

CONTROL Y SUPERVISIÓN DE UN EQUIPO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO

CONTROL AND SUPERVISION OF RECYCLED PLASTIC EXTRUSION EQUIPMENT

CONTROLO E SUPERVISÃO DE UM EQUIPAMENTO DE EXTRUSÃO DE PLÁSTICO RECICLADO

Oscar Quintero

Programa de Ingeniería Electrónica,
UNISANGIL, E- mail
oquintero@unisangil.edu.co

Andrés Cala

Programa de Ingeniería Electrónica,
UNISANGIL, E- mail
andrescala@unisangil.edu.co

Cesar corregidor

Programa de Ingeniería Electrónica,
UNISANGIL, E- mail
cesarcorregidor@unisangil.edu.co

59

Fecha de Recepción: 26 de junio de 2020
Fecha de aprobación: 12 de julio de 2020

Resumen

En este artículo se detalla de manera específica la programación del controlador lógico programable (PLC) s7 1200 1214c DC/DC/DC, así como de la interfaz hombre máquina (HMI) KTP 700 de SIEMENS para controlar la temperatura de dos resistencias calefactoras conectadas en paralelo de un equipo de extrusión de plásticos reciclados. Esto requiere de la lectura de la señal análoga de un sensor de temperatura RTD (resistance temperature detector) a través de una de las entradas análogas del PLC. El tipo de control utilizado realimentación en lazo cerrado integrando en este lazo un controlador PID el cual está incluido en las librerías de programación del PLC bajo la instrucción PID_Compact, esta instrucción genera una señal de control de tipo PWM que permite accionar de manera controlada un relé de estado sólido (SSR). En adición a esto, se incluyeron, por un lado, una rutina independiente que controla el accionamiento de un motor trifásico junto con sus protecciones térmicas que genera el movimiento direccionado y el torque necesario para realizar la extrusión por medio de un usillo (tornillo sin fin) propio de los equipos convencionales de extrusión. Por otro lado, se programó una rutina que permite modificar la velocidad de un motor DC a través de una señal PWM, este motor genera el movimiento del tornillo sin fin del dosificador de material plástico previamente molido en escamas. Para la supervisión y control de las condiciones anteriormente mencionadas se programó una HMI la cual cuenta con la opción de controlar la temperatura del equipo de forma manual o automática.

Palabras clave— Resistencia de detección de temperatura RTD, relé de estado sólido SSR, transmisor de temperatura, control en lazo cerrado, control proporcional integral derivativo PID, Modulación por ancho de impulso PWM.

Abstract—

In this article, it is specifically detailed the programming of the SIEMENS (PLC) s7 1200 1214c DC / DC / DC, as well as the human machine interface (HMI) KTP 700 to control the temperature of two heating resistors connected in parallel of an recycled plastic extrusion equipment. This requires of the reading of the analog signal of a temperature sensor RTD (resistance temperature detector) through one of the analog inputs of the PLC. The type of control used in closed loop feedback by integrating in this loop a PID controller which is included in the programming libraries of the PLC under the instruction PID_Compact, this instruction generates a PWM (Pulse Width Modulation) control signal that allows operating a solid state relay (SSR). In addition to this, they included, on the one hand, an independent routine that controls the operation of a three-phase motor together with its thermal protections that generates the directed movement and the torque necessary to perform the extrusion by means of a screw (endless screw)) typical of conventional extrusion equipment. On the other hand, a routine was programmed that allows to modify the speed of a DC motor through a PWM signal, this motor generates the movement of the worm screw of the plastic material doser previously ground in flakes. For the supervision and control of the aforementioned conditions, an HMI was programmed, which has the option of

controlling the temperature of the equipment manually or automatically.

Keywords— Temperature detection resistor RTD, SSR solid state relay, temperature transmitter, closed loop control, PID derivative integral proportional control, PWM pulse width modulation.

Resumo

Este artigo detalha especificamente a programação do s7 1200 1214c DC/DC/DC controlador lógico programável (PLC) e a interface homem máquina (HMI) SIEMENS KTP 700 para controlar a temperatura de dois elementos de aquecimento ligados em paralelo numa máquina de extrusão de plástico reciclado. Isto requer a leitura do sinal analógico de um sensor de temperatura RTD (resistance temperature detector) através de uma das entradas analógicas do PLC. Ao integrar um controlador PID neste laço, que está incluído nas bibliotecas de programação do PLC sob a instrução PID_Compact, esta instrução gera um sinal de controlo do tipo PWM que permite que um relé de estado sólido (SSR) seja operado de forma controlada. Além disso, foi incluída uma rotina independente que controla o accionamento de um motor trifásico juntamente com as suas protecções térmicas que gera o movimento dirigido e o torque necessário para realizar a extrusão por meio de um parafuso (sem-fim) típico do equipamento de extrusão convencional. Por outro lado, foi programada uma rotina que permite modificar a velocidade de um motor CC através de um sinal PWM. Este motor gera o movimento do parafuso sem fim do dispensador de material plástico previamente retificado em balanças. Para a supervisão e controlo das condições acima mencionadas foi programado um

IHM que tem a opção de controlar a temperatura do equipamento manual ou automaticamente.

Palavras-chave— resistência de detecção de temperatura RTD, relé de estado sólido SSR, transmissor de temperatura, controlo em circuito fechado, controlo proporcional integral derivado PID, modulação da largura de pulso PWM

Introduccion

En la actualidad, el consumo de productos provenientes de fuentes poliméricas, viene siendo una costumbre en gran parte de la población al nivel mundial. Prácticas como la obsolescencia programada, ha sido criticada por varios autores como deliberada para recortar el tiempo de vida útil de los productos, adelantando o influyendo en la obsolescencia del mismo [1], esto, ha promovido la cultura de usar y desechar. Según el DANE, Solo en Colombia en el año 2015, la generación de residuos sólidos ascendió a 17,6 millones de toneladas de las cuales solo el 9,7% se utilizó en procesos de reciclado y nueva utilización, mientras que los rellenos sanitarios fue el destino del 49,3% de los mismos [2]. Según Daniel Mitchell, presidente nacional de Acolplásticos, más de un millón de toneladas de plástico llega a los rellenos, de las cuales entre el 85 y 90% no se aprovechan. De acuerdo con la resolución 1407 de 2018 sobre gestión de residuos, se fijó una meta del 30% para el 2030 [3]. No obstante, para el caso del reciclaje del plástico, cada vez son más las personas que se unen para conformar grupos cuyo objetivo es aprovechar estos residuos y convertirlos en nuevos productos a través del desarrollo de tecnología de fácil acceso, este es el caso de Precious plastic cuya comunidad

asciende a las 40 mil personas alrededor del mundo. Desde esta perspectiva, se aborda la problemática de desarrollar tecnología que permita darle un nuevo uso a las materias primas reutilizables como el plástico, implementando el uso de un PLC que controla, no solo la temperatura de fusión del material, sino también los actuadores que generan el movimiento del material a través del equipo. En adición a esto, a través de una interfaz hombre máquina HMI se supervisa y controla la activación de cada uno de los componentes de la máquina. La estabilidad de la temperatura es el principal problema a solucionar, puesto que se requiere un rápido aumento de la temperatura y un valor estable y preciso cuando se alcanza la temperatura deseada. Las características del sistema de temperatura son: no linealidad, largo tiempo de retardo, gran constante de tiempo, entre otras. Por lo que en la actualidad se están implementando diferentes tipos de control como los PID, PIO, difusos, ON/OFF y así como la mezcla entre varios como pueden ser los implementados con PID y sistemas difusos a la vez para mejorar la respuesta [4].

Materiales y Métodos

A. Diseño

Dentro de los procesos más comunes de transformación de plástico se encuentra la extrusión que es un método muy usado en diferentes enfoques industriales que pueden ser: de empaque, automotriz, aeroespacial, marino, construcción, eléctrico y electrónico, así como aplicaciones médicas [5]. El método de extrusión es un proceso muy importante para la fabricación de varios productos como termoplásticos, láminas, películas, entre otros. Éste forma parte de un proceso general para el moldeo por inyección, en donde la más popular en la industria del plástico es la extrusora de tornillo cuyo modelo general es el que se muestra en la figura 1. Durante la ejecución el plástico en forma de polvo o granos muy finos entra por la tolva y se transportan a lo largo del tornillo a medida que se funde para luego ser expulsado en un molde. El tornillo tiene tres zonas principales funcionales/geométricas que son: transporte de sólidos, compresión o fusión y medición o transporte de fusión [6].

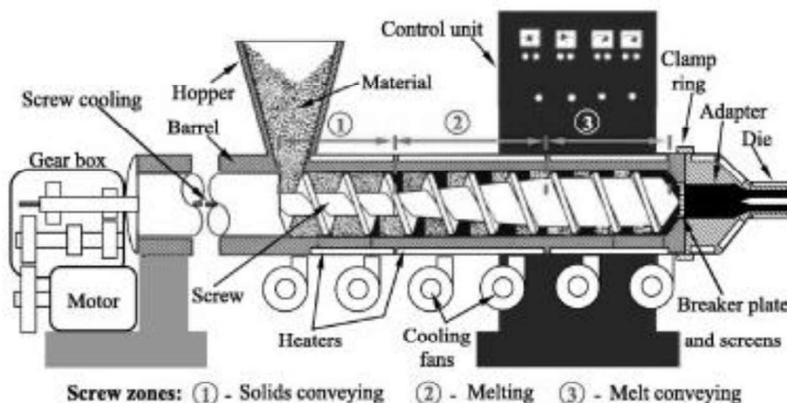


Figura 1. Componentes básicos y las zonas. Funcionales/geométricas de una extrusora de tornillo simple. Fuente: OPTEC.

La precisión de las máquinas de extrusión automatizadas proporciona un papel muy

importante en este campo. Para esto se usan diferentes controladores siendo los PLC los

más confiables e implementados en las grandes empresas soportados por un regulador PID que usa control analógico. Sin embargo, los controladores PID analógicos causa efectos negativos como baja precisión, dificultad para reparar, costos elevados, entre otras [7]. No obstante, estos controladores son de fácil diseño y presentan una elevada resolución. Teniendo en cuenta que la camisa del tornillo (barrel en la figura 1) está hecha en acero y tiene las termocuplas y las resistencias apoyadas en su superficie, la temperatura que mide la termocupla es muy cercana a la temperatura que entrega la resistencia, esto es conocido como "Inercia simple" porque la temperatura observada en el CONTROL tiene un error muy bajo con respecto a la temperatura alrededor de la resistencia, este tipo de aplicaciones son bien controladas

con un RELAY ON-OFF y los parámetros PID y tiempo de ciclo bien establecidos. El ajuste de los tiempos proporcional, integral y derivativo y el ajuste del tiempo de ciclo (al menor valor posible, ej. 0.1seg) pueden hacer que el control ON-OFF alcance errores menores a 1 grado centígrado. Esto quiere decir que el Conjunto CONTROL DE TEMPERATURA Y CONTROL DE POTENCIA debe estar muy bien inter- relacionado. El control ON-OFF del tipo "con cruce por cero" presenta además las siguientes ventajas:

- a. Disminuir los armónicos, la interferencia de radio frecuencia (RFI) y la interferencia electro magnética (EMI).
- b. Reducir los problemas de encendido aleatorio de aquellos equipos con dv/dt bajos (menores a 600v/us) [8].

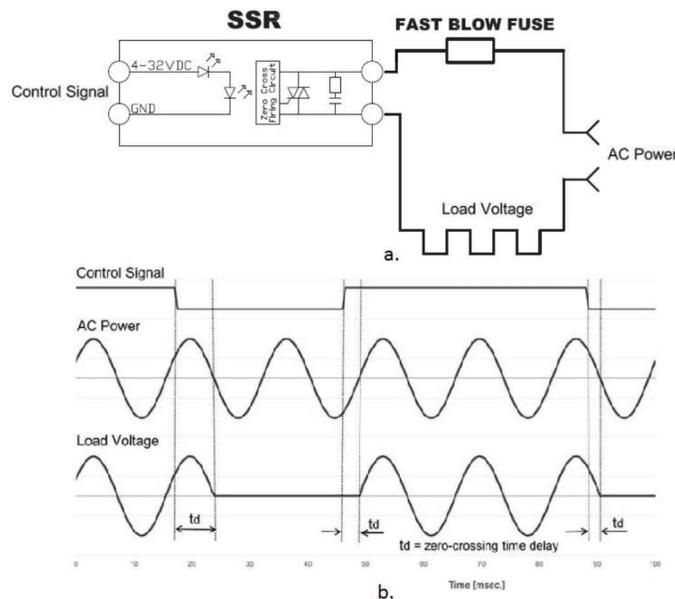


Figura 2. a. Esquema de conexión del SSR a la carga a controlar. b. Señales de control, potencia AC y voltaje en la carga. Fuente: OPTEC, "Dispositivos de estado sólido", versión 47, Medellín 2018.

En la figura 2 a, se observa el esquema de conexión de los dispositivos electrónicos de

potencia usados para controlar el voltaje en la carga que en este caso son las resistencias

calefactoras. En la figura 2 b. se observan la señal de tipo PWM que controla a SSR y que a su vez permite el paso controlado de la señal AC hacia la carga. La figura 3 muestra

un resumen esquemático de los componentes más importantes del control de temperatura implementado:

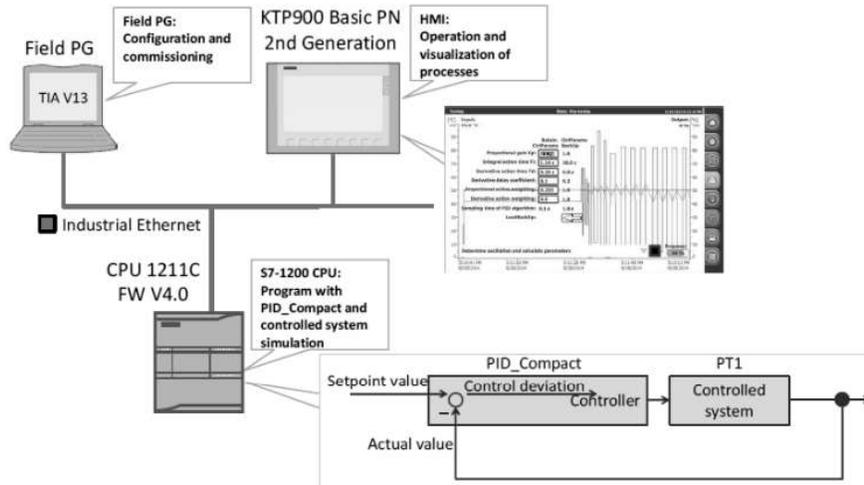


Figura 3. Esquema de comunicación y control del diseño implementado. Fuente: SIEMENS, "Application Description PID Control with PID_Compact SIMATIC S7-1200", 2014.

Dentro de un bucle de control, el objeto tecnológico "PID_Compact" detecta continuamente el valor real medido y compara este valor con el valor del punto de ajuste (especificado a través de la HMI). A partir de la desviación de control resultante, el controlador calcula un valor de salida que permite que el valor real alcance el valor de consigna de la manera más rápida y estable posible.

El valor de salida del controlador PID consta de tres valores:

La constante P del valor de salida aumenta proporcionalmente a la desviación de control. La constante I del valor de salida aumenta hasta que se compensa la desviación de control. La constante D aumenta con el aumento de la velocidad de modificación de la desviación de control. El valor actual se adapta al valor de

consigna (set point) lo más rápido posible. Si la velocidad de modificación de la desviación de control disminuye nuevamente, el término D también disminuirá. La instrucción "PID_Compact" calcula automáticamente los parámetros P, I y D para su sistema controlado durante la optimización inicial. Los parámetros pueden optimizarse aún más mediante el ajuste fino. No hay necesidad de determinar manualmente los parámetros [9].

B. Implementación.

Para realizar la programación en el lenguaje LADDER del PLC, inicialmente, se debe garantizar que la temperatura medida por la RTD sea la misma que lea el PLC por su entrada analógica. Para ello se efectuaron las medidas de temperatura con respecto al voltaje que se muestran en

la tabla 1 para observar el comportamiento de la RTD y realizar la respectiva escalización en la programación del PLC. Tales mediciones fueron comparadas con los valores indicados por una pistola térmica

FLUKE 561 HVAC. La RTD está conectada a un transmisor FOXBORO que genera una señal de 1 a 5 Voltios tomados en una resistencia de 250 Ohms.

Tabla 1. Medición de la caída de tensión sobre la resistencia de 250 Ω debido a la variación de temperatura.

Temperatura (°C)	Voltaje (V)
29,4	1,967
34,7	2,166
36,1	2,199
40	2,261
45,6	2,307
51,4	2,45
55	2,52
61	2,64
65,5	2,77
75	2,95
81	3,15
90	3,27
98,2	3,42
107,3	3,82
115,1	3,91
118,4	4,1
129	4,27
136,2	4,46
143	4,64
153	4,88

Fuente: Autores

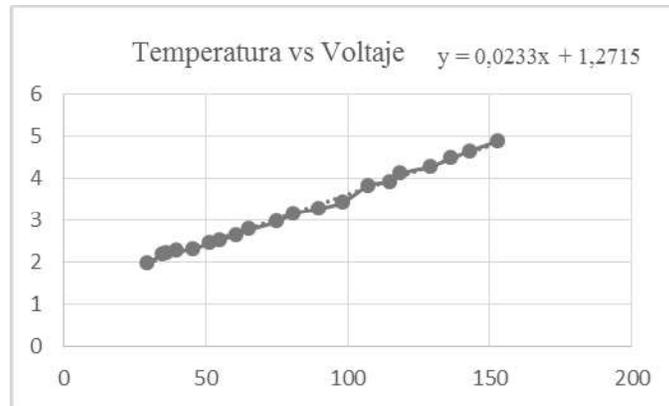


Figura 4. Caída de tensión producida por el transmisor de temperatura en función de la temperatura medida por la termocupla. Fuente: Autor.

La regresión geométrica proporcionó el siguiente resultado:

$$y = 0.0233x + 1.2715 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde y está dado en voltios y x en grados Celsius.

Expresando la ecuación en función del voltaje, es decir, la tensión medida en la entrada analógica del PLC se obtiene la ecuación:

$$x = \frac{y-1.2715}{0.0233} \quad \text{Ecuación (2)}$$

La programación desarrollada en el PLC es la siguiente:

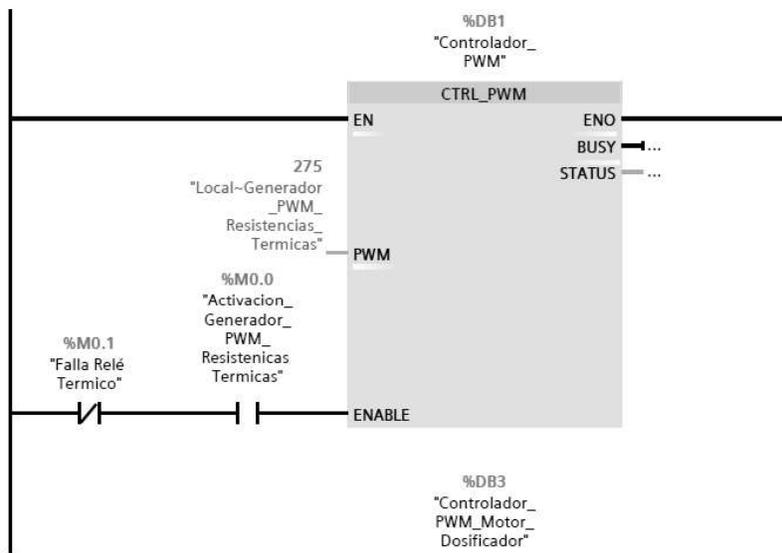


Figura 5. Control de potencia suministrada a las resistencias térmicas. Fuente: Autor.

Esta primera parte de la programación corresponde a la generación de la señal PWM que gestiona los ciclos de encendido y apagado de las resistencias térmicas, es decir, la potencia final suministrada a las mismas. Mediante un botón en la pantalla

HMI se apagarán o encenderán completamente las resistencias térmicas y, por protección, estas se apagarán en caso de que el relé térmico del motor que mueve el usillo indique alguna falla.

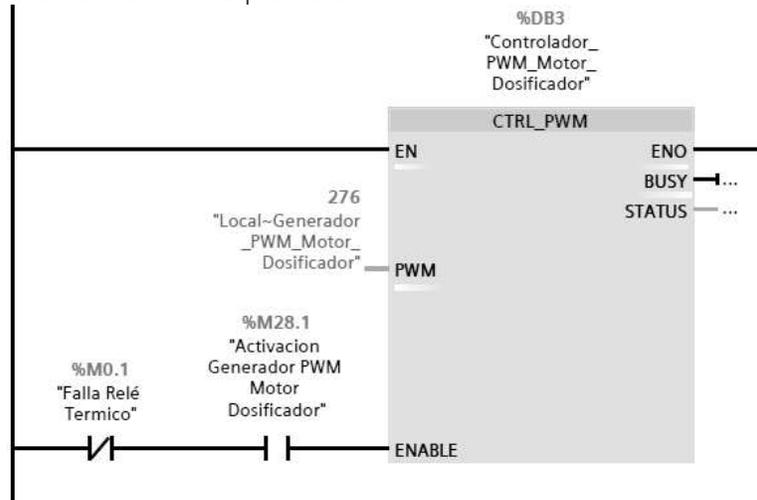


Figura 6. Control de velocidad del motor del conjunto dosificador. Fuente: Autor

Esta línea del ladder está destinada a controlar la velocidad de giro del motor del mecanismo que dosifica el plástico.

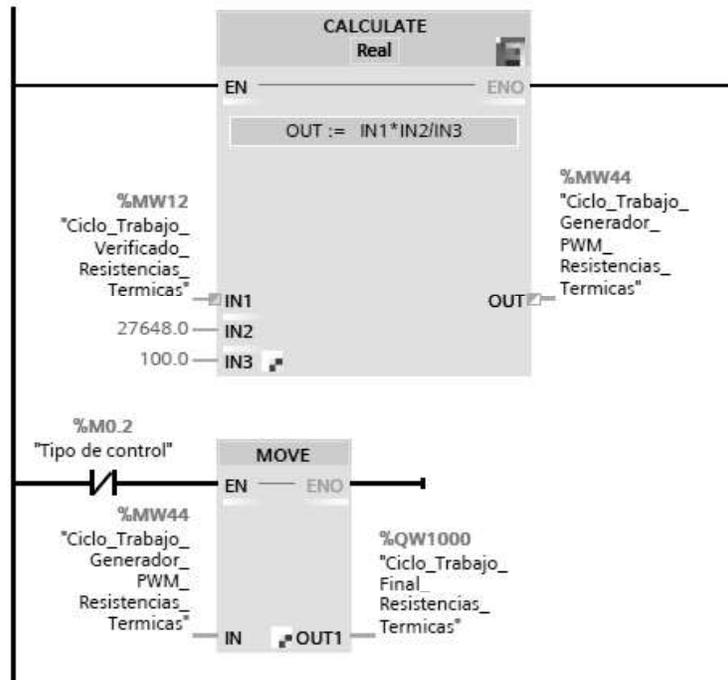


Figura 7. Especificación de la potencia suministrada a la resistencia térmica, así como la asignación del ciclo de trabajo deseado al bloque PWM especificado. Fuente: Autor.

Por medio de un cuadro de ingreso de texto presente en la pantalla HMI se especificará el ciclo de trabajo deseado (mediante un valor entre 0 y 100) de la señal PWM que controla la potencia dirigida a las resistencias térmicas. Así mismo, otro botón permitirá cambiar el modo de control de la resistencia térmica entre automático y manual. El modo automático del ciclo de trabajo de la señal PWM de control, está dada por un bloque PID que cuenta con la señal de retroalimentación del sensor de temperatura [10]. El bloque CALCULATE cumplirá las funciones de los bloques NORM_X y SCALE_X. Cualquiera de los dos métodos es igualmente válido. Este bloque se emplea para realizar alguna operación matemática que el programador requiera, usando los valores especificados en las conexiones del bloque IN1, IN2, ... INX, tantas como sean necesarias. Luego la salida OUT

almacenara la respuesta del cálculo especificado por el programador, que en este caso corresponde a

$$OUT = \frac{IN1 * IN2}{IN3}$$

Donde IN1 corresponde al ciclo de trabajo del motor dosificador, especificado por el operador, IN2 corresponde al máximo valor análogo leído por el respectivo puerto e IN3 corresponde al porcentaje equivalente del valor análogo máximo, es decir, 100%. En otras palabras, este bloque se encarga de traducir el ciclo de trabajo dado por el operador en un intervalo de 0 a 100, al intervalo análogo necesario para operar el bloque PWM, comprendido entre 0 y 27648 donde 0 es 0 VDC y 27648 es 24 VDC [11].

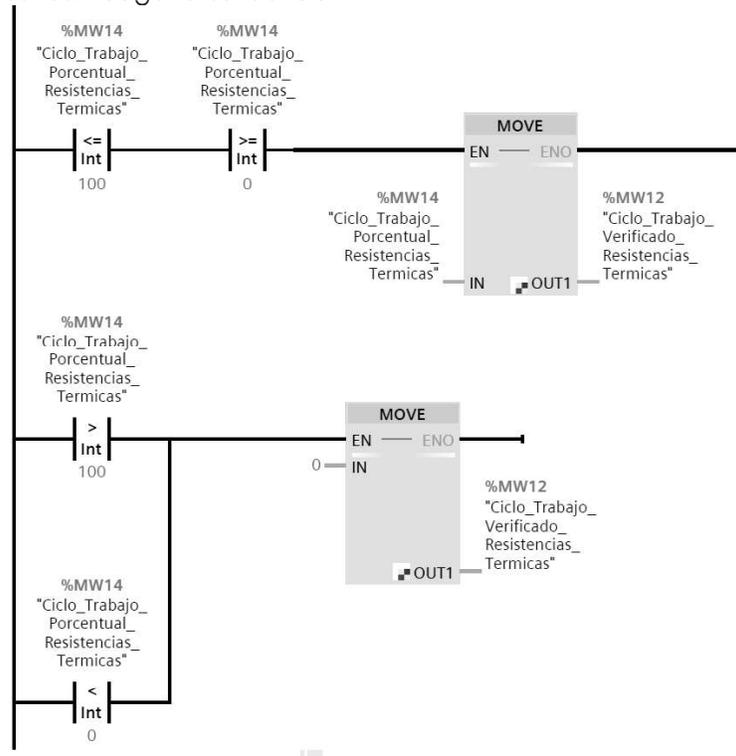


Figura 8. Verificación del nivel de potencia indicado por pantalla hacia la resistencia térmica.
Fuente: Autor.

En este conjunto de bloques se evalúa que el valor ingresado por pantalla para especificar la potencia a dar a la resistencia térmica se encuentre entre 0 y 100. De lo contrario el valor leído por el PLC automáticamente será 0.

de temperatura a una magnitud de temperatura específica.

Mediante los bloques NORM_X y SCALE_X se traduce la tensión enviada por el transmisor

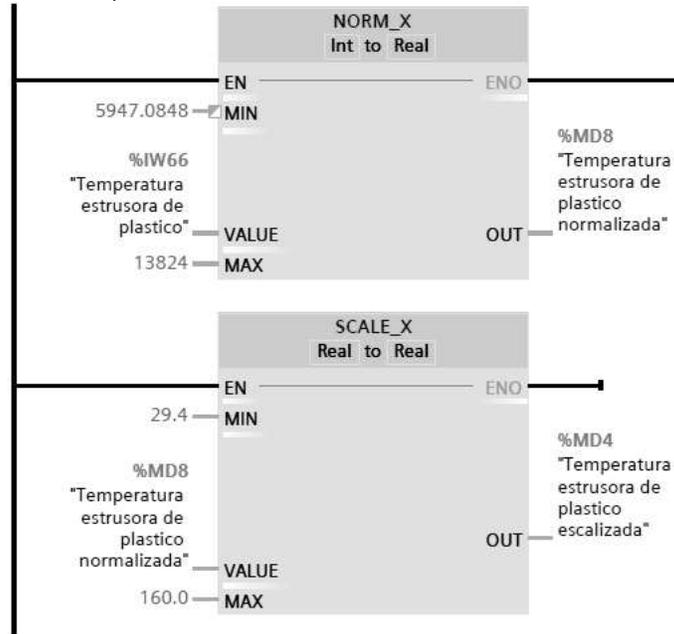


Figura 9. Traducción de la tensión medida por el PLC generada por el transmisor de temperatura, a su correspondiente temperatura. Fuente: Autor

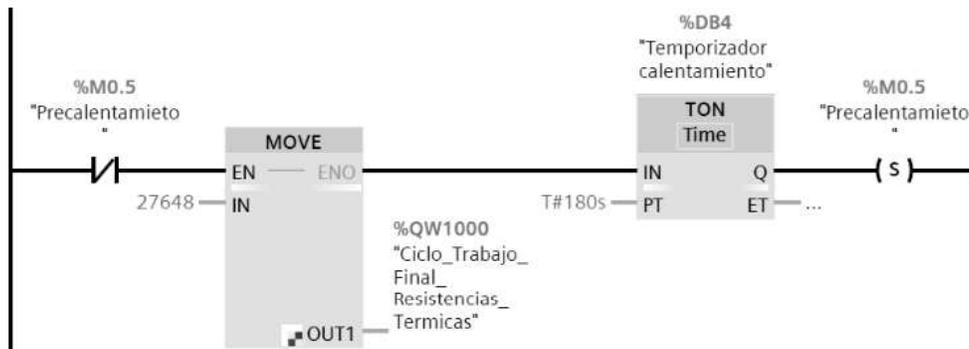


Figura 10. Precalentamiento de la camisa de extrusión (barrel en la figura 1). Fuente: Autor.

Al arrancar el PLC lo primero que realiza, es enviar toda la potencia posible a las resistencias térmicas para alcanzar una temperatura mínima para fundir las escamas de plástico, sin acudir al control PID. Esto se hace dado que el control PID fue sintonizado para mantener una temperatura alta

estable. Si se busca pasar de una temperatura baja, como la ambiental, a una temperatura específica para fundir cierto tipo de plástico (por el orden de 150 °C) al controlador le tomaría demasiado tiempo alcanzar por sí mismo tal temperatura.

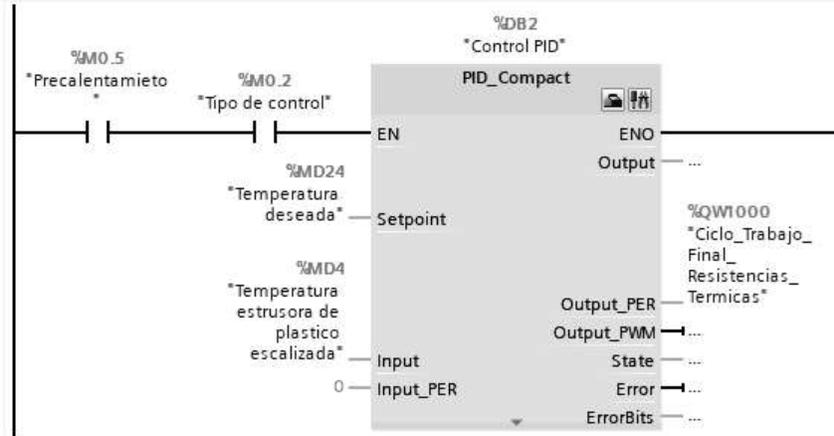


Figura 11. Bloque de control PID_compact usado para controla la temperatura de fusión del plástico. Fuente: Autor.

Cuando el tipo de control sea Automático, el objeto tecnológico PID_compact se encargará de llevar la temperatura de la camisa al punto establecido mediante un cuadro de texto presente en la pantalla HMI [12]. Este mismo bloque se encarga de extraer las constantes proporcional, integral y derivativa mediante el envío de señales de tipo escalón unitario al actuador (resistencias térmicas) y observando la respuesta de la planta a través del sensor de temperatura. Los parámetros obtenidos producto de esta sintonización son los siguientes:

- Ganancia proporcional: 4.459383

- Tiempo de integración: 115.474s
- Tiempo derivativo: 20.20795s
- Coeficiente de retardo derivativo: 0.1
- Ponderación de acción P: 0.8
- Ponderación de acción D: 0
- Tiempo de muestreo del algoritmo PID: 2.400552s

La interfaz mediante el cual el operador maneja la maquina se puede apreciar en la figura 12.

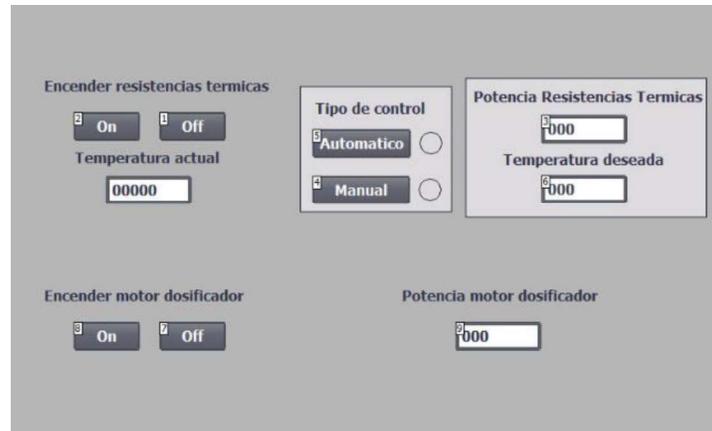


Figura 12. HMI Entorno de control. Fuente: Autor.

En la parte superior izquierda están ubicados los botones 2 y 1 con los cuales se habilita o no respectivamente el paso de potencia hacia las mismas, siendo este un requisito previo para controlar de manera automática o manual dichos elementos. Debajo de aquellos botones se encuentra un cuadro de texto donde se podrá observar la temperatura actual de la planta, concretamente del punto central del tubo donde se funde el plástico a procesar.

En la parte inferior de la misma columna se localizan otros dos botones destinados a encender y apagar el motor del conjunto dosificador de plástico. A la derecha se encuentra una caja de texto donde se puede especificar la potencia suministrada a este motor para variar su velocidad. En medio de la imagen hay un recuadro gris que encierra dos botones titulados automático y manual. Como sus nombres indican dichos botones se usan para determinar qué tipo de control tendrá la planta. En caso de ser manual la temperatura final estará dada por la potencia a direccionar a las resistencias térmicas determinada por medio del cuadro de texto ubicado en el recuadro contiguo, titulado Potencia resistencias térmicas. Por otro lado, si el tipo de control es automático

la maquina alcanzara la temperatura ingresada en el cuadro de texto titulado "temperatura deseada" ajustando como sea necesario la potencia enviada a las resistencias térmicas.

Resultados

El objetivo principal de la implementación de un controlador PID digital es sin duda alguna alcanzar la máxima eficiencia en términos del consumo de energía, en la figura 13 se observa que el equipo, en el intervalo de tiempo, $14,1 < t < 16,6$ minutos, su temperatura está controlada en 90 grados centígrados, y se observa que la señal de salida del sistema, se acerca con bastante precisión a la señal de referencia o set point del sistema, posteriormente entre el minuto 16,6 y 17, se produce un cambio en el set point a 130 grados y se puede observar que la respuesta del controlador es llevar la señal de control a su máximo nivel, en este caso 27648 o 24 VDC para dejar pasar la totalidad de la señal AC proveniente de la red eléctrica, hasta cuando la temperatura comienza a incrementarse con una pendiente o dv/dt considerable, luego el controlador regula la señal de salida, decrementando el ciclo útil de trabajo de la señal PWM permitiendo pasar cada vez

menos ciclos de la señal AC de la red y finalmente alcanza el estacionario en $t = 24$ minutos. De acuerdo con la gráfica el tiempo en el que la señal PWM tiene su máximo ciclo de trabajo es alrededor de 1 minuto lo cual significa que en este periodo de tiempo el consumo de energía es máximo. A partir de este periodo de tiempo

cada vez va siendo menor el ciclo de trabajo de la señal de salida hasta cuando la pendiente de la señal comienza a ser negativa y alcanza el estacionario, lo que representa una alta eficiencia del controlador que se traduce en un consumo de energía moderado.

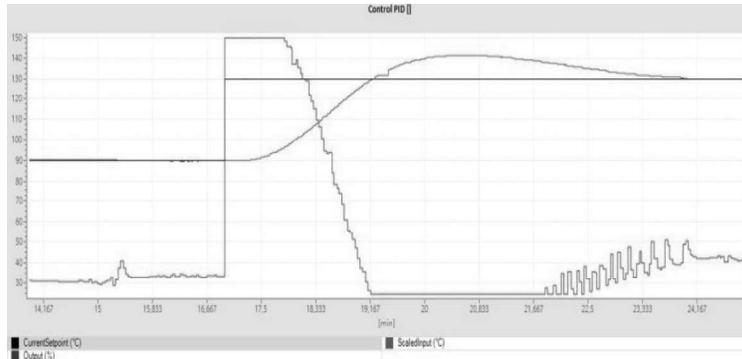


Figura 13. Comportamiento del sistema al cambiar el set point de 90 a 130°C. Fuente: Autor.

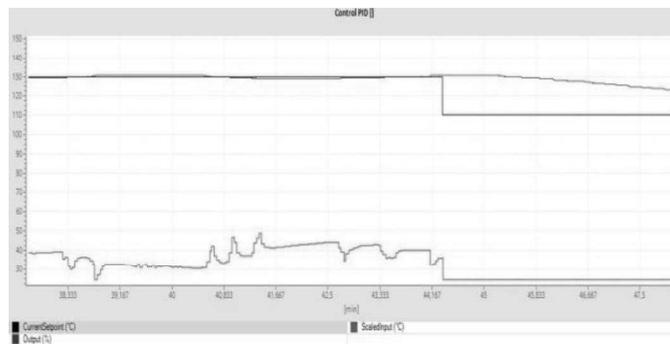


Figura 14. Comportamiento del sistema al cambiar el set point de 130 a 110°C. Fuente: Autor.

En la figura 14, el equipo ha permanecido controlado en 130 °C alrededor de 7 minutos, dentro de los cuales se observa que la temperatura se acerca con alto grado de precisión al set point o valor deseado. En el minuto 44 aproximadamente se cambia el set point aunque ahora este disminuye a 110 ° C, se observa como la señal de salida

disminuye hasta permanecer en su valor programado más bajo de ciclo de trabajo.

Conclusiones

El procesamiento de materiales en este tipo de equipos permite alcanzar con alta precisión la temperatura a la cual cada material alcanza su punto de fusión, siendo

esta una alternativa tecnológica para evitar pérdida de materia prima por inconsistencias en la temperatura, en adición a esto mejora la eficiencia en el consumo de energía eléctrica.

Este tipo de control es recomendable para controladores que generen señales PWM a frecuencias bajas o con un periodo aproximado de 10 ms o 100 Hz para que sea posible la conmutación de la señal de la red, es decir 60 Hz.

Es importante tener en cuenta que este equipo es alimentado con una conexión eléctrica trifásica de 220 VAC y que el balance de cargas es importante para mejorar la eficiencia del consumo de energía ya que adicional a las resistencias calefactoras el equipo cuenta con un consumo adicional correspondiente al motor que mueve el tornillo sin fin y el motor del dosificador.

Aunque la energía eléctrica es la fuente convencional para este tipo de maquinaria, es necesario girar la mirada a otro tipo de tecnología que procure hacer uso de fuentes de energía disponibles en las zonas donde se realice el proceso de transformación, como por ejemplo en el departamento de Casanare donde la biomasa proveniente de molinos de arroz (casarilla) se utiliza como combustible para el proceso de secado del mismo en los silos.

Referencias

[1] Pedro. N. (2013). Primer Casas, "Evaluación de la relación de la obsolescencia programada y el ecodiseño de productos con base en la metodología MCDA", tesis

M.Sc, Universidad Nacional de Colombia.

- [2] DANE, "Cuenta Ambiental y Económica de Flujo de Materiales – Residuos Sólidos 2012- 2015p", pp. 9-10, Bogotá, septiembre 2017.
- [3] D. Pastori, "Colombia pierde \$2 billones anuales por no reciclar desechos plásticos", junio 2019, disponible en <https://www.elheraldo.co/economia/colombia-pierde-2-billones-anuales-por-no-reciclar-desechos-plasticos-640305>.
- [4] S. Ravi and P. A. Balakrishnan, "Modelling and control of an anfis temperature controller for plastic extrusion process", en 2010 International Conference on Communication Control and Computing Technologies", Ramanathapuram, 2010.
- [5] C. Abeykoon, A. L. Kelly, E. C. Brown, J. Vera-Sorroche, P. D. Coates, E. Harkin-Jones, K. B. Howell, J. Deng, K. Li and M. Price." Investigation of the process energy demand in polymer extrusion: A brief review and an experimental study", ScienceDirect Applied Energy, vol 136, pp 726-737, Diciembre 2014.
- [6] J. Deng, K. Li, E Harkin-Jones, M. Price, N. Karnachi, A. Kelly, J. Vera-Sorroche, P. Coates, E. Brown and M. Fei. "Energy monitoring and quality control of a single screw extruder",

- ScienceDirect Applied Energy, vol 133, pp 1775-1785, Junio 2014.
- [7] J. Zhao and X. Wu, "Application of Digital Communication Techniques to Plastic Extrusion Process", en The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments ICEMI, Beijing, 2009.
- [8] OPTEC, "Dispositivos de estado sólido", versión 47, Medellín 2018.
- [9] SIEMENS, "Application Description PID Control with PID_Compact SIMATIC S7-1200", 2014.
- [10] H. F. Suárez V., A. Fonseca, and H. Vacca González, "Weft yarn feeder control system Hugo," Vis. Electron. Mas Que Un Estado Solido, vol. 9, no. 1, pp. 95–105, 2015.
- [11] L. E. Galindo, A. A. Aguilera, and L. A. Rojas, "Automation in the Pen Industry: the Case of Prints," Rev. Visión Electron., vol. 5, no. 1, pp. 103–113, 2011.
- [12] A. Chacón, A. Ramos, and A. Ruiz, "Sistema semiautomático de control para procesos de corrugado en fabricación de cartón A Semi-Automatic Control System Applied to the Corrugated-Cardboard Manufacturing Process Resúmen Palabras clave : Key words :," no. 2, pp. 113–125, 2012.