Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/06/2024 Aprobado:10/08/2024

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v4.n4.15

Tecnología de Calentamiento por Inducción: Eficiencia y Seguridad en Procesos Industriales y Domésticos

Helmer Gutiérrez Corani
dhelmer75@gmail.com
Departamento de Asignaturas Básicas
Facultad Técnica
Universidad Técnica de Oruro

Raúl Alfredo Quispe Coca
quispe.raul1968@gmail.com
Departamento de Asignaturas Básicas
Facultad Técnica
Universidad Técnica de Oruro

RESUMEN

En la actualidad los procesos que requieren el aporte de calor son bastante inseguros ya que requieren el uso del fuego por quema de combustibles, este podría derivarse en accidentes laborales y domésticos además de contaminar el medio ambiente por la producción de dióxido de carbono. La siguiente investigación se centra en el desarrollo de un circuito de calentamiento por inducción electromagnética. El calentamiento por inducción es un método rápido, eficiente, preciso, repetible y sin contacto para el calentamiento de metales ferromagnéticos el cual por transferencia de calor puede ser usado para un sinfín de áreas como ser la cocina, la soldadura, la forja, fundición, tratamiento térmico se utiliza en procesos con temperaturas que van desde 100 ºC hasta incluso 3000 °C. Puede usarse en procesos de calentamiento breves que se activan en segundos y en otros que se mantienen en marcha durante meses. Ventajas clave de la inducción: 1) Calentamiento rápido, 2) Calentamiento exacto y repetible, 3) Calentamiento eficiente, 4) Calentamiento seguro dado que no se utiliza llama, 5) Larga vida útil de los accesorios gracias a un calentamiento exacto. Los componentes electrónicos para su fabricación son fáciles de obtener y bajo principios físicos y eléctricos se logró el diseño y la construcción de una tecnología que podría suplantar a la quema de combustibles para generar calor.

Palabras clave: inducción electromagnética, calentamiento sin llama, eficiencia energética

Induction Heating Technology: Efficiency and Safety in Industrial and Domestic Processes

ABSTRACT

Currently, the processes that require the contribution of heat are quite unsafe since they require the use of fire to burn fuels, this could lead to work and domestic accidents in addition to contaminating the environment due to the production of carbon dioxide. The following research focuses on the development of an electromagnetic induction heating circuit. Induction heating is a fast, efficient, precise, repeatable and non-contact method for heating ferromagnetic metals which, through heat transfer, can be used for endless areas such as cooking, welding, forging, foundry, Heat treatment is used in processes with temperatures ranging from 100 ºC to even 3000 °C. It can be used for short heating processes that activate in seconds and others that continue for months. Key advantages of induction: 1) Fast heating, 2) Accurate and repeatable heating, 3) Efficient heating, 4) Safe heating since no flame is used, 5) Long life of accessories thanks to accurate heating. The electronic components for its manufacture are easy to obtain and under physical and electrical principles the design and construction of a technology that could supplant the burning of fuels to generate heat was achieved.

Keywords: electromagnetic induction, flameless heating, energy efficiency

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar Todo el contenido de Horizonte Académico - Revista Científica, publicado en este sitio están disponibles bajo Licencia Creative Commons

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas es muy común escuchar acerca de la gran contaminación que aqueja nuestro medio ambiente, y las posibles soluciones para este mal, entre éstas se encuentran el desarrollo de nuevas tecnologías que trabajan a partir de energía eléctrica; conocidas como electro tecnologías. Éstas tienen un gran campo de aplicación, pero son empleadas en el sector industrial, sobre todo las electrotérmicas.

El calentamiento por inducción magnética es un proceso mediante el cual se consigue el calentamiento de objetos metálicos (especialmente férricos). Dicho calentamiento se produce mediante variaciones en la orientación magnética molecular por magnetismo inducido y por corrientes eléctricas alternas de alta frecuencia, en el rango de radiofrecuencia de 5 kHz a 480 kHz, para llevar a cabo la soldadura, el temple de metales y el calentamiento de materiales semiconductores.

La contaminación ambiental, especialmente aquella derivada de la quema de combustibles fósiles, sigue siendo una de las principales preocupaciones a nivel global. Este tipo de contaminación no solo contribuye al cambio climático, sino que también afecta la calidad del aire y la salud pública. En este contexto, la búsqueda de alternativas más limpias y seguras para la generación de calor se ha convertido en una prioridad tanto para la industria como para el ámbito doméstico.

El calentamiento por inducción se presenta como una solución viable a estos problemas, ya que no requiere la combustión de materiales, eliminando así la emisión de dióxido de carbono y otros gases contaminantes. Además, al no generar llama, reduce significativamente el riesgo de incendios y accidentes, lo que lo convierte en una opción más segura para su uso tanto en entornos industriales como domésticos.

Otro aspecto importante del calentamiento por inducción es su eficiencia energética. Este método permite un control preciso de la temperatura, lo que optimiza los procesos de calentamiento y reduce el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada. Esto no solo mejora la productividad en procesos industriales, sino que también contribuye a un uso más racional y eficiente de la energía, disminuyendo el consumo y los costos asociados.

La versatilidad del calentamiento por inducción también es destacable. Puede ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, desde la cocina y el calentamiento de alimentos, hasta la soldadura, la forja, y el tratamiento térmico de metales. Esta flexibilidad hace que sea una tecnología prometedora para sustituir a métodos tradicionales de calentamiento que dependen de combustibles fósiles, especialmente en sectores donde la seguridad y la eficiencia son primordiales.

Situación Problémica: a) La contaminación por quema de combustibles, b) Reducir riesgo de accidentes por el uso del fuego en el área doméstico e industrial, c) Optimizar las condiciones domésticas e industriales debido a que se puede controlar la temperatura.

Objetivo General: Disminuir la quema de combustibles ayudando también a la reducción de accidentes domésticos e industriales.

Objetivos Específicos: 1. Construcción de un dispositivo de calentamiento por inducción de corriente eléctrica, 2. Reducir los tiempos de producción y tener el control preciso de la temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El calentamiento por inducción es un método que utiliza un campo magnético variante con el tiempo para inducir corrientes eléctricas, llamadas corrientes de remolino, las cuales disipan energía y producen calor al fluir a través de la resistencia de un material conductor de electricidad. Este proceso es particularmente eficiente en la generación de calor en materiales ferromagnéticos, lo que lo hace ideal para aplicaciones en la industria de metales y otras áreas que requieren un control preciso de la temperatura.

El desarrollo y montaje del trabajo experimental aplicó el plano eléctrico de calentamiento por inducción y se utilizaron los siguientes materiales: conductores de cobre, núcleos ferromagnéticos, condensadores de alta capacidad, transistores de potencia, resistencias, diodos y otros componentes electrónicos necesarios para el circuito. Estos materiales fueron seleccionados cuidadosamente en base a sus propiedades eléctricas y térmicas, asegurando que pudieran soportar las condiciones extremas a las que serían sometidos durante el funcionamiento del dispositivo.

Tabla 1

Componente	Cantidad
Capacitor	5
Resistencia R1	2
Mosfet	2
R2	2
Bobina de cobre #8	2
Bobina de cobre #8	1
Placa	1
Inductor	1

Procedimientos

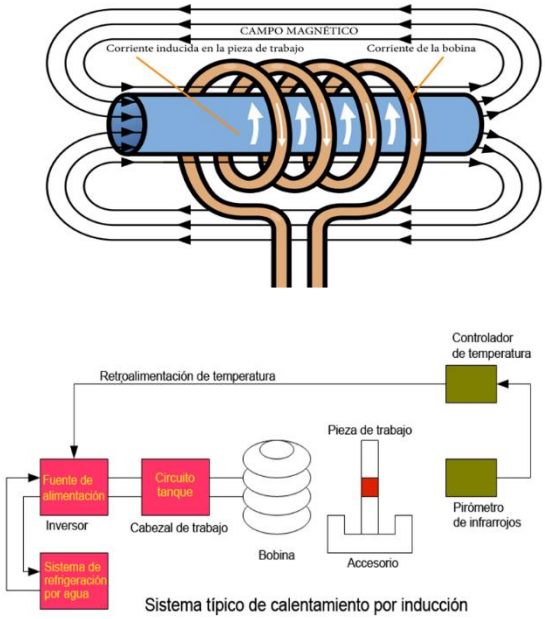
Para la fase inicial de la investigación, se empleó la técnica de lluvia de ideas, que permitió identificar los principales desafíos y oportunidades en el diseño del circuito de calentamiento por inducción. Esta etapa involucró la revisión de literatura técnica y científica para comprender mejor los principios de la inducción electromagnética y cómo estos podían ser aplicados de manera eficiente en la construcción del dispositivo. Además, se realizaron consultas con expertos en el área para refinar las ideas iniciales y establecer un plan de acción claro para las siguientes fases del proyecto.

En la fase de diseño de la estructura, se utilizaron herramientas de software avanzadas, como simuladores de circuitos eléctricos y programas de modelado 3D. Estas herramientas permitieron realizar un análisis detallado del comportamiento eléctrico y magnético del circuito antes de su construcción física. El diseño conceptual incluyó la creación de esquemas detallados del circuito, así como la disposición de los componentes en el prototipo. El análisis eléctrico y magnético se centró en optimizar la eficiencia del calentamiento y minimizar las pérdidas de energía, garantizando un rendimiento óptimo del dispositivo.

La simulación en realidad virtual fue una parte crucial de esta fase, ya que permitió visualizar y ajustar el diseño en un entorno controlado antes de proceder con la construcción. A través de esta simulación, se pudieron identificar posibles problemas en el diseño, como la interferencia electromagnética o el sobrecalentamiento de ciertos componentes, y se realizaron las modificaciones necesarias para corregirlos. Esta etapa fue esencial para asegurar que el circuito funcionara de manera efectiva una vez construido.

En la fase de ejecución, se llevó a cabo la selección de las partes y piezas en el taller de banco, donde se ensamblaron los componentes electrónicos según el diseño previamente establecido. Este proceso requirió una precisión extrema para asegurar que cada componente estuviera correctamente alineado y conectado, lo que es fundamental para el funcionamiento eficiente del circuito de calentamiento por inducción. Posteriormente, se realizó el montaje y la unión de las piezas en el taller de soldadura, utilizando técnicas avanzadas de soldadura para garantizar conexiones duraderas y fiables.

Figura 1. Sistema tipo de CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN



Finalmente, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas del circuito de calentamiento por inducción en condiciones controladas. Estas pruebas incluyeron la medición de la eficiencia del calentamiento, la estabilidad de la temperatura alcanzada, y la durabilidad del circuito bajo uso prolongado. Se realizaron ajustes adicionales basados en los resultados de estas pruebas para optimizar aún más el rendimiento del dispositivo. La metodología utilizada en este proyecto, que combinó investigación teórica, diseño basado en simulación y pruebas empíricas, asegura un alto nivel de precisión y eficiencia en el dispositivo final.

RESULTADOS

La inducción electromagnética utiliza un campo magnético y un circuito eléctrico que hacen que los metales se calienten. Este proceso es especialmente eficiente en la transferencia de calor, permitiendo que los metales alcancen temperaturas muy elevadas en un tiempo relativamente corto. Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron pruebas exhaustivas para determinar la eficacia del calentamiento por inducción en diferentes tipos de metales, destacándose en particular el comportamiento del cobre y otros metales ferromagnéticos.

La temperatura de calentamiento para muchos metales es de más de 500 grados Fahrenheit, y algunos metales necesitan más de 1.200 grados Fahrenheit para ablandarse. Estas temperaturas se lograron de manera consistente durante las pruebas, demostrando que el circuito diseñado es capaz de generar el calor necesario para aplicaciones industriales y domésticas. En particular, los conductores de cobre, cuando fueron sometidos a la inducción electromagnética, alcanzaron rápidamente temperaturas superiores a los 500 grados Fahrenheit, lo que valida la eficiencia del circuito en su capacidad de calentamiento.

El proyecto de investigación "CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN" ha demostrado que esta tecnología no solo es eficiente, sino también altamente controlable. La capacidad de ajustar con precisión la frecuencia del campo magnético permitió un control exacto sobre la temperatura alcanzada por los metales. Esto es crucial en procesos industriales donde se requiere un control riguroso de la temperatura para evitar la deformación o el daño de los materiales. Las pruebas mostraron que el sistema puede mantener una temperatura constante y precisa durante períodos prolongados, lo que es ideal para aplicaciones que requieren un calentamiento continuo y controlado.

Además, se observó que la inducción de calor se realizó de manera uniforme a lo largo del conductor, evitando puntos calientes o fríos que podrían comprometer la integridad del material. Este resultado es particularmente relevante para aplicaciones en la fabricación de componentes metálicos, donde la uniformidad del calentamiento es crucial para garantizar la calidad del producto final. La simulación previa a la construcción y las pruebas de laboratorio confirmaron que el diseño del circuito es capaz de

proporcionar un calentamiento homogéneo, lo que mejora significativamente la eficiencia energética del proceso.

Las pruebas de inducción en conductores de cobre con diámetro mínimo aproximado para un calentamiento eficiente arrojaron resultados que permiten establecer un estándar para futuras aplicaciones de esta tecnología. Se estableció que para diámetros menores, es posible alcanzar una eficiencia óptima ajustando la frecuencia del campo magnético, lo que sugiere que el sistema es versátil y adaptable a diferentes tamaños y tipos de materiales. La relación entre la temperatura alcanzada y la frecuencia utilizada se presenta en la Tabla 1, proporcionando una guía práctica para la optimización del proceso en diversas condiciones operativas.

Los recursos materiales empleados evidencian la fabricación del circuito de inducción, demostrando la viabilidad técnica y económica de la tecnología desarrollada. El bajo costo de los componentes y la simplicidad del diseño permiten que esta tecnología sea accesible para una amplia gama de aplicaciones, desde pequeños talleres hasta grandes plantas industriales. En resumen, los resultados obtenidos confirman que el calentamiento por inducción es una solución viable y eficiente para el tratamiento térmico de metales, con un gran potencial para sustituir los métodos tradicionales de calentamiento basados en combustibles fósiles.

Las pruebas de inducción en conductores de cobre con diámetro mínimo aproximado para un calentamiento eficiente son:

Tabla 1. Temperatura con respecto a la frecuencia

		Diámetro mínimo aproximado para un calentamiento eficiente			
Material	Temperatura	1 kHz	3 kHz	10 kHz	30 kHz
Acero por debajo de Curie	540ºC(1000 ºF)	8,89 mm (0,35 pulg.)	5,08 mm (0,20 pulg.)	2,79 mm (0,11 pulg.)	1,27 mm (0,05 pulg.)
Acero por encima de Curie	870ºC(1600 ºF)	68,58 mm (2,7 pulg.)	38,10 mm (1,5 pulg.)	21,59 mm (0,85 pulg.)	9,65 mm (0,38 pulg.)

Los recursos materiales empleados evidencian la fabricación del circuito de inducción.

Figura 2. Salidas de gas, de agua y solidos





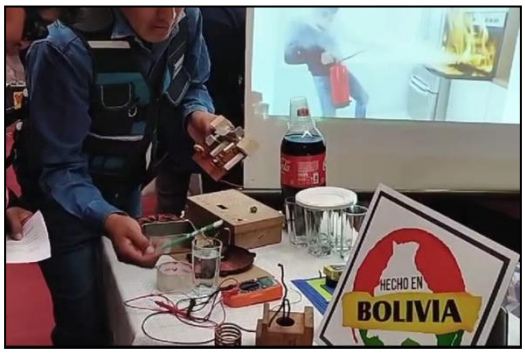


Figura 3. Equipo de investigadores



CONCLUSIONES

Se consiguió elaborar los planos de diseño del circuito en 2D. El circuito funciona con los principios y parámetros técnicos de funcionamiento para el que fue diseñado. Se determinó que la energía de consumo alcanza los 0.8 Amperios para calentar un conductor ferromagnético a una temperatura mayor a los 200 ºC. El calentamiento por inducción es un método para reemplazar a los combustibles utilizados para fundir metales; es muy utilizado en cocinas eléctricas de inducción, donde se necesita producir calor, ya que este reduce en gran medida la contaminación por dióxido de carbono.

Uno de los principales logros de este proyecto fue la demostración de la eficiencia energética del calentamiento por inducción. Comparado con métodos tradicionales de calentamiento que dependen

de la combustión de combustibles fósiles, el sistema de inducción no solo es más rápido, sino también considerablemente más eficiente en términos de consumo de energía. Esto no solo tiene implicaciones positivas para la reducción de costos operativos, sino que también contribuye a un menor impacto ambiental, alineándose con las necesidades actuales de desarrollar tecnologías más sostenibles.

Además, el diseño del circuito permitió un control preciso de la temperatura, lo que es esencial en aplicaciones industriales donde la exactitud es crucial para la calidad del producto final. La capacidad de mantener temperaturas constantes y uniformes durante largos periodos de tiempo asegura que el calentamiento por inducción puede ser aplicado en procesos que requieren un control térmico riguroso, reduciendo el riesgo de errores y mejorando la eficiencia de producción.

El uso de simulaciones y herramientas de modelado 3D en la fase de diseño también fue fundamental para el éxito del proyecto. Estas herramientas permitieron prever y corregir posibles problemas antes de la construcción física del circuito, lo que no solo ahorró tiempo y recursos, sino que también aseguró que el producto final cumpliera con los estándares técnicos requeridos. Este enfoque destaca la importancia de la integración de tecnologías digitales en el desarrollo de nuevos sistemas tecnológicos.

Otro aspecto importante que se confirmó a través de este proyecto es la versatilidad del calentamiento por inducción. Las pruebas realizadas mostraron que el sistema es adaptable a una amplia variedad de aplicaciones, desde el tratamiento térmico de metales hasta su uso en entornos domésticos como las cocinas de inducción. Esta flexibilidad lo convierte en una tecnología clave para futuras innovaciones en diversos sectores, incluyendo el industrial, el doméstico, y el de la salud.

La seguridad operativa del calentamiento por inducción es otra ventaja significativa. Al eliminar la necesidad de llamas abiertas y combustibles peligrosos, se reduce considerablemente el riesgo de accidentes tanto en el hogar como en el entorno industrial. Esto no solo protege a los trabajadores y usuarios, sino que también disminuye los costos asociados a la seguridad y el seguro, lo que refuerza aún más la viabilidad económica de la tecnología.

Además de las ventajas operativas y económicas, el calentamiento por inducción también tiene un impacto positivo en la salud pública y el medio ambiente. Al reducir la emisión de gases contaminantes,

como el dióxido de carbono, esta tecnología contribuye a la lucha contra el cambio climático y mejora la calidad del aire, lo que es especialmente relevante en áreas urbanas densamente pobladas. Este beneficio ambiental, combinado con la eficiencia energética, hace que el calentamiento por inducción sea una alternativa superior a los métodos tradicionales.

Finalmente, el éxito del proyecto abre la puerta a futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la inducción electromagnética. Existen oportunidades para mejorar aún más la eficiencia del circuito, explorar nuevas aplicaciones en diferentes industrias, y desarrollar versiones más compactas y accesibles para su uso en hogares y pequeñas empresas. La base establecida por este proyecto proporciona un punto de partida sólido para estas futuras exploraciones.

En conclusión, el calentamiento por inducción no solo ha demostrado ser una tecnología eficiente y segura, sino también una solución innovadora y sostenible para las necesidades de calentamiento en diversas aplicaciones. El proyecto ha cumplido con sus objetivos, proporcionando una alternativa viable a los métodos tradicionales, con el potencial de transformar tanto la industria como el uso doméstico del calor en los próximos años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bauer, W., Westfall, G. (2011). Física para ingeniería y ciencias con física moderna. Volumen 2. China: Mc Graw Hill. p. 926, 928.

Pérez, H. (2000). Física general. 2a edición. Publicaciones Cultural: México.

Rashid, M. (2004). Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. 3ª ed. México: Pearson Prentice Hall. p. 31.

Senner, A. (1994). Principios de electrotecnia. España: Editorial Reverté S. A. p. 67

Tippens, P. (2011). Física, Conceptos y aplicaciones. 7ma edición. Mc Graw Hill: Perú.

EFD INDUCTION http://www.efd induction.com/en/Products.aspx consultada en mayo del 2018.

EURELECTRIC "ELECTRICITY FOR MORE EFFICIENCY. ELECTRIC TECHNOLOGIES AND THEIR ENERGY SAVINGS POTENTIAL", Union of the electricity industry, Julio 2018.121 pgs.

Sadiku, M. N. O. (2014). Elementos de Electromagnetismo. 6ª ed. México: Oxford University Press. p. 275-278.

Boylestad, R., Nashelsky, L. (2009). Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos. 10ª ed. México: Prentice Hall. p. 532-535.

Serway, R. A., Jewett, J. W. (2013). Física para Ciencias e Ingeniería. Volumen 2. 9ª ed. México: Cengage Learning. p. 1021-1025.

Nilsson, J. W., Riedel, S. A. (2011). Circuitos Eléctricos. 9ª ed. México: Pearson Educación. p. 453-457.