

Diseño y construcción de un calentador eficiente de agua basado en inducción electromagnética

Daniel Mateo Burbano Martínez

Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica
Universidad Mariana

Dagoberto Mayorca Torres

Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica
Universidad Mariana

Introducción

Los intercambiadores de calor son dispositivos que facilitan el traspaso de energía entre dos cuerpos, por lo general líquidos, que se encuentran a diferentes temperaturas y logran una regulación de la temperatura del cuerpo o cuerpos que estén presentes, estos dispositivos pueden ser utilizados como calentadores o enfriadores. Debido a que este tipo de sistemas y similares son muy utilizados en la industria, el objetivo de este trabajo es diseñar y construir un prototipo de calentador por inducción, para ello, se consideraron diferentes mecanismos de transferencia de calor para ser comparados entre sí y profundizar en aquel que tenga un aporte más significativo en cuanto a eficiencia (Ardila e Hincapié, 2012; Jaramillo, 2007).

Este documento presenta una descripción de un prototipo que tiene la capacidad de subir la temperatura del agua y mantenerla constante durante un periodo de tiempo; para ello fue necesario la implementación de un sistema de control y monitoreo de temperatura basado en una tarjeta de la familia Arduino y otros dispositivos electrónicos, como electroválvulas, termocuplas, relevadores y demás. Se realizó una interfaz para la obtención de gráficas de temperatura de entrada y salida. Para lograr la meta propuesta se plantearon 3 objetivos, a saber:

- Construcción de tres módulos preliminares para la comparación y selección del método de

calentamiento, teniendo como elegibles la electrólisis con corriente alterna, resistencia eléctrica o por inducción electromagnética.

- Construcción del prototipo final con el método seleccionado, agregando un control manual del flujo de agua mediante electroválvulas.
- Automatizar el prototipo mediante un control de potencia y monitoreo de temperatura, así como una lectura constante de sensores y del estado de todos los componentes usando la tarjeta Arduino.

Marco Teórico

La inducción magnética es el proceso mediante el cual campos magnéticos generan campos eléctricos. Al generarse un campo eléctrico en un material conductor, los portadores de carga experimentan una fuerza y se induce una corriente eléctrica en el conductor, dando como resultado una energía que puede ser aprovechada. (Martín y Serrano, s.f., párr. 1)

Dicha energía es disipada en forma de calor, es decir, el elemento sometido experimenta un aumento en su temperatura (Hoyos y Pocoví, 2018).

La inducción magnética es uno de los métodos físicos más eficientes para generar calor sin realizar contacto con el material a calentar, usualmente utilizado para el calentamiento de metales. Este método requiere

de una fuente de alimentación de corriente alterna y un control necesario para regular la corriente. Otras de las características importantes son la frecuencia y el tipo de bobina usada para la creación de un campo electromagnético, donde se ubica el material, y con ello la generación de una corriente que finalmente genera el calor deseado (Arrayás y Trueba, 2007; Pérez y Varela, 2005).

Si se trabaja con materiales magnéticos aparecen las corrientes de Foucault, las cuales “fluyen contra la resistividad eléctrica del metal, generando un calor localizado y preciso sin ningún contacto directo entre la pieza y el inductor” (Jorquera, 2015, p. 9).

Este calentamiento ocurre con piezas magnéticas y no-magnéticas, y a menudo se conoce como “Efecto Joule”, que hace referencia a la primera ley de Joule (Jorquera, 2015). La ecuación 1 muestra la fórmula científica que expresa la relación entre calor producido y corriente eléctrica a través de un conductor)[6].

$$Q = E = I^2 \cdot R \cdot t \quad (1)$$

Donde Q es energía, I es intensidad, R es resistencia y t es tiempo. De la misma manera, se puede calcular la potencia necesaria para elevar la temperatura de una cierta cantidad de masa m que circula a través de un ducto a partir de la ecuación 2:

$$Q = \dot{m} \cdot C \cdot \Delta T$$

Donde \dot{m} es el gasto de masa por unidad de tiempo, C corresponde al calor específico del fluido y ΔT a la variación de temperatura.

A continuación, se presentan las principales ventajas del calentamiento por inducción:

- Eficiencia energética.
- Calienta solo metales conductores.
- Calor solo en la superficie a calentar.
- Facilidad y eficiencia de acoplamiento.

Asimismo, se enumeran los factores más importantes a considerar en el uso de un inductor:

- Material a calentar.
- Materiales magnéticos o no magnéticos.
- Diseño del inductor.
- Fuente de alimentación.
- Factores de eficiencia.

Materiales y Métodos

Diseño y montaje de módulos iniciales

Módulo por electrólisis: Este módulo se construyó con dos barras de hierro con área superficial de 250 cm² y una separación de 1 cm entre ellas, estas se unieron a unos terminales con cable calibre 10AWG que posteriormente se conectarían a una fuente AC de 110v.

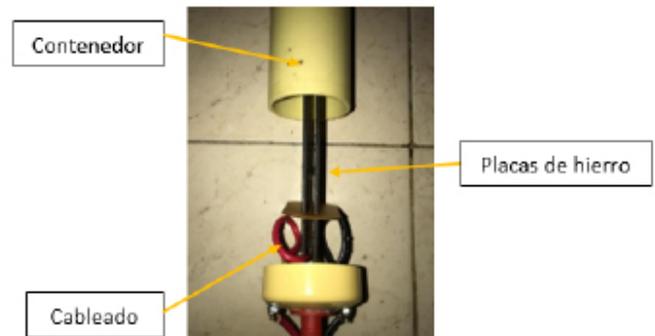


Figura 1. Módulo de electrólisis.

Módulo por resistencia eléctrica: Se implementó una resistencia eléctrica de 5KW, mediante dos terminales se conectó a la red eléctrica, este módulo seguía los principios de una ducha eléctrica casera normal.



Figura 2. Módulo por resistencia eléctrica.

Figura 2. Módulo por resistencia eléctrica.

Módulo por inducción electromagnética: Se utilizó un módulo de inducción bastante pequeño, pero que sirviera como referencia en cuanto al consumo, este prototipo fue facilitado por el docente, se realizó, además, un módulo propio con mayor potencia.

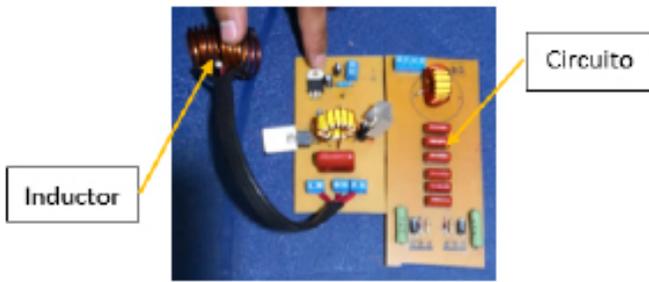


Figura 3. Módulo por inducción.

Figura 3. Módulo por inducción.

Resultados

El dispositivo final cuenta con nueve tubos de acero inoxidable de 20 cm por 1/2" en la zona de inducción, que se conectan entre ellos con una manguera de alta resistencia, específica para el diámetro de los tubos, este elemento tiene el objetivo de entrar en contacto con el agua y hacer la transferencia de calor y elevar la temperatura.



Figura 4. Montaje de la tubería principal.

El microcontrolador es el encargado de hacer el monitoreo de temperatura, así como de obtener la lectura de flujo y mostrar en pantalla y/o serial, consta de una Arduino Mega, una pantalla LCD i2C, dos módulos max6675 y dos termocuplas.

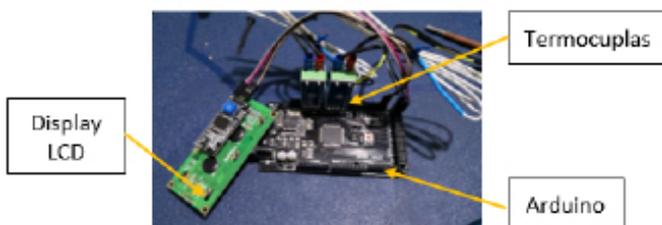


Figura 5. Montaje Arduino.

El sistema del control de paso se encarga de modificar el flujo de agua, bloquearla o habilitarla con una electroválvula y realizar la medición respectiva con un sensor Y-201.



Figura 6. Electroválvula, sensor de flujo y llave de paso.

El módulo ZVS es el componente principal del montaje, es un oscilador que toma corriente continua y la convierte en alterna para inducir corrientes mediante campos magnéticos en el metal a calentar, tiene una capacidad máxima de 1800 w y funciona desde 12 a 48 v.



Figura 7. Módulo ZVS.

Finalmente, se tiene la alimentación del dispositivo, esta consta de un transformador de 42 v a 15 amperios, un puente rectificador de diodos y un condensador electrolítico de 5600 Uf a 450 v y dos baterías de 6 v a 4 amperios.



Figura 8. Transformador 110 v a 42 v, 15A.

Medición del consumo eléctrico de los tres módulos preliminares y del tiempo requerido para elevar la misma cantidad de agua a temperaturas específicas de 20°, 40° y 50°.

Tabla 1. Resultados comparativos de los tres métodos de calentamiento

	Hidrólisis	Resistencia	Inducción
Resistencia	50K	3.8Ω	1.12 Ω
Voltaje	110V	110V	6.23V
Amperaje	14A	33.5A	5.45A
Potencia	1540w	3630w	34w
Litros	1	2	0.02
Temperatura inicial	20°	20°	20°
Tiempo 1 (30°C)	1:20	30	28
Tiempo 2 (40°C)	2:00	50	1:03
Tiempo 3 (50°C)	2:40	1:10	1:25

Tabla 2. Comparativa del consumo calórico en Kilojoule [Kj] para subir la temperatura de 2 litros de agua a 20°C con los tres métodos

Método	Consumo (Kj)
Hidrólisis	246
Resistencia	109
Inducción	95.2

Finalmente, se procede a comparar los datos del calentador por inducción respecto a una ducha comercial para el calentamiento de agua mediante resistencia eléctrica. A partir del uso de las ecuaciones (1) y (2) se estiman los parámetros, P_c que corresponde a la potencia consumida, a la potencia transmitida, e a la eficiencia estimada como la relación .

Tabla 3. Comparativa final de la eficiencia del sistema propuesto y un calentador comercial (ducha). Donde: P_c es la potencia consumida, P_t es la potencia transmitida, e es la eficiencia del dispositivo

	Calentador diseñado	Calentador comercial
P_c	393.6W	3932W
P_t	333.6W	3127.5W
e	84.2%	79.5%

Conclusiones

La eficiencia del prototipo diseñado supera en un 4,7 % a la obtenida en una ducha comercial, por tanto, el método de inducción electromagnética es una alternativa importante a tener en cuenta para el desarrollo de calentadores de agua.

Hace falta mayor investigación en el tema y optimización de recursos, ya que la viabilidad del desarrollo se ve comprometida por el alto gasto que demanda la fabricación del prototipo.

Una observación importante en la realización del prototipo fue la comprobación del calentamiento localizado en la inducción, haciendo que el calor no se distribuya por zonas no debidas, es decir, que existirían múltiples aplicaciones en la industria para las que sería muy útil esta característica.

Puede ser una buena alternativa, dado que la potencia de consumo es baja respecto al calor generado, lo que permite reducir el costo energético en comparación con las duchas eléctricas comerciales.

Referencias

- Ardila, J. y Hincapié, D. (2012). Intercambiadores de calor de tubo en espiral. *Revista Uis ingenierías*, 11(2), 203–213.
- Arrayás, M. y Trueba, J. (2007). *Electromagnetismo, círculos y semiconductores*. Dykinson, 2007.
- Cushicóndor, E. (2009). *Diseño y construcción de un prototipo de una cocina de inducción electromagnética* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1113>
- Hoyos, E. y Pocoví, C. (2018). Ontología del concepto de inducción electromagnética en libros de texto universitarios. *Revista de la enseñanza de la Física*, 30(extra), 111–118.
- Jaramillo, O. (2007). Intercambiadores de calor. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jorquera, G. (2015). *Investigacion e implementación de mecanismos de temple por inducción* (Tesis de pregrado). Universidad del Bío-Bío, Concepción.

Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1390/1/Jorquera_SanMartin_Gustavo_Andres.pdf

Martín, T. y Serrano, A. (s.f.). Introducción magnética. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/inducccion.html#:~:text=La%20inducci%C3%B3n%20magn%C3%A9tica%20es%20el,corriente%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20conductor.>

Pérez, M. y Varela, P. (2005). Orígenes del electromagnetismo. Oersted y ampère. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 2(1), 118–119.