

# Generación de calor por inducción magnética

Vicente Chapuli Cuetlach, María Luisa Sánchez Collantes

*Obed Cortés Aburto, Isaías Zagoya Mellado*

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Puebla, Juan C. Bonilla, Puebla, México

Obedca@uppuebla.edu.mx, zagoyami@hotmail.com, ingvicente\_11@live.com.mx, ingmlsc\_@hotmail.com

## Abstract

*The induction heating source is based on the Joule effect, which is that a driver will induce an electrical current, producing the motion of electrons due to the kinetic energy stored in these, resulting in heat shock that experience between them. The high-frequency electromagnetic waves are manipulated by a PWM is to generate a pulse train that varies its width. Our input power is 1000 watts, with a voltage of 110V and a current of 9.09A. We also use copper tube of 0.003 m for the coil surrounding the material to be heated*

## 1. Introducción

El calentamiento por inducción es un proceso de calentamiento sin contacto, que utiliza ondas electromagnéticas de alta frecuencia para calentar los materiales ferromagnéticos que conduzcan electricidad. Porque el contacto no es requerido, el proceso de calentamiento no contamina el material que se calienta. También es muy eficiente ya que el calor se genera desde el interior de la pieza.

Existen otros métodos de calentamiento, donde el calor se genera por medio de flama o elementos calientes, los cuales se aplican a la pieza metálica, como lo son el uso de resistencias, láser o arco eléctrico, fusión con electrodo o autógena entre otros. Por estas y otras razones el calentamiento por inducción nos brinda algunas aplicaciones únicas en la industria.

## 2. Principio de inducción magnética

Fue descubierto por Michael Faraday y Joseph Henry en 1831. La ley de Faraday de la inducción magnética, que relaciona el flujo de voltaje y el flujo magnético en un circuito, establece lo siguiente. [12]

1. - Si el flujo eslabonado de un lazo (o espira) varía con el tiempo, se induce un voltaje entre sus terminales.
2. - El valor del voltaje inducido es proporcional al índice o capacidad de cambio de flujo.

El calentamiento por inducción magnética es usado para unir, endurecer o ablandar materiales ferromagnéticos, en los procesos industriales modernos, utiliza por la velocidad y el ahorro de material.

Algunas aplicaciones del calentamiento inductivo, se han empleado desde 1940, durante la segunda guerra mundial, para el desarrollo rápido de armas para la guerra y el endurecimiento de partes metálicas.

## 3. Efecto Joule

Este fenómeno es cuando a un conductor se le induce una corriente eléctrica produciendo así el movimiento de los electrones debido a la energía cinética almacenada en estos, traducándose en calor por el choque que sufren entre ellos, de esta manera elevando la temperatura del conductor. Figura 1. [4]

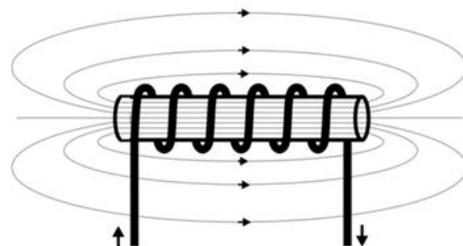


Figura 1. Efecto Joule.

#### 4. Componentes del calentamiento por inducción magnética

Para el calentamiento por inducción magnética es necesario conocer los componentes que son: Figura 2.

- 1) Fuente de potencia.
- 2) Estación de Calentamiento.
- 3) Espiral del conductor.
- 4) Pieza del material a calentar.

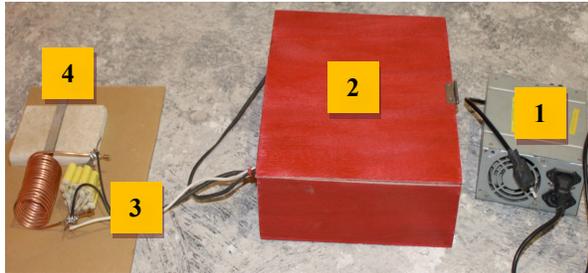


Figura 2. Componentes del sistema

La fuente de potencia utiliza una corriente alterna, que es recitada y regulada, y ésta alimenta al convertidor de frecuencia, que es la que genera el campo magnético en la espira.

La estación de calentamiento posee una serie de capacitores de resonancia con la finalidad de ajustar las frecuencias o el voltaje de operación, sabiendo el material a calentar.

Las espirales son tubos de cobre con un diámetro de 0.003m y la forma depende del material a calentar como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Diferentes formas de espiras.

La pieza a calentar debe de ser de un material ferromagnéticos. [11]

#### 5. Metodología

Para el desarrollo de nuestro prototipo, consideramos la solución del problema, de acuerdo con los parámetros de la necesidad, tales como los recursos eléctricos y electrónicos disponibles con los que

contamos, además de los conocimientos obtenidos en los antecedentes y en el marco teórico.

Para el diseño del sistema consideramos los cálculos obtenidos del flujo de calor y de campo magnético, tomando en cuenta la potencia suministrada desde la fuente de potencia hacia nuestro circuito de control y el de potencia hacia el circuito de resonancia.

El diseño y construcción se dividió en tres etapas las cuales son:

- El circuito de control que utiliza un PWM para el control de las frecuencias altas, para la generación de calor en la pieza.
- El análisis de transferencia de calor con los datos obtenidos del campo magnético generado por la espira en nuestra pieza.
- Dentro de la construcción y validación del prototipo, se comprobó el funcionamiento de éste, con una fuente de potencia de 60W dando así una frecuencia de resonancia en la espira de 500 kHz y un voltaje de salida 30Vpp.

#### 6. Diseño y construcción del prototipo

De manera general se tiene una fuente de alimentación que es utilizada para el abastecimiento de energía en la entrada del circuito de control y de potencia. [5]

- El circuito de control se encarga de modular la frecuencia por un PWM.
- El circuito de potencia, convierte el voltaje de salida del circuito de control de 12 VCD a 30 Vpp, por medio de MOSFET.
- El circuito de resonancia está conformado por capacitores en paralelo hasta la espira de cobre, alimentado a 30 Vpp en sus dos terminales.
- El circuito de realimentación se encarga de enviar las frecuencias dadas en el circuito de potencia al de control. Figura 4.

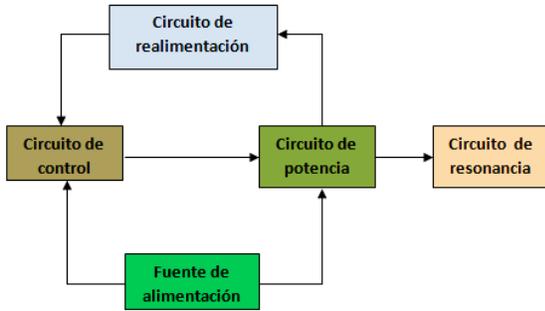


Figura 4. Diagrama a bloques del prototipo.

## 7. Análisis Termomagnético

### ▪ Campo magnético

La excitación magnética (también fuerza o campo magnetizante), relacionado con el movimiento de cargas libres y en los polos magnéticos, fórmula 1.

$$H = \frac{NI}{L} \quad (1)$$

H = Campo magnético en amperio-vuelta/metro (Av/m).

N = Número de vueltas de la espira.

I = Corriente en Amper (A).

L = Longitud de la bobina en metros (m).

Obtenemos al sustituir:

$$H = 3.384 \frac{Av}{m}$$

### ▪ Trabajo magnético

Es la potencia que se genera dentro del circuito resonante, fórmula 2.

$$W = \phi * I \quad (2)$$

W = Potencia (Joule).

$\phi$  = Flujo magnético (Weber).

I = Corriente (Amper).

Sustituyendo:

$$W = 1.3290 \times 10^{-12} J$$

### ▪ Flujo de calor en la pieza

Es la cantidad de calor que puede producir una corriente eléctrica en cierto tiempo en la pieza, por medio de la Ley de Joule, que relaciona la potencia eléctrica con las calorías, fórmula 3.

$$Q = 0.24 * W * t \quad (3)$$

Q = Cantidad de calor obtenida.

V = Voltaje.

I = Corriente

t = Tiempo.

Obtenemos:

$$Q = 318.78 cal$$

### ▪ Temperatura en la pieza

Para obtener la diferencia de temperatura de la pieza con respecto al calor aplicado, se utiliza la fórmula 4.

$$\Delta T = \frac{Q}{mC_e} \quad (4)$$

Q = Calor en calorías

m = Masa en gramos

$C_e$  = Calor específico en calorías sobre gramos sobre grado.

$\Delta T$  = Variación de la temperatura en grados centígrados, que es a su vez temperatura final menos temperatura inicial.

Dando como resultado:

$$\Delta T = 19.299^\circ C$$

Despejando ésta fórmula (5), obtenemos:

$$T_{final} = \Delta T + T_{inicial} \quad (5)$$

Donde la temperature final de la pieza es:

$$T_{final} = 19.299 + 22 = 41.299^\circ C$$

Considerando un sistema ideal sin perdidas por el medio ambiente.

## 8. Prueba física del diseño

Como resultado de estas pruebas obtuvimos que la pieza a calentar, elevó su temperatura alrededor de los 12°C, con una temperatura inicial de 22°C y una temperatura alcanzada alrededor de los 34°C, en un tiempo estimado de 4 minutos, como se puede ver en la figura 5.

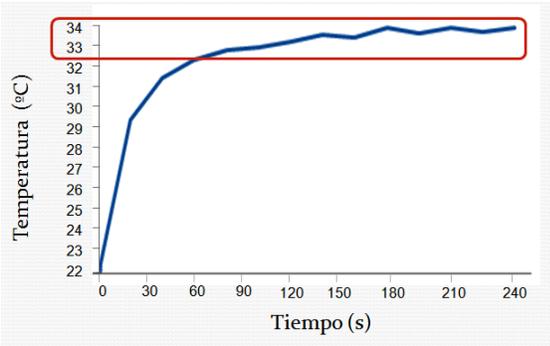


Figura 5. Temperatura obtenida en la prueba física.

## 9. Conclusiones

Para obtener una temperatura deseada o de mayor proporción se puede considerar utilizar una fuente de potencia mayor o simplemente hacer un estudio de frecuencia, considerando que entre mayor sea la frecuencia, mayor será la resonancia que tendrá la pieza ferromagnéticas.

Para el calentamiento de una pieza ferromagnética, es necesario conocer las propiedades del material y la temperatura deseada.

## 10. Referencias

- [1] Bastian, P. (1996). Electronica. Madrid: AKAL.
- [2] circuitos rectificadores. (2003).
- [3] distorciones armonicas. (2003).
- [4] EFECTO JOULE. (2003).
- [5] Electrónica de Potencia Teoría y Aplicaciones. Alfaomega.
- [6] electrónico/circuitos. (2011). <http://members.fortunecity.es/electronico/circuitos/modulador/modulador.html>.
- [7] <http://members.fortunecity.es/electronico/circuitos/modulador/modulador.html>.
- [8] factor de calidad . (2011).
- [9] García, J. M. (1998). Electrónica de Potencia - Teoría y Aplicaciones . México: Alfaomega.

[10] García, J. M. (1996). Electrónica de Potencia- Teoría y Aplicaciones . México: Alfaomega.

[11] Gonzalez, G. (2005). Microsoft Word - Inducción.doc.

[12] Harper, E. (2006). Máquinas electricas. México: Limusa, S.A de C.V.