

Diseño, simulación y construcción de una mesa de pruebas para medición de temperaturas en barras metálicas

Design, Simulation and Construction of a Test Table for Temperature Measurement in Metal Bars

Liliana **Gutiérrez Lonche**¹, Iván **González Uribe**², Madian Jabnel **Hernández Sánchez**³,
Danya Analí **Álvarez Suárez**⁴, Miguel Ángel **Valencia Saravia**⁵

Gobierno de la Ciudad de México, MÉXICO

¹ ORCID: 0009-0007-3980-219X | lilian_lonche@yahoo.com.mx

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, MÉXICO

² ORCID: 0009-0008-8435-1196 | igu@azc-uam.mx

³ ORCID: 0009-0009-7010-5266 | mdjhsa@gmail.com

⁴ ORCID: 0009-0000-5438-0772 | anali.sua11@gmail.com

⁵ ORCID: 0009-0001-3786-4633 | miguel.anvalencia92@gmail.com

Recibido 03/02/2025, aceptado 25/05/2025.

Resumen

El presente artículo reporta el diseño, construcción y simulación de una mesa para medición de temperaturas. El problema por el cual se presenta este trabajo es que la Universidad Autónoma Metropolitana no cuenta con un equipo adecuado que permita realizar mediciones de temperatura en barras. El equipo existente solo permite realizar experimentos a una temperatura menor de 50°C y tarda aproximadamente una hora en llegar a esta temperatura. Por lo cual, este equipo no resulta funcional, ya que, varias de las carreras ofrecidas en la universidad requieren realizar y determinar cómo se transmite el calor y la temperatura en elementos metálicos, de manera que los alumnos comprendan estos conceptos. Debido a esto, el objetivo de este trabajo es diseñar y construir un equipo completamente nuevo que permita hacer mediciones de temperaturas en barras a diferentes temperaturas. La condición principal a la cual estará sujeto este diseño es que la temperatura de operación no sobrepase los 700°C dentro de la cámara térmica y la cual pueda ser controlada para probar distintos materiales. Adicionalmente, se propuso como reto personal para los alumnos, que el costo por la fabricación del equipo no superara los \$3500.00. Bajo esta consideración se llegó a los siguientes resultados: el sistema de calefacción propuesto es mediante resistencias eléctricas, las cuales estarán sujetas y distribuidas en la cámara térmica para aprovechar al máximo el calor generado. Para realizar esto, fue necesario diseñar una cámara térmica que sea capaz de conservar el calor. Esto se logra con una adecuada selección de materiales refractantes y un análisis matemático de la transferencia de calor hacia los exteriores de la cámara utilizando la Ley de Fourier. Adicionalmente, se diseñará una estructura capaz de soportar el peso de los elementos de la cámara térmica. Por último, se realizó una simulación numérica la cual permitió comprobar y corroborar la distribución de temperaturas en la cámara térmica, de esta manera se puede validar el diseño propuesto y adicionalmente, utilizar los conocimientos aplicados en diversas materias como Simulación, Transferencia de Calor, Manufactura, entre otras.

Palabras clave: cámara térmica, construcción, diseño, mesa de medición de temperaturas, simulación numérica, temperaturas en barras.

Abstract

This article reports on the design, construction, and simulation of a temperature measuring table. The reason for this work is that the Autonomous Metropolitan University lacks adequate equipment for measuring temperature in bars. The existing equipment only allows experiments to be conducted at temperatures below 50°C and takes approximately one hour to reach this temperature. Therefore, this equipment is not functional, as several university courses require students to understand how heat and temperature transfer in metallic elements and these concepts. Therefore, the objective of this project is to design and build a completely new device that allows for temperature measurement in bars at different temperatures. The main requirement for this design is that the operating temperature inside the thermal chamber not exceed 700°C, allowing it to be controlled for testing different materials. Furthermore, the students were challenged to ensure that the manufacturing cost of the equipment would not exceed \$3,500.00. Based on this consideration, the following results were obtained: The proposed heating system uses electric resistors, which will be installed and distributed throughout the thermal chamber to maximize heat generation. To achieve this, it was necessary to design a thermal chamber capable of conserving heat. This is achieved through an appropriate selection of refractory materials and a mathematical analysis of heat transfer to the chamber exterior using Fourier's Law. In addition, a structure capable of supporting the weight of the thermal chamber elements will be designed. Finally, a numerical simulation was performed to verify and corroborate the temperature distribution in the thermal chamber. This allowed for the validation of the proposed design and the application of practical knowledge in various areas, such as simulation, heat transfer, manufacturing, and more.

Index terms: construction, design, numerical simulation, temperature measurement table, thermal camera, temperatures in bars.

I. INTRODUCCIÓN

El perfil de temperatura es un término usado para describir el proceso de registrar datos e interpretar las temperaturas de productos o aire a través de un proceso de tratamiento térmico, este proceso es esencial para la realización de análisis de transferencia de energía calorífica [1]. Una manera para obtener este perfil es a través del calentamiento de barras metálicas por medio de la transferencia de calor por convección. Este proceso es descrito como el intercambio de energía térmica que sucede cuando un fluido se pone en contacto con un sólido cuya superficie está a una temperatura distinta [1]. Para la obtención de un perfil de temperaturas adecuado, es necesario que la forma en la que se calienta el objeto de estudio se obtenga de manera uniforme y controlada [2]. Para ello, es necesario la creación de un sistema que permita elevar la temperatura de manera eficaz, sea seguro de usar y no involucre notables pérdidas de calor [3].

En el desarrollo de equipos de transferencia de calor es necesario realizar una correcta selección de materiales considerando sus propiedades térmicas [4]. Algunos autores argumentan que las formas de transferencia de calor son de gran relevancia dado que constituyen fundamentos científicos esenciales que pueden explicar una amplia gama de fenómenos térmicos [5]. Los cuales son aplicados a una gran parte de diseños orientados a la ingeniería, tales como el diseño de sistemas de refrigeración, calefacción, transferencia de calor, intercambiadores de calor, entre otros. El comportamiento termodinámico de los materiales resulta de vital importancia y una forma de determinar el cómo se comporta el material cuando es sometiendo a pruebas de conducción de calor [5]. Este último punto es de vital importancia y el cual se considerará en el trabajo.

Debido a lo anterior, el principal problema es que la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, no cuenta con un equipo funcional y de amplio rango de temperaturas para realizar mediciones adecuadas dentro de sus instalaciones. Esto se debe a que el equipo existente en la universidad difícilmente alcanza temperaturas de 50°C y lo logra en un periodo de tiempo demasiado prolongado llegando a ser hasta de una hora. Debido a esto, el objetivo principal de este trabajo es el de diseñar y construir un equipo que pueda alcanzar una temperatura de operación de 700°C en su interior y sin tener pérdidas de calor significativas al ambiente, además de ser de un bajo costo, no llegando a superar los \$3500 en materiales. Así mismo, se espera que el equipo pueda ser utilizado para calentar de manera uniforme los extremos de dos barras metálicas (véase Fig. 1) a las cuales posteriormente se les podrá realizar mediciones de temperatura por medio de una computadora. Cabe mencionar que este proyecto fue propuesto por los alumnos al cursar la UEA de Taller de Termofluidos, esto con dos objetivos que se marcan en el plan de estudios de la materia. El primero de ellos que los alumnos puedan diseñar, optimizar o implementar equipos o dispositivos en los cuales apliquen todos los conocimientos adquiridos en la carrera. Como segundo objetivo, se busca que los alumnos brinden algún producto o equipo útil a la universidad de manera que pueda ser utilizado por la institución en los diferentes cursos.

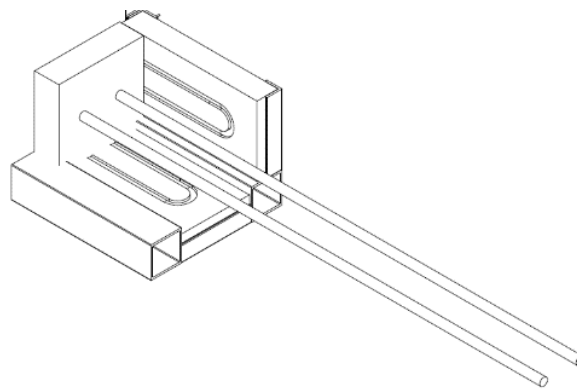


Fig. 1. Posición de las barras en la cámara térmica.

De esta manera, se diseñará el sistema de control con ayuda de un arduino y diferentes termopares, con los cuales se controlarán las temperaturas dentro del equipo y la medición en las barras. Para realizar esto, fue necesario diseñar una cámara térmica que sea capaz de conservar el calor. Esto se logra con una adecuada selección de materiales refractantes y un análisis matemático de la transferencia de calor hacia los exteriores de la cámara utilizando la Ley de Fourier.

Adicionalmente, se realizó la simulación de la transferencia de calor en el horno donde se compararon los resultados teóricos y numéricos con los cuales se validó el diseño del horno, obteniendo resultados similares. Este análisis involucra la simulación de transferencia de calor por conducción entre el tabique por una parte la zona caliente producidas por las resistencias y el ambiente exterior. De esta manera, se logró realizar un producto donde los alumnos puedan realizar mejores prácticas y comprendan de una mejor manera la influencia de la transferencia de calor en barras en un corto tiempo debido a que se contará con equipo especializado en este campo. Este equipo fue instalado en el Laboratorio de Termofluidos y el cual apoyara a las UEA de Mediciones en Ingeniería, Laboratorio de Termofluidos I y Laboratorio de Termofluidos II, Taller de Termofluidos, entre otras materias que son impartidas en la Unidad Azcapotzalco en el Departamento de Energía el cual es el segundo departamento más grande de la universidad y el cual ofrece sus laboratorios a la mayoría de las licenciaturas.

II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

El primer paso consiste en diseñar la cámara térmica, así como la selección del sistema de calentamiento. Para esto, se planteó el uso de resistencias eléctricas debido a los bajos costos, mantenimiento y adquisición de los materiales. Para el diseño de la cámara térmica es necesario conocer el comportamiento térmico de las paredes. La forma de determinar esto es mediante el uso de la ley de Fourier aplicada a una pared plana de espesor L (ecuación (1)) [6].

$$\dot{Q} = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Donde $\dot{Q}$ es la rapidez de conducción de calor, k es la conductividad térmica del material, A el área perpendicular a la transferencia de calor y ΔT es la diferencia de temperatura en ambos lados de la pared [6]. En la Fig. 2 se puede observar la transferencia de calor que se presentara en la cámara térmica.

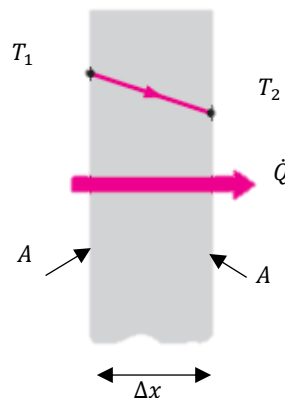


Fig. 2. Conducción de calor a través de una pared plana.

Para evitar pérdidas de calor importantes se debe de utilizar un material con conductividad térmica baja, siendo en este caso un material cerámico. El material elegido fue ladrillo rojo recocido que tiene una conductividad térmica de $0.69 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ y la resistencia seleccionada fue una resistencia tipo U (véase Fig. 3). Resistencia eléctrica tiene las siguientes especificaciones: marca “CASMAN LK”, Modelo “RES U de 120V 1000 WATTS conector de $\frac{1}{2}$ ”.

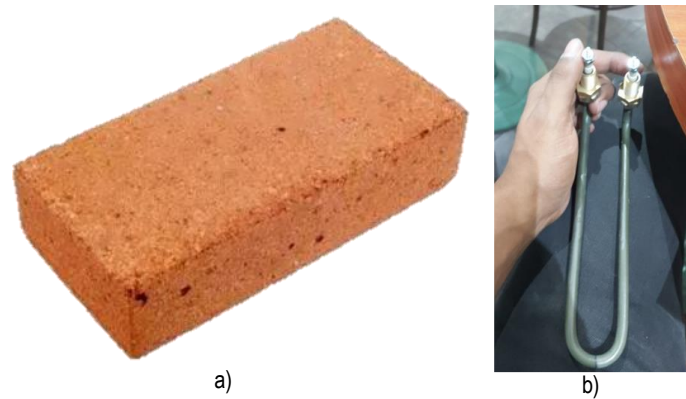


Fig. 3. Elementos para la cámara térmica: a) Tabique Rojo. b) Resistencia Tipo U.

Para fijar la resistencia al ladrillo se procedió a ranurar el tabique con la forma de la resistencia (véase Fig. 4). Una ventaja de utilizar el tabique rojo es que la porosidad del material sirve para proteger al ladrillo de una fractura debido a la temperatura que puede proporcionar la resistencia.

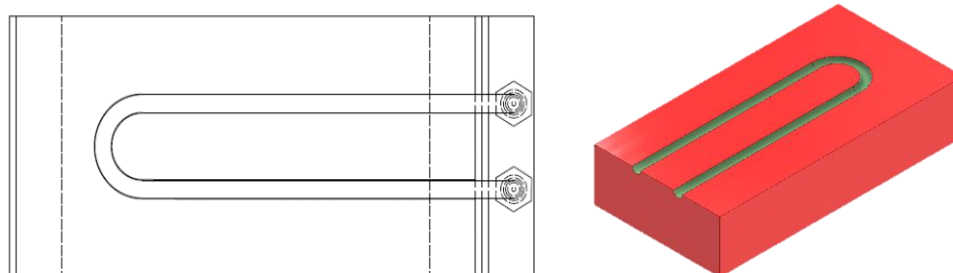


Fig. 4. Ranura en tabique con la forma de la resistencia.

Adicionalmente, se plantea que la temperatura máxima dentro de la cámara sea de 700°C . Esto se realizó con el fin de contar con un equipo que permita probar diversos materiales a altas temperaturas. De esta misma manera, se propone las dimensiones internas de la cámara con dimensiones de 22.30 cm de largo, 22.30 cm de ancho y 11.5 cm de profundidad. Esto con el propósito de concentrar el calor lo más cercano a las barras de calentamiento y de manera uniforme.

Para poder sujetar adecuadamente los ladrillos se planteó la construcción de una estructura con un perfil metálico conformado con ángulo y PTR de 2" (véase Fig. 5). Además, se propuso hacer una estructura externa con el fin de conservar el calor y al mismo tiempo prevenir el contacto de alguna persona con la cámara térmica. En la Fig. 6 se muestra el diseño final de la cámara térmica y su posicionamiento en la estructura exterior.

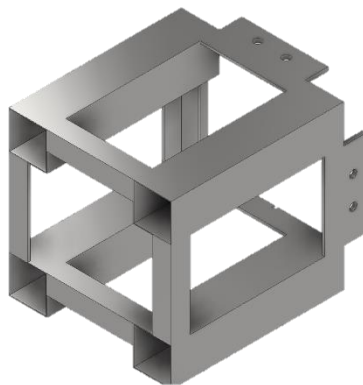


Fig. 5. Diseño del soporte de los ladrillos.

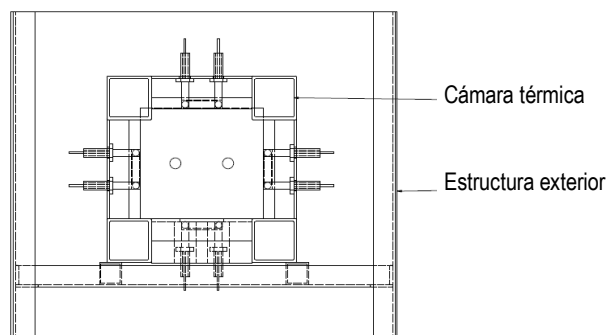


Fig. 6. Diseño final de la cámara térmica.

Una vez que se terminó el diseño de la cámara térmica, se procedió a realizar una base que soportará el peso de todo el sistema de calefacción y del otro lado se colocaría un pequeño cajón que contendría la parte física del sistema de control. La base será construida con perfil PTR de 2" (véase Fig. 7).

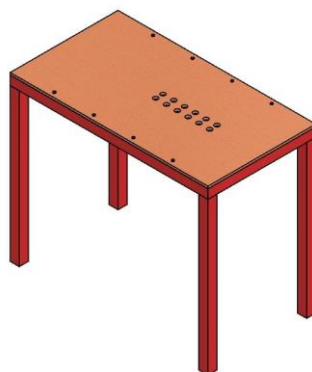


Fig. 7. Estructura para soportar horno.

Para la medición de las temperaturas, se colocaron 6 puntos de medición a cada una de las barras y en la mesa. Se barrenaron 2 barras, una de aluminio y otra de cobre con espaciamientos de 6 cm entre ellos después de la salida del horno. Adicionalmente, se colocaron termopares en los barrenos con el fin de obtener la medición de temperaturas. Para el sistema de control, se diseñó una interfaz controlada por computadora que permite

registrar los datos en una hoja de Excel donde se registran las temperaturas en intervalos de un minuto, pero en la programación del arduino se puede ajustar este tiempo a mediciones de lectura más cortas. De esta manera se utilizó un arduino modelo Mega 2560 debido al espacio de memoria que se requiere para el almacenamiento de los datos además de contar con las siguientes características funcionales para este trabajo: tiene 8 kB de SRAM, lo que permite crear y manipular más variables durante la ejecución, cuenta con cuatro UART de hardware para la comunicación serie TTL (5V), tiene un puerto de comunicación virtual al software del ordenador, cuenta con una biblioteca SoftwareSerial que permite la comunicación serie en cualquiera de los pines digitales.

6

Para el control de la temperatura interna en la cámara, se colocó un termopar, el cual mide la temperatura y mediante el sistema de control y un relevador de estado sólido el cual interrumpe el suministro de energía del sistema. En la Fig. 8 se puede observar el diseño final de la mesa de calentamiento de barras.

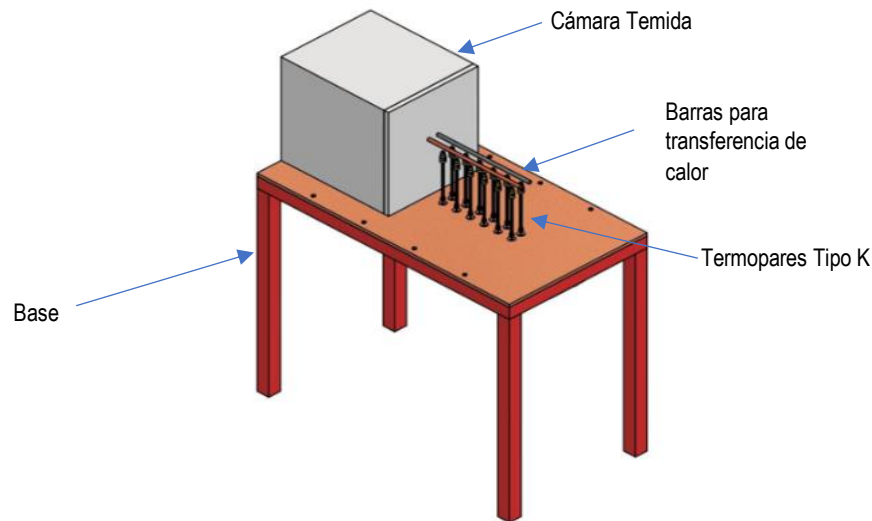


Fig. 8. Diseño final de la mesa de calentamiento de barras

Los termopares utilizados fueron el MAX6675 tipo K con capacidad de registrar temperaturas de hasta 1024°C con una resolución de 0.25°C. Para obtener la temperatura deseada, el dispositivo mide el voltaje de salida y la de un diodo que funciona como sensor de temperatura ambiente. Finalmente, el sistema transmite el voltaje del diodo y el voltaje del termopar hacia el convertidor analógico digital para calcular la temperatura que se desea obtener. Una vez que se ha establecido el diseño del sistema completo se procedió a realizar la simulación para comprobar el correcto funcionamiento de la cámara térmica, para esto se utilizó un programa de análisis por método de elemento finito para analizar la transferencia de calor a través de las paredes de ladrillo de dimensiones 3.5 × 11.5 × 22.3 cm.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados analíticos de la transferencia de calor dentro de la cámara se muestran a continuación. Para esto, se considera una sola cara de la cámara térmica con dimensiones de 22.30 cm × 11.5 cm y un espesor de ladrillo de 3.5 cm. Adicionalmente, la resistencia proporciona un calor de 280 W con lo cual la temperatura en el exterior fue:

$$\dot{Q} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2)$$

$$T_2 = T_1 - \frac{\dot{Q}L}{kA} \quad (3)$$

$$T_2 = 700^{\circ}\text{C} - \frac{280\text{W} * 0.035\text{m}}{0.69 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} * 0.025645\text{m}^2} = 146.17^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

Esta es la temperatura que debe tener el ladrillo en el otro extremo de la cara que se encuentra a temperatura ambiente, este valor se comparará con simulación. Para esta, se consideró una temperatura máxima de 700°C que es lo que produce la resistencia al estar en contacto con el tabique. Se propuso un coeficiente de convección de $15 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, un valor típico para convección natural [7]. En la Fig. 9 se muestra el resultado de la simulación. El ladrillo resultó ser un buen material para la cámara térmica por su baja capacidad de conducción de calor, se puede observar que la temperatura en la cara exterior del ladrillo será aproximadamente menor a los 134°C .

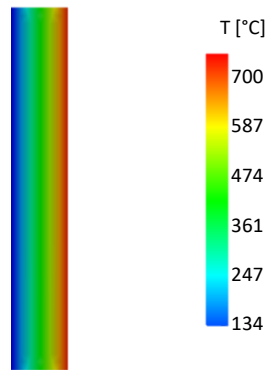


Fig. 9. Simulación de temperaturas en un ladrillo.

Corroborando los resultados anteriores se puede determinar que el diseño propuesto es adecuado. Para la estructura de la cámara térmica (véase Fig. 10) se muestra el ensamble de la estructura con los tabiques. En esta se puede apreciar que se rellenó los huecos con tabique para evitar pérdidas de calor en estas partes.



Fig. 10. Construcción final de la cámara térmica.

Para evitar que alguien pudiera salir dañado por los aumentos de temperatura, se diseñó una estructura que cubre la cámara térmica y la cual es recubierta con lámina y pintura de alta temperatura, como se muestra en la Fig. 11. Esta sección será removible en caso de requerir algún tipo de mantenimiento.

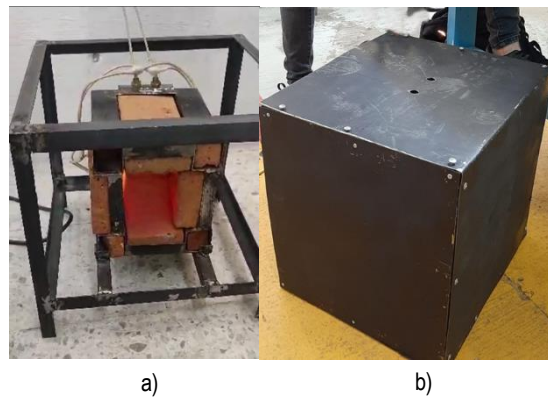


Fig. 11. Estructura final de la caja: a) sin lámina. b) con lámina.

Para el sistema de control se utilizó un arduino como microcontrolador, termopares para medir la temperatura en las barras y dentro de la cámara térmica y un relevador para controlar la temperatura. Después, se procedió a fabricar la base con PTR de 2", se adicionó una tabla para soportar a todos los elementos del horno como se muestra en la Fig. 12. En esta figura se aprecia la colocación de los termopares y el sistema de control por debajo de la mesa para evitar interferencias por parte de la temperatura.



Fig. 12. Estructura final del equipo.

El sistema de control del dispositivo queda como se muestra en la Fig. 13.

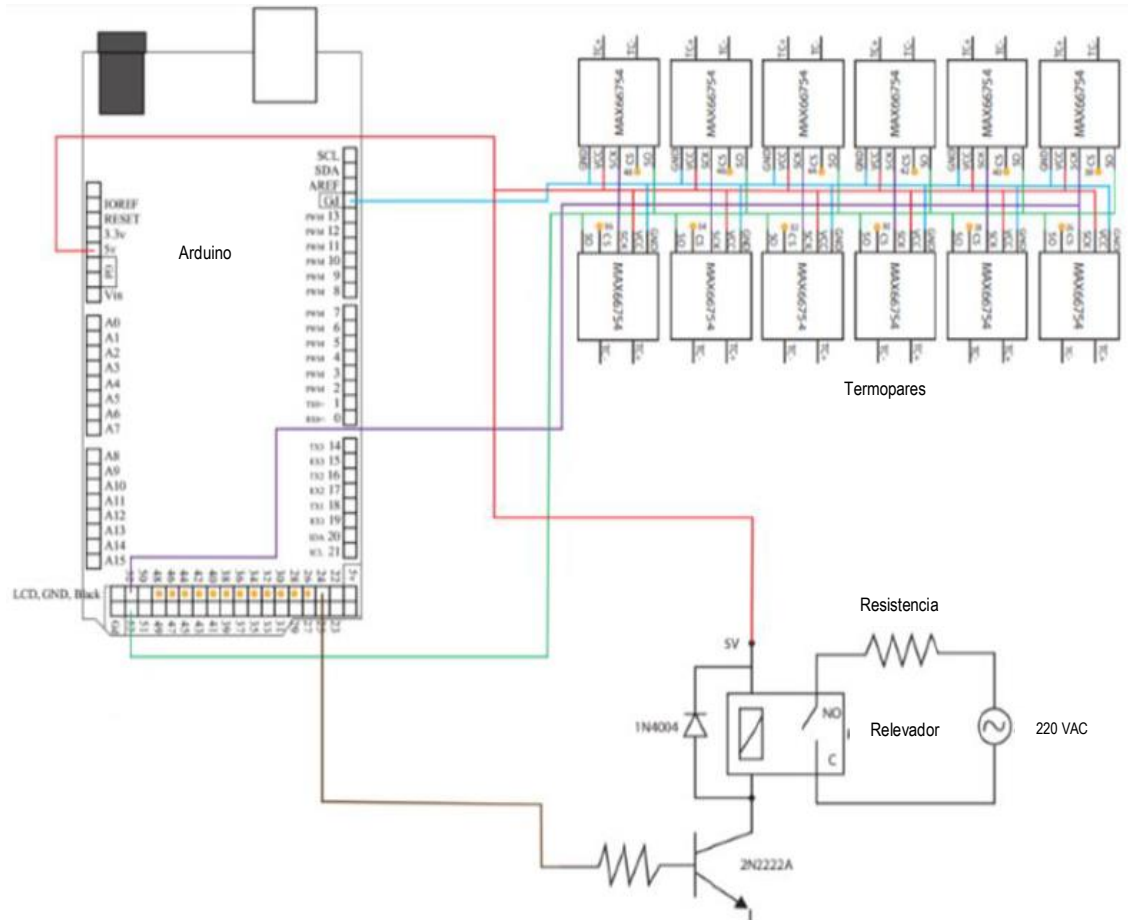


Fig. 13. Sistema de control.

Para la recopilación de datos se utiliza la combinación de la programación, los termopares como ya se había explicado anteriormente y todo esto es registrado en una hoja de Excel (véase Fig.14).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Entrada de datos (desde Arduino Mega 2560 (COM4))														
2	Los datos procedentes del origen de datos actual aparecerán abajo según se reciban.														
3	Datos actuales														
4	TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	
5	9:21:05.96	26	24	26	23	23	23	24	22	41	24	23	23	45	
6	Información histórica														
7	TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	
8	9:20:51.82	27	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
9	9:20:52.83	26	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
10	9:20:53.84	26	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
11	9:20:54.85	26	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
12	9:20:55.86	26	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
13	9:20:56.87	26	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
14	9:20:57.88	26	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
15	9:20:58.89	26	24	26	23	23	24	24	22	42	24	23	23	45	
16	9:20:59.90	26	24	26	23	23	24	24	22	41	24	23	23	45	
17	9:21:00.91	26	24	26	23	23	24	24	22	41	24	23	23	45	
18	9:21:01.92	26	24	26	23	23	24	24	22	41	24	23	23	45	
19	9:21:02.93	26	24	26	23	23	24	24	22	41	24	23	23	45	
20	9:21:03.94	26	24	26	23	23	24	24	22	41	24	23	23	45	
21	9:21:04.95	26	24	26	23	23	24	24	22	41	24	23	23	45	
22	9:21:05.96	26	24	26	23	23	24	22	41	24	23	23	45		◀ Más reciente

Fig. 15. Interconexión entre equipo de medición y computadora con el registro de datos al inicio de la prueba.

Adicionalmente, una vez que se terminó la construcción de la mesa de medición de temperaturas, se procedió a realizar una medición de temperaturas en el exterior de la cubierta. La temperatura alcanzada en esta llegó a ser de 40°C. Para realizar las mediciones de temperatura solamente se debe conectar la computadora al puerto USB con el que cuenta el sistema de control como se muestra en la Fig.15.



Fig. 15. Interconexión entre equipo de medición y computadora

IV. CONCLUSIONES

El diseño del horno para medición de temperaturas cumple con las funciones y necesidades planteadas en el trabajo. Esto se puede verificar al comparar la simulación numérica con los resultados teóricos siendo similares. La cámara térmica, durante las pruebas experimentales, logró alcanzar una temperatura de 700°C en menos de 10 minutos, dato resulta bastante ideal para que el proceso de calentamiento en las barras se puede llevar a cabo en un tiempo relativamente corto. Debido a la adecuada selección de materiales y a los cálculos analíticos, se puede determinar que el diseño propuesto es adecuado y permite almacenar la temperatura dentro de la cámara térmica con pérdidas mínimas de calor hacia el exterior. Debido a esto, la temperatura en el exterior de la misma llegue a 134°C en la simulación y de manera analítica tenga un valor de 146.17°C. Esto se debe a que las condiciones de operación del equipo varían con relación al sistema de control donde puede variar la temperatura en la cámara térmica de $\pm 15^\circ\text{C}$. Por lo que, los resultados son similares y permite validar el diseño. Esto se logra gracias a la implementación del sistema de control del equipo y a todos los elementos con los que está formado el sistema. Adicionalmente, al poder recopilar la información del calentamiento de las barras con la conexión de una computadora y una hoja de Excel permite poder determinar el comportamiento de la temperatura en el intervalo de tiempo que se necesite. Comparando con el equipo que cuenta la institución, el equipo actual presenta mejoras considerables al equipo, lo cual proporciona un beneficio a la UAM Azcapotzalco en las diversas UEA como Mediciones en Ingeniería, Transferencia de calor, Laboratorio de Termofluidos entre otras que se imparten en la unidad lo cual permitirá a los alumnos realizar prácticas de una manera más fácil, en menor tiempo, a temperaturas altas y permitirá probar diversos materiales según sean las necesidades de los grupos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana y al Departamento de Energía por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Panana-Girio, A. E., “Diseño de un intercambiador de calor compacto de placas con aletas para fluidos gas - gas”, trabajo de investigación, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Callao, 2007.
- [2] Ramírez, J. R., Nava, F. D., Álvarez, C. M., Lagunas, L. M., Lescas, M. A. “Perfiles de temperatura en un horno ladrillero”, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 3, no. 2, pp. 209-217, 2004.
- [3] Luján, M., Guzmán, D., “Diseño, Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales”, *Acta Nova*, vol. 7, no. 2, pp. 165-193, 2015.
- [4] Peñaloza Pérez, J. L., Urgilés Remache, F. M., “Diseño y Construcción de un Intercambiador de Calor de Tubería Aletada para el Laboratorio de Térmicas de la Facultad de Mecánica”, Tesis de Licenciatura, 2010.
- [5] Marrugo-Carreazo, D., Guerrero-Gómez, G. y Gómez-Camperos, J., “Desarrollo de un instrumento virtual enfocado en la adquisición de datos para generar perfiles de temperatura en hornos,” *Ingenio UPFSO*, vol. 8, no. 1, pp. 47-58, 2015.
- [6] Cengel, Y. A., Ghajar, A. J., *Transferencia de calor y masa*, McGraw-Hill Interamericana, 4ª ed, 2011.
- [7] Solid Works, 2011, “Dassault Systems-Transferencia de calor por convección”, available:
https://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm?format=P&value=