Identificación de la curva de reacción para el Proceso térmico en lazo abierto del M2CI de la UNAD.

Alexander Flórez Martínez, Jesús Omar Vargas Flórez, Martha Fabiola Contreras Higuera, Harold Sneider Pérez
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Fecha de Recepción: 25/06/15 – Fecha de Aceptación:01/11/15

Resumen

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, a lo largo de su trayectoria en el sector académico, ha conseguido dotar sus laboratorios con equipos que le permite a los alumnos complementar su formación a través de las experiencias prácticas, y no solo eso, sino que también sirven de apoyo a los diferentes semilleros y grupos de investigación que enfocan sus búsquedas en las soluciones que pueden ser aplicadas en el sector productivo. Este documento se va a enfocar en el Modulo de Monitoreo y Control de Instrumentación Industrial – M2CI, equipo que adquirió la UNAD y que se encuentra disponible para los CEAD de Bogotá, Neiva y Bucaramanga; En general, este equipo se compone de varios módulos o secciones, incorporando la instrumentación y las plantas de proceso con las cuales se pueden hacer simulaciones con las variables de Temperatura, Nivel, Flujo, efectuar conteos o detección de objetos, además tiene un panel de indicadores y alarmas, otro para mediciones, cuenta con un espacio disponible para conexiones a borneras, y por último, incluye tarjetas de adquisición de datos (DAQ) con comunicación por USB para conectar a un computador o si se prefiere también se tiene disponible un Controlador lógico programable (PLC) para efectuar acciones de control ya sea a nivel local o de tipo remoto por comunicación a través de la red de datos.

Con el fin de contribuir a la obtención de mejores resultados en las experiencias que se realicen con el M2CI, los autores hemos decidido iniciar un ciclo de artículos donde se documente la identificación de las curvas de reacción de los diferentes procesos que involucra el equipo, y aunque este procedimiento no sea nuevo en el mundo de la automatización, lo consideramos de mucha importancia al momento de aplicar técnicas de control sobre la variable a registrar, puesto que cada planta tiene un comportamiento propio y característico que la identifica.

Para esta primera entrega, iniciaremos con el módulo de temperatura del M2CI, el cual basa su proceso térmico en un horno tostador común, que a su vez tiene adaptado también un ventilador a manera de extractor; así entonces, después de efectuada la identificación de la curva de reacción para esta planta térmica, se tendrá a la temperatura como la variable de un proceso a controlar, siendo esta de las más complejas a nivel industrial por la inercia que introduce al sistema, lo que complica el hecho de que pueda ser manipulada; De ahí parte el interés de tener una buena identificación de la curva de reacción del proceso, para las futuras aplicaciones que se puedan tener sobre el equipo, por medio de los grupos de investigación, semilleros y estudiantes.

Palabras Clave: *Calentamiento, Curva de Reacción del proceso, Lazo Abierto, Ley de Joule, Temperatura.*

Abstract

National Open and Distance University - UNAD, throughout his career in academia, has managed to equip their laboratories with equipment that allows students to supplement their training through practical experience, and not only that, but also they support the different seedbeds and research groups focus their searches on solutions that can be applied in the productive sector. This document will focus on Module Industrial Monitoring and Control Instrumentation - M2CI team that acquired the UNAD and is available for CEAD Bogota, Neiva and Bucaramanga; Overall, this team consists of several modules or sections, incorporating instrumentation and process plants which can be made simulations with variables Temperature, Level, Flow, perform counts or object detection, also has a panel indicators and alarms, one for measurements, has a space available for connections to terminal blocks, and finally, includes cards data acquisition (DAQ) with communication via USB to connect to a computer or if you prefer a controller is also available programmable logic (PLC) to perform control actions either locally or remote type for communication over the data network.

In order to contribute to achieving better results in experiments carried out with M2CI, the authors have decided to start a series of articles where the identification of the reaction curves of the various processes involving the equipment is documented, and although this procedure is not new in the world of automation, we consider it very important when applying techniques of control over the variable to be registered, since each plant has its own characteristic behavior that identifies it.

For this first installment, we will start with the module temperature M2CI, which bases its thermal process in a common toaster oven, which in turn has also adapted a way exhaust fan; and then, after completed the identification of the reaction curve for this thermal plant, shall be kept at the temperature as the variable of a process to be controlled, this being the most complex industrial level by inertia introducing the system, complicating that can be handled; Hence the interest part of having a good identification of the reaction curve process for future applications may have on the team, through research groups, seedbeds and students.

Keywords: Warm, Process Reaction Curve, Open Loop, Joule's Law, Temperature.

I. INTRODUCCIÓN

A continuación un breve resumen de algunos conceptos básicos que se deben tener presentes en las temáticas relacionadas con el control de procesos.

Proceso: Operación o secuencia de procedimientos, caracterizada por un conjunto de cambios progresivos que llevan a un resultado o estado final a partir de un estado inicial.

Planta: Cualquier objeto tangible que maneje cambios medibles en las características físicas de la materia, y que puedan ser controladas.

Sistema: es la combinación de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo para dar como resultado un producto o servicio con el que se puede lograr rentabilidad. Podría considerarse también como proceso productivo o simplemente "proceso".

Figura1. Diagrama general de un sistema

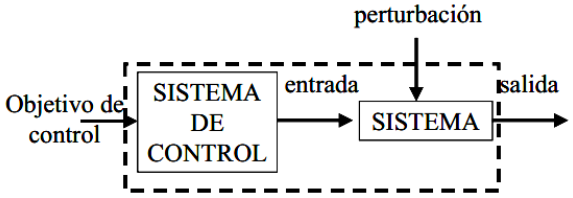
- **Variable de entrada:** es una señal del sistema, sea física o electrónica, tal que, una modificación de su magnitud o condición puede alterar el estado general del proceso.

- **Variable de salida:** es una señal física o electrónica emitida por el sistema, cuya magnitud o condición se puede medir.

- **Perturbación:** es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y constituye una entrada.

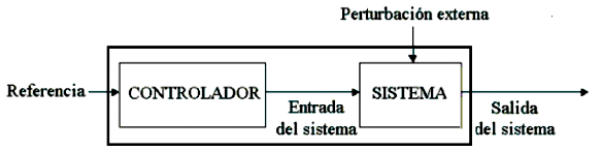
- **Sistema de control:** es el conjunto de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos, que actúan juntos para intentar mantener una variable del sistema en un punto o rangos específicos.

Figura2. Esquema para un sistema controlado



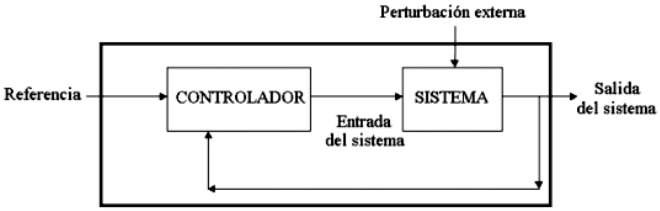
- **Sistemas de control en lazo abierto:** Aquellos en los que la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control). En este tipo de sistemas no se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (referencia). También, para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada. La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador. Se debe tener en cuenta que en presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente.

Figura3. Representación para un sistema en lazo abierto



- **Sistema de control en lazo cerrado:** Aquellos en los que la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control). Se pueden encontrar sistemas de control en lazo cerrado de forma manual donde el controlador es un operador humano o sistemas de control en lazo cerrado de modo Automático donde el controlador es un dispositivo electrónico.

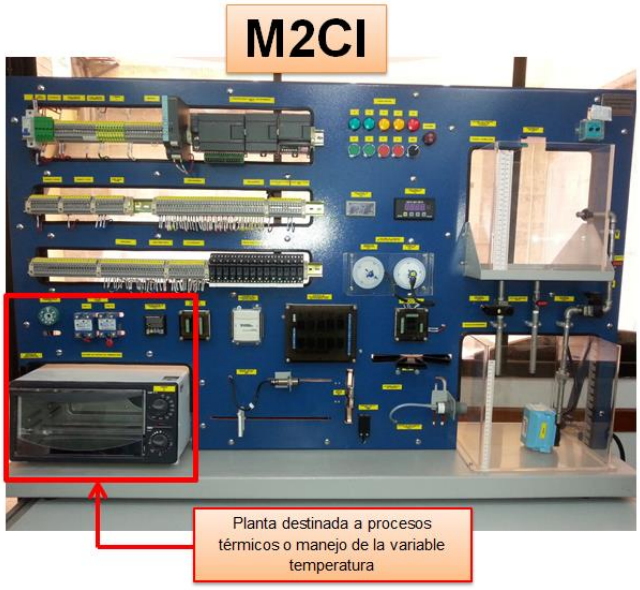
Figura4. Representación para un sistema en lazo cerrado



II. DETERMINACION DE LA CURVA DE REACCION DE LA PLANTA TERMICA EN LAZO ABIERTO

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, posee en sus laboratorios de los CEAD de Bucaramanga, Neiva y Bogotá, un Módulo Entrenador de Instrumentación y Control Industrial (M2CI) por lo cual se va a aprovechar la existencia de este equipo, que dentro de sus características incorpora una planta térmica, con la cual se pueden efectuar desarrollos enfocados a la pedagogía o procesos orientados hacia la investigación que beneficien a los semilleros existentes en la Universidad. Indicaremos a continuación los pasos necesarios para llegar a la curva de reacción de proceso, teniendo en cuenta que se utilizara como un sistema de lazo abierto, donde se inicia la planta esperando que su comportamiento alcance la estabilidad en un valor determinado, en otras palabras, que la respuesta al escalón en lazo abierto de la planta tome la forma que algunos autores denominan "S". Teniendo la curva del proceso, posteriormente en otra entrega, definiremos los parámetros necesarios para hallar la función de transferencia, y los valores que se pueden aplicar a un controlador.

Figura5. Vista general del M2CI



La representación de un sistema de control en lazo abierto y su modelo funcional lo integra el conjunto de bloques conformado por el actuador, la Planta, y el Sensor. Usualmente se suele pensar que el modelo funcional a obtener es la función de transferencia de la planta y realmente es la integración de los tres bloques.
Función de transferencia en lazo abierto del modelo funcional.

Figura6. Modelo funcional para un sistema en lazo abierto

Elemento final de control: Actuador
Elemento primario: Sensor.

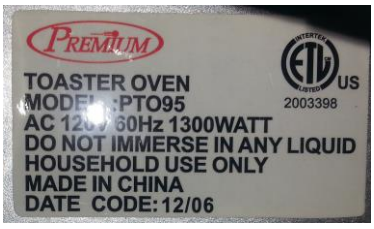
III. IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES QUE CONFORMAN LA PLANTA PARA EL PROCESO TERMICO:

Dentro de la planta térmica del M2CI se pueden identificar, en la parte frontal:

Figura7. Vista detallada planta térmica M2CI

Un horno tostador Eléctrico, que está conformado por dos resistencias eléctricas en paralelo, con las cuales se genera calor por radiación. Las características que expresa el fabricante son:

Figura8. Especificaciones técnicas suministradas por el fabricante del horno tostador



Con lo cual podemos obtener algunos parámetros nominales de funcionamiento:
Potencia de consumo: **P=1300w**
Voltaje de trabajo: $\mathbf{V_{AC}=120V}$

Resistencia equivalente en paralelo que se midió a través de un multímetro:
$R_{EQ//}$=11,5Ω

Para calcular la corriente del sistema, despejamos de la fórmula:

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2.R$$

De donde obtenemos que corriente máxima que necesitara el sistema será:

$$I_1 = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1300}{11,5}}$$

$$\boxed{I_1 = 10,6322A}$$

Este parámetro será fundamental para la selección de los componentes que integraran el sistema de identificación.

Transmisor de temperatura SIEMENS modelo TH100 calibrado para trabajar en el rango desde los 0°C hasta los 400°C con salida en corriente de 4-20mA.

Figura9. Vista conexiones transmisor de temperatura

Figura10. Potenciómetro lineal ajustado a la resistencia requerida

Como se requiere es capturar una señal análoga de voltaje, se efectúa un ajuste con una resistencia de 250Ω, la cual será la señal análoga que se capturara con la tarjeta de adquisición de datos (DAC)

Relés de estado Solido marca OPTEC, referencia TD48A15 con especificaciones:

Voltaje de entrada: V_{IN}= 4-32V_{DC}
Voltaje de salida: V_{OUT}= 24-575 V_{AC}
Corriente de salida: I_{OUT}= 15A

Estos relés se utilizaran para efectuar acciones de activación o desactivación de componentes del sistema térmico, como por ejemplo activar el encendido del horno.

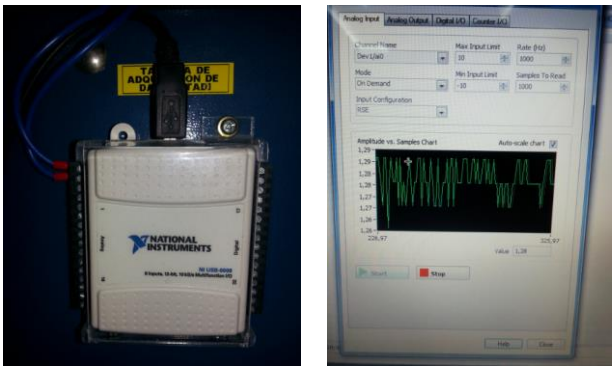
Figura11. SSR para activación de elementos de alta corriente

Controlador de temperatura marca Autonics, referencia TZN4S, con el que inicialmente solo se tomara como indicador de (temperatura ambiente) y la temperatura interna del horno en la medida que se caliente. Para los registros iniciales la temperatura ambiente promedio era de 27°C.

Figura12. Controlador local de temperatura - Autonics

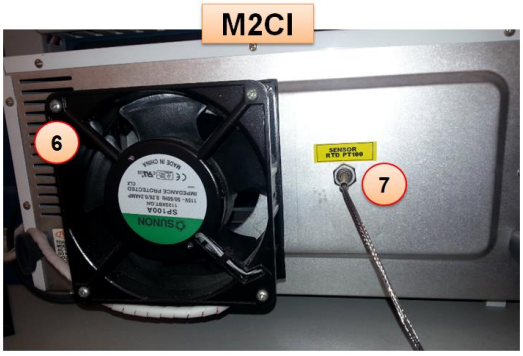
La tarjeta de adquisición de datos (DAQ) que se va a utilizar es del fabricante National Instrumens, referencia 6008, con el cual se puede capturar la información y enviarla al PC a través del puerto USB. Además en el PC se desarrolló el programa bajo la plataforma LabView, con el cual se puede tener de forma ordenada cada dato capturado en muestras de 0,5 segundos.

Figura13. Tarjeta de adquisición de datos y señal de prueba capturada con el computador



En la parte posterior de la planta térmica, también podemos identificar otros elementos que conforman el sistema y que deben tenerse en cuenta al momento de la identificación; estos son:

Figura14. Vista posterior del horno tostador

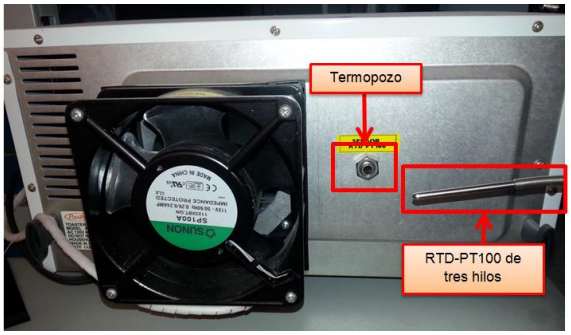


Se tiene un ventilador marca Sunon, referencia SP100A, acoplado al horno como extractor, cuyo paso de aire desde la recamara interna del horno se interrumpe por medio de una compuerta deslizable. Según el fabricante, este cooler tiene las siguientes especificaciones: $115V_{AC}$, 0,26 A

Figura15. Vista del cooler a modo de extractor y la compuerta de paso para el flujo de aire

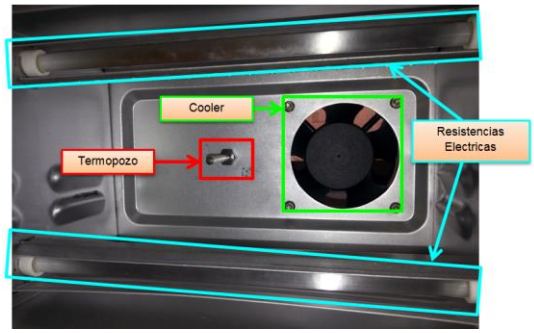
RTD PT-100 Autonics de tres hilos, utilizado como sensor de temperatura a través de un termo-pozo que facilita su manipulación del sensor con respecto a la recamara interna del horno. El termo-pozo se encuentra ubicado en medio de las dos resistencias eléctricas del horno.

Figura16. Vista del termopozo y el sensor de temperatura



En la recamara interna del horno tostador se pueden identificar los componentes tales como el termo-pozo el cual contendría el Sensor para la variable de temperatura, el cooler y las resistencias eléctricas que conformarían un conjunto de actuadores que calentarían o enfriarían según la necesidad que se establezca en el control del proceso.

Figura17. Vista interna del horno tostador



IV. IDENTIFICACION DE LAS CURVAS DE TEMPERATURA PARA LA PLANTA TERMICA EN VACIO, SEGÚN SUGERENCIA DEL FABRICANTE:

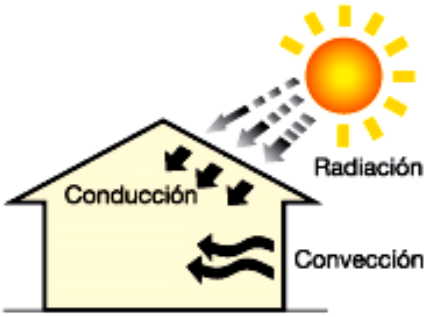
Después haber identificado físicamente todos los componentes con los que se va a trabajar en el proceso de temperatura, procedemos a identificar el funcionamiento del horno y se capturan las curvas de temperatura en vacío, de tal manera que se puedan hacer los ajustes que se requieran para trabajar en rangos asequibles de corrientes y temperaturas.

El fabricante del horno tostador, propone dos parámetros con los que se puede operar el proceso térmico obteniendo diferentes combinaciones a traces de la posición de las perillas selectoras; el primer parámetro es el tiempo de funcionamiento y el otro es la temperatura que alcanzara el proceso.

Figura18. Controles tipo dial o perilla selectora de tiempo y temperatura para el horno tostador

Para tratar de identificar e interpretar el comportamiento del proceso térmico en el interior del horno tostador, en principio se efectuaron dos pruebas en vacío; debemos recordar que en los procesos térmicos existen principios transferencia de calor que se producen por Radiación, por Convección y por Conducción, siendo los dos últimos irrelevantes, si se tiene en cuenta que el cubículo es cerrado y que el sensor de temperatura se ubica en medio de las dos resistencias eléctricas que calientan el espacio por radiación.

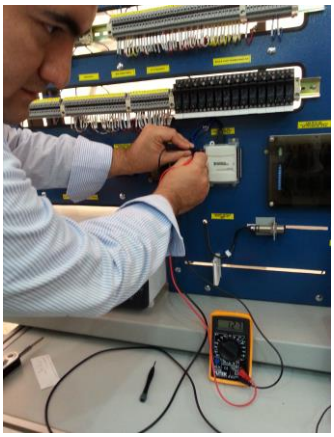
Figura19. Transmisión de calor.



Fuente:
http://stage.masisa.com/per/esp/productos/recomendaciones-practicas/arquitectura-de-interiores/aislacion-termica/1280/348/

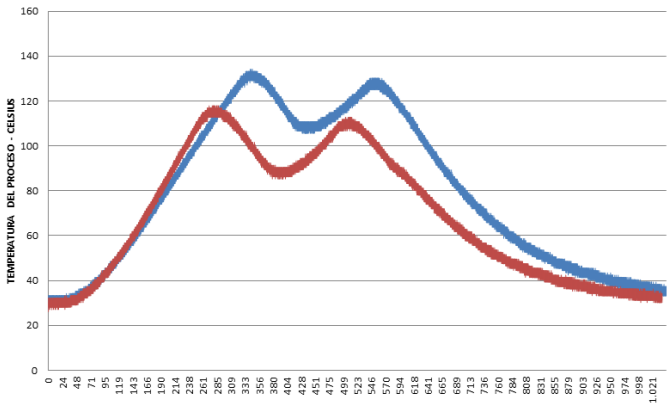
Se plantea entonces, que con estas dos pruebas iniciales, se pueda comprender como operaria el equipo sin acciones de control definidas, y como se delimita la curva de temperatura. En el primer ejercicio, con la perilla selectora elegimos una temperatura de trabajo **200°F/95°C**, con un tiempo de proceso de **10 minutos**; La segunda prueba se efectúa con una temperatura de **250°F/120°C**, y con el mismo tiempo de operación. Tenemos entonces como condiciones iniciales, una temperatura ambiente de aproximadamente **27°C,** y la captura en la DAQ se efectuara tomando muestras cada milisegundo, del voltaje analógico que se envía desde el arreglo del transmisor de temperatura y la resistencia que se mencionó con anterioridad en este documento. El voltaje que envía el transmisor hacia la DAQ, para la temperatura ambiente es $1{,}27V_{DC}$ y la corriente que pide el sistema termino con los valores ingresados es 9,7A el cual es muy cercano al calculado.

Figura20. Medición de voltaje de entrada a la DAQ, proveniente del transmisor de temperatura



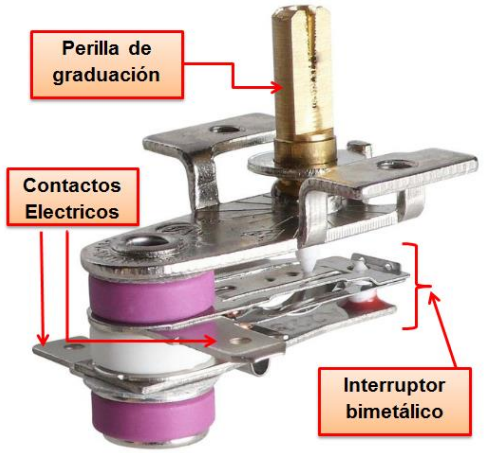
Graficando los datos recopilados por la DAQ se obtienen las siguientes gráfica:

Figura21. Curvas obtenidas graficadas en excel



Analizando los resultados obtenidos, observamos que en la medida que el horno alcanza la temperatura mantiene una inercia en su temperatura de calentamiento por encima del valor deseado **(115°C y 130°C)**, así mismo se enfría por debajo del valor deseado **(90°C y 110°C)**, lo que lo convierte en un proceso con oscilaciones sostenidas a lo largo del tiempo; Por otra parte deducimos que este tipo de comportamiento no sería útil para tratar de identificar la planta por los métodos de lazo abierto, pues se requiere de un sistema que alcance su punto máximo y se estabilice en el a lo largo del tiempo.

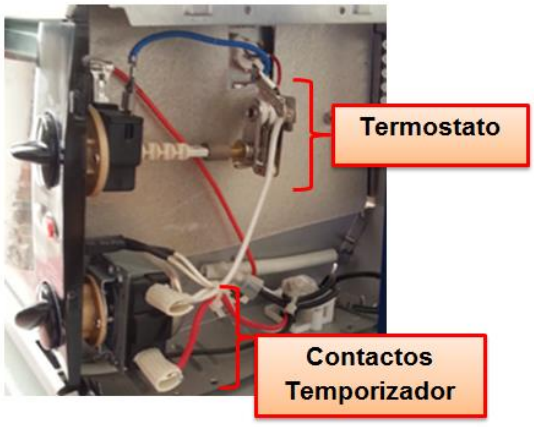
Figura22. Estructura de un interruptor bimetálico de accionamiento mecánico.



Fuente: http://spanish.bimetal-thermostats.com/china-contacts_normally_open_and_auto_reset_bimetal_refrigerator_honeywell_thermostat-931356.html

Ahora bien, se procedió a analizar internamente el control manual que tiene el horno, con el fin de determinar el tipo de dispositivo que desactiva el paso de la corriente hacia las resistencias, generando estas oscilaciones; en primer lugar se encontró que para graduar o seleccionar la temperatura de trabajo, el control se efectúa con un termóstato de tipo mecánico con apertura por temperatura en los bimetálicos que conforman el switch. Este tipo de interruptores son muy utilizados en equipos que manejan temperaturas pues su costo es económico, aunque su vida útil está determinada por cierto número de interrupciones.

Figura23. Estructura interna del control manual del horno tostador.



El funcionamiento de este tipo de termostato es muy sencillo debido a que existe una perilla que gradúa una cierta presión sobre el fuelle, que mecánicamente se opone a la curvatura que toma el bimetálico cuando se aplica una temperatura, lo que hace que se alejen los contactos impidiendo el paso de corriente.

De ahí que las temperaturas de apertura y cierre no sean las deseadas, incluso seleccionándolas en el panel, pues este tipo de dispositivo trabaja por aproximaciones y se desajusta muy fácilmente en la medida que se utiliza.

Por otra parte se encontró que el temporizador también es un interruptor de tipo mecánico, que mantiene los contactos siempre unidos en la opción **OVEN ON**, y en las demás funciona a manera de reloj de cuerda, regresivo, que abre los contactos cuando llega a cero.

Para la siguiente prueba se propone omitir el termostato, uniendo directamente el cable que determina la fase eléctrica del sistema, y mantener el temporizador en la opción OVEN ON para que el sistema siempre este energizado, y de esta forma tratar de visualizar si la planta alcanza alguna temperatura que se considere estable. Además debemos considerar que el fabricante en la perilla de selección menciona que la temperatura máxima de trabajo puede ser de **450°F/230°C.** En este caso puntual no se adquirieron datos, pero si se mantuvo una visualización de la temperatura en el display del controlador local que se tiene en el panel. Transcurrido un tiempo de 8 minutos, la temperatura de la planta alcanza los **280°C,** situación que consideramos como causal de riego para que se inicie alguna conflagración teniendo en cuenta que el horno tiene dentro de su estructura física plásticos que a estas temperaturas inician por perder su rigidez, y a temperaturas posteriores por su composición química puede iniciar un punto de combustión.

Figura24. Indicador de Temperatura máxima soportada por elementos plásticos

.

Por lo anterior, descartamos nuevamente que la planta pueda llegar a un punto de estabilidad, puesto que el calor desprendido por la planta puede seguir aumentando en la medida que el tiempo transcurra, de la misma forma que la temperatura, si tenemos como parámetro principal de seguridad la Ley de Joule, que establece que cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, éste se calienta, emitiendo energía, de tal forma que el calor desprendido es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad que lo atraviesa por la resistencia que se opone al paso de la

corriente, y al tiempo durante el cual está circulando la corriente.

$$Q_{Calor} = I^2.R.t$$

Si aplicamos los valores de resistencia y corrientes calculados hasta el momento, durante el tiempo máximo que sugiere el fabricante, teóricamente con la ley de Joule estaríamos consiguiendo:

$$Q_{Calor} = (10{,}6322A)^2.(11{,}5\Omega).(900s)$$

$$Q_{Calor} = 1'170.002{,}055\ j$$

Y si aplicamos las tablas de conversión para unidades de energías:

1 JOULE =	0,239005736138	Calorie [thermochemical]
1 JOULE =	0,238902957619	Calorie [15 °C]
1 JOULE =	0,000526565076466	Celsius heat unit
1 Calorie [15 °C] =	0,00220409609707	Celsius heat unit

Obtendríamos matemáticamente que el calor por radiación desprendido por la planta, si dejamos transcurrir un tiempo de 15 minutos, alcanzara una temperatura de:

$$Q_{Calor} = 616{,}0822217\ Celsius\ heat\ unit$$

Finalmente, basándonos en las dos experiencias anteriores, se decide quitar el puente directo para la fase eléctrica del circuito, además de mantener el temporizador en la opción OVEN ON para que el circuito siga cerrado, pero a diferencia de las pruebas anteriores se utiliza un transformador para regular el voltaje de entrada y así mismo la corriente del circuito, de tal forma que con el paso del tiempo podamos conseguir una energía liberada más manejable que permita a la planta llegar a la estabilidad.

Se utiliza un transformador en el cual, uno de sus devanados arroja 28,1V_{AC} con el cual se puede hacer una relación matemática entre las potencias y el calor que generara la planta; de esta forma tenemos:

$$V_{medido} = 28{,}1\ V_{AC}$$

$$R_{Sistema} = 11{,}5\Omega$$

$$I_{Calculada} = \frac{28{,}1}{11{,}5} = 2{,}44348\ A$$

$$P_{Calculada} = \frac{(28{,}1)^2}{11{,}5} = 68{,}6617\ w$$

Figura25. Adecuaciones eléctricas para regulación de voltaje

Nuevamente utilizamos la Ley de Joule para determinar el calor emitido por la planta con estos nuevos parámetros, para un tiempo relativamente largo como por ejemplo 25 minutos que equivalen a 1500 segundos. Por lo tanto:

$$Q_{Calor-Calculado} = (2{,}44348)^2.(11{,}5).(1500)$$

$$Q_{Calor-Calculado} = 102.992{,}6087\ j$$

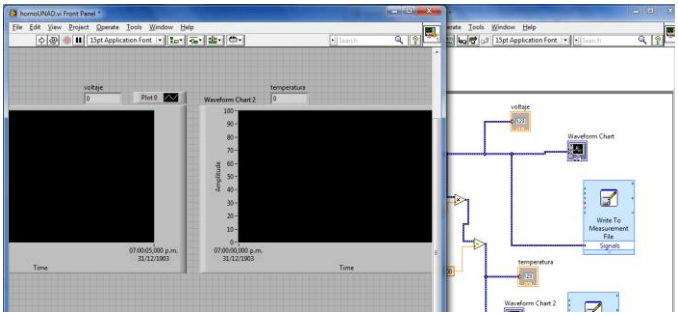
Haciendo la conversión, esto equivale a:

$$Q_{Calor-Calculado} = 54{,}23231087\ Celsius\ heat\ unit$$

Como se observa, este resultado es más manipulable y menos riesgoso para efectuar la identificación de la planta, puesto que a pesar de que la respuesta está dada en unidades de calor, la temperatura del sistema no distara mucho de este resultado si se tienen en cuenta algunos principios de la termodinámica.

A continuación, el paso a seguir es dar marcha al sistema térmico, realizando las debidas conexiones al transformador que nos regulara el voltaje y teniendo presente los nuevos parámetros para la adquisición de los datos en la DAQ, a través del programa desarrollado en LabView; Este programa inicialmente esta desarrollado para visualizar, y capturar las variaciones del voltaje que vienen desde el transmisor de temperatura, en arreglo con la resistencia, y que entran por un puerto de la DAQ configurado para leer de forma análoga; al mismo tiempo efectúa la interpretación y equivalencia de ese voltaje en Temperatura, guardando los resultados obtenidos en dos archivos de Excel diferentes, de tal forma que se puedan analizar mejor. El programa no toma ninguna acción de control.

Figura26. GUI del Software desarrollado en LabView.



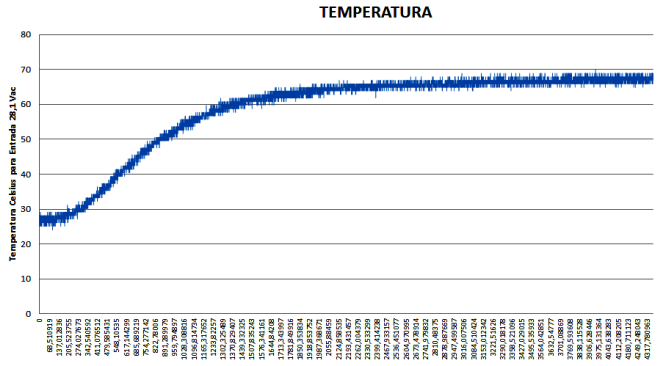
Al iniciar el sistema, se mide el valor de la corriente que pide la planta para iniciar su calentamiento:

$$I_{Medida} = 2{,}61\ A$$

Con el pasar del tiempo se observa que la planta incrementa su temperatura interna en pequeñas variaciones. Pasados 30 minutos se empieza a visualizar que la planta alcanza un punto de calentamiento, donde las variaciones de temperatura y voltaje son aún más pequeñas, por lo cual se decide extender la captura de los datos por 40 minutos más, de tal forma que se pueda verificar si esta temperatura alcanzada es un máximo que se considere estable.

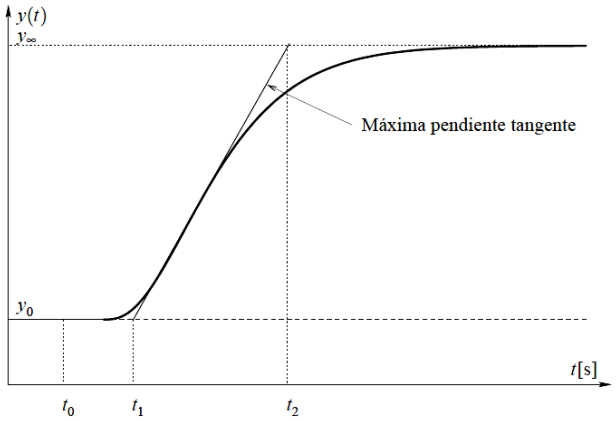
Pasado este tiempo, se revisan los datos capturados en Excel, y se procede a graficar para analizar la curva que se desarrolla. La grafica obtenida es la siguiente:

Figura27. Curva de reacción en lazo abierto para la planta térmica graficada en Excel.



Según autores como Ziegler y Nichols, con una curva de reacción se pueden determinar los parámetros proporcionales, integrales y derivativos (PID), con los que lograría el control del proceso, y como se verá en un artículo posterior a este trabajo de identificación, los sistemas en lazo abierto muestran una curva de reacción en forma de "S", en donde se pueden identificar parámetros como el tiempo muerto (t_1) y el valor máximo de estabilidad (y_∞); según los resultados obtenidos, podemos decir que hemos encontrado una curva de reacción para la planta térmica que estamos analizando, donde se podría continuar con el estudio de los métodos de caracterización de la misma, aplicando los métodos de primer orden y segundo orden.

Figura28. Respuesta al escalón (curva de reacción) en lazo abierto de la planta.



Fuente: http://es.scribd.com/doc/52031638/Curva-de-reaccion

V. CONCLUSIONES

Cada planta de proceso, independientemente de las variables que maneje, tendrá su propia curva de reacción que la identifica.

La curva de reacción de un proceso es la base para determinar los valores con los cuales se obtiene un control de tipo proporcional, integral y derivativo.

Se debe garantizar que la curva de reacción, obtenida de la planta llegue a un punto de estabilidad, y de la misma manera se muestre en forma de "S".

Los sensores y la instrumentación utilizada para la identificación de la planta debe estar ajustada a los rangos de trabajo, de tal forma que no se pierda resolución en las mediciones.

REFERENCIAS

[1] L. R. Rugel and E. Q. Maya, "Diseño e implementación de un entrenador de instrumentación industrial, con aplicaciones en los procesos de temperatura, presión y nivel," 2014.

[2] N. S. Vera and F. I. Ramírez, "Diseño e implementación de un módulo entrenador de procesos industriales con aplicación a las variables de nivel y caudal," 2007.

[3] J. Esquivel and J. Ruiz, "Posicast Control with Nonzero Initial Conditions," *IEEE Lat. Am. Trans.*, 2008.

[4] C. Smith, A. Corripio, and S. Basurto, "Control automático de procesos: teoría y práctica," 1991.
[5] F. Enríquez, E. Sifuentes, G. Bravo, and A. Castro, "Sistema Embebido para Validar el Funcionamiento de la Tarjeta de Adquisición de Datos USB-6009 de National Instruments," *Inf. tecnológica*, 2016.
[6] A. Parrado, "Tarjeta de adquisición de datos de bajo costo multiplataforma orientada a la enseñanza de los sistemas de control en tiempo real," *Rev. Educ. en Ing.*, 2009.
[7] D. Hanselman and B. Littlefield, "Mastering MATLAB 5: A comprehensive tutorial and reference," 1997.
[8] S. Nakamura, R. García, and R. Gutiérrez, "Análisis numérico y visualización gráfica con MATLAB," 1997.
[9] R. del Río, "Gráficas con Matlab," *la aritmética al análisis Hist. y Desarro.*, 2004.
[10] J. Walkenbach, "Excel 2007. Programación con VBA," 2007.
[11] D. B. Solé, "Control en modo deslizante aplicado a la generación de señal en convertidores conmutados DC/DC," 1999.
[12] V. Ruíz, "Métodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores," *J. Trop. Eng.*, 2002.
[13] I. Ruge, "Método básico para implementar un controlador digital pid en un microcontrolador pic para desarrollo de aplicaciones a bajo costo," *Apl. en Control Pontecia y la Ind.*, 2008.

BIOGRAFÍA

Jesús Omar Vargas Flórez, Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y Especialista en Automatización Industrial de la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga, con Formación de Alto Nivel en Gestión Estratégica de la Innovación, Diplomado en Instrumentación, Automatización y Control Virtual, Diplomado en Herramientas Computacionales para Ingeniería, Certificaciones con D-Link Technology Institute como DPC (D-Link Partner Certification) D-Support for Wireless y DAC (D-Link Adavanced Certification) para las nuevas Tendencias en Tecnologías de Conectividad y Movilidad en redes de datos. Más de 5 años de experiencia como docente, 8 años de experiencia en sector industria enfocado al desarrollo de proyectos en el área de electrónica, telecomunicaciones y automatización de procesos. Actualmente se desempeña como Gerente de la empresa Grupo SIATEC Ltda, además está vinculado como docente e Investigador en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, y adelanta estudios para optar por el título de Magister en Controles Industriales con la Universidad de Pamplona.

Alexander Flórez Martínez, Ingeniero en Instrumentación y Control Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bucaramanga, Especialista en Automatización Industrial de la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga, Diplomado en Instrumentación, Automatización y Control Virtual UPB, Diplomado en herramientas Computacionales para Ingeniería, certificación especializada en administración de energía para entornos TI Schneider Electric, certificación especializada en sistemas de RACK's y PDU'S Schneider Electric, Certificado movilidad (Wireless) DAC Dlink Advanced Certification, 5 años de experiencia como docente, 8 años de experiencia en sector industria enfocado al desarrollo de proyectos en el área de: electrónica, telecomunicaciones, automatización de procesos. Actualmente director de proyectos de la empresa Grupo SIATEC Ltda y como docente e Investigador en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, y adelanta estudios para optar por el título de Magister en Controles Industriales con la Universidad de Pamplona.

Martha Fabiola Contreras H. Ingeniera Electrónica (Universidad de Pamplona), Especialista en Telecomunicaciones (Universidad Industrial de Santander) y Magister en Ingeniería área Telecomunicaciones (En curso con la Universidad Pontificia Bolivariana). Docente e Investigadora desde el año 2010.

Harold Sneider Pérez Waltero. Ingeniero Electrónico de la Universidad del Quindío, Especialista en Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y Magister en Dirección Estratégica en Telecomunicaciones de la Universidad Internacional Iberoamericana - UNINI. Actualmente se desempeña como docente, Inestigador y Coordinador Nacional de la cadena de formación en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.