

Desarrollo de un horno de bajo costo para el curado de piezas fabricadas de material compuesto

García-Mutis María Alejandra (1), Rojas-Olvera Salvador Fernando (2), Ledesma-Orozco Elías R. (3)

1 Ingeniería Mecatrónica, División de Ingenierías y Arquitectura, Seccional Bucaramanga, Universidad Santo Tomás | Dirección de correo electrónico: alejandragm@outlook.com

2 Ingeniería Mecatrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: salvadorroolv@gmail.com

3 Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: elias@ugto.mx

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar el control de temperatura de un horno eléctrico para el curado de piezas construidas con materiales compuestos que se realizan en la División de Ingeniería, Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato. El proceso de curado de las piezas se lleva a cabo dando un tratamiento térmico a estas, por lo que resulta importante contar con un espacio donde esté controlada la temperatura para mejorar la calidad del producto resultante. Se empleó un termistor para medir la temperatura y una tarjeta National instruments USB6009 para el control de la temperatura utilizando un método de ON-OFF, que mediante relevadores enciende y apaga la fuente de calor dependiendo del error con respecto a la referencia de temperatura. Se desarrolló una interfaz gráfica intuitiva y de fácil uso en LabVIEW donde se puede modificar los ciclos de curado y observar el ciclo en curso.

Abstract

The objective of this study was to perform temperature control of an electric oven for curing of composite materials constructed in the Division of Engineering, Campus Irapuato Salamanca University of Guanajuato. The curing process of the parts is carried out by giving a thermal treatment to these, so it is important to have a space where this controlled the temperature to improve the quality of the resulting product. It was used a thermistor to measure temperature and USB6009 National Instruments card for temperature control using an ON-OFF method, that through relay switches on and off the heat source depending on the error with respect to the reference temperature. We developed an intuitive graphical interface and easy to use in LabVIEW where you can modify the cure cycles and observe the current cycle.

Palabras Clave

Horno, Control, Temperatura, Sensores.

INTRODUCCIÓN

Horno eléctrico

Es un dispositivo aislado térmicamente que aumenta la temperatura en su interior mediante resistencias eléctricas [1], como se muestra en la **imagen 1**.



IMAGEN 1: Horno eléctrico comercial

Material compuesto

Elemento conformado por fuertes fibras de un material en el interior (Refuerzo), recubierta por un material más débil denominado matriz [2], como se observa en **imagen 2**.

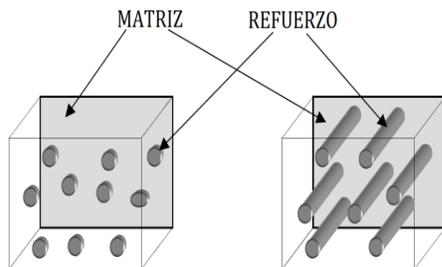


IMAGEN 2: Componentes de material compuesto

Curado

Tratamiento térmico que pretende elevar la temperatura hasta cierto valor, posteriormente mantener esa temperatura por un periodo de tiempo y al final disminuirla hasta llegar a condiciones ambientales [3], como se ilustra en la **imagen 3**.

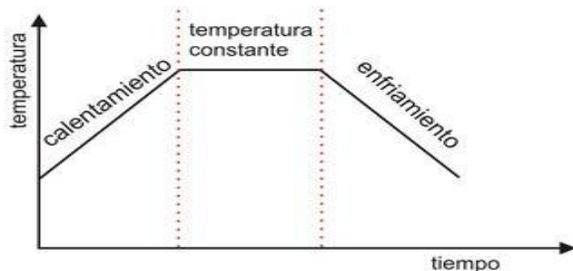


IMAGEN 3: Gráfica temperatura contra tiempo de un tratamiento térmico.

Para realizar el proceso de curado, el aumento y disminución de las temperaturas debe ser progresivo para que la pieza no sufra daño alguno.

Control ON - OFF

Es la técnica de control clásico más sencilla, consiste en generar un uno lógico cuando la señal de entrada es menor que la referencia de manera que se encendería el actuador, en caso contrario se produce un cero lógico, lo que conllevaría a apagar el actuador [4]. En la **imagen 4**, se observa el comportamiento característico de un controlador ON-OFF.

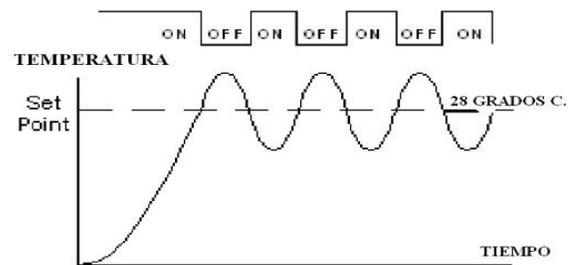


IMAGEN 4: Gráfica del comportamiento de control ON-OFF

Termistor

El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor. Como se observa en **imagen 5**, es un sensor resistivo de temperatura y su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura [5].

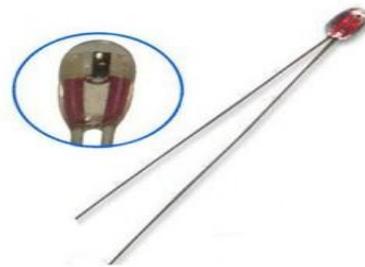


IMAGEN 5: Termistor

Puente de Wheastone

Circuito eléctrico que funciona en corriente continua o alterna y permite medir valores de resistencias como impedancias. Está compuesto por tres resistencias y su diseño ayuda a determinar el valor de interés de un componente puesto que los demás componentes son totalmente conocidos [6].

La distribución del puente de Wheastone se representa en **imagen 6**.

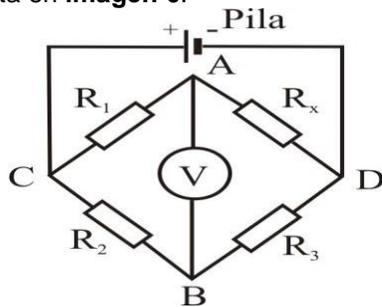


IMAGEN 6: Puente de Wheastone

$$R_x = \frac{2 * R_o * V_{ex}}{V_{ex} - (2 * V_m)} - R_o \quad (1)$$

Donde, R_x es la resistencia emitida por el sensor, R_o es la equivalencia a R_1 , R_2 , R_3 pues todas son del mismo valor; V_{ex} es el voltaje de excitación y V_m es el voltaje medido.

En las instalaciones de la División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato, se desarrollan diversas investigaciones en el campo de la mecánica, una de estas se enfoca a los materiales compuestos. En esta se realiza el proceso de manufactura experimentando con diferentes alternativas de materiales para posteriormente realizar el curado de la pieza. Actualmente se utilizan dos técnicas para el curado:

1. Temperatura ambiente: Consiste en dejar expuesta la pieza a temperatura ambiente hasta que tome consistencia y pueda ser retirada del molde. Esta técnica está siendo utilizada en la investigación sobre materiales compuestos de forma paralela al desarrollo del horno [7].
2. Control manual: Requiere la implementación de un horno eléctrico el cual necesita la supervisión del operario.

Actualmente la división de ingenierías cuenta con dos hornos de control manual. Estos poseen un alto rango de temperatura, un espacio de trabajo pequeño y una tolerancia elevada. Por ende, para completar el proceso de fabricación de piezas de materiales compuestos, se requiere el desarrollo de un horno de bajo costo para el curado de dichas piezas, el cual necesita aislar el espacio donde se depositará la pieza, además de controlar la temperatura durante distintos lapsos de tiempo, con

el propósito de convertirse en un proceso automático.

El proyecto propuesto se divide en dos etapas fundamentales:

1. Diseño del horno que contendrá las piezas realizando un análisis termodinámico del proceso.
2. Programación de la interfaz de control para conservar la temperatura en los niveles establecidos inicialmente, con tolerancia de ± 5 °C, mediante el software LabVIEW.

En este documento se presenta el desarrollo del circuito de la fuente de alimentación en el software Proteus, la selección de instrumentación para la medición de temperatura como la adecuación de la señal emitida por los señores y la interfaz gráfica de control del horno de bajo costo realizada en LabVIEW.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material

Se consideró para el análisis del horno el proceso de curado de una resina epóxica que es utilizada actualmente en las piezas que son manufacturadas en la institución.

Para el curado de dicho material se recomienda 12 horas a temperatura ambiente, luego 6 horas a 65°C y por último 6 horas a 95°C [8].

Circuitos eléctricos

1. Fuente de alimentación y salida a relé

Esta fuente provee de energía el circuito del puente de Wheastone y a su vez energiza el relevador que se encarga de realizar el encendido y apagado de las resistencias de calentamiento.

A continuación, se presenta la simulación de la fuente de alimentación en la **imagen 7** y el diseño del circuito impreso en la **imagen 8**.

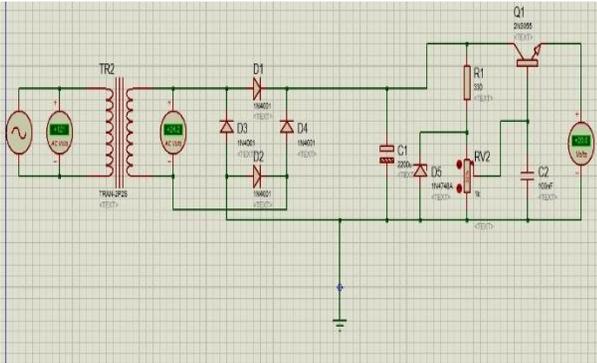


IMAGEN 7: Simulación fuente de alimentación

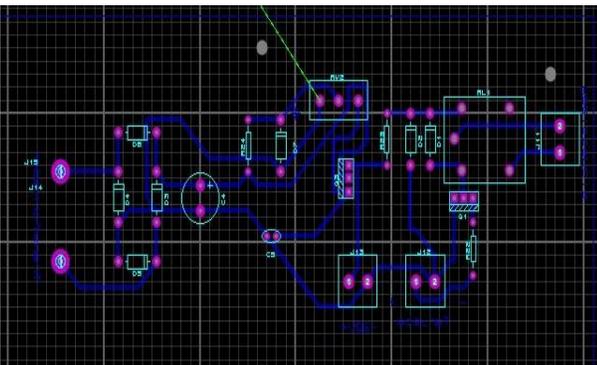


IMAGEN 8: Circuito impreso fuente de alimentación

En la tabla 1, se establecen los materiales necesarios para la construcción de la fuente.

Tabla 1: Materiales para fuente de alimentación variable

Material	Cantidad	Referencia- Características
Transformador	1	3A, 120-24V
Diodo	6	1N4001
Diodo zener	1	1N4748A
Resistencia	3	330Ω
Capacitor cerámico	1	220μF
Capacitor electrolítico	1	100nF
Regulador	1	2N3055
Resistencia variable	1	1K
Relevador	1	12V

2. Puente de Wheatstone

Para la medición de temperatura por medio del termistor se implementa el puente de Wheatstone pues es necesario calcular el valor de resistencia producido por el sensor y posteriormente convertirlo en voltaje por medio de la **ecuación 2**.

Dado que es un termistor 3950 NTC la ecuación para calcular la temperatura con respecto a la resistencia es:

$$T = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{R_x}{100000}\right)}{3950} + \frac{1}{298,15}} \quad (2)$$

Donde R_x es la resistencia medida por el puente de Wheatstone y T es la temperatura medida por el sensor. Se necesita un puente de Wheatstone por cada termistor.

A continuación, se presenta la simulación del puente de Wheatstone en la **imagen 9** y el diseño del circuito impreso en la **imagen 10**.

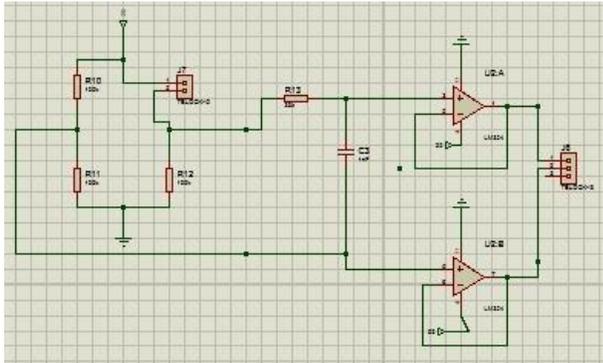


IMAGEN 9: Simulación puente Wheastone

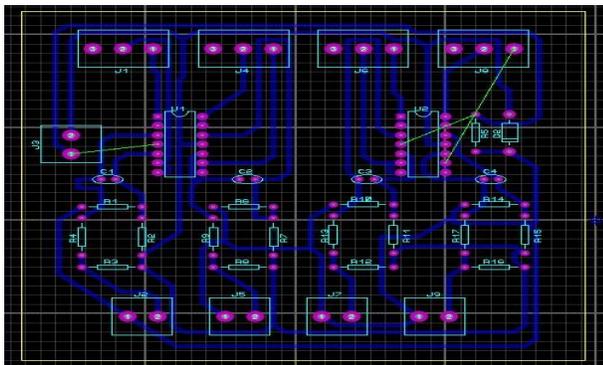


IMAGEN 10: Circuito impreso puente Wheastone

En la tabla 2, se establecen los materiales necesarios para la construcción de una representación del circuito.

Tabla 2: Materiales para el puente de Wheastone

Material	Cantidad	Referencia- Características
Resistencia	3	100k
Amplificador operacional	2	Lm324

Control ON-OFF

Por medio del software LabVIEW se realizó la programación por bloques en la cual se utilizó como tarjeta USB6009 de National Instruments, con esta se efectuó la adquisición de la temperatura en tiempo real del horno que consta de un promedio de cuatro temperaturas dadas por los termistores NTC 3950.

El programa se encarga de realizar la comparación de la temperatura medida con respecto a la temperatura de referencia y a su vez, produce una señal que activa el relevador para encender o apagar las resistencias de calentamiento durante un tiempo establecido al inicio del proceso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

A continuación, se presenta la interfaz que se desarrolló para controlar y verificar el proceso de curado de piezas de material compuesto.

En la **imagen 11**, se ilustra el panel de control de interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés).

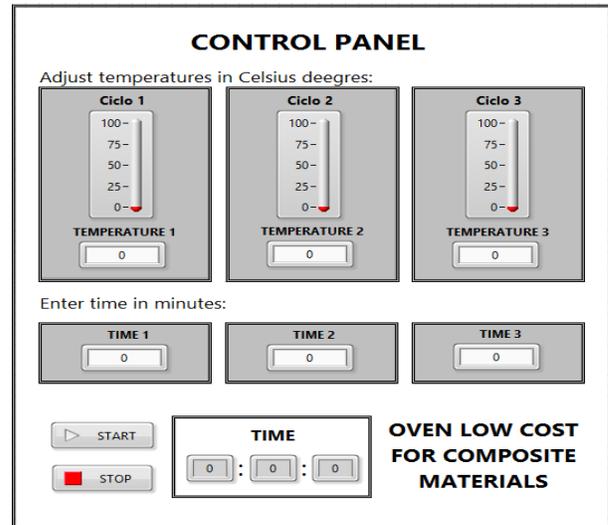


IMAGEN 11: Panel de control de la GUI

Para completar la presentación de la GUI realizada, se muestra en la **Imagen 12** el panel de visualización, allí se grafica en tiempo real la temperatura del horno eléctrico.

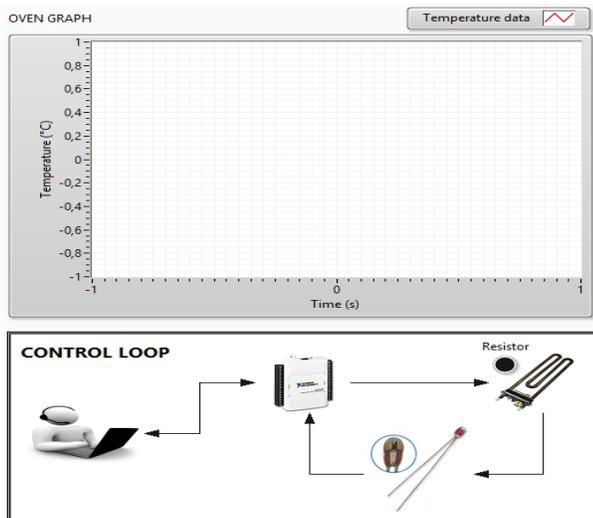


IMAGEN 12: Panel de visualización de la GUI

CONCLUSIONES

Se verificó, de forma experimental, que al utilizar la técnica de control ON-OFF, la temperatura presentó un comportamiento característico del método, la cual tuvo un sobrepaso máximo de 2,5 °C, aproximadamente. Esta conducta se debe a la inercia que tienen las resistencias de calentamiento cuando cambian de un estado encendido a uno de apagado y viceversa, llegando a disminuir el sobrepaso hasta 0,5 °C en su estado estable.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a la Universidad de Guanajuato por brindarme la oportunidad de participar en el verano de investigación del año 2016 como también, al Dr. Elías Rigoberto Ledesma Orozco por el apoyo incondicional durante mi estancia en el programa y por último a mi compañero de trabajo, Salvador Fernando Rojas Olvera, por confiar en mis capacidades.

REFERENCIAS

- [1] Sánchez, A. *Diseño de Horno para Fundir Cobre con Fines Didácticos*. (2014). Instituto Tecnológico de Sonora, México.
- [2] Besednjak, A. *Materiales Compuestos. Proceso de Fabricación de Embarcaciones*. (2005). Editorial Ediciones UPC. p. 132.
- [3] Hull, D. *An Introduction to Composite Materials*. (1996). 2° edición. Editorial Cambridge University Press. p. 326.
- [4] Ogata, K. *Ingeniería de Control Moderna*. (2003). 4° edición. Editorial Pearson Education. p. 965.

- [5] Enríquez, G. *El ABC del Control Electrónico de las Máquinas Eléctricas*. (2003). Editorial Limusa Noriega Editores. p. 401.
- [6] Creus, A. *Instrumentación Industrial*. (2010). 8° edición. Editorial Marcombo. p. 792.
- [7] Chávez, D. Ledesma, E. *Fabricación en fibra de carbón de un accesorio automotriz utilizando el método de transferencia de resina* (2016). Verano de investigación. Universidad de Guanajuato, México.
- [8] HIMSA Herramientales. *Información técnica re-7000-1 / hd-307*.