



Recuperación y rehabilitación de horno para de tratamiento térmico en aceros utilizando control electrónico de temperatura

Juan Martín Flores Ortiz*, Raúl Rosas Olmos*, Diego Sánchez García*, Raúl Dalí Cruz Morales*,
Gonzalo Hedain López Mera*, David Tinoco Varela*

RESUMEN

Una de las grandes ventajas de los materiales de ingeniería, en particular los aceros, es poder aprovechar las características polimórficas que estos materiales pueden presentar. Los cambios cristalinos asociados a ciclos bien definidos de tiempo y temperatura pueden lograr mejorar las propiedades de estos materiales. Dentro del diseño mecánico es esencial conocer y realizar estos procesos para obtener la resistencia mecánica necesaria de los componentes conceptualizados. Un elemento esencial para el buen desarrollo de tratamientos térmicos en aceros es el horno en donde las piezas serán tratadas. Este trabajo se enfoca en la reparación y actualización de un horno de alta temperatura de laboratorio, el cual se le conoce como mufla, estos equipos son caros y debido a los ciclos térmicos agresivos se van deteriorando continuamente. Por lo que es necesario realizar constantemente el mantenimiento de estos. El control de las temperaturas dentro de la cámara del horno es crucial para lograr las transformaciones de fase adecuadas en el acero, es por esta razón que la actualización del controlador garantizara que la oscilación de temperaturas no exceda los $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al valor programado.

ABSTRACT

One of the most significant benefits of engineering materials, especially steel, is that we can take advantage of the polymorphism characteristics of these materials. Crystalline changes associated with well-defined cycles of time and temperature can enhance mechanical properties in steel. In mechanical design is essential to know how to make these processes to achieve the mechanical strength under which these components were conceptualized. A necessary element of the heat treatment of steel is the furnace where the pieces will be treated. Therefore, the present work is focused on the reparation and update of a high temperature laboratory furnace known as a muffle. These devices are too expensive, and due to aggressive thermal cycles, they constantly must get maintenance. Temperature control inside the furnace chamber is essential to achieving the correct phase changes in steel. For this reason, the controller was updated, guaranteeing that the temperature fluctuation will be $\pm 5^{\circ}\text{C}$ concerning to set value.

Palabras claves: Transformaciones de fase, Aceros, Resistencia mecánica, Control PID, Resistencias eléctricas.

INTRODUCCIÓN

Una mufla es un horno destinado normalmente para la cocción de materiales cerámicos y para la fundición de metales a través de la energía térmica. Dentro del laboratorio un horno mufla se utiliza para calcinación de sustancias, secado de sustancias, fundición y procesos de control. Se trata de una cámara cerrada construida con materiales refractarios, ya que suelen alcanzar temperaturas de hasta 1200°C se compone de una puerta por la que se accede al interior de la cámara de cocción, en la que existe un pequeño orificio de observación y para introducir sondas para verificar y registrar la temperatura dentro de la mufla.

La mayoría de los procesos de tratamiento térmico realizados dentro del laboratorio de Tecnología de Materiales requiere de temperaturas superiores a 723°C es por esta razón que se decidió alcanzar una temperatura objetivos de 800°C .

A menudo los hornos de alta temperatura o muflas se utilizan en los siguientes campos:

- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Plantas industriales
- Farmacéuticas
- Laboratorios medioambientales
- Laboratorios agrícolas
- Fabricantes de papel
- Laboratorios de cosméticos

Las aplicaciones típicas son:

- Incineración de muestras orgánicas e inorgánicas
- Tratamiento térmico
- Determinación de compuestos volátiles
- Análisis químicos
- Pruebas de material

* Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán Departamento de ingeniería, Ingeniería Eléctrica, Estudiante de Ingeniería floresortizjuan999@gmail.com, Estudiante de Ingeniería raulrosas216@gmail.com, Técnico Académico

dgosanchez@comunidad.unam.mx, Técnico Académico
gonzalosioben@gmail.com, Profesor de Carrera
rdcruz@comunidad.unam.mx, Profesor de Carrera dativa19@hotmail.com



ANTECEDENTES

El horno se encontró sin funcionamiento dentro de las instalaciones del Laboratorio de Tecnología de Materiales ubicado en el LIME-2 de la FES-Cuautitlán (Figura 1). Este horno ya había presentaba evidencias de intentos de reparación previa. Sin embargo, no se lograron resolver los problemas por lo que era considerado como baja chatarra. Debido a la amplia afluencia de alumnos e este laboratorio y al elevado costo de estos equipos de decidió intensificar las acciones de mantenimiento y tratar de recuperarlo y actualizarlo.



Figura 1.- Horno antes del mantenimiento. (Autoría propia)

Previo al inicio del programa de mantenimiento y actualización se encontraron las siguientes problemáticas:

- Las resistencias dentro de las placas cerámicas ya estaban en malas condiciones.
- Solo contaba con 3 placas cerámicas aun cuando el fabricante menciona 4.
- Una de las placas cerámicas se encontraba fracturada.
- El cable de conexión eléctrica no era el apropiado para el uso que se debe de dar lo que provocaba que el cable se calentara rápidamente.
- El control analógico mencionaba que regulaba el tiempo y en realidad regulaba la temperatura interior como un potenciómetro.

Con base a lo anterior se creó un plan de acción para la resolución de estas problemáticas, las soluciones planteadas antes de la realización del mantenimiento fueron:

- Revisar las resistencias y placas aislantes en su totalidad y evaluar su uso y su viabilidad de ser aprovechadas.

- Realizar el cambio de resistencias y placas aislantes en donde sea necesario.
- Revisar los componentes eléctricos y plantear si es necesario un cambio o actualización de estos.

DESARROLLO

Como primer paso se procedió a la inspección de las conexiones eléctricas removiendo las placas protectoras de la parte trasera del horno, como se observa en la Figura 2.



Figura 2.- Conexión posterior de la mufla. (Autoría propia)

Posteriormente se retiró la cubierta inferior Figura 3, para realizar el análisis de componentes, se determinó que era necesaria una actualización del relé de bobinas cambiarlo por un relé de estado sólido, se conservó el switch, el foco indicador y el medidor de temperatura, adicionalmente se decidió incorporar un pirómetro modelo Rex-C100 con el fin de controlar de forma más precisa la temperatura y actualizar el horno.

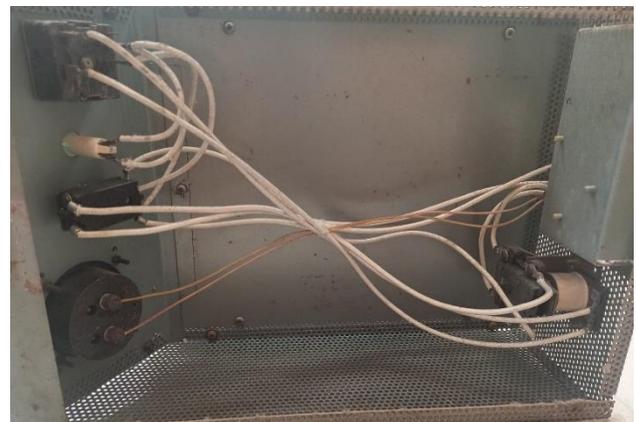


Figura 3.- Conexión vista por la parte inferior. (Autoría propia)



Posteriormente a la inspección se realizó la desconexión y se resguardaron los componentes para su posterior reensamblado, Figura 4.



Figura 4.- Desconexión de los cables. (Autoría propia)

Se detectó que varias de las placas de calefacción integradas por resistencias no contaban con continuidad eléctrica. Debido al alto costo de los módulos originales, se decidió realizar la fabricación de resistencias y placas calefactoras de bajo costo. Figura 5.



Figura 5.- Retirado de resistencias en las placas. (Autoría propia)

Para llevar a cabo este proceso primero se realizó una investigación en bibliografía especializada para determinar el tipo de resistencias que se emplean en este tipo de hornos. A continuación, se enlistan las propiedades de cualquier resistencia sin importar sus dimensiones.

- Composición de aleación: 80% Níquel, 20% Cromo
- Tipo de elemento: Alambre AWG
- Color: Gris plateado
- Temperatura máxima: 1250°C

- Densidad a 20°C: 1380 Kg/m³
- Gravedad específica a 20°C: 8.4
- Conductividad térmica: 11.3W/(Kg·°C)
- Módulo de elasticidad: 2.18 × 10¹¹ Pa
- Coeficiente de expansión: 13.8 × 10⁻⁶m/°C
- Calor específico a presión constante: 450 J/Kg·K
- Nombres comerciales: Alambre Nicromo.

Se determinó que la aleación de kanthal era la más óptima para la fabricación de las resistencias a reemplazar. Una vez seleccionado el material se calculó el número de vueltas que debe tener la resistencia.

$$n = \frac{1000 * L}{\pi * (D - d)} \quad (1)$$

$$n = \frac{1000 * 0.2m}{\pi * (1)} \quad (2)$$

Donde:

D = diámetro de la hélice d = diámetro del hilo (mm)

L = longitud del elemento

Al aplicar la ecuación (2) se determinó que el número de vueltas n = es de 63 vueltas.

Con el material y el número de vueltas definido se comenzaron a realizar pruebas de fabricación, Figura 6.

Con el fin de tener control y homogeneidad en la fabricación de las resistencias se ideó un sistema el cual consiste en dos placas con un barreno en el centro por el que pasa un cilindro el cual en la punta tiene otro barreno de dimensión similar al diámetro del alambre, aquí el alambre se engancha con ayuda de pinzas, se pasa por en medio de ambas placas con una guía en una de las placas para evitar que el alambre no fluyera. Todo el sistema se acopló a un motor eléctrico, mediante el cual fue posible fabricar fácil y rápidamente las resistencias. Figura 7 y Figura 8.



Figura 6.-Pruebas preliminares de enrollado de resistencias. (Autoría propia)



Figura 7.- Primer prototipo de enrollado de resistencias. (Autoría propia)



Figura 8.- Proceso de creación de las placas metálicas para el prototipo final. (Autoría propia)

Varios de los paneles originales de cerámica estaban completamente destruidos o debían ser ajustados para poder contener las nuevas resistencias por lo que se optó por fabricar los paneles de ladrillo refractario convencional Figura 9. El proceso consistió en cortar los ladrillos del ancho necesario y hacer barrenos largos por los que pasan las resistencias. En total se fabricaron tres placas las cuales se pueden observar en la Figura 10.



Figura 9.- Creación de las placas aislantes. (Autoría propia)



Figura 10.- Prueba de funcionamiento de resistencias y placas. (Autoría propia)

Para la realización de la conexión eléctrica se tienen 3 opciones trabajar las 3 resistencias en serie, en paralelo o 2 en paralelo y 1 en serie así realizamos los siguientes cálculos el valor tiene que acercarse a 2500W de potencia.

$$P = V * I \quad (3)$$

$$R_{serie} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (4)$$

$$R_{paralelo} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (5)$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (6)$$

1-serie

$$R_{serie} = 19 + 19 + 19 = 57\Omega$$



$$I = \frac{127v}{57\Omega} = 2.2A$$

$$P = 127v * 2.2A = 279.4W$$

2-paralelo

$$R_{paralelo} = \frac{1}{\frac{1}{19} + \frac{1}{19} + \frac{1}{19}} = 6.3\Omega$$

$$I = \frac{127v}{6.3\Omega} = 20.16A$$

$$P = 127v * 20.16A = 2560.16W$$

3- mixto

$$R_{paralelo} = \frac{1}{\frac{1}{38} + \frac{1}{19}} = 12.6\Omega$$

$$I = \frac{127v}{12.6\Omega} = 10A$$

$$P = 127v * 10A = 1280W$$

La conexión final se muestra en la Figura 11.

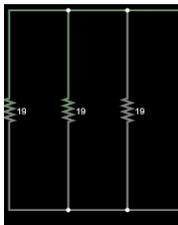


Figura 11.- Conexión en paralelo. (Autoría propia)

para la conversión a digital se conectó el relé, el termostato digital (Figura 12) y un puenteo para suministrar energía y verificamos el encendido, Figura 13.

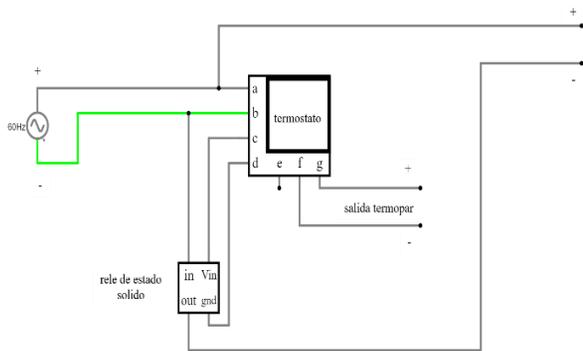


Figura 12.- Conexión final. (Autoría propia)



Figura 13.- Comprobación de funcionamiento del termostato. (Autoría propia)



Figura 14.- Modificación: Recorte para colocar el termostato digital. (Autoría propia)
Finalmente se realizó la modificación en la carcasa del horno para poder fijar el pirómetro digital, Figura 14.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados del mantenimiento y actualización fueron óptimos ya que fue capaz de encender y trabajar de manera correcta e incluso mejor a como estaba con anterioridad. Con el fin de corroborar lo anterior como puesta punto se realizó la práctica de templado, en esta práctica se debe llevar un espécimen de acero por arriba de la temperatura crítica A₁, Figura15.

Durante la fabricación de las resistencias eléctricas se obtuvo la información necesaria para obtener crear el dispositivo de enrollado y obtener resistencias más homogéneas de manera sencilla.

En este artículo se presenta la metodología para poder rehabilitar elementos de laboratorios con un buen mantenimiento ya sea correctivo o preventivo y/o actualizar varios aparatos como las muflas de manera sencilla y económica en comparación de comprar una nueva y utilizar refacciones de línea. En este trabajo se demuestra la capacidad que tienen los estudiantes de la facultad para llevar a cabo tareas que pueden parecer complicadas, pero con el apoyo correcto de los docentes se pueden lograr grandes resultados. La buena instrucción teórica en complemento con la creatividad y la práctica hacen posible la realización de proyectos de este tipo, los cuales tienen un impacto tangible en la comunidad universitaria, ya que se rehabilitan equipos y se optimizan los recursos económicos de la institución.



Figura 15.- Mufla funcionando en la práctica de templado.
(Autoría propia)

CONCLUSIÓN

La rehabilitación de este equipo mejora las condiciones del Laboratorio de Tecnología de Materiales de la FES-Cuautitlán ya que con él se puede agilizar y proporcionar un mejor servicio a la comunidad universitaria que haga uso de estas instalaciones.

Con el análisis y asimilación del conocimiento referente al mantenimiento de hornos eléctricos de alta temperatura se garantiza mantener en óptimas condiciones equipos de esta naturaleza dentro de la facultad; no solo en el departamento de ingeniería.

Se diseñó e implementó un dispositivo sencillo para la fabricación de resistencias eléctricas de alambre, sin la necesidad de equipo especializado y de alto costo.

Mediante la actualización del pirómetro de analógico a digital, se incrementa la precisión en el control de temperatura de la mufla, lo cual que es fundamental en la realización de transformaciones de fase en materiales metálicos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, P., & Sanchez, B. (2020). *Diseño, construcción y automatización de un horno eléctrico para el calentamiento de prepolymer y polyol en la elaboración de calzado para la empresa calzado Cass*. Recuperado el 10/05/2023 de: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8300/2/T-ESPEL-EMI-0255-P.pdf>

Alkhimov, E., Dovgal, A., Ivanova, O., Burtsev, A., Kaplya, V., & Nosenko, V. (2011). *Identification of the electrical parameters of a resistance furnace*. *Measurement Techniques*, 54 (7), 808–812.

FisherScientific. (2022). ¿por qué elegir un horno mufla Thermolyne para su laboratorio. Recuperado el 15/05/2023 de: <https://www.fishersci.es/es/es/promotions/why-choose-thermolyne-muffle-furnace-for-your-lab.htm>

Hsu, P., Yeh, A., & Chang, S. (2016). *Effects of alloying addition in Fe-Cr-Al systems for heating element application*. National Tsing Hua University.

Lupi, S., Forzan, M., & Aliferov, A. (2014). *Induction and direct resistance heating: Theory and numerical modeling*. Springer International Publishing.

Olmedo, F. (2000). *Diseño y mantenimiento de hornos industriales*. Bernardo Martínez Hernández.

Point, T. (2023). *Resistance furnaces or ovens: Types applications*. Recuperado el 20/02/2023 de: <https://www.tutorialspoint.com/electric-resistance-furnaces-or-ovens-types-and-applications>.

Pring, J. (2007). *The electric furnace in chemical and metallurgical operations*. Rough Draft Printing.

Urquiza, J. (1994). *Hornos industriales de resistencia: teoría, cálculo y aplicaciones*. McGraw-Hill.

Vilanova, R., & Visioli, A. (2012). *PID control in the third millennium: Lessons learned and new approaches*. Springer London.

AGRADECIMIENTOS

En esta sección se busca dar un reconocimiento explícito por el apoyo brindado a los proyectos PIAPIME 1.31.27.23, 1.31.19.23 y PE103023.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Juan Martín Flores Ortiz: Estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Raúl Rosas Olmos: Estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Diego Sánchez García: Ingeniero Metalúrgico egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestro en Ingeniería Mecánica campo de conocimiento en Metalmeccánica egresado de la UNAM.

Gonzalo Hedian López Mera: Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones egresado de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y Maestro en Ingeniería Eléctrica opción Mecatrónica egresado del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Raúl Dalí Cruz Morales: Ingeniero en robótica industrial egresado de ESIME-IPN, Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica egresado del CINVESTAV y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, especialidad Mecatrónica egresado del CINVESTAV. Actualmente es profesor en la FES-Cuautitlán UNAM.

David Tinoco Varela: Ingeniero mecánico eléctrico por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, Maestro y Doctor en ciencias computacionales por la UNAM. Actualmente es profesor de la FES-Cuautitlán UNAM.