

DESARROLLO DE UN HORNO DE BAJO COSTO PARA EL CURADO DE PIEZAS FABRICADAS DE MATERIAL COMPUESTO

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

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

2 Ingeniería Mecatrónica, División de Ingenierías y Arquitectura, Seccional Bucaramanga, Universidad Santo Tomás | Dirección de correo electrónico: alejandragm@outlook.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 diseño de un horno eléctrico para el curado de piezas construidas con materiales compuestos (composite) que se realizan dentro de la división. El proceso de curado de piezas elaboradas de composite se lleva a cabo dándole un tratamiento térmico a éstas, por lo que resulta importante contar con un espacio donde esté controlada la temperatura en todo momento para mejorar la calidad del producto resultante. Se llevó a cabo el diseño termodinámico de la carcasa del horno tomando en cuenta su capacidad de transferencia de calor para optimizar el consumo de energía y se modeló en Ansys. Se empleó un termistor como dispositivo sensor 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 como sea necesario. Se desarrolló una interfaz gráfica de manera que fuera intuitiva y de fácil uso en LabView donde se pueden de manera muy fácil modificar los ciclos de curado y observar el ciclo en curso. En este reporte se hablara específicamente del diseño de la carcasa.

Abstract

The objective of this study was to carry out the design of an electric oven for curing pieces made of composite materials. The curing process of composite parts is carried out by giving a heat treatment to these, so it is important to have a space where the temperature is controlled at all times to improve the quality of the resulting product. The thermodynamic design of the furnace casing was developed taking into consideration their ability to transfer heat to optimize energy consumption and was modeled in Ansys. A thermistor was used as sensor device and a National Instruments USB6009 card for temperature control using an ON-OFF method that by relays on and off the heat source as needed. A graphic interface that is intuitive and easy to use where you can very easily modify cure cycles and observe the current cycle was developed in LabView. This report focuses only in the casing.

Palabras Clave

Proceso, Temperatura, Ansys, Termistor, Carcasa

INTRODUCCIÓN

Se requiere contar con un espacio capaz de soportar una temperatura fija de manera prolongada, que pueda controlar periodos de calentamiento mediante una razón dada, y que lleve esta tarea de manera automática sin requerir supervisión alguna. Para lograr esto es necesario llevar a cabo dos etapas de diseño, la primera etapa será el diseño de la carcasa del horno lo que conlleva el análisis de transferencia de calor para la correcta selección de materiales y optimización de esta, la segunda etapa se centra en el diseño del control automático, el cual observa la selección de sensores, diseño de la electrónica de potencia y la interfaz hombre máquina, como se dijo en un principio este reporte se centrará solamente en el diseño mecánico de la carcasa.

Horno eléctrico

Un horno eléctrico es un dispositivo que genera calor mediante resistencias eléctricas y lo mantiene dentro de un compartimento cerrado como se muestra en la **imagen 1**.



IMAGEN 1 : Horno eléctrico comercial

Materiales compuestos

De manera muy simple, un material compuesto (también llamado Composite) se refiere a un material formado por fuertes fibras rodeadas de un

material más débil denominado matriz (**imagen 2**). La matriz sirve para distribuir las fibras y también para transmitir las cargas hacia las mismas [1].

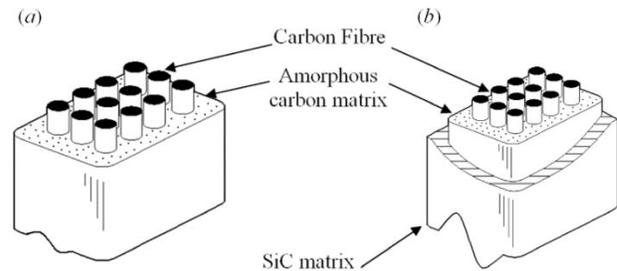


IMAGEN 2 : Ejemplo de un composite

Curado

El curado de un material compuesto se puede ver como un tratamiento térmico de la pieza que se está desarrollando, para este proceso es necesario elevar la temperatura del horno de manera progresiva, después de esto mantener esa temperatura por un periodo de tiempo establecido y al final es necesario bajar la temperatura igualmente de manera periódica hasta llegar a la temperatura ambiente (este proceso se puede observar gráficamente en la **imagen 3**).

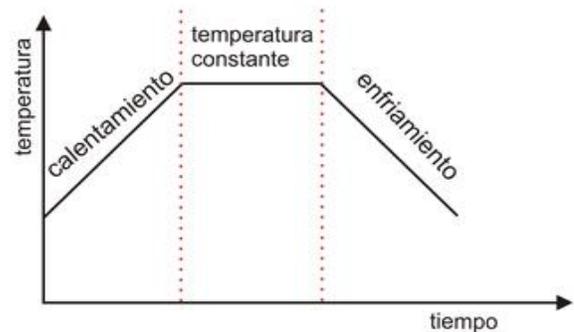


IMAGEN 3 : Gráfica temperatura contra tiempo de un tratamiento térmico.

Proceso

Para el cambio de la temperatura se utilizara el método de ciclos ON-OFF que consiste en apagar

y encender las resistencias de manera que pueda variar la temperatura, en la **imagen 4** se muestra el comportamiento de este método se observa que en cuanto la temperatura llega al “set point” las resistencias se apagan pero por la inercia aún se sigue calentando un poco más y después comienza a bajar cuando la temperatura se va debajo de la deseada se enciende el sistema de nuevo y de esta manera se obtiene la temperatura, el rango estimado de variación se planea en $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

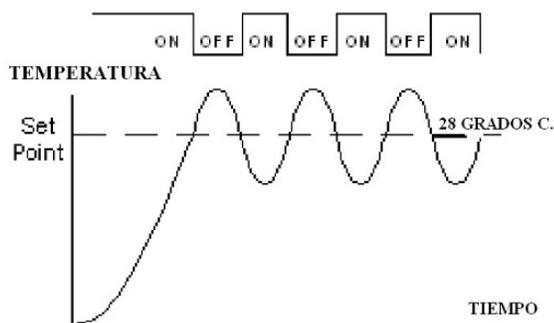


IMAGEN 4 : Gráfica del comportamiento de control por ciclos ON-OFF

Actualmente en nuestro campus se llevan a cabo diferentes investigaciones en torno a los materiales compuestos diseñando y manufacturando diferentes piezas con estos mismos pero hasta ahora se ha estado utilizando un horno eléctrico de control manual que carece de espacio o llevando a cabo el proceso de curado a temperatura ambiente, pero para mejorar la calidad del proceso se requiere tener un espacio adecuado con temperatura controlada automáticamente para que existan las mínimas variaciones en el proceso de curado, por esta razón se propuso este proyecto de verano.

En este trabajo se presenta un horno eléctrico de bajo coste para curar piezas elaboradas con materiales compuestos donde los ciclos de curado tienen un control totalmente automatizado. Se realizó el análisis termodinámico, el modelo y la simulación Ansys de un proceso completo de curdo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se consideró para el análisis del horno el proceso de curado de una resina epóxica en particular que es utilizada actualmente en las piezas que se desarrollan en la división que se cita a continuación:

“Se recomienda dejarlo curar durante 12 horas a temperatura ambiente, posteriormente 6 horas a 65°C y por último 6 horas a 95°C . [2]

Obteniendo el modelo en CAD mostrado en la **imagen 5**.

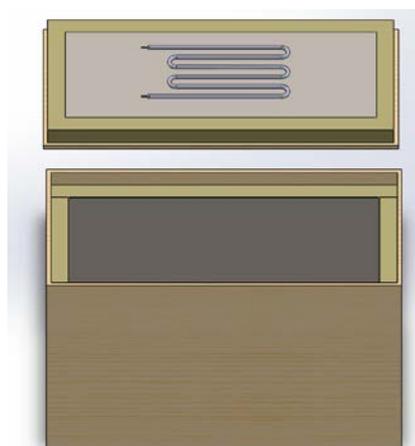


IMAGEN 5 : Modelo en SolidWorks del horno

Carcaza

Para límites de este proyecto se tomó en cuenta solo el análisis en convección y conducción del horno despreciando la radiación.

Materiales

Para la elección de los materiales tomamos en cuenta la economía que le queríamos dar a este proyecto así que decidimos por reciclar, primero la estructura principal del horno es una caja de madera de pino reciclada de un aparato comprado por la universidad, la lana mineral y la lámina galvanizada son restos que había de un proyecto pasado que se había desarrollado dentro de la división, aun así primero se tomaron en cuenta sus cualidades para poder ser utilizados en horno.

Tabla 1: Materiales usados para la elaboración del horno

Materiales de construcción de la carcasa	Propiedades del material
Lamina galvanizada	k=58 W/m.K Cp= 460 J/kg.K P=7850 kg/m ³
Lana mineral	k=0.0421 W/m.K Cp= 843 J/kg.K P=48 kg/m ³
Madera de pino	k=0.11 W/m.K Cp= 2824 J/kg.K P=545 kg/m ³

Realizando los cálculos pertinentes con las ecuaciones de conducción y convección y tomando en cuenta los materiales en el apartado anterior en la **tabla 1** se obtuvieron los espesores mencionados en la **tabla 2** para la construcción del horno.

Tabla 2: espesores de los materiales

Materiales de construcción de la carcasa	Espesor
Lámina galvanizada	0.8 mm (medida comercial)
Lana mineral	41.275 mm
Madera de pino	9 mm (medida de fábrica de la caja reciclada)

Una vez decididos los materiales y calculados los materiales se llevó esto a un programa de CAE (Ansys) para realizar un modelo (**imagen 6, 7 y 8**) y un análisis de elemento finito del horno.

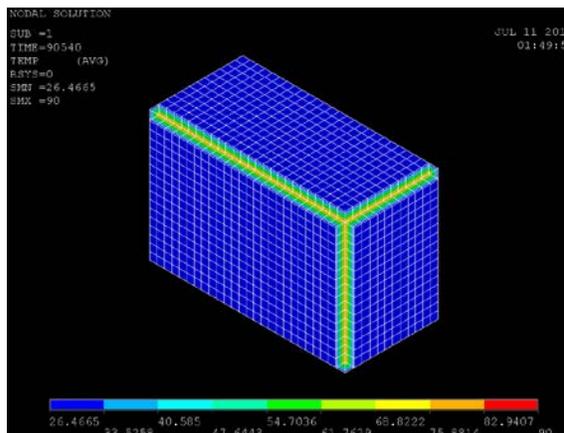


IMAGEN 6: Modelo completo del Horno en Ansys

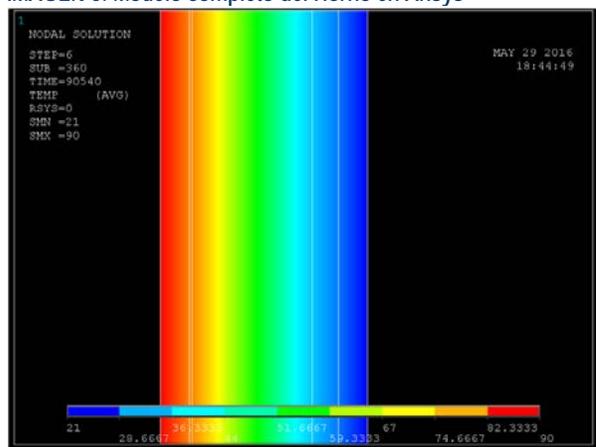


IMAGEN 7: Sección de una pared en la última etapa de simulación

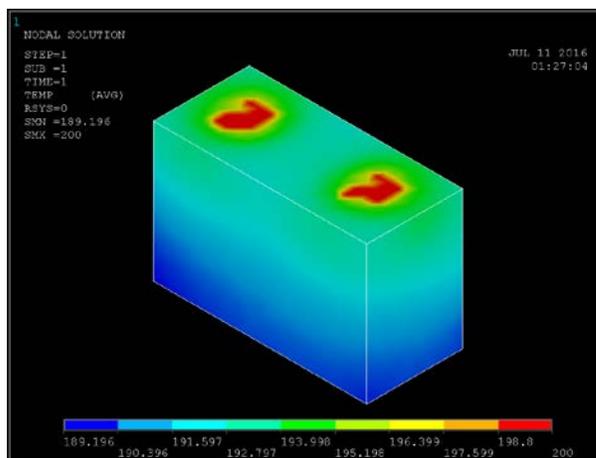


IMAGEN 8: Modelo de la distribución de la temperatura en el aire al interior del horno

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevó a cabo una simulación en ANSYS Mechanical APDL del horno del proceso de curado antes mencionado el cual tiene una duración de 25.15h o 90540s el cual arrojo los siguientes resultados en las **tablas 3 y 4** en las que se muestran los valores para una sola pared del horno.

Tabla 3: Comparación de flujos térmicos obtenidos a lo largo del proceso

Tiempo	Calculado Flujo térmico	Ansys Flujo térmico
240	2.0598	0.769582
43440	2.0598	2.05988
45540	20.0834	18.6099
67140	20.0834	20.0839
68940	35.5322	33.9217
90540	35.5322	35.533

Los datos obtenidos en las 2 son muy similares, pero en los pasos intermedios difieren mucho entre las 2 soluciones.

Tabla 4: Tabla de comparación de temperaturas obtenidas en el último punto del proceso

	T1	T2	T3	T4
Calculado	86.4468	86.446	32.8524	28.3798
ANSYS	84.5334	84.5326	30.9403	26.4666
Error	2.21%	2.21%	5.82%	6.74%

En la **imagen 9** se observa una gráfica que muestra las temperaturas de cada parte de la pared en el eje Y se observa la temperatura y el flujo térmico mientras que en el X solo el tiempo.

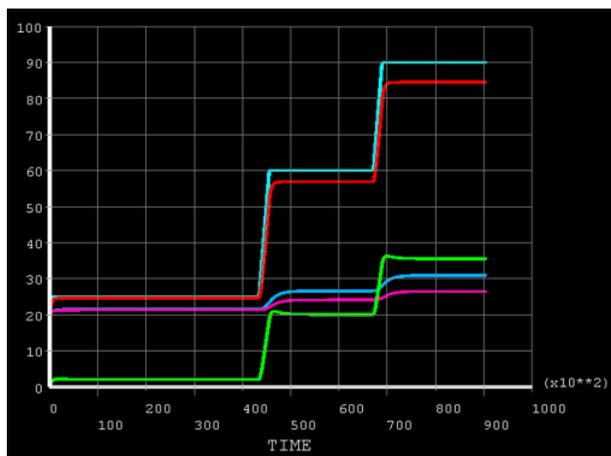


IMAGEN 9: Gráfica obtenida en Ansys de las temperaturas y el flujo térmico del horno durante el proceso de curado de la resina epóxica, Temperatura interna del horno (azul cielo), Cara interna del metal (bajo la roja) (morada), Cara interna de la fibra (externa metal) (roja), Cara externa de la fibra (interna madera) (azul cobalto), Cara externa de la madera (rosa), Flujo térmico (verde limón)

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la eficiencia del horno es viable para su construcción, también se obtuvo que para satisfacer la demanda de energía era suficiente implementar una resistencia de 300W para el calentamiento del horno y al haber sido en gran parte reciclado fuera del control electrónico cumplimos con el objetivo de que fuera de bajo coste.

AGRADECIMIENTOS

En esta sección quiero darle las gracias a mi asesor el Dr. Elías Rigoberto Ledesma Orozco por todo el apoyo brindado a lo largo del programa, así mismo a la Universidad de Guanajuato por la oportunidad de formar parte en este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Herakovich Carl T.(1998). Mechanics of Fibrous Composites, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Información Técnica RE-7000-1 / HD-307 (EPOXICA)