

## **Análisis de la utilización de un calefón a inducción electromagnética para proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares.**



*Analysis of the use of a heater to electromagnetic induction to provide hot water for single-family homes.*

Franklin M. Silva M.<sup>1</sup>, Washington Freire.<sup>2</sup>, Alex Santiago Cevallos C.<sup>3</sup>, Germánico Sinchiguano Molina.<sup>4</sup>, Alba Rosa Rivera Coque.<sup>5</sup>, Leonardo Alexander Flores Gutierrez.<sup>6</sup>

Recibido: 06-09-2017 / Revisado:13-11-2017 Aceptado: 01-12-2017/ Publicado: 01-01-2018

### **Abstract.**

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i1.13>

The object of this research project is to design and implement an induction electromagnetic heater prototype for single family homes, with the main objective to conduct a research study to determine if electromagnetic induction is the best way to provide hot water for using in this type of household. The project uses an existing system (induction cooking), in which a water passage system constructed of stainless steel is adapted, it is heated by induction and transmits heat to the water that is circulated by it. With this system it is to analyze the efficiency of induction heating systems over conventional electrical systems, different tests where both the prototype and a conventional electrical system are used to perform. To determine the efficiency of different systems a measuring was applied to the electrical energy used in the heating system and the amount of energy which is transmitted to the water, it must determine the volume of water used and the temperature gradient achieved. Moreover, as the efficiency of each of the systems can determine if induction heating is the best alternative to provide hot water to the houses.

**Keywords:** Electromagnetic Induction, Heating, Efficiency.

<sup>1</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, fmsilva@espe.edu.ec

<sup>2</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, wrfreire@espe.edu.ec

<sup>3</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, ascevallos2@espe.edu.ec

<sup>4</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, sgermanico@espe.edu.ec

<sup>5</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, arrivera@espe.edu.ec

<sup>6</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, laflores5@espe.edu.ec

**Resumen.**

El presente proyecto de investigación tiene el propósito de diseñar e implementar un calefón prototipo de inducción electromagnética para viviendas unifamiliares, con el principal objetivo de realizar un estudio investigativo que determine si la inducción electromagnética es la manera más adecuada de proveer agua caliente para el uso en este tipo de hogares. El proyecto utiliza un sistema existente (cocina a inducción), en la cual se adapta un sistema de paso de agua construido con acero inoxidable, éste se calienta debido a la inducción y transmite el calor al agua que por él se encuentra en circulación. Con este sistema se pretende analizar la eficiencia de los sistemas de calentamiento a inducción frente a los sistemas eléctricos convencionales, se realizan diferentes pruebas donde se utiliza tanto el prototipo como un sistema eléctrico convencional. Para determinar la eficiencia de los diferentes sistemas se procede a medir la energía eléctrica utilizada en el sistema de calentamiento y la cantidad de energía que es transmitida al agua, para ello se debe conocer el volumen de agua utilizada y el gradiente de temperatura alcanzada. Una vez conocida la eficiencia de cada uno de los sistemas se puede determinar si el calentamiento por inducción es la mejor alternativa para proveer de agua caliente a las viviendas unifamiliares.

**Palabras Claves:** Inducción Electromagnética, Calefón, Eficiencia.

**Introducción.**

En el Ecuador se vive actualmente un proceso de cambios en sectores estratégicos para el buen vivir, y dentro de ellos se encuentra el de la Matriz Energética, que busca generar la energía necesaria para cubrir todo el país con energía verde propia generada en nuestro mismo país; cambio que involucra temas de investigación dentro de las aplicaciones que se pueden diseñar en base a una energía verde como la inducción electromagnética.

Hoy en día la energía está presente en todas las actividades cotidianas del ser humano, por lo que nace la necesidad de mejorar la eficiencia del consumo de energía en los electrodomésticos más usados, como por ejemplo el de un calefón. En la mayoría de hogares el servicio de agua caliente proviene de calefones a gas y en otros casos son eléctricos, en vista de aquello, se propone encontrar nuevas alternativas que reemplacen el consumo de gas licuado del petróleo GLP, con la implementación de un calefón prototipo a inducción electromagnética.

Para el diseño del calefón a inducción se basa en el siguiente fundamento:

### ***Ley de Faraday.***

Faraday comprobaron experimentalmente que los campos magnéticos variables en el tiempo generaban o inducían una fuerza electromotriz (f.e.m) en circuitos eléctricos, lo cual está dado por la ecuación 1

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (1)$$

Dónde:

$\Phi$  = Es el flujo magnético que atraviesa el circuito eléctrico.

$\varepsilon$  = Es la f.e.m que induce en un sentido relacionado con el de  $\phi$ .

### ***Transferencia de calor por convección.***

La transferencia de energía entre una superficie sólida, líquida o gaseosa a una temperatura cualquiera, hace que la energía producida sea el resultado de transferencia de calor del área a la sustancia, se lo deduce mediante la ecuación 2.

$$Q = hA(T_s - T_f) \quad (2)$$

Dónde:

$T_s$  = Temperatura de la superficie.

$T_f$  = Temperatura del fluido fuera de la superficie.

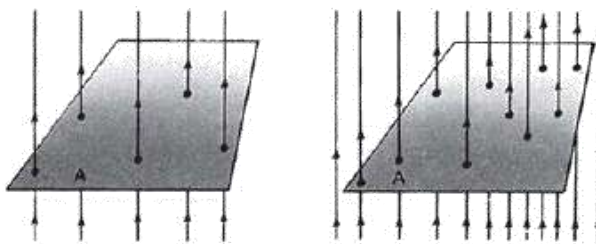
$A$  = Superficie de trabajo.

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor.

### ***Inducción magnética.***

La inducción magnética se define como la cantidad de líneas de fuerza que atraviesa perpendicularmente la unidad de superficie como se observa en la figura 1. En cierta forma, indica el número de líneas de fuerza, o lo concentradas que están, en una parte del campo magnético.

**FIGURA 1:** INDUCCIÓN MAGNÉTICA SOBRE UNA SUPERFICIE.



**Elaborado por:** Grupo de Investigación.

### **Diseño e implementación.**

La inducción es generada por una cocina a inducción comercial (Figura 2), cuya potencia es de 2.5 kW, con una eficiencia energética de ( $\geq 85\%$ ), en donde se coloca el sistema de calentamiento por inducción por el cual circula el agua proveniente de un tanque de almacenamiento con capacidad de 15 litros (Figura3).

**Figura 2:** Sistema de inducción (cocina comercial)



**Elaborado por:** Grupo de Investigación

El sistema de calentamiento por inducción es elaborado con acero inoxidable AISI 430, tipo cilindro de dos partes una con un diámetro 21 cm y otra con un diámetro de 17 cm, las dos con alturas de 15 mm y el grosor del material en la base de 0,6 mm y en las paredes como en la parte superior un grosor de 0,4 mm. Su estructura interna es separada cada 3 cm por pequeñas láminas del mismo material con un grosor de 0,4 mm, que adquiere la forma de un serpentín tipo condensador figura 3.

**Figura 3:** El sistema de calentamiento por inducción.



**Elaborado por:** Grupo de Investigación

Para las conexiones eléctricas del calefón prototipo se utiliza cable gemelo flexible número AWG 2x12, que soporta una corriente de 25 A, perteneciente a la gama baja de tensión (hasta 1000 V) dado que el sistema requiere un voltaje nominal de 220 V. Todo lo mencionado anteriormente contempla a la implementación del proceso para la ejecución de las pruebas del calefón prototipo a inducción como se puede observar en la figura 4.

**Figura 4:** Implementación del proceso para la ejecución de las pruebas del calefón prototipo a inducción.



**Elaborado por:** Grupo de Investigación.

En la figura 4 se puede apreciar el calentador eléctrico, el cual es apagado durante las pruebas realizadas con el calentador de agua por inducción.

Para la realización de las pruebas se elabora una tabla con las combinaciones de potencia que tiene la cocina y luego utilizando un calentador eléctrico. Mientras el agua circula por el sistema de calentamiento por inducción se registran los datos en el Registrador y Analizador de Calidad de la Energía Eléctrica Trifásico –Fluke 1735, de potencias, voltaje, corriente y temperatura inicial y final de cada prueba, posteriormente se analizan cada uno de ellos para determinar la mejor eficiencia del sistema.

### Resultados.

Para recabar información sobre la eficiencia y consumo de energía del calefón se utiliza la termodinámica de fluidos para calcular la energía consumida, almacenada por el agua y transferida de la inducción al agua, para lo cual se tiene lo siguiente:

Cantidad de energía almacenada en el agua

$$Q = m * k * \Delta T^{\circ}$$

- $Q$  = Cantidad de energía almacenada.
- $m$  = Masa (cantidad de agua expresada en litros).
- $k$  = Coeficiente de transferencia de calor  $4.184 \frac{J}{g^{\circ}C}$ .
- $\Delta T$  = Diferencia de temperatura en  $^{\circ}C$ .

Eficiencias energéticas de cada prueba.

$$\eta = \frac{Q_s}{E_e} * 100 \%$$

- $Q_s$  = Cantidad de energía almacenada en el agua.
- $E_e$  = Energía consumida.

Se diseñaron siete tipos de pruebas, las seis primeras con el sistema de calentamiento de agua por inducción y la séptima con un calentador eléctrico para realizar el contraste, para todas las pruebas se utilizó un volumen de 10 litros de agua.

Además, se analiza el efecto de cubrir el sistema por inducción con lana de vidrio, para lo cual las pruebas 1, 2 y 3 no cuentan con recubrimiento, mientras que las pruebas 4,5 y 6 si cuentan con el recubrimiento.

Los datos obtenidos se presentan en la tabla 1

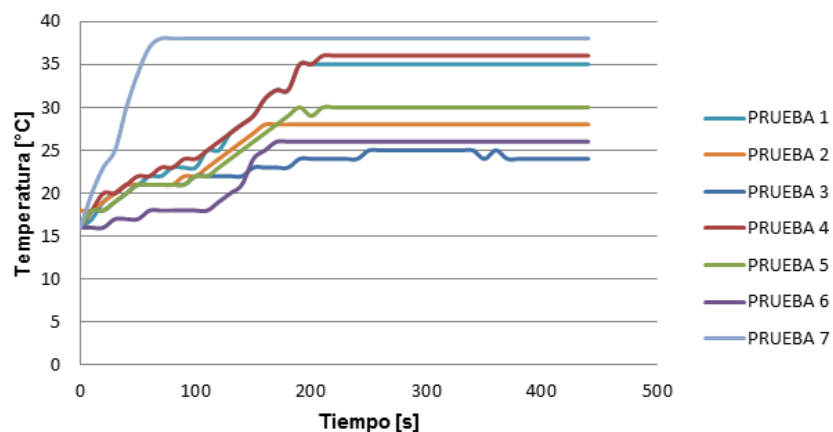
**TABLA 1: CONSUMO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA**

	CANTIDAD DE ENERGÍA EN EL AGUA (J)	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA (J)	EFICIENCIA (%)	TIEMPO (min)	RECUBRIMIENTO DE LANA DE VIDRIO
PRUEBA 1	669 440	920 000	72,77	6.13	NO
PRUEBA 2	460 240	710 400	64,79	6.41	NO
PRUEBA 3	251 040	573 300	43,79	6.51	NO
PRUEBA 4	794 960	962 500	82,59	6.41	SI
PRUEBA 5	502 080	715 950	70,13	6.45	SI
PRUEBA 6	334 720	518 000	64,62	6.18	SI
PRUEBA 7	878 640	1 240 200	70,85	6.5	NO APLICA

**Elaborado por:** Grupo de Investigación.

Las pruebas determinan las temperaturas que se tiene en diferentes condiciones que se realizan las pruebas, para una mejor visualización del proceso, se grafican los gradientes de temperatura (figura 5) que son medidas en forma continua durante la prueba

**FIGURA 5: TEMPERATURAS DE PRUEBAS REALIZADAS EN DIFERENTES CONDICIONES.**



**Elaborado por:** Grupo de Investigación.

## Análisis.

Una vez obtenido todos los parámetros y realizado el cálculo de la eficiencia energética para cada una de las pruebas establecidas, se analizan los resultados obtenidos, en los cuales se puede observar que la mejor eficiencia del sistema de calentamiento por inducción se lo obtiene en la prueba 4, donde se trabaja con los niveles de energía de la cocina comercial con 962 500 J, y con el recubrimiento de lana de vidrio que permitió aumentar la resistencia de transferencia de calor por inducción al medio ambiente.

**TABLA 1:** ANÁLISIS DE COSTO MENSUAL

	POTENCIA [W]	CAPACIDAD [lit/min]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	EFICIENCIA [%]	COSTO MENSUAL \$ USD
GAS	14300	10 - 12	1 - 1,2	30 -36	74	24
ELÉCTRICO	10000	8	1 - 1,2	30 -36	75	30

**Elaborado por:** Grupo de Investigación

La prueba realizada con la ducha eléctrica llega a obtener una temperatura del agua más alta pero su energía consumida tiene un alto valor, por lo cual su eficiencia es inferior a la de la prueba 4, donde se nota que la utilización de la lana de vidrio ayuda a conservar el calor disminuyendo las pérdidas al medio ambiente, además deja claro que el sistema de calentamiento por inducción es más eficiente que el sistema eléctrico.

## Conclusiones.

- Se utiliza acero AISI 430 para diseñar el sistema de calentamiento por inducción ya que su coeficiente de conductividad térmica 21 Kcal/m°C siendo el índice de conductividad más alto que se tiene en los aceros inoxidables, de esta manera se puede transmitir el calor en el menor tiempo posible y por sus características ferromagnéticas lo hace el idóneo para ser utilizado en este proyecto.
- La eficiencia del sistema de calentamiento por inducción mejora notablemente al ser recubierto por lana de vidrio, lo cual evita la disipación de calor al medio ambiente permitiendo que exista una mayor transferencia de calor al agua que circula por el sistema.
- La potencia nominal del sistema de inducción es de 2.5kW y durante la prueba que demora entre 6 min y 7 min se consume una energía de 920 000 J lo cual es



aprovechado en un 72,77% por el calefón prototipo, pero al memorar las perdidas por transferencia de calor se tiene un rendimiento del 82.59%, lo que da a conocer que es más eficiente utilizar un calefón a inducción.

## Referencias bibliográficas.

### LIBROS

- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Ecuador.
- Donate, A. (1999). Principios de Electricidad y Electrónica II. Barcelona: Marcombo S.A.
- García, F. G.-O. (1996). ley de Faraday. En *ELEMENTOS DE ELECTROMAGNETISMO CLASICO* (págs. 249-251). Madrid: UPCO.
- German Santamaría, A. C. (2009). En *Electrotecnia* (págs. 30-31). Andalucía- España: editex.
- Gibilisco, S. a. (1994). *Electrónica: diccionario enciclopédico. Tomo 2*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Michael J. Morán, H. N. (2004). Fundamentos de Termodinámica Técnica. Barcelona: Reverté.
- Toro, V. d. (1988). *Fundamentos de Ingeniería Eléctrica*. México D.F.: Prentice Hall.
- Torre, R. D. (2008). *Probabilidad y estadística para ciencias y energía*. Barcelona: DELTA.
- UKER. (2015). Recuperado el 30 de 01 de 2016, de [www.uker.com](http://www.uker.com)
- Mosca, T. (2003). En *Física para la Ciencia y la Tecnología* (pág. 809). New York: Reverte.

### LINKOGRAFÍA

- *Aperam Stainless Europ*. (2011). Recuperado el 26 de 11 de 2015, de <http://www.aperan.com>
- *BONNET*. (2013). Recuperado el 26 de 11 de 2015, de <http://www.bonnet.es>
- Botero, I. F. (2014). Hornos de Inducción. *Meltalactual*, 27.
- Dahake, D. G. (2009). *Bobinas de trabajo de calentamiento por inducción*. (AMBRELL) Recuperado el 22 de 10 de 2015, de <http://www.ambrell.com/PDFo/411-0168-16.pdf>
- *Definición*. (2006). Recuperado el 14 de 01 de 2016, de [www.definicion.de](http://www.definicion.de)

- González, I. G. (10 de 2005). *emmafiorentino*. Obtenido de <http://www.emmafiorentino.com.ar/VIII%20SEMINARIO/APLICACIONES.PDF>
- Escribano, J. C. (Octubre 2008). Manual de Energía Solar Térmica. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Cuarta Edición*. 119
- Fluke. (1996-2016). Recuperado el 25 de 01 de 2016, de <http://www.fluke.com/fluke/eses/medidores-de-calidad-de-la-energia-electrica/registradores-de-calidad-electrica/fluke-1735.htm?pid=56028>
- González, P. D. (14 de 04 de 2010). *Apoyo para la preparación de los estudios de Ingeniería y Arquitectura*. (Universidad Politécnica de Madrid) Obtenido de [http://ocw.upm.es/apoyo-para-la-preparacion-de-los-estudios-de-ingenieria-y-arquitectura/fisica-preparacion-para-la-universidad/contenidos/electromagnetismo/unidad\\_21\\_induccion\\_em.pdf](http://ocw.upm.es/apoyo-para-la-preparacion-de-los-estudios-de-ingenieria-y-arquitectura/fisica-preparacion-para-la-universidad/contenidos/electromagnetismo/unidad_21_induccion_em.pdf)
- González, W. A.-B. (Marzo de 2013). *SciELO*. (Universidad, Ciencia y Tecnología) Obtenido de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212013000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212013000100004&script=sci_arttext)
- Gracia-Hevia, J. R. (2007). En *Conceptos de Electromagnetismo* (pág. 151). Servicios Publicitarios-Universidad de Oviedo.
- INDURAMA. (2014). Recuperado el 18 de 11 de 2015, de <http://www.indurama.com>
- INEC. (Junio de 2012). (ENEMDU) Recuperado el 26 de Noviembre de 2015, de [www.inec.es](http://www.inec.es)
- INEN. (2010). Obtenido de [www.inen.com](http://www.inen.com)
- Luis F. Quevedo, F. A. (2014). Initial Results from a Prototype Corresponding to an Induction Water Heater. *IEEE*, 1-2.
- Meléndez Aguilera, E. A. (2007). *Análisis comparativo energético y ambiental, en calefones de uso doméstico que operan con gas licuado de petróleo y gas natural*. Chile: B - Universidad de Santiago de Chile.
- *Ministerio de Energía (División de Eficiencias energéticas)*. (2014). Recuperado el 30 de 01 de 2016, de [http://formularios.minenergia.cl/cpeee/archivos\\_bajar/lena.pdf](http://formularios.minenergia.cl/cpeee/archivos_bajar/lena.pdf)
- MIPRO. (16 de 04 de 2014). *MIPRO*. Recuperado el 09 de 01 de 2016, de <http://www.industrias.gob.ec/>
- SODIMAC. (2015). Recuperado el 30 de 01 de 2016, de [http://www.sodimac.cl/static/site/guiasdeCompra/150520\\_calefaccion/calefon.html](http://www.sodimac.cl/static/site/guiasdeCompra/150520_calefaccion/calefon.html)
- David Valencia, L. G. (04 de 08 de 2014). Resultados iniciales de un prototipo de calefón de inducción. *UPS-CUENCA*.

- Ríos Villacorta, A. (06 de 2015). *SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AGUA POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA EL USO DOMÉSTICO*. Obtenido de UTA: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/13071>



**Para citar el artículo indexado.**

Silva F., Freire W., Cevallos A., Sinchiguano G., Rivera A. & Flores L (2018). Análisis de la utilización de un calefón a inducción electromagnética para proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(1), 189-199. Recuperado desde:  
<http://www.cienciadigital.org/revistascienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/13/13>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

