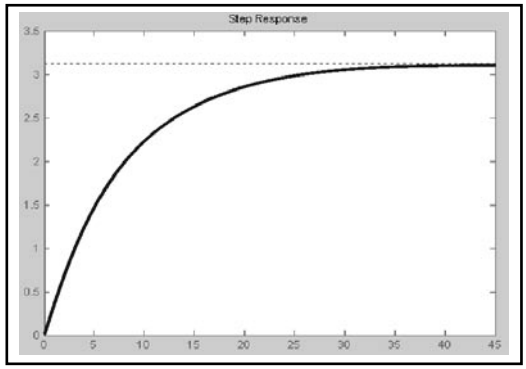


Figura 7. Sistema hidráulico (prensa e inyección)

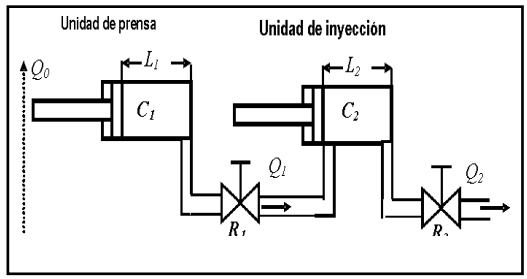
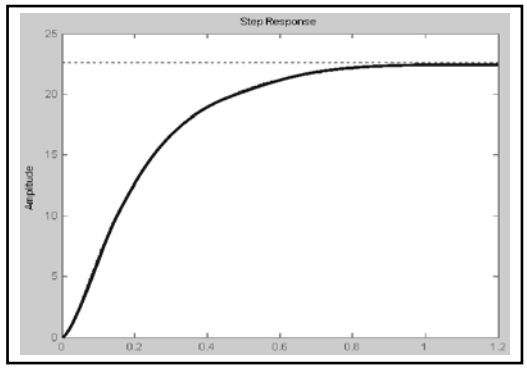


Figura 8. Respuesta del sistema hidráulico en lazo abierto



4. Descripción de la alternativa

El control general de la máquina se realizó mediante controlador lógico programable PLC de marca OMRON (CPM2A), [3]; el cual se programó para que reciba y procese cada una de las señales de alarma que genera la máquina.

4.1.Entradas y salidas del "PLC"´

Las entradas digitales corresponden a finales de carrera dispuestos como condiciones de seguridad de las puertas frontal y trasera de la prensa, altura de molde, corepull arriba y abajo, expulsión adelante y atrás, señal de prensa abierta de respaldo, sensor inductivo unidad adelante, microswitch de protección de purga, sensor de nivel de aceite de tanque. Cada uno de estos sensores, mostrados en las tablas 1 y 2, está alimentado al igual que las salidas con una fuente de alimentación externa de 24 Vdc.

Tabla 1. Descripción de entradas controlador de la inyectora

SENSOR	DESCRIPCION
LS1	Final de carrera puerta de seguridad frontal
LS5B	Final de carrera prensa abierta.
LS35	Espesor de molde +
LS38	Espesor de molde -
LS12	Expulsión adelante
LS13	Expulsión atrás
LS8	Microswicht puerta de segundad trasera.
LS7	Final de carrera puerta de seguridad cerrada
LS34	Final de carrera corepull
LS33	Final de carrera coreset
LS37	Paro de emergencia
LS39	Temperatura del cuello
LS40	Temperatura de aceite
LS38	Rele termico
LS3U	Microswicht de posicion de la unidad de inyeccion.
LS41	Nivel de aceite
LS21	Proteccion de purga

La activación de cada solenoide se realizó mediante relés de estado sólido (voltaje de control de 24Vdc y potencia 110Vac.) entre la salida y el solenoide con el fin de realizar un apantallamiento de cada una de salidas del controlador.

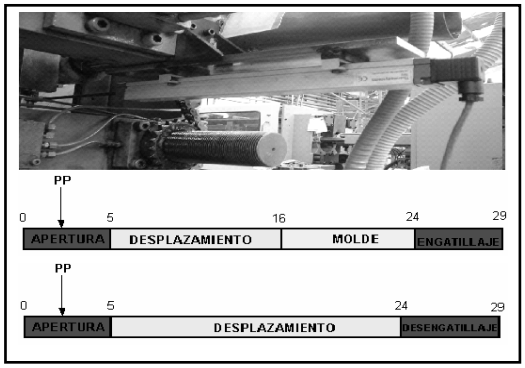
Tabla 2. Descripción de salidas controlador de la inyectora

ELECTROVALVULA	DESCRIPCION
SOL_A	Cierre de prensa
SOL_B	Apertura de prensa
SOL_F	Tornillo atrás
SOL_G	Tornillo adelante
SOL_C	Regulación de presión
SOL_Z	Unidad adelante
SOL_Y	Unidad atrás
SOL_K	Coreset
SOL_L	Corepull
SOL_D	Espésor de molde +
SOL_E	Espesor de molde -
SOL_H	Motor hidraulico
SOL_X	Expulsión adelante
SOL_M	Expulsión atrás
V30	Válvula reguladora de presiones

4.2. Señales de control análogas

Para realizar el monitoreo de la posición de la prensa y del tornillo inyector se realiza mediante potenciómetros lineales [4], que para la prensa permite crear zonas de diferente valor de presión durante el cierre y la apertura y para la inyección permite configurar la cantidad de material a inyectar. De igual manera el control del elemento de presiones "válvula de control proporcional", requiere una señal de "set point" con un rango de 24 Vdc. para obtener la presión de salida. Para ello, el controlador cuenta con un módulo de entradas y salidas análogas el cuál direcciona las señales de los poten-

Figura 9. Potenciómetro de prensa y configuración de zonas de desplazamiento.



ciómetros a registros de trabajo del PLC; de igual forma el valor de referencia de la válvula de control es proporcionado por un registro de memoria del PLC.

Las señales de los potenciómetros lineales brindan una ventana útil de 0 a 10 Vdc, escalizada a cm, para determinar la posición del elemento y su visualización.

El control de presiones es realizado mediante dos elementos: la válvula reguladora de presión de acción directa con mando eléctrico proporcional y la unidad electrónica de mando para válvulas proporcionales de monosolenoide en lazo abierto [5], la cual suministra a la válvula reguladora una corriente variable proporcional a la señal de referencia en entrada e independiente a las variaciones de temperatura e impedancia de carga.

El control de temperaturas del barril inyector se realiza mediante el modulo de temperaturas OMRON que recoge las señales de cada una de las termocuplas de las zonas del barril en rangos de tensión de 0 a 24 Vdc, en un registro del PLC, permitiendo así realizar las operaciones necesarias para programar el modo de control encada una de las zonas del barril inyector.

El control de temperatura del barril se realizó partiendo del estudio de las condiciones que requiere el sistema para realizar la fundición del termoplástico; la condición principal es la de mantener un valor de temperatura con un máximo de oscilación del 10% del valor fijado del "set point"; como primer paso de este estudio se tomaron de mediciones sucesivas del comportamiento térmico por zona encontrando valores de sobreimpulso de hasta 48°C y oscilaciones máximas de 25°C para alcanzar el valor de "set point".

Por ser el modelo físico del cilindro inyector un sistema RC de primer orden en el que intervienen las variables de resistencia y capacitancia térmica; un sistema de estas características presenta una inercia térmica muy alta lo que hace que la respuesta sea muy lenta. Para contrarrestar este efecto se programa un modo de control, figura 11, en el cual la salida oscila entre un valor límite máximo y mínimo; dicho valor mínimo

Figura 10. Válvula reguladora de presiones con control proporcional

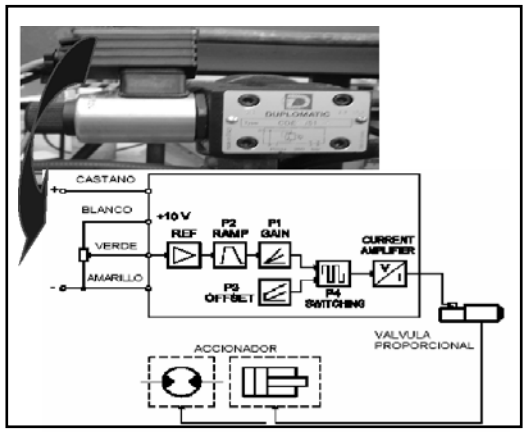


Figura 10. Válvula reguladora de presiones con control proporcional

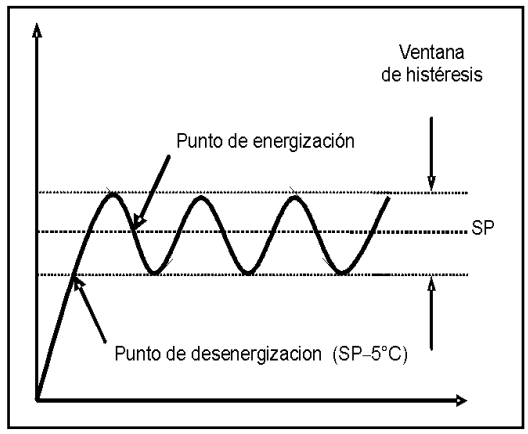
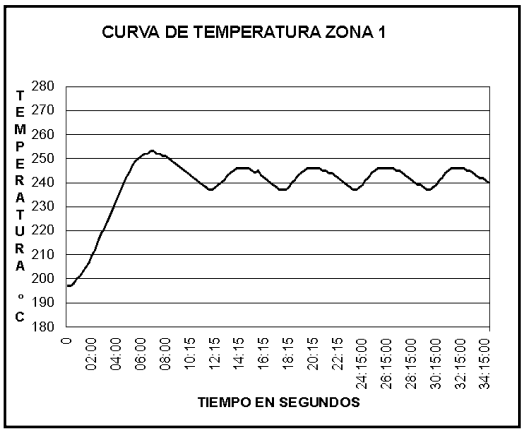


Figura 12. Respuesta zona 1 del barril



y máximo crea una ventana de histéresis dentro de la cual está presente el valor fijado de "set point"; dependiendo de la amplitud de la ventana la oscilación alrededor del "set point" será mayor o menor; dicha oscilación no debe sobrepasar el 10% del valor de "set point" fijado según parámetros para la inyección de termoplástico.

La figura 12 muestra el comportamiento de la zona 1 del barril; con un "set point" de 240°C; se aprecia una sobreoscilación de 12°C, estando dentro del máximo calculado del 5% del valor de "set point"; tras el período en que se toman las muestras la temperatura se mantiene dentro del canal de histéresis.

4.2.1. Programación de secuencia de máquina

La programación del PLC se basó en conceptos de automatización de procesos industriales GRAFCET y GEMMA [2]; herramientas que dan pautas para una programación ordenada de cada una de las funciones de máquina; mediante las pautas de GEMMA se programan los estados de marcha, paro, alarma de la máquina.

El software de programación del controlador bajo lenguaje LADDER define 14 secciones de programa:

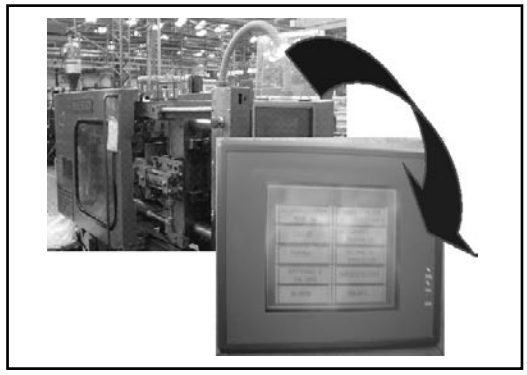
- Distribución de entradas y salidas digitales.
- Configuración de entradas y salida análoga.
- Ciclos de máquina manual, automático semiautomático.
- Alarmas (se programan los estados de paro, fallo y alarma de la inyectora).
- Definición de condiciones iniciales de arranque de la máquina.
- Algoritmo de control de temperatura del barril.
- Ciclo de cierre y apertura y de prensa.
- Ciclo de expulsión.
- Secuencias de corepull.
- Ciclo de inyección. (cadenas de temporización de ciclo para cambios de presiones y ciclo de cargue de material).
- Secuencia de desprendimiento de vela.
- Altura de molde.

5. Panel de programación

Como medio de comunicación entre hombre y la máquina se implementó un panel de programación touch screen, mediante la programación de 54 pantallas donde se fijan condiciones del ciclo de máquina, se accesan y programan cada una de las funciones de la máquina, e ilustra al operario el estado en que se encuentra la inyectora.

La programación del PCL y del panel touch screen se realiza en forma conjunta mediante su respectivo software de programación CX PROGRAMMER, en lenguaje LADDER

Figura 13. Panel de programación operador" touch screen"



y EZ WARE-500 cuya librería permite leer y escribir el contenido de un registro de 16 bits o el estado de una dirección digital, [7].

La figura 13 ilustra el menú principal programado para el control de la máquina; dentro de las que más se destacan:

- Reconocimiento de máquina.
- Ciclo de trabajo de la máquina. Manual, semiautomático, automático.
- Prensa. Configuración y visualización de parámetros de prensa como son presiones de cada una de las zonas de prensa.

Figura 14. Configuración y visualización de condiciones de prensa

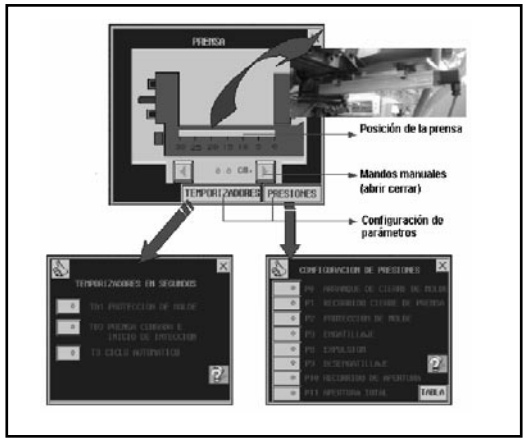
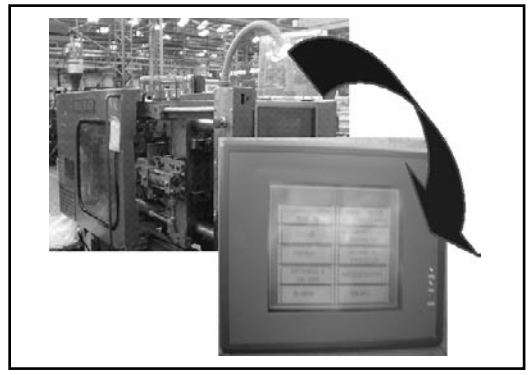


Figura 15. Configuración y visualización de condiciones de inyección

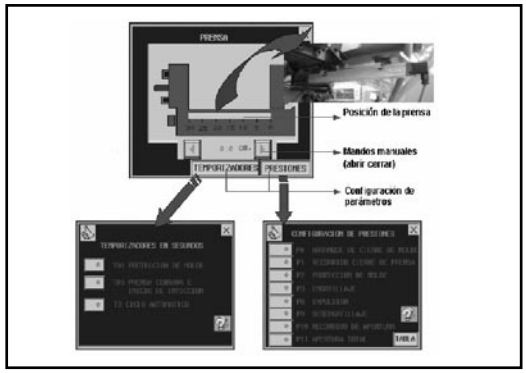


- Unidad de inyección. El grupo de pantallas de inyección permiten configurar las cadenas de temporización propias del ciclo, presiones de ejecución del ciclo, temperaturas de cada una de las zonas del barril, cantidad de material a inyectar y contador de expulsiones.
- Alarmas. La programación de las alarmas se realizó con la ayuda de parámetros de estado de paro y alarma GEMMA; las señales de alarma se clasifican en:
- Paro total de máquina.
- Paro a condiciones iniciales de máquina.

Los estados de alarma se programaron de acuerdo a condiciones de seguridad de la máquina, la producción y el operario:

- Pulsador de paro de emergencia.
- Señal de bajo nivel de aceite.
- Alta temperatura del aceite.
- Señal de relé térmico.
- Temperatura crítica del barril.
- Apertura de puerta de seguridad trasera durante ciclo.

Figura 16. Mando manual de altura de molde



- Alarma por protección de molde.
- Alarma por cargue de material.

Cabe resaltar que la máquina permite realizar el accionamiento manual de todas y cada una de las funciones de máquina; dentro de ellas se destacan:

- Altura de molde. Accionamiento de motor hidráulico del carro de prensa.
- Ciclos de corepull. Las secuencias de corepull son cuatro ciclos anexos al ciclo total de máquina, requeridos por ciertos tipos de moldes en los cuales se producen piezas con roscados y vacíos. La implementación de estas funciones de la máquina hablan del aumento del desarrollo productivo de la inyectora. El menú ofrece la selección del ciclo requerido y la realización de mandos manuales en "secuencia ordenada".

Figura 17. Secuencia 1 de ciclos de corepull

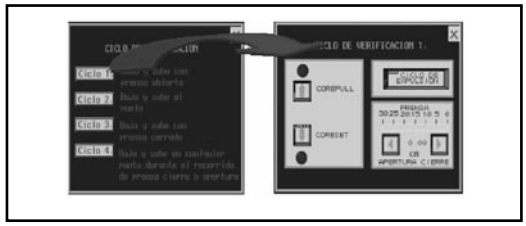
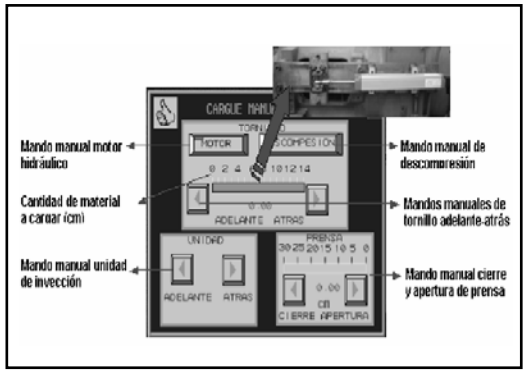


Figura 18. Mandos manuales para la realización de cargue manual.



- Cargue de material. La configuración de la cantidad de material a inyectar depende de la posición del tornillo que es escalizada por el potenciómetro lineal de inyección.

6. Resultados

- El trabajo de reingeniería realizado a la inyectora permite realizar un ciclo de máquina mas seguro gracias al acondicionamiento y configuración de estados de alarma.
- Con la investigación y desarrollo de la alternativa, se obtuvo una significativa optimización de la máquina, aumentando así su rendimiento productivo reflejado en el aumento de la producción de un promedio de 2046 piezas inyectadas por turno a 3311 según EGP [8] de la máquina; con la implementación de elementos libres de mantenimiento, lo que disminuyo la cantidad de paros por mantenimiento de un 15% a un 2%.
- Con el control de temperatura realizado mediante controlador lógico programable

y el control de presiones de inyección, se disminuyo de un 3% de rotura promedio (piezas defectuosas por deformación a causa de altas temperaturas, falta de llenado de las cavidades del molde por baja presión, desengatillaje de prensa en el momento de la inyección por sobrepresiones, perdida de rigidez de la pieza inyectada por bajas presiones de inyección).

- La implementación de señales análogas (potenciómetros lineales, válvula de control proporcional, termocuplas del barril inyector) permitió programar los cambios de presión requeridos para realizar los movimientos de prensa evitando ocasionar daños en las placas del molde, y en la inyección permite fijar presiones en los puntos requeridos de cambio.

- El desempeño de la máquina se incrementó al obtenerse una disminución del tiempo de ciclo de 48 segundos a 31 segundos para la inyección de piezas con el molde comodor , obteniendo un rendimiento alto respecto al número de piezas inyectadas, debido a que los tiempos de inyección son más exactos al igual que los tiempos de respuesta y de accionamiento.

- La adaptación del manejo de presiones permite fijar los diferentes valores de presión tanto para los movimientos de prensa como los necesarios para el ciclo de inyección; esto le permite al operario realizar un ajuste más fino de las condiciones requeridas para cada molde. Aumenta así el rendimiento de la máquina pues permite montar un mayor número de moldes: de 2 moldes se pasa a permitir que sean montados hasta 10 diferentes moldes.

- La máquina ofrece un ahorro sustantivo en el consumo de materia prima debido a la disminución del porcentaje de rotura cercano al 1% y que anteriormente era del 3% de la producción de la máquina. Se disminuye así el consumo de materia prima, debido a la disminución en el peso total de la pieza inyectada (sin que la pieza haya perdido sus características propias de rigidez).

- Con el aumento del número de piezas inyectadas se disminuye el consumo de energía, pues se está inyectando un mayor número de piezas (de 2046 antes de la automatización a 3311 piezas por turno); de igual manera el consumo de potencia eléctrica disminuye con la utilización de elementos de control discreto y del control de temperatura del barril inyector.

Conclusiones

Para las plantas de plásticos en la industria Colombiana, la adquisición de una máquina implica además del valor de la máquina, los costos de importación, envío e impuestos de nacionalización. La reconversión tecnológica resulta una solución alternativa fiable a menor costo. Igualmente, encontramos ahorros tanto en materia prima, gastos de sostenimiento (consumo de energía eléctrica, mantenimiento preventivo y correctivo). Suponiéndose que la recuperación de la inversión se realice en un termino no menor a 4 años; aún así se cuenta un aumento en la producción de aproximdamente 450 piezas por hora.

Finalmente, se beneficia el operario ya que no se ve desplazado y por el contrario se le alivia la carga laboral encargándose con mayor atención del control de calidad del producto; para ello no se requiere un mayor grado de especialización, descartándose la sustituibilidad.

Referencias bibliográficas

[1] Balcells J, Rameral J. L. Autómatas Programables. Marcombo editores, serie mundo electrónico. TELEMECANIC, Diagram funcional GRAFCET.

[2] Catálogo general de productos Duplomatic oleodinámica

[3] Catalogo general de productos Rodríguez & Urbina Ltda. Instrumentación y calefacción industrial.

[4] Manual de operaciones y modulo de programación touch panel HMI520.

[5] Ogata Katsuhiko, Ingeniería de control Moderna, Englewood Cliffs (N. Jersey) : Prentice Hall International, 1974.

[6] Operation manual OMRON. Programmable Controllers sysmac, CPM2A.

[7] OPTEC power solutions. Catálogo general.

[8] Parker hydraulic products and total systems engineering. Catalog 0108. Vickers Hidraulics and electronics systems and components, 2002.

[9] Sector Plástico, Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo Viceministerio de Ambiente Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, Julio de 2004.

[10] Serrano A., Suarez Análisis y evaluación de los elementos generales de la teoría de manufactura esbelta , que pueden generar desarrollo en una empresa del sector de transformación de plásticos. Caso UPR Ltda..Universidad Javeriana, Bogotá, 2004.

Infografía

http:www.thermosystems.com

http//www.duplomatic.com

http// www.omron.com

http//www.maple-systems.com

http// www.reedprentice.com

http// www.optec-col.com

http//www.empresario.com.co/ryu