

Simulación y Comportamiento del Modelo de un Horno Eléctrico

Guevara J. *; Moya V.*; Samaniego E.*; Vaca E. *

**Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito-Ecuador
e-mail: (dario.javier, pilar.samaniego, esteban.vaca, viviana.moya)@epn.edu.ec*

Resumen: Al analizar el comportamiento de un horno eléctrico ya sea que se calienta por radiación, convección o la combinación de ambas, se debe estudiar las leyes físicas que rigen este sistema así como las leyes de conservación de la energía en los cuales nosotros analizamos el balance de energía y el balance de masa.

Palabras clave: Horno, balance, leyes, PI.

Abstract: When analyzing the behavior of an electric oven whether heated by radiation, convection or a combination of both, it should be studied the physical laws governing the system and the laws of conservation of energy in which we analyze the energy balance and mass balance.

Keywords: Oven, balance, laws, PI.

1. INTRODUCCION

Existen diferentes modelos matemáticos que representan el funcionamiento de una planta, así como modelos dinámicos ya sean mecánicos, eléctricos, térmicos, hidráulicos, económicas, entre otros...

Para obtener las diferentes ecuaciones diferenciales, se pueden utilizar ya sean leyes físicas y leyes de conservación de energía.

Existen una gran variedad de procesos térmicos controlados automáticamente en las industrias, los principios básicos de interés son la temperatura, el calor y el flujo de calor.

La mayoría de los sistemas térmicos (Fig 1) muestran efectos que pueden ser descritos sólo por parámetros distribuidos, los cuales son representados por ecuaciones diferenciales parciales, además se puede hacer considerando los parámetros como concentrados.

En el presente trabajo se va analizar un horno de resistencias eléctricas de calentamiento indirecto de la carga que fluye internamente, y se calienta por efectos de la radiación, convección o una combinación de ambas.

La energía calorífica requerida para el calentamiento procede de resistencias eléctricas que están ubicadas en el horno.

En el sistema que se va describir posteriormente se va realizar un modelamiento de un horno eléctrico, el cual va ser controlado por un PI clásico.

Para comprobar el funcionamiento del sistema se va colocar un escalón de pasos, en donde la señal de salida debe tener una respuesta cercana a eje de referencia cumpliendo los dos objetivos de control que son seguimiento y regulación.

Se va implementar en el software de Matlab las ecuaciones en diferencias que representan el comportamiento del horno.

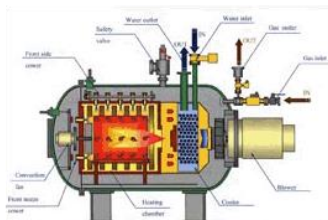


Figura 1. Sistema Térmico

2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

En un horno eléctrico convencional de pan (Fig 2) se estudia la dinámica del mismo y para la implementación teórica se calculan las capacitancias de los elementos del horno, las potencias de consumo de alimentación tanto eléctricas como a gas.

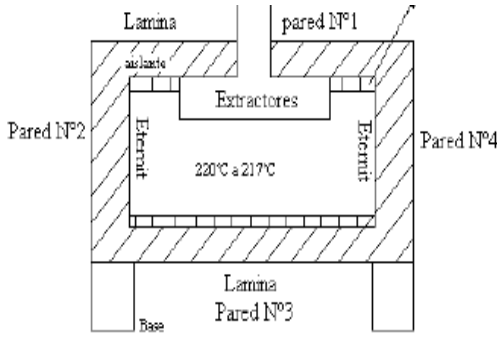


Figura 1. Horno eléctrico convencional de pan

Para realizar el modelo se utiliza la siguiente nomenclatura:

T1=Temperatura de la carga

T2=Temperatura ambiente

T3=Temperatura de las resistencias

T4= Temperatura de la pared interior

Q1=Calor generado por las resistencias= $\frac{I^2}{R}$

Q2=Flujo de calor desde las paredes hacia la carga.

Q3=Perdidas de calor a través de las paredes del horno

C1=Capacidad térmica de la carga

C2=Capacidad térmica de elementos de calentamiento

C3=Capacidad térmica de las paredes del horno

Rt1=Resistencia térmica entre paredes y la carga

Rt2=Resistencia térmica entre paredes y exteriores

2.1. Determinación de las ecuaciones diferenciales

El calor hacia la carga es:

$$Q_1 - (Q_2 + Q_3) = C_2 * \frac{dT_3}{dt} \quad (1)$$

Considerando la conductividad térmica de la carga:

$$Q_2 = \frac{T_4 - T_1}{Rt_1} = \frac{C_1 * dT_1}{dt} \quad (2)$$

El flujo de calor a través de paredes hacia el ambiente es:

$$Q_3 = \frac{T_3 - T_2}{Rt_2} \quad (3)$$

Si la conductividad térmica de la pared es elevada:

$$Q_3 = \frac{C_3 dT_4}{dt} \quad (4)$$

Sustituyendo (4) y (2) en (1), se obtiene:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} - \frac{C_3 dT_4}{dt} = \frac{C_2 dT_3}{dt} \quad (5)$$

Suponiendo una gran aproximación entre T3 y T4:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{dT_4}{dt} \quad (6)$$

De la ecuación (2) se deduce:

$$T_4 = C_1 Rt_1 \frac{dT_1}{dt} + T_1 \quad (7)$$

Sustituyendo (7) en (6) se obtiene:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{d}{dt} [C_1 Rt_1 \frac{dT_1}{dt} + T_1] \quad (8)$$

$C_1 * Rt_1 = \tau$ Es una constante de tiempo. Reemplazando y simplificando en (8)

$$\tau \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} \frac{dT_1}{dt} = \frac{U^2}{R} \frac{1}{(C_2 + C_3)} \quad (9)$$

Las ecuaciones descritas anteriormente comprenden la función teórica que muestra el comportamiento de la temperatura interna, en el tiempo, cuando se le aplica una potencia eléctrica.

3. METODOLOGÍA DE LA PLANTA

Para realizar el modelamiento de la planta se procedió de la siguiente manera:

Usando (1) :

$$T_3 = \frac{1}{C_2} * \int [Q_1 - (Q_2 + Q_3)] \quad (10)$$

Se supone gran proximidad entre $T_3 \approx T_4$ se obtiene lo siguiente:

$$T_1 = \frac{1}{C_1} * \int Q_2 \quad (11)$$

Y considerando la (2) se obtiene lo siguiente:

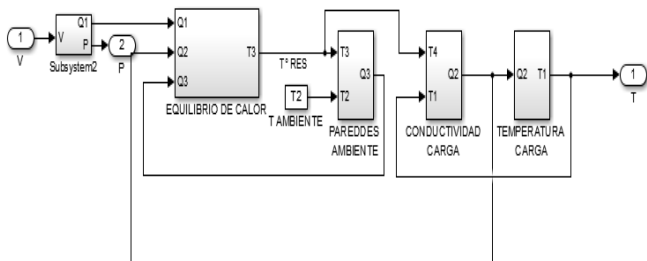
$$T_1 = \frac{1}{C_1} * \int \frac{T_4 - T_1}{Rt_1} \quad (12)$$

Las condiciones iniciales Tabla 1 que utilizamos para implementar en Matlab.

Tabla 1. Márgenes de página

Elemento	Descripción
C1	10,13 WH/°C
C2	1.66 WH/°C
C3	70.83 WH/°C
T2	20° C
V	220 V
Rt1	16
Rt2	0.1285
R0	15.39

Una vez obtenido las ecuaciones y condiciones iniciales se procede a implementar en simulik como se observa en la Fig. 3.


Figura 3. Implementación del modelo

Después de implementar las ecuaciones se implementó un controlador PI como se observa en las siguientes ecuaciones:

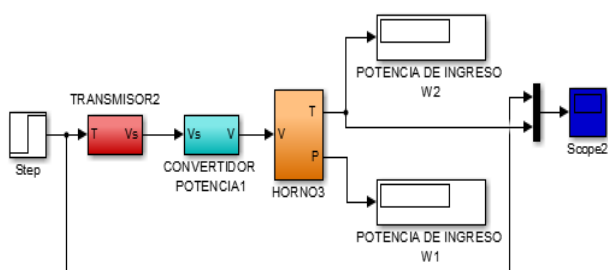
$$PI = K_p * e(t) + K_i * \int_0^t e(t) dt \quad (13)$$

Utilizando Ziegler Nichols se obtuvieron las siguientes constantes:

$$K_p = 0.7483 \quad (14)$$

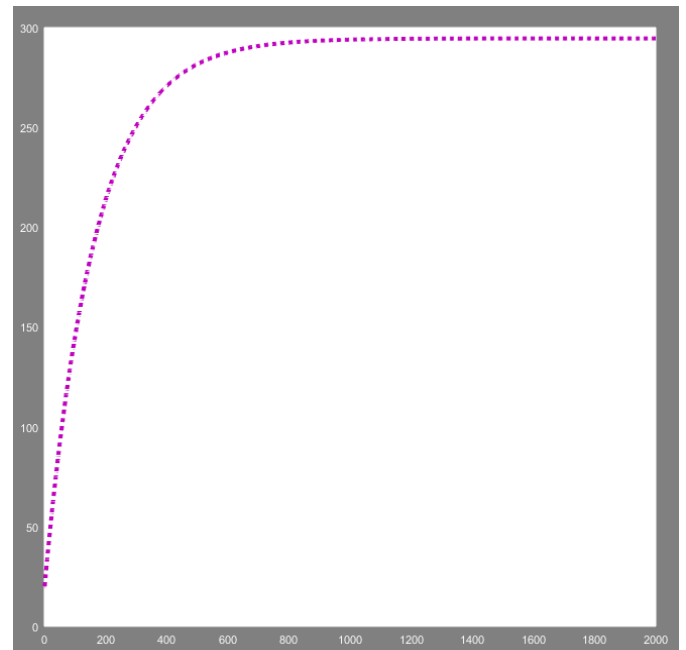
$$K_i = \frac{1}{150} \quad (15)$$

El esquema para observar la respuesta en lazo abierto quedaría como se observa en la Fig.4.

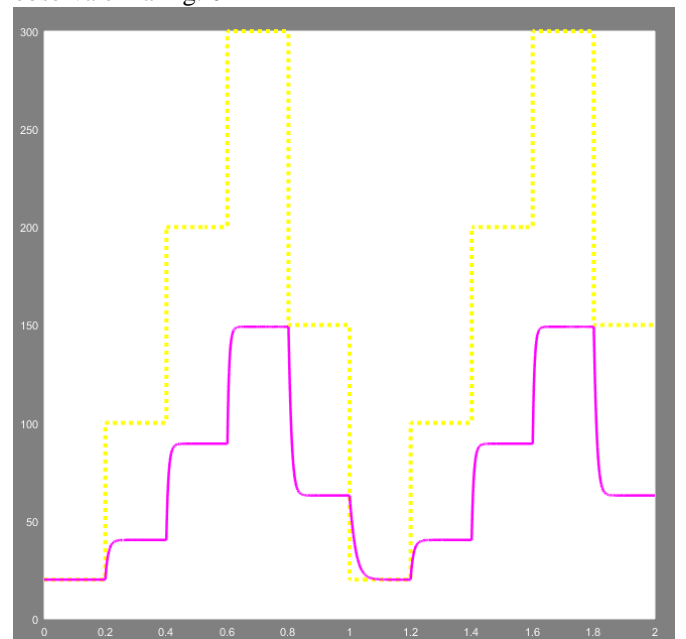

Figura 4. Implementación del modelo

4. RESULTADOS

Con una entrada paso que se coloca en Fig. 4, se obtuvo una respuesta de la planta en lazo abierto como se observa en la Fig. 5


Figura 5. Respuesta de una entrada paso en lazo abierto.

Con una entrada paso que se coloca en Fig. 4, se obtuvo una respuesta de la planta en lazo cerrado sin controlador como se observa en la Fig. 6


Figura 6. Respuesta de una entrada paso en lazo cerrado sin controlador.

Con una entrada paso que se coloca en Fig. 4, se obtuvo una respuesta de la planta en lazo cerrado con controlador como se observa en la Fig. 7

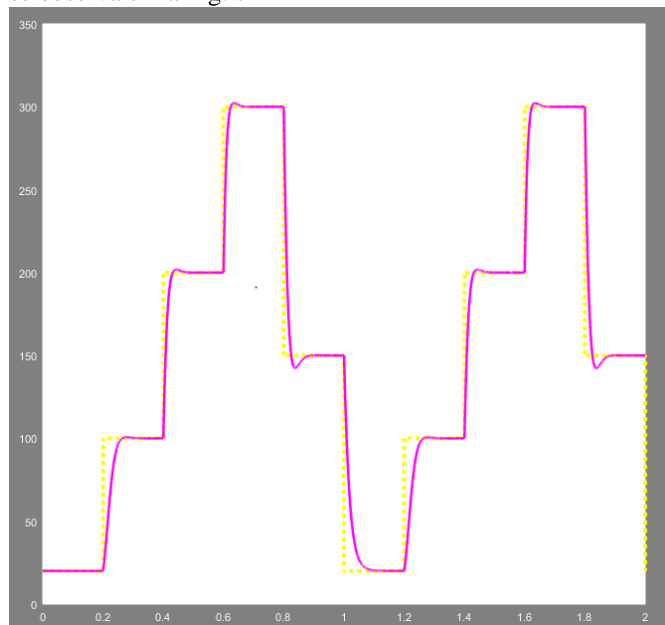


Figura 7. Respuesta de una entrada paso en lazo cerrado con controlador.

Entonces como se puede comparar en la Fig 6 y 7, cuando no se utiliza un controlador la salida no cumple con los objetivos de seguimiento y regulación mientras cuando se utiliza un control PI debido a que se controla la temperatura y la misma es una variable lenta se recomienda usar un control proporcional-integral como se observar en la Fig 7, en la cual a cualquier cambio de la entrada se refleja en la salida, y cumple las características de diseño es decir un tiempo de establecimiento muy corto no presenta sobre-pico y tiene un error cero en estado estacionario.

5. CONCLUSIONES

Los balances de energía y de masa, permiten obtener ecuaciones que rigen un proceso químico, y con estas ecuaciones se puede determinar la función de transferencia respectiva que va a determinar qué salida produce cada entrada.

Con un correcto análisis de las ecuaciones del sistema, se puede llegar a un modelo en ecuaciones diferenciales, el cual contiene toda la dinámica del sistema y con el cual podemos realizar el control respectivo para mejorar el desempeño del sistema.

Mediante la herramienta de Simulink se puede formar las ecuaciones que representan la dinámica del sistema

ordenadamente para poder darle diferentes entradas y observar sus respectivas características de salida.

Un horno es un sistema que maneja una dinámica lenta, en el cual se tiene un tiempo de establecimiento en minutos. Para poder manejar este tipo de sistema se utilizó un controlador PI el cual permite mejorar el tiempo de respuesta y trata de minimizar los errores.

REFERENCIAS

- [1] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2944/1/T-ESPEL-0567.pdf>
- [2] <http://www.dasconference.ro/cd2010/data/papers/C11.pdf>
- [3] <http://elth.ucv.ro/fisiere/anale/2010/38.pdf>
- [4] http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20248/1/Paper_Guarochico_Moran.pdf
- [5] <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Aplicaciones/Divulgacion/telered.pdf>
- [6] <http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXIV/documentos/si/158.pdf>