

Automatización del Perfil de Calentamiento de una Extrusora de Polímeros en UAN Cali

Johny Moreno, Jorge Maldonado*, Julián Portocarrero**, Víctor Molina***, Miguel Marulanda****
Universidad Antonio Nariño sede Cali, *jhonny_moreno_granja@hotmail.com;
maldonadovilla@hotmail.com; *victormolina84@hotmail.com

Resumen — Este documento es una recopilación de los resultados obtenidos durante el diseño e implementación del sistema de control de temperatura de la máquina extrusora ubicada en el laboratorio de polímeros de la Universidad Antonio Nariño - sede Cali.

Palabras clave — Temperatura, extrusión, automatización, microcontrolador.

Abstract — This document is a compilation of the results obtained during the design and implementation of a temperature control system of the extruding machine located at the laboratory of polymers of the Universidad Antonio Nariño – Cali.

Keywords — Temperature, extrusion, automation, microcontroller.

I. INTRODUCCIÓN

En este artículo se describen los diferentes elementos implicados en la implementación del sistema de control de temperatura de la máquina extrusora de polímeros de la Universidad Antonio Nariño - sede Cali.

La etapa de calentamiento es una de las más críticas del proceso de extrusión, puesto que el polímero debe ser fundido dentro en un rango específico de temperaturas para conservar sus propiedades. La selección de la temperatura de extrusión se hace para reducir el consumo de potencia del motor de la extrusora, a valores que se encuentren en el intervalo de trabajo del equipo y que además, se alcance un nivel adecuado de viscosidad que facilite el procesamiento del polímero.

La temperatura óptima de extrusión de cada resina dependerá de la distribución de sus pesos moleculares, representado desde el punto de vista reológico por su viscosidad [1]. Sin embargo, los efectos de la temperatura de extrusión se observan más allá de la salida de la boquilla, pues se reflejan en las características de la superficie del material extruido, en el grado de cristalización del mismo y en la variación de la resistencia al impacto de los productos terminados.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente descritos, se observa la importancia de ejercer un control óptimo de la temperatura durante el proceso de extrusión, implicando la introducción de un sistema de control para asegurar la calidad del producto final.

Se realizó la caracterización de la máquina y de las resistencias para obtener su función de transferencia, se diseñó la unidad de actuadores compuesta por relés de estado sólido, el desarrollo de la estrategia de control y finalmente la implementación de dicha solución en el microcontrolador.

El controlador se realizó con un microcontrolador PIC 16F877, implementando control ON – OFF.

II. MODELADO MATEMÁTICO EXTRUSIÓN

El calentamiento durante el proceso de extrusión depende de la fricción entre las partículas de la materia prima, bien sea con las paredes de la extrusora o entre ellas mismas durante el proceso de transporte y del calor transferido por los elementos de calefacción, generalmente se produce por efecto Joule, cuyo objetivo es fundir el polímero y mantenerlo a una temperatura adecuada. El enfriamiento se origina por las pérdidas de calor con el ambiente, que actúa como drenaje. La extrusora del laboratorio de polímeros cuenta con un husillo y el calor generado por fricción se debe a la acción mecánica de los esfuerzos cortantes y al arrastre del compuesto a lo largo del cilindro (Fig. 1) y por lo tanto es una función de la velocidad del proceso de extrusión. Esta energía es la responsable en gran parte del fundido del polímero en las cercanías de la tolva [1]. El calentamiento del cilindro se realiza teniendo en cuenta que la circulación de corriente i a través de una resistencia R , durante un intervalo de tiempo Δt disipa en forma de calor, como se muestra en la ecuación (1). Además, la adición de calor produce un incremento en la temperatura ΔT expresado en la ecuación (2).

$$Q_{gen} = Ri^2\Delta t \quad (1)$$

$$\frac{Q_{abs}}{C_p} = \Delta T \quad (2)$$

Donde Q_{abs} representa la cantidad de calor absorbido y C_p la capacidad calorífica del material a presión constante; se deduce que es posible controlar la temperatura de una muestra en equilibrio térmico a través del intervalo de tiempo que se haga circular la corriente i por el elemento calefactor.

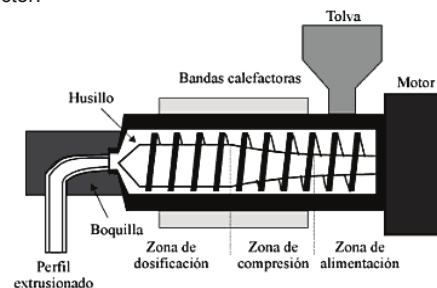


Fig. 1. Diagrama Esquemático Extrusora de Polímeros

MODELADO

El proceso de transferencia de calor de los elementos resistivos a la muestra se describe a través de las siguientes ecuaciones diferenciales [2]:

$$q_1 - q_2 = mc \frac{dT}{dt} \quad (3)$$

$$q_1 - q_2 = C \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

$q_1 - q_2$ representa el cambio de la energía interna, m es la masa del material, c es el calor específico del material y $C = mc$ es la capacitancia térmica del material.

$$RC \frac{dT}{dt} + T = Rq_1 + T_0 \quad (5)$$

T : Temperatura interior del cilindro.

T_0 : Temperatura exterior del cilindro.

R : Resistencia térmica.

MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA

Para medir la temperatura se utilizaron termocuplas tipo K de Cromel - Alumel adheridas a las paredes del cilindro en dos puntos del mismo.

En el intervalo de trabajo del proceso de extrusión, la termocupla presenta un comportamiento aceptablemente lineal y su relación entrada-salida representada por la ecuación (6) se obtuvo usando el módulo de ajuste polinomial de Matlab (*polyfit*) [5].

$$v_s = 0.0401T \quad (6)$$

En la figura 2 se observa la curva obtenida a partir del ajuste polinómico.

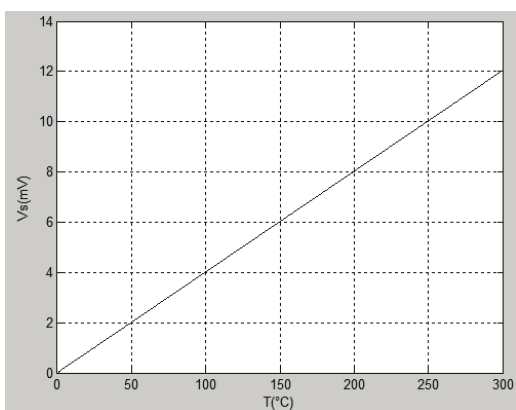


Fig. 2. Caracterización termocupla tipo K. [5]

El pequeño voltaje entregado por las termocuplas se acondicionó usando amplificadores operacionales que lo llevaron a la escala de 0-5v.

SISTEMA IMPLEMENTADO

Se utilizaron dos termocuplas convenientemente distribuidas a lo largo del cilindro; cada una de ellas envía una señal a un microcontrolador, que fue programado para generar las señales de control necesarias en función de los voltajes de entrada. Cada señal de salida está encargada de activar un elemento calefactor ubicado en la zona de medida de la termocupla que genera la señal de voltaje; sin embargo, teniendo en cuenta la alta potencia del actuador a manejarse se hizo necesario efectuar un aislamiento entre la etapa de control y la etapa de potencia usando relés de estado sólido, que permiten que con los pulsos de baja corriente y bajo voltaje provenientes del microcontrolador, se controlen grandes cargas. De acuerdo con las pruebas realizadas, se determinó que la temperatura debe permanecer en el rango de 160°C a 250°C.

En la figura 3 se muestra el lazo de control típico en el cual la temperatura es la variable a controlar, y el controlador se ha implementado con un microcontrolador PIC 16F877.

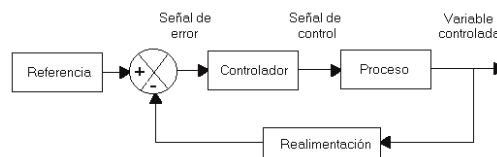


Fig. 3. Lazo típico de control [4]

CONTROL ON – OFF

Con esta estrategia, la variable de control en el sistema de la figura 3 sólo puede tomar dos valores u_{max} y u_{min} en función del signo del error. Aunque el control ON – OFF trae consigo un fenómeno oscilatorio persistente, la amplitud del rango de operación permite una operación satisfactoria del sistema. [4]

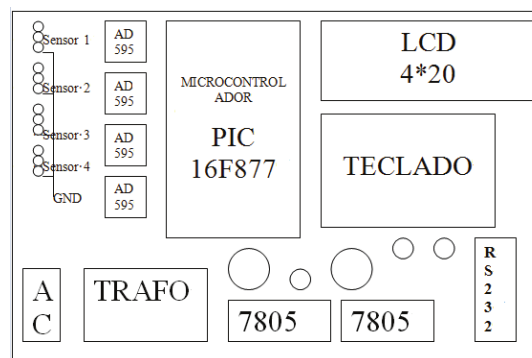


Fig. 4. Diagrama Esquemático sistema de control

La figura 4 muestra los componentes principales del sistema de control electrónico que se implantó en la máquina extrusora.

III. RESULTADOS

A través de la caracterización del proceso se determinó que el rango óptimo de temperatura se encuentra entre 160°C y 250°C.

El material depositado con anterioridad en los cilindros introduce un factor inercial que genera una zona muerta en el proceso de fundición.

Las pruebas realizadas mostraron una evidente mejoría en el desempeño de la máquina; sin embargo, la velocidad de transporte debe controlarse para garantizar la uniformidad del material extruido.

IV. CONCLUSIONES

La implementación del sistema de control de temperatura redujo el desperdicio de materia prima y prolongó el tiempo efectivo de trabajo de la máquina.

Se recomienda realizar el control de velocidad de los motores encargados del proceso de transporte pues su influencia en la calidad del material extruido es bastante significativa.

V. REFERENCIAS

- [1] J. Rodríguez, L. Castro y J. del Real Romero, "Procesos Industriales para Materiales no Metálicos", 2ª Edición, editorial visión NET España, 2006.
- [2] W. Bolton, "Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica", 2ª edición, editorial alfaomega, pp. 205-208, México, 2001.
- [3] C. Abeykoon, M. McAfee, K. Li, P. Martin, A. Kelly, "The inferential monitoring of screw load torque to predict process fluctuations in polymer extrusión", Journal of Material Processing Technology, Vol. 211, United Kingdom, pp. 1907-1918, 2011.
- [4] A. Visioli, "Practical PID Control", ed. Springer, pp. 3-17, London, 2006.
- [5] L. Báez, "MATLAB con Aplicaciones a la Ingeniería, Física y Finanzas", editorial alfaomega, pp. 68-73, 2006.