

Tipo de artículo: Artículo original

Prototipo de calentador de agua utilizando las potencialidades de las corrientes de Foucault

Water heater prototype using the potentialities of eddy currents currents

Moreano Martínez Edwin Homero^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-2362-2761>

Maldonado Chávez Carlos Rodolfo²  <https://orcid.org/0000-0002-2765-7358>

Espinel Cepeda Carlos Alfredo³  <https://orcid.org/0000-0002-1227-2906>

García Meythaler Nicolás Augusto⁴  <https://orcid.org/0000-0003-0543-6391>

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

² Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

³ Empresa Eléctrica Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

⁴ Empresa Eléctrica Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

* Autor para correspondencia: edwin.moreano@utc.edu.ec

Resumen

En la presente investigación se describe el diseño de un calentador de agua para uso doméstico, diferente a los calentadores convencionales que se ofertan en el mercado. El núcleo de la investigación se sustenta en el uso de imanes de neodimio como generadores de campo magnético. El campo magnético generado permite utilizar las corrientes de Foucault o corrientes parásitas, que generan el calor necesario para la transferencia de calor entre el recipiente contenedor y el agua. Se determinó al aluminio como el material con mejores características técnicas para la transferencia de calor. Se utiliza una rueda de aluminio de una pulgada de espesor, la que consta de imanes de neodimio de grado N45 que tienen un nivel de atracción muy alto y a la vez generan un alto campo magnético entre sus polos, alternando su polaridad uno a continuación de otro. Al configurarlos de manera circular en la rueda y multiplicando la velocidad de giro, se consiguió calentar la superficie del contenedor de aluminio, que en un minuto bordea los cien grados centígrados.

Palabras clave: Prototipo, transferencia de calor, temperatura.

Abstract

This research describes the design of a water heater for domestic use, different from the conventional heaters that are offered in the market. The core of the research is based on the use of neodymium magnets as magnetic field generators. The generated magnetic field makes it possible to use eddy currents or eddy currents, which generate the heat necessary for the transfer of heat between the container and the water. Aluminum was determined as the material with the best technical characteristics for heat transfer. A one-inch thick aluminum wheel is used, which consists of N45 grade neodymium magnets that have a very high level of attraction and at the same time generate a high magnetic field between their poles, alternating their polarity one after the other. . By configuring them in a circular way on the wheel and multiplying the turning speed, it was possible to heat the surface of the aluminum container, which in one minute is around one hundred degrees centigrade.

Keywords: Prototype, heat transfer, temperature.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Recibido: 18/02/2021
Aceptado: 03/07/2021

Introducción

Con el desarrollo de la sociedad actual, aumenta también el consumo de energía eléctrica. La energía que se obtiene del carbón, del petróleo y del gas, que son las de mayor consumo entre la población, no se renuevan y se van agotando año tras año. El consumo doméstico tiene gran impacto energético en la actualidad. Procesos como el calentamiento de agua en el sector residencias, utilizando dispositivos como calefones o duchas eléctricas, generan un alto consumo de energía eléctrica; y en el caso específico de los calefones a gas, estos producen un elevado nivel de contaminación durante el proceso de combustión el GLP (Gas licuado de petróleo) al ambiente.

Las duchas eléctricas son un dispositivo que poseen resistencias internas para regular la temperatura del agua en el nivel deseado. Estas duchas operan a un voltaje de 110 VAC a 130 VAC con rangos de consumo entre los 4200 Watts a 5000 Watts, lo que ocasiona un elevado gasto debido a que son utilizadas a diario por un tiempo prolongado (Redondo, 2015). Actualmente un alto por ciento del agua para uso doméstico es calentado mediante combustibles fósiles.

En el Ecuador, se han propuestos planes estratégicos para que las familias ecuatorianas adopten una mejor opción para el calentamiento de agua que no sea la utilización de la energía eléctrica. Los modos de actuación en el sector residencial e industrial elevan los costos por concepto de consumo eléctrico además del impacto que genera el consumo de combustibles fósiles al medio ambiente (Puig Ventosa et al., 2018), (Ventosa et al., 2018).

La creciente y excesiva dependencia energética exterior de Ecuador y la necesidad de preservar el medioambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan al fomento de fórmulas eficaces para un uso eficiente de la energía y la utilización de fuentes limpias. Las energías renovables, más que fuentes energéticas autóctonas e inagotables, permiten reducir la dependencia energética exterior contribuyendo a asegurar el suministro futuro.

Teniendo en consideración lo anterior, la presente investigación propone el diseño de un equipo que pueda solucionar este problema contribuyendo al ahorro de energía eléctrica en los hogares ecuatorianos. La propuesta basa su funcionamiento mediante energía renovable que impacte en la disminución de costos del servicio eléctrico. Como núcleo de la investigación se utiliza el magnetismo generado al momento de circular los imanes de neodimio de grado N45, en la rueda acoplada al motor. Con este diseño se logra elevar la temperatura de un recipiente contenedor y por medio de transferencia de calor esta se transfiere al líquido que circula internamente, el cual redistribuirá el calor por



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

el cilindro, permitiendo que el agua aumente su temperatura. La propuesta presentada obtiene un prototipo que no emite gases que afecten a la capa de ozono.

Materiales y métodos

En este trabajo se utiliza el mismo concepto de las corrientes de Foucault para tener una equivalente mecánica de este fenómeno, es decir, que se aprovecha el campo magnético de los imanes de neodimio para representar la intensidad del campo magnético de una bobina, y al hacerlos girar a una velocidad relativamente alta, se produce el mismo efecto que en el calentamiento por inducción (Pérez et al., 2019), (Pérez et al., 2019). “Cuanto más grande sea la frecuencia de las corrientes en un conductor, más se concentrarán estas en su superficie”. Esto es consecuencia del efecto de difusión del campo magnético y se puede decir que es la noción fundamental que rige el calentamiento por inducción.

Existe una estrecha relación entre la frecuencia de operación de la corriente que genera el campo magnético y la profundidad de penetración sobre la pieza o material. La corriente inducida que fluye sobre la pieza es más intensa en la superficie y decae rápidamente bajo ella, por esto, el exterior se calienta más rápido que el interior (Jaimes, 2009), (Grande, 2006). El 80% del calor producido en la pieza se concentra en la parte exterior.

El dispositivo posee una rueda con imanes que al girar con una velocidad alta genera las llamadas corrientes parásitas que calientan al recipiente contenedor.

Los aspectos más importantes en el proceso del calentamiento por medio de magnetismo son:

- La Frecuencia del campo magnético
- La naturaleza del material a calentar y su estado
- La intensidad del campo magnético
- El acoplamiento entre los imanes y la pieza a calentar
- El tipo de imanes y sus características geométricas y técnicas

Es así como se diseñó la rueda de imanes, con el fin de tener tres filas de imanes en una rueda, disponiendo de 22 imanes en la fila exterior, 16 imanes en la fila del medio y 10 imanes en la fila que está más cerca del centro de la rueda (Figura 1).



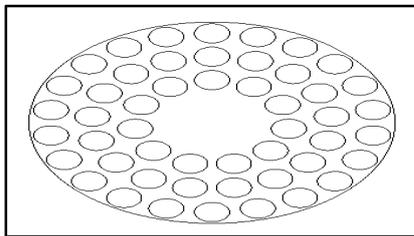


Figura 1: Distribución de los imanes.

Fuente: Investigadores.

La rueda de imanes es construida en aluminio, un material paramagnético de 3 centímetros de alto y 12 centímetros de diámetro en la que van montados en su cara superior de manera radial los 50 imanes de grado N45 con un radio de 12 milímetros y 6 milímetros de espesor alternados en sentido de sus polos tanto en sentido norte como en sentido sur.

El número de imanes en cada una de las filas es par, con el fin de poder tener una distribución ordenada al momento de alternar los campos magnéticos en sentido norte y sur, como se puede observar en la Figura 2.

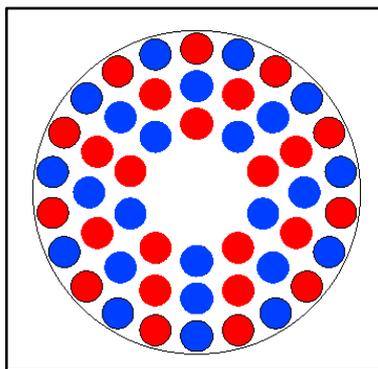


Figura 2: Distribución de imanes alternados polo norte y sur.

Fuente: Investigadores.

La selección del aluminio como material para fabricar la rueda, permite aprovechar la distribución de los campos magnéticos que tiende a concentrarse más cerca a los imanes, y así disminuir su profundidad de penetración (Figura 3).



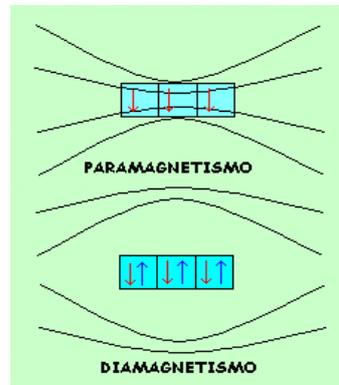


Figura 3: Comportamiento de las líneas de campo magnético en los materiales paramagnéticos y diamagnéticos

La frecuencia se denomina como un suceso o fenómeno repetido por un segundo. Las bobinas de cobre en mecanismos de inducción, crean un campo magnético fluctuante que cambia constantemente de dirección como se puede observar en la Figura 4.

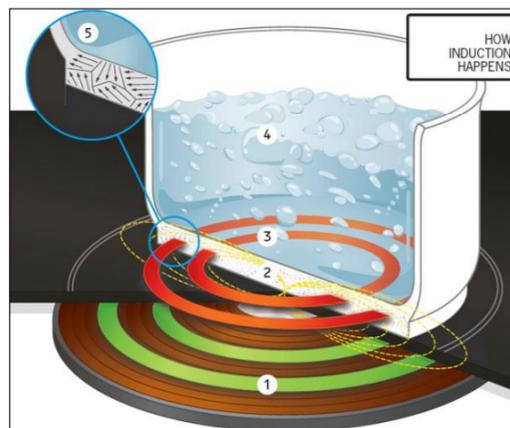


Figura 4: Funcionamiento de la inducción.

La figura 4 muestra cómo cada uno de los cambios del campo magnético representa un ciclo, y en un segundo el campo magnético cambia de sentido 24000 veces. Valorando este principio, se utiliza el mismo concepto y se considera que cada uno de los imanes representa un ciclo, y si la rueda de aluminio tiene una velocidad angular de 86 RPS se entiende que en la primera fila se cuenta con 22 imanes lo que representa 22 ciclos, multiplicados por las 86 veces por segundo que estos 22 imanes giran, se tiene:

$$f_{\text{primera fila}} = 1892 \text{ ciclos por segundo} \quad (1)$$



Lo que se interpreta como 1.892 KHz.

Y así con las otras dos filas de imanes:

$$f_{segunda\ fila} = 16 * 86RPS \quad (2)$$

$$f_{segunda\ fila} = 1376\text{ ciclos por segundo}$$

Lo que se interpreta como 1.376 KHz.

$$f_{tercera\ fila} = 10 * 86RPS \quad (3)$$

$$f_{segunda\ fila} = 860\text{ ciclos por segundo}$$

Lo que se interpreta como 0.860 KHz.

Entonces, se puede decir que la rueda de imanes tiene una frecuencia promedio de:

$$f_{promedio} = \frac{1892 + 1376 + 860}{3} \quad (4)$$

$$f_{promedio} = 1376\text{ ciclos por segundo}$$

$$f_{promedio} = 1.376\text{ KHz}$$

Se debe calcular además, la penetrabilidad de dos materiales que en la experimentación demostraron ser los idóneos para la realización del prototipo usando la ecuación 5 (Pernas Sánchez, 2013). Se intentó usar acero inoxidable 304, que es un material que no presenta atracción magnética y no hubiera frenado al giro del motor, ya que si se usa materiales magnéticos, estos hacen parar por completo al motor, por lo que se consideró como un posible material para usarse en el proyecto, pero se evidenció que no era un buen conductor térmico, y no llegaba a la temperatura deseada, a continuación la penetrabilidad de cada material.

$$\delta_{mm} = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \mu_o \cdot \sigma}} \quad (5)$$

COBRE:

$$\delta_{mm} = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot (1376)(4 * \pi 10^{-7})(1)(5.96 * 10^7)}} \quad (6)$$

$$\delta_{mm} = 1.757\text{ mm}$$

ALUMINIO



$$\delta_{mm} = \frac{1}{\sqrt{\pi(1376)(4 * \pi 10^{-7})(1)(3.78 * 10^7)}} \quad (7)$$
$$\delta_{mm} = 2.206 \text{ mm}$$

Se determinó el aluminio como el mejor material, por su bajo costo y su penetrabilidad magnética. Con las corrientes de Foucault anteriormente mencionadas se pudo comprobar que la diferencia en penetrabilidad del aluminio con el cobre, es aproximadamente un milímetro, por lo que se construyó el recipiente de este último material, en un espesor de 3 milímetros, con una medida de 13 centímetros de diámetro y una altura de 7 centímetros para que pueda acumular el líquido, transferido por lapsos de tiempos mínimos con la finalidad de tener un flujo semi constante de agua.

El recipiente consta de 2 tuberías, una de entrada por la que ingresa el agua y una de salida por la que el agua se direcciona hacia un recipiente térmico que nos sirve como colector, en cada una de ellas se han colocado unas electroválvulas (Figura 6), las mismas que son las generadoras del flujo interno de agua de acuerdo a los tiempos determinados.

En este recipiente se colocó un manómetro de presión, con el fin de controlar y obtener datos reales de la presión que se acumula en su interior, dando como resultado que la presión en este recipiente no tiene un índice significativo que pueda afectar a su rendimiento. Para poder concentrar óptimamente el calor, el recipiente es pintado de color negro mate como se indica en la figura 5.



Figura 5. Recipiente contenedor de aluminio.

Fuente: Investigadores



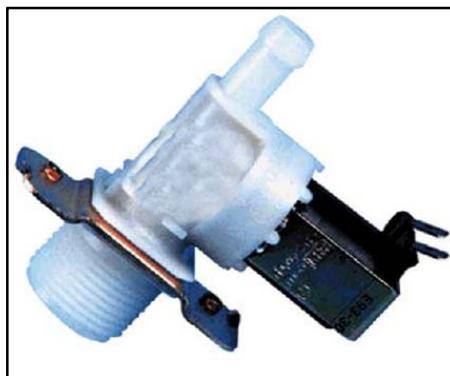


Figura 6: Electroválvula.

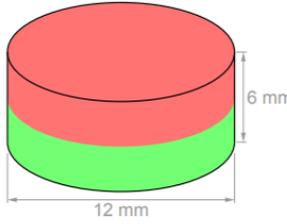
Fuente: Investigadores

Intensidad de campo magnético

Para poder determinar la energía que se transfiere en el proceso del calentamiento por magnetismo, es necesario calcular la intensidad de campo magnético que cada uno de los imanes genera.

El campo magnético (B) de los imanes que se utilizan en la investigación, cuenta con las siguientes características técnicas del fabricante (Figura 7).

Cód. artículo	S-12-06-N
Material	NdFeB
Forma	Disco
Diámetro	12 mm
Alto	6 mm
Tolerancia	+/- 0,1 mm
Sentido de magnetización	axial (paralelo al alto)
Revestimiento	niquelado (Ni-Cu-Ni)
Tipo de fabricación	sinterizado
Magnetización	N45
fza. sujec.	aprox. 3,9 kg (aprox. 38,2 N)
Temperatura de servicio máx.	80°C
Peso	5,1572 g
Temperatura de Curie	310 °C
Remanencia Br	13200-13700 G, 1.32-1.37 T
Coercitividad bHc	10.8-12.5 kOe, 860-995 kA/m
Coercitividad iHc	≥12 kOe, ≥955 kA/m
Producto energético (BxH)max	43-45 MGOe, 342-358 kJ/m³

A diagram of a cylindrical magnet. The top half is colored red and the bottom half is colored green. Dimension lines indicate a diameter of 12 mm and a height of 6 mm.

Sin sustancias nocivas conforme a la directiva RoHS 2011/65/UE.

Figura 7: Datos técnicos de los imanes.

Fuente:(Supermagnete, 2015)

Se observa que la Remanencia Br de los imanes es de 13200-13700 G (Gauss) o 1.32-1.37 T (Teslas)

Es decir que su campo magnético puede ser representado tanto en gauss como en teslas.

Para la investigación, se toma como referencia para el valor de B el valor intermedio entre los intervalos de 1.32-1.37 T que es: 1.324 y se utiliza en la Ecuación 8:



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

$$H = \frac{B_0}{\mu_0} \quad (8)$$

$$H = \frac{1.324 T}{4\pi * 10^{-7} \frac{T * m}{A}}$$

$$H = 1053.605723 \frac{KA}{m}$$

Energía transferida

Se utiliza la ecuación 9 para calcular la energía transferida por los imanes hacia el material a calentar, que es el aluminio.

$$P = \pi * d * h * H^2 * \sqrt{\pi * \rho * \mu_0 * \mu_r * f * C * F} \quad (9)$$

El diámetro del cilindro de la Ecuación se considera al diámetro de la olla de aluminio que es de 12 cm y su altura que sería el espesor de la misma, que es de 3 mm.

La resistividad del material, se toma la del aluminio: $2.82 * 10^{-8}$.

La permeabilidad relativa del material se encuentra en la tabla 4, la cual es aproximadamente 1.

La frecuencia a la que están expuestos los imanes es de 1.376 KHz.

Entonces:

$$P = \pi * 0.12 * 0.003 * (1053605.723)^2 * \sqrt{\pi * (2.82 * 10^{-8}) * (4\pi * 10^{-7}) * 1 * 1376} \quad (10)$$

1.23*10⁻⁷
1255476579

Energía calorífica

Se estipula la energía calorífica que interactuara en el prototipo, considerando una temperatura inicial de 15 °C y una final de 100 °C y las masas de los recipientes contenedores en el caso del aluminio 0,5 Kg y del agua 1Kg.

Con la ecuación 11 se determina la energía

$$Q = (c1 * m1 + c2 * m2) * \Delta T \quad (11)$$
$$Q = (0,219 * 0,5 + 1 * 1) * (100 - 15)$$
$$Q = 94,30 \text{ KcalKg}^\circ\text{C}$$

Lo que quiere decir que se necesitarán 94,30 KcalKg°C para elevar un °C de temperatura en el sistema.

Potencia necesaria



Una vez obtenido el valor de la transferencia de calor se procede a calcular la potencia que requiere el prototipo para generar los 94,30 KcalKg°C en su funcionamiento, esto lo hacemos con la ecuación 12, convirtiendo primero las calorías en Joules, y considerando el tiempo de 5 min que es el promedio de calentamiento en segundos teniendo:

$$Q = 94,30 \text{ KcalKg}^\circ\text{C} * 4,184 \quad (12)$$

$$Q = 394,55 \text{ J}$$

$$p = \frac{Q}{t}$$

$$p = \frac{394,55 \text{ J}}{300 \text{ seg}}$$

$$p = 1,31 \text{ W.s}$$

Para saber los Joules necesarios multiplicamos por 4,184 lo que nos da y considerando que joule es 1 Watts/seg se determina que la potencia necesaria será de 1,134 Watt/seg. Para poder calentar el agua en el tiempo estimado de 5 minutos.

Esto es lo que el campo magnético disipa en forma de calor, lo que desde un inicio ya muestra un grado de eficiencia, transformando a Kilovatios hora tendríamos $3,15 \times 10^{-7}$ KWh.

El motor, así como los ejes y las ruedas de imanes irán montados sobre una estructura metálica soldada con tubo cuadrado de una pulgada por lado y de espesor de 1.5 milímetros, las medidas serán:

- Alto: 70 centímetros
- Ancho: 50 centímetros
- Largo: 50 centímetros

Dispositivos electrónicos de control

El Módulo de 4 relés para Arduino tiene placas con salidas que son perfectamente útiles para controlar cargas que no consuman demasiada corriente, como un LED, pero son insuficientes para cargas mayores (Goilav & Geoffrey, 2016), (Kushner, 2011). Se trata de un módulo de 4 relés que funcionan a 5 Voltios, capaces de manejar cargas de hasta 10 Amperes en 250 Voltios, convenientemente aislados mediante opto acopladores de las entradas, las que cuentan con LEDs individuales que sirven como indicadores de estado. Los distintos componentes del módulo pueden verse en la Figura 8:



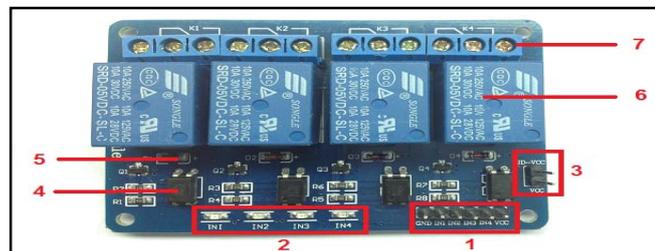


Figura 8: Relés con opto acopladores.
Fuente:(Maldonado Chávez & Nogales Gallo, 2017)

La placa tiene los siguientes elementos, numerados en la Figura 8:

1. Un conector de entradas (IN1 a IN4) y alimentación (GND es masa o negativo y Vcc es el positivo).
2. Cuatro LEDs que indican el estado de la entrada.
3. Un jumper selector para la alimentación de los relés.
4. Cuatro opto acopladores del tipo FL817C.
5. Cuatro diodos de protección.
6. Cuatro relés marca SONGLE con bobinas de 5V y contactos capaces de controlar hasta 10 Amperes en una tensión de 250V (6).
7. Cuatro borneras, con tres contactos cada una (Común, Normal abierto y Normal cerrado).

La forma más sencilla de alimentar este módulo es desde Vcc y GND de la placa Arduino, manteniendo el Jumper en su lugar, como se muestra en la Figura 6, con lo que JD-Vcc = Vcc. Esta conexión tiene dos limitaciones importantes:

- Se pierde la aislación eléctrica que brindan los opto acopladores, lo que aumenta la posibilidad de daño al Arduino si hay algún problema con las cargas de los relés.
- La corriente consumida por las bobinas de los relés debe ser provista por la placa Arduino. Cada bobina consume unos 90 mA y las cuatro juntas suman 360 mA. Si a esto le sumamos los consumos que pueden tener otras salidas, estamos muy cerca de los 500 mA que puede suministrar un puerto USB. En este caso se debería alimentar al Arduino con una fuente externa, lo que aumenta el límite de corriente a 1 A.



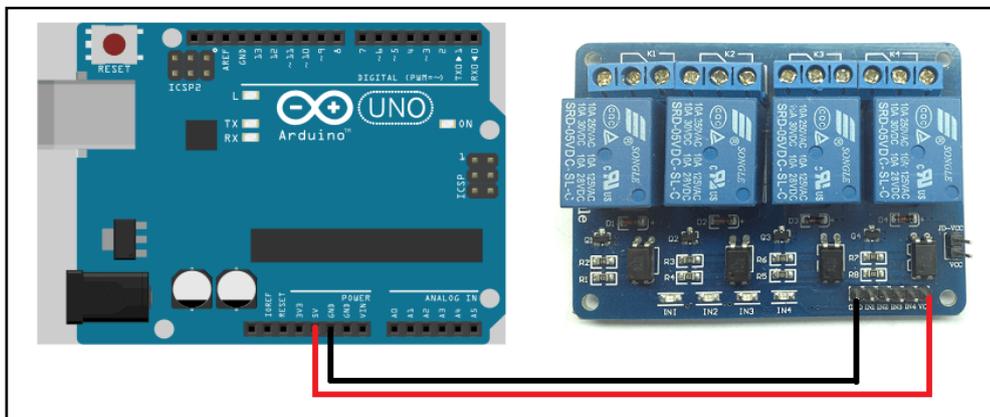


Figura 9. Conexión del módulo
Fuente:(Maldonado Chávez & Nogales Gallo, 2017)

La entrada a la placa puede conectarse directamente a las salidas digitales de la placa Arduino. Se debe tener en cuenta que cuando Arduino arranca al ser alimentado, los pines se configuran como entradas automáticamente y puede ocurrir que, por un brevísimo lapso de tiempo entre el arranque y la correcta configuración de estos pines como salidas, las entradas de control al módulo de relé queden en un estado indeterminado. Esto se puede evitar conectando en cada entrada un pull-up con una resistencia de 10K Ω a Vcc, lo que asegura un estado alto durante el arranque.



Tabla 1: Programación del dispositivo.

<pre>int nivel; int ni=8; int re1=12;//MOTOR int re2=11;//VALVULA 1 int re3=10;//VALVULA 2 int re4=9; const int s1T=A0; int s2=A0; char estado; int f=0; int mot=0; int temp; int motor=2; int val1=3; int val2=4; int ta=40; int i=0 ,j=0; int h=0;</pre>	<pre>float celsius ; void setup() { digitalWrite(re1,HIGH); digitalWrite(re2,HIGH); digitalWrite(re3,HIGH); pinMode(ni,INPUT); pinMode(re1,OUTPUT); pinMode(re2,OUTPUT); pinMode(re3,OUTPUT); pinMode(re4,OUTPUT); pinMode(motor,OUTPUT); pinMode(val1,OUTPUT); pinMode(val2,OUTPUT); Serial.begin(9600); ta=40; }</pre>	<pre>void loop() { temp=celsius; if(Serial.available()> 0) { estado=Serial.read(); } nivel=digitalRead(ni); int value = analogRead(s1T); float millivolts = (value / 1023.0) * 5000; float celsius = millivolts / 10; temp=celsius; //Serial.print("n1.val=");</pre>
--	--	--

Resultados y discusión

Probando varios materiales como el cobre, el acero inoxidable 304, y el aluminio se tiene una temperatura final de la rueda de imanes de 86,5 lo que es contraproducente para la investigación, puesto que los imanes pierden sus propiedades magnéticas a partir de los 80 grados centígrados. Con lo cual es muy importante poder controlar esta temperatura en el sistema de control electrónico, utilizando tiempos adecuados del flujo de agua para poder aprovechar al máximo la temperatura generada y acelerar el proceso y no tener al motor en un periodo largo de tiempo encendido.

Teniendo en cuenta lo anterior, se comenzó a experimentar con el contenedor que mejores condiciones ofrezca para el prototipo, de manera que se realizó las comparaciones para determinar distancias entre la rueda de imanes y el contenedor, y observando la eficiencia de la transferencia de calor.

Al estabilizar la temperatura final del recipiente y considerando el sistema de control se puede observar que la temperatura final del motor disminuyó, como se observa en la figura 10 el motor no alcanza temperaturas críticas siendo esto un logro para continuar con el prototipo.



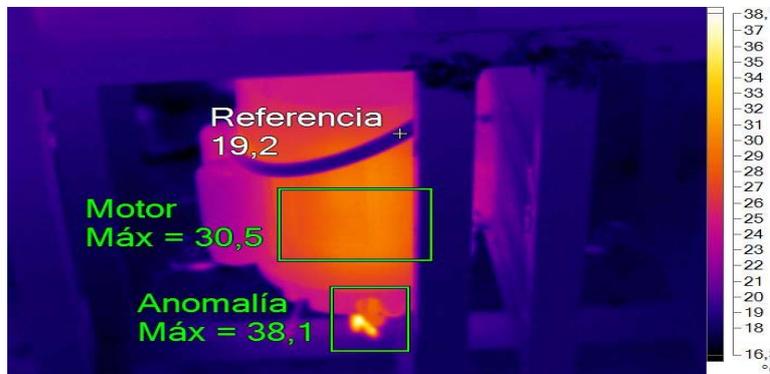


Figura 10: Imagen térmica del motor luego de 5 minutos de uso

Fuente: Investigadores

Para poder lograr la eficiencia térmica del prototipo se cuenta con el sistema acoplado que se muestra en la figura 11, el mismo que permite regular el flujo en función de la temperatura útil del agua con una llave de regulación para el sistema de liberación colocando el recipiente a una altura de 3 milímetros medidos desde la cara superior de la rueda de imanes y considerando la penetrabilidad del aluminio lograremos el calentamiento adecuado.



Figura 11. Sistema de transferencia de agua

Fuente: Investigadores

En la investigación se tuvo que considerar la densidad de los elementos que intervienen en la interacción calorífica, las que son:

- Densidad del agua: 1g/cm^3



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Densidad del Aluminio: $2,7 \text{ g/cm}^3$

La temperatura del recipiente varía en vacío y con agua, en vacío se alcanza la temperatura deseada en menor tiempo, en cambio con agua este tiempo aumenta en un porcentaje comprendido entre un 10 a un 20 por ciento. Hay que considerar que debido al efecto electromagnético se crean unas corrientes que son mínimas las que se desprenden por los soportes del recipiente, estos actúan como una conexión a tierra. El flujo de agua en cada ciudad u hogar es distinto por lo cual no se puede determinar de manera exacta, es por esto que en el recipiente final contamos con un medidor de nivel (Figura 12), el que nos determina un volumen de consumo en el tiempo dependiendo del flujo de la red principal.



Figura 12: Sensor de nivel interno.

Fuente: Investigadores

Determinación de parámetros eléctricos

Se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo del calentador de agua para determinar los parámetros eléctricos de funcionamiento para los diferentes niveles de potencia, para lo cual se utilizó un multímetro.

Pruebas de funcionamiento continuo

Otra de las pruebas que se realizaron en el prototipo fue la de temperatura máxima, en la Figura 13 se observa que el recipiente adquirió una temperatura de $262,2 \text{ }^\circ\text{C}$ en un tiempo de 3 minutos, en esta prueba el agua fue encapsulada en el recipiente de forma que el vapor de agua ocasionó deformaciones en el mismo, si el agua se encontrara en circulación el prototipo no podría llegar a esta temperatura que afectaría al mismo debido que el agua actúa como refrigerante del sistema.



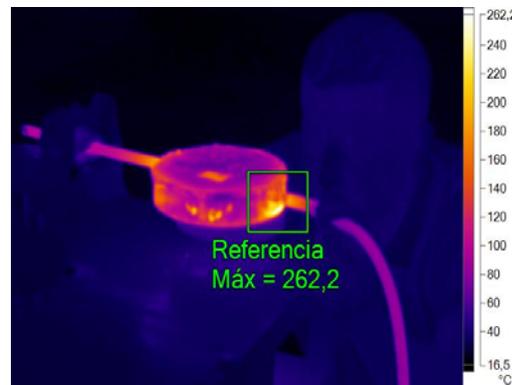


Figura 13: Temperatura más alta en 3 minutos

Fuente: Investigadores

Conclusiones

Al realizar diferentes pruebas al prototipo se puede concluir que este cumple con los principales parámetros de diseño como: eficiencia térmica, control de caudal de agua, que puede calentar materiales exclusivamente diamagnéticos y paramagnéticos (cobre, aluminio).

A pesar que las pruebas realizadas en el prototipo se hicieron de manera continua y se pudo adecuar todos los inconvenientes en su funcionamiento, se recomienda el diseño del mueble y la ubicación de los elementos de transmisión de potencia de manera que menor en el consumo eléctrico y evitar daños en estos elementos por sobre temperatura.

Con el propósito de que este prototipo pueda construirse en el país, se recomienda que la mayor parte de los elementos sean los más económicos posible, sin descuidar la calidad de los mismos, esto implica que el país pueda producir los mismos en serie. De manera que se promueva la industria principalmente de lo que respecta a la parte electrónica que es un campo poco explotado. Se recomienda realizar un estudio en el cual se determine el número de calentadores necesarios por familia, también si se requiere o no cambiar las instalaciones de las residencias, además si los dimensionamientos de los transformadores en la red eléctrica son adecuados cuando los calentadores estén en funcionamiento simultáneamente.

Conflictos de intereses

Los autores de la presente contribución declaran que no poseen conflicto de intereses.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Moreano Martínez Edwin Homero.
2. Curación de datos: Garcia Meythaler Nicolas Augusto.
3. Análisis formal: Espinel Cepeda Carlos Alfredo.
4. Investigación: Moreano Martínez Edwin Homero, Maldonado Chávez Carlos Rodolfo
5. Metodología: Garcia Meythaler Nicolas Augusto.
6. Software: Maldonado Chávez Carlos Rodolfo.
7. Supervisión: Moreano Martínez Edwin Homero.
8. Validación: Maldonado Chávez Carlos Rodolfo.
9. Visualización: Espinel Cepeda Carlos Alfredo, Garcia Meythaler Nicolas Augusto.
10. Redacción – borrador original: Moreano Martínez Edwin Homero, Maldonado Chávez Carlos Rodolfo, Espinel Cepeda Carlos Alfredo, Garcia Meythaler Nicolas Augusto.
11. Redacción – revisión y edición: Moreano Martínez Edwin Homero, Maldonado Chávez Carlos Rodolfo, Espinel Cepeda Carlos Alfredo, Garcia Meythaler Nicolas Augusto.

Financiamiento

La investigación ha sido financiada por los autores.

Referencias

- Goilav, N., & Geoffrey, L. (2016). *Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Ediciones ENI.
- Grande, A. H. (2006). Entre los milagros del agua imanada y el terror al campo magnético: la fascinación del magnetismo. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 100(1), 135-140.
http://webjam-upload.s3.amazonaws.com/facinacion_del_magnetismo_77d20f4a717f44018502613cd3e65400_228_.pdf
- Jaimes, A. A. A. (2009). El flujo de dispersión magnético como herramienta de análisis para detección de fallas en motores de inducción mediante técnicas de análisis espectral. *Revista GTI*, 8(20), 47-54.
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/download/772/1078>



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Kushner, D. (2011). The making of arduino. *IEEE spectrum*, 26. <http://web.eecs.umich.edu/~prabal/teaching/resources/eecs582/kushner11arduino.pdf>
- Maldonado Chávez, C. R., & Nogales Gallo, N. A. (2017). *Diseño de un sistema de transferencia de energía para el calentamiento de agua por medio de inducción* Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi; Unidad Académica de Ciencias de ...]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4371/1/PI-000573.pdf>
- Pérez, J. H., de los Santos, J. S., & Cruz, R. F. (2019). Estudio empírico de las corrientes de Foucault, combinando un campo magnético con el campo gravitatorio. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(3), 4. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7553947.pdf>
- Pernas Sánchez, J. (2013). Análisis y simulación de impactos de hielo sobre laminados carbono/epoxi. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17228/tesis_jesus_pernas_sanchez_2013.pdf?sequence=1
- Puig Ventosa, I., Martínez Sojos, A., Vicuña del Pozo, Z., Córdova Vela, G., & Álvarez Rivera, P. (2018). Subsidios a los combustibles fósiles en Ecuador: diagnosis y opciones para su progresiva reducción. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 28, 0087-0106. https://ddd.uab.cat/pub/revibec/revibec_a2018v28/revibec_a2018v28p87.pdf
- Redondo, R. B. (2015). Gasto energético en reposo. Métodos de evaluación y aplicaciones. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 21(Supl 1), 243-251. <https://anthropometrica.mx/wp-content/uploads/2020/12/RENC2015supl1GER2.pdf>
- Supermagnete. (2015). Supermagnete. Retrieved Junio, from <https://www.supermagnete.es/ger/magnetismus>
- Ventosa, I. P., Sojos, A. M., del Pozo, Z. V., Vela, G. C., & Rivera, P. Á. (2018). Subsidios a los combustibles fósiles en Ecuador: diagnosis y opciones para su progresiva reducción. *REVIBEC-REVISTA IBEROAMERICANA DE ECONOMÍA ECOLÓGICA*, 87-106. <https://redibec.org/ojs/index.php/revibec/article/download/23/51>

