

Implementación de un Sistema Prototipo de Calentamiento Eficiente de Agua Potable por Inducción Electromagnética

Implementation of a Prototype System for Efficient Heating of Drinking Water using Electromagnetic Induction

¹Santiago Rojas, ²Cristian Castro, ³Jorge Paucar, ⁴Miguel Tasambay

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060150, Riobamba, Ecuador

Emails: ¹santyrojas81194@gmail.com, ²kristfa86@gmail.com, ³jpaucar@epoch.edu.ec, ⁴miguel.tasambay@epoch.edu.ec

Resumen- Se implementó un sistema eficiente para el calentamiento de agua potable utilizando el principio de inducción electromagnética. El proyecto consta de dos etapas un sistema de calentamiento y un control de temperatura del tipo ON-OFF. El circuito de inducción electromagnética calienta una tubería de acero y esta a su vez transfiere el calor a un pequeño caudal de agua almacenado en un contenedor, un selector permite al usuario escoger la temperatura deseada, un sensor de caudal permite determinar el flujo existente en la tubería, dos electro-válvulas colocadas a la entrada y salida controlan la circulación del agua al exterior si solo si llegó a la temperatura seleccionada evitando su desperdicio innecesario. Considerando las pruebas realizadas el sistema posee una eficiencia superior al 80% y al contrastarlo con un sistema convencional basado en resistencias genera un ahorro energético y monetario de un 35%.

Palabras Clave- Energías Alternativas, Inducción Electromagnética, control de temperatura, eficiencia energética, Electrónica de Potencia, Calentador, Conmutación, Potencia.

Abstract- An efficient system for heating drinking water using the principle of electromagnetic induction was implemented. The project consists of two stages: the heating system and a temperature control of the ON-OFF type. The electromagnetic induction circuit heats a steel pipe and this in turn transfers the heat to a small flow of water stored in a container, a selector allows the user to choose the desired temperature, a flow sensor that informs the existing flow, two electro valves placed at the entrance and exit control the circulation of water to the outside only if it reached the selected temperature avoiding unnecessary waste. Considering the tests carried out, the system has an efficiency superior to 80 % and when contrasted with a conventional system based on resistances, it generates an energy and monetary saving of 35 %.

Keywords- Alternative Energies, Electromagnetic induction, temperature control, energy efficiency, power electronic, heating, switching, power.

I. INTRODUCCIÓN

Según la fundación AQUAE [1] un sistema de calentamiento eléctrico consume 20 litros de agua por minuto, el impacto ambiental que una persona ocasiona, al tomar una ducha estándar, es el consumo de 200 litros de agua. Tomado en cuenta las estadísticas proporcionadas por el INEC [2], la ciudad de Riobamba tiene 31254 viviendas, de las cuales el 81.4% son abastecidas por la red pública de agua potable y el 72% utilizan sistemas de calentamiento eléctrico; si el tiempo muerto en el cual el agua llega a la temperatura deseada oscila entre 15 y 20 segundos se visualiza un problema de desperdicio de agua de 10 litros de agua por cada persona que realice esta actividad. Esta investigación se enfoca a resolver dos problemas el primero la reducción de desperdicio de agua generado por los tiempos muertos del proceso de calentamiento de agua y el segundo incrementar la eficacia energética de un sistema de calentamiento.

A. Sistema de Calentamiento

En la actualidad, los sistemas de calentamiento de agua potable utilizan diversas tecnologías y métodos que brinden rapidez y bajo consumo de energía proveniente principalmente de GLP [3], energía eléctrica y energía solar.

1) Calentadores instantáneos: El proceso y los datos obtenidos en el desarrollo de un prototipo eficiente de calentamiento de agua por inducción electromagnética aplicando un convertidor resonante cuya conmutación es ZVS (Conmutación con Voltaje Cero) lo cual evita pérdidas de potencia por conmutación ya que realiza el intercambio cuando no existe voltaje del Mosfet contrario [2]. Al igual se observa el diseño de un control de temperatura encargado de establecer un valor seleccionado por el usuario y permitir el flujo de salida solo cuando el sistema haya alcanzado dicha temperatura, aquí se encuentran los sistemas capaces de calentar el agua a la temperatura deseada al momento requerido, por lo general poseen mecanismo que enciende el sistema cuando existe circulación de agua por sus tuberías. Además, estos sistemas no cuentan con tanques de almacenamiento. Los sistemas más destacados en este grupo son: calefactores a GLP, calefactores eléctricos, duchas eléctricas.

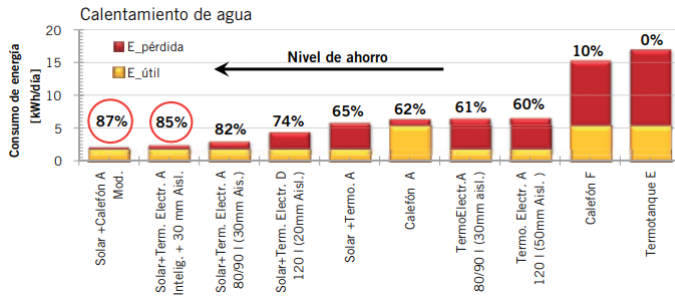


Fig. 1. Eficiencia de sistemas convencionales

2) **Calentadores acumuladores:** En este grupo se encuentran los sistemas de calentamiento progresivo del agua, mientras la acumulan en tanques de almacenamiento, dichos sistemas dependen principalmente de la cantidad de agua y de la temperatura deseada. Los sistemas más comúnmente utilizados son: termo tanques a GLP, termo tanques eléctricos, sistemas de calentamiento solar.

B. Eficiencia de los sistemas convencionales de calentamiento

En la figura 1 la eficiencia mostrada por los sistemas convencionales no supera el 80 %, considerando los más eficientes aquellos que operan con energía solar; esto hace con los sistemas eléctricos de calentamiento, ya sea acumuladores o instantáneos, obtienen una eficiencia no superior al 62 %.

C. Inducción electromagnética

El principio básico de calentamiento basado en inducción electromagnética se modela con el uso de las leyes de Ampere, Faraday y el Efecto Joule. Para conseguir el aumento de temperatura en un material, se necesita generar un campo magnético con una magnitud considerable y variable en el tiempo. Luego, se define el material a calentar capaz de aprovechar el efecto de disipación de potencia producido por las corrientes inducidas o Foucault. [4]

Al circular una corriente i , por un inductor de N espiras y longitud l , se induce en su interior una intensidad de campo magnético H descrita en la ecuación 1.

$$Ni = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} \approx Hl \tag{1}$$

Si en el interior del solenoide se encuentra una pieza de material conductor la cual por simplificación se asume un cilindro r ; longitud l , resistividad y permeabilidad magnética, se induce una fuerza electromotriz FEM que se modela mediante la ecuación 2. [5]

$$fem = -N \frac{d\phi}{dt} \tag{2}$$

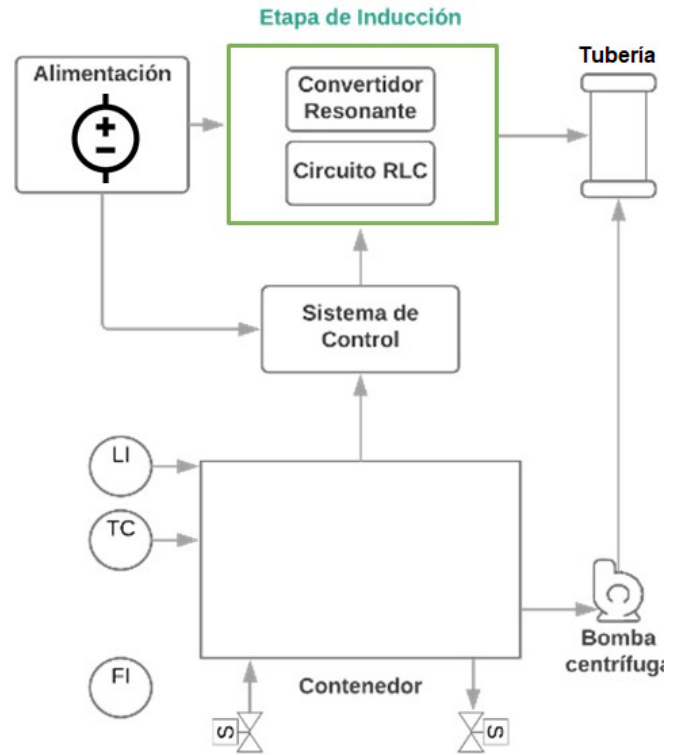


Fig. 2. Eficiencia de sistemas convencionales

La FEM produce corrientes I_f , llamadas corrientes de Foucault que son los responsables del aumento de temperatura, debido a la disipación de potencia, la cual en ocasiones puede fundir un material. La ecuación representa el efecto Joule [6].

$$P = i_F^2 R_{eq} \tag{3}$$

II. METODOLOGÍA

A. Arquitectura General

En la figura 2 se presenta la arquitectura general del sistema el cual consta de una fuente de alimentación conmutada la que energiza el sistema convertidor resonante y genera una señal que será captada por el circuito tanque resonante para finalmente encontrarse con la carga. Todo esto bajo el sistema de control que se encarga de supervisar la temperatura y dirigir la activación o desactivación de los actuadores.

B. Parámetros de Funcionamiento

Para asegurar una alta eficiencia del sistema de calentamiento es indispensable calcular la energía necesaria para calentar la pieza a temperatura suficiente de tal manera que pueda transferir el calor al agua mediante el método de transferencia por conducción. Para ello se utiliza una pieza de tubería de acero férnico AISI 430 el cual presenta buenas propiedades mecánicas y eléctricas para ser sometido a calentamiento por inducción electromagnética [7].

1) **Potencia Requerida:** Para el cálculo de la potencia requeri-

da para calentar la tubería de acero AISI 430 (ver figura 3) son necesario los siguientes datos:

- Dimensiones: 1cm * 1cm * 10cm
- Espesor: 0.06cm
- Calor específico: 0.11kcal/KgC
- Peso volumétrico del acero: 7850Kg/m²

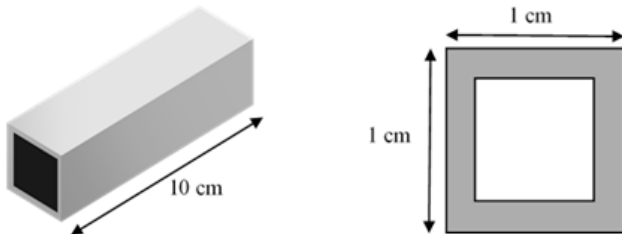


Fig. 3. Tubería sometida a inducción electromagnética

Se puede determinar que le energía calorífica necesaria para la tubería seleccionada se puede determinar en base a la ecuación 4.

$$Q = m_t C (T_f - T_i) = 0.8646 \text{ kcal} \quad (4)$$

Lo que equivale a una potencia aproximada de 1000 W.

2) Parámetros del conversor resonante: Considerando una potencia 1000W y una frecuencia de resonancia de 42 KHz se necesita una corriente de funcionamiento de $i = 20.83A$.

Considerando que el material a utilizar en este caso Acero Inoxidable AISI 430 tiene una resistividad eléctrica de 1.3797 [Ω] y una permeabilidad magnética al vacío de 1,000068 y una frecuencia de 42 KHz entonces al reemplazar estos datos en la ecuación 5 determinamos la profundidad de penetración.

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r F}} \delta = 5.76e^{-6} \text{ m} \quad (5)$$

La capacitancia de resonancia necesaria para generar esta frecuencia está determinada por la ecuación 6.

$$C = \frac{I}{2\pi f_r V_z} = 2.97 \mu F \quad (6)$$

La inductancia de la bobina resonante se determinó usando la ecuación 7.

$$L = \frac{1}{C f_r 2\pi)^2} \quad (7)$$

C. Diseño del sistema

1) Diseño del convertidor resonante: Para la implementación del sistema de inducción se eligió un convertidor resonante paralelo cuya conmutación es de voltaje cero (ZVS), como se muestra en la figura 4. Al suministrar voltaje desde la fuente, la corriente comienza a circular a través de la bobina y en el pin drain de los transistores. Simultáneamente ese voltaje aparece en los pines gate de los transistores y comienza a activarlos.

Este oscilador es de conmutación de voltaje cero (ZVS), lo que significa que los Mosfet cambian cuando tienen cero voltios a través de ellos, lo que puede ser observado en los resultados de la simulación mostrada en la figura 5.

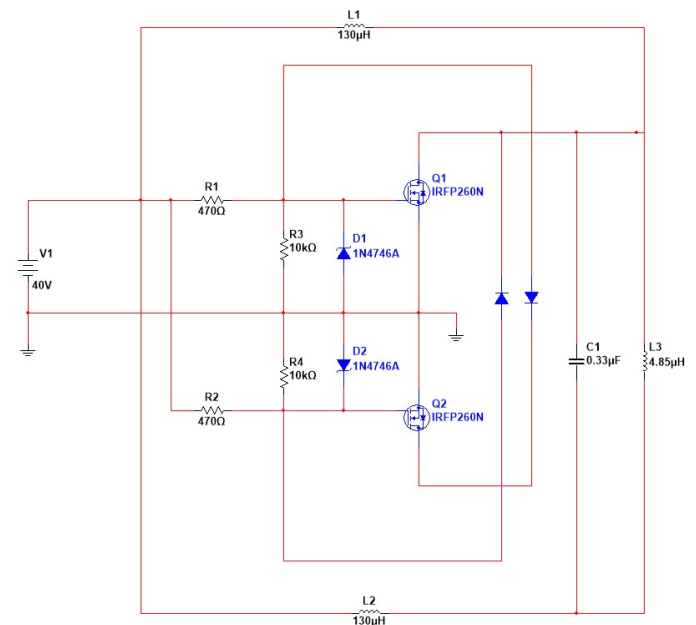


Fig. 4. Diagrama del circuito del sistema de inducción electromagnética.

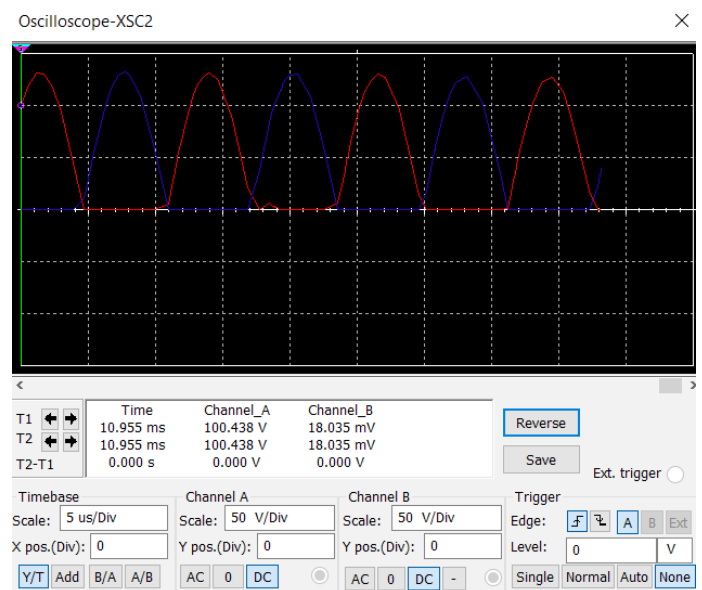


Fig. 5. Conmutación de los Mosfet al conmutar por cero.

La técnica antes detallada es una gran ventaja debido a que el cambio se producirá cuando existe menos energía, lo que en su mayoría elimina pérdidas originadas por la conmutación de los semiconductores, recordemos que, cuanto mayor sea la

frecuencia a la cual trabaja el sistema, mayores pérdidas por conmutación se originan y desprenden grandes cantidades de calor. L1 y L2 se coloca en serie con la fuente de alimentación funcionando como un estrangulador para mitigar los picos de corriente.

Tanto R1 y R2 limitan la corriente que ingresan en las compuertas para evitar daños por sobre corriente en los transistores. Las resistencias R3 y R4 tienen la función de lanzar la tensión hacia abajo para evitar el enganche del transistor mosfet, es decir que no permite que el mosfet se inhiba y no pueda apagarse. Los diodos Zener D1 y D2 regulan el voltaje de compuerta a 18 V. D3 y D4 aseguran el voltaje de las compuertas a tierra cuando el voltaje en la pata opuesta del circuito tanque resonante está en cero. R1 y LED1 son señales de que la fuente está funcionando.

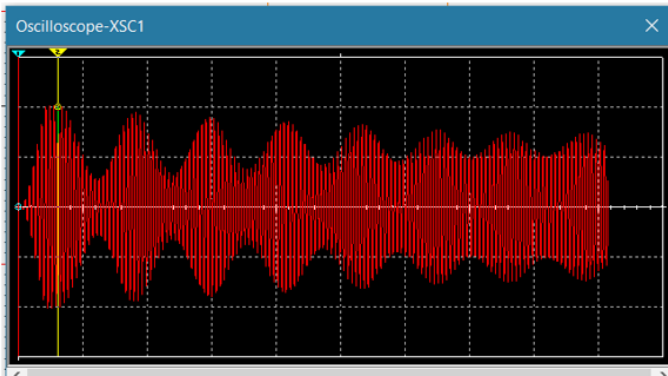


Fig. 6. Forma de Onda

2) Diseño de la capacitancia resonancia: Para realizar el diseño del circuito tanque primero se debe colocar los condensadores en paralelo considerando que en esta configuración que la capacitancia se suma tantas veces como condensadores existan, buscando generar una capacitancia de 2.97uF, teniendo en cuenta que se tiene condensadores estándar cuya capacitancia es 0.33uF.

3) Diseño de la inductancia resonante resonancia: Para obtener dicho inductor, el diámetro del tubo de cobre con la cual se realizará el bobinado es de 6mm, el núcleo de aire especificado es de 90mm Por lo que procedemos a utilizar la ecuación 8 para determinar el número de espiras que debe tener el inductor para cumplir con los requerimientos necesarios.

$$L[\mu H] = \frac{Dn^2}{\frac{nd}{D} + 0.44} \tag{8}$$

Al resolver la ecuación y despejar la variable n obtenemos como resultado que el número de vueltas a darse son de 7, así se cumplirán con los parámetros establecidos del inductor.

4) Etapa de potencia: Esta variación se realiza en cada medio ciclo, es decir, en el ciclo positivo Q1 se dispara hasta llegar a un pico máximo y comienza a descender a medida que Q1 se apaga, Q2 empieza a encenderse hasta que se da lugar a la conmutación al pasar por el medio ciclo una vez realizada la conmutación Q2, empieza a subir hasta llegar a otro pico

máximo, luego de esto empieza a descender, así esta variación se efectúa para cada medio ciclo dando a lugar a la Inducción Electromagnética.

D. Algoritmo del sistema de control

El algoritmo de control funciona bajo un ciclo de repetición WHILE que ejecuta todos los procesos de control del prototipo mientras el Switch de Encendido (SWEncendido) se encuentre activado, caso contrario el sistema se mantiene apagado con las electro-válvulas abiertas para permitir la circulación normal del flujo de agua sin calentar. El algoritmo de control se muestra en la figura 7.

Una vez activado el Switch de Encendido, un sensor de nivel tipo boya (SensorNivel) permite detectar si el contenedor se encuentra lleno de agua, de ser este el caso el sistema de control cierra la electro-válvula de entrada y procede a encender las bombas de agua (Bomba1, Bomba2) junto con el sistema de potencia (inducción) comenzando de esta manera con la circulación de agua por la tubería sometida a la inducción electromagnética aumentando gradualmente la temperatura de la misma. En el caso de que el depósito no se encuentre lleno se procede a abrir la electroválvula de entrada para permitir el ingreso de agua potable al prototipo y ejecuta el proceso de detección de caudal de agua. El proceso de detección de caudal (QEntrada) cumple con una función de protección.

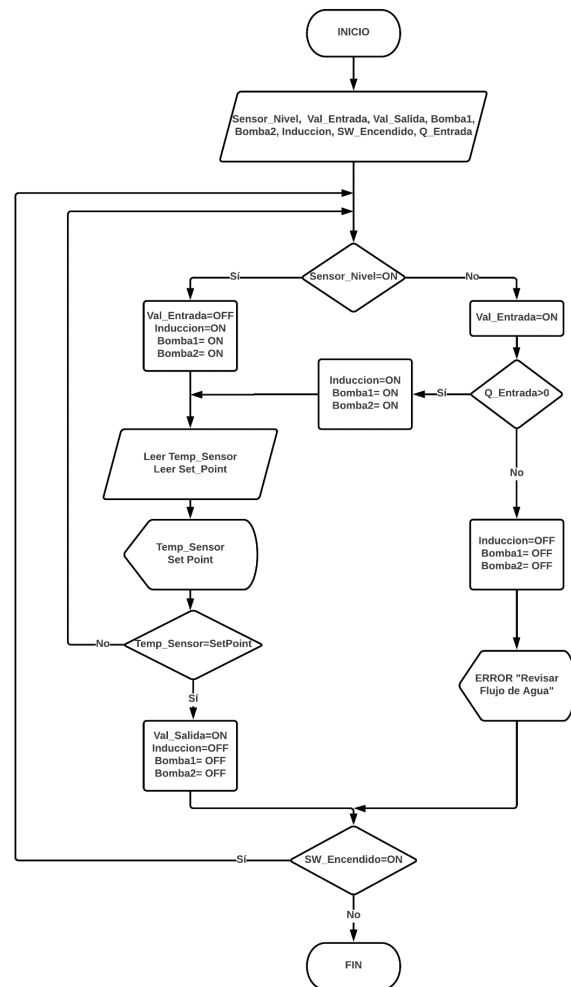


Fig. 7. Algoritmo del sistema de control

Al ser el medio para detectar la existencia o ausencia de agua en el sistema, de no existir flujo de agua de ingreso al sistema la etapa de potencia como las bombas de recirculación de agua se desactivan puesto que, si no existe agua circulando por la tubería sometida a inducción, esta aumenta su temperatura alcanzando un estado de incandescencia en pocos segundos poniendo en riesgo la integridad del sistema como la del usuario.

Suponiendo que no existe ningún problema en la ejecución de los procesos anteriores las bombas de recirculación y la etapa de potencia se encuentran funcionando correctamente, el algoritmo procede a ejecutar los procesos de lectura de temperatura del agua (TempSensor) en el contenedor tanto como de la temperatura ingresada por el usuario (SetPoint). Se debe tener en cuenta que al utilizar un sistema de inducción electromagnética el campo magnético generado puede inducir a su vez pequeñas corrientes parásitas en el cable y acondicionador del sensor generando lecturas erróneas, razón por la cual la lectura de la temperatura del agua se la realiza desconectando el circuito de inducción por un momento cada cierto tiempo previamente determinado. En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo que explica el funcionamiento de obtención de datos de sensor.

Una vez obtenida la temperatura real del agua esta se muestra en una pantalla, luego realizar una comparación entre ambos datos permitiendo o no la salida del agua siempre y cuando esta alcanzó la temperatura deseada. Si el agua está a la temperatura indicada la electro válvula de salida se activa dejando fluir el agua por la tubería y detiene el funcionamiento del circuito de potencia y bombas hasta que el nivel de agua en el tanque descienda o bien la temperatura del agua disminuya por debajo de la deseada por el usuario.

III. RESULTADOS

A. Mediciones Experimentales

1) Caracterización del Sensor de Temperatura: Para la calibración y fiabilidad del sensor de temperatura (termocupla tipo K), se optó por realizar la toma de 10 muestras de agua a diferentes temperaturas dentro del rango de trabajo del prototipo y contrastarlas con muestras obtenidas con un multímetro AideTek VC97+ utilizado como señal patrón.

Tabla 1
MEDICIÓN DE TEMPERATURA

MUESTRA	SENSOR THERMISTOR K	INSTRUMENTO PATRON (AIDETEK)	ERROR ABSOLUTO
1	17	17	0
2	18	18	0
3	19	20	0
4	24	25	1
5	26	26	0
6	27	27	0
7	35	36	1
8	36	36	0
9	35	36	1
10	37	38	1
11	31	30	0
12	38	39	1
13	40	40	0
14	42	42	0
15	44	45	1
		MEDIA	0.40

Con los datos presentados en la tabla 1 se verificó que el error absoluto promedio del termopar tipo k es de 0,4 considerando que este tiene una resolución de 1 C con una exactitud de más del 80% se llegó la conclusión de que el sensor es aceptable, pues la variación de 0,4 no influye en la temperatura apreciada por el ser humano.

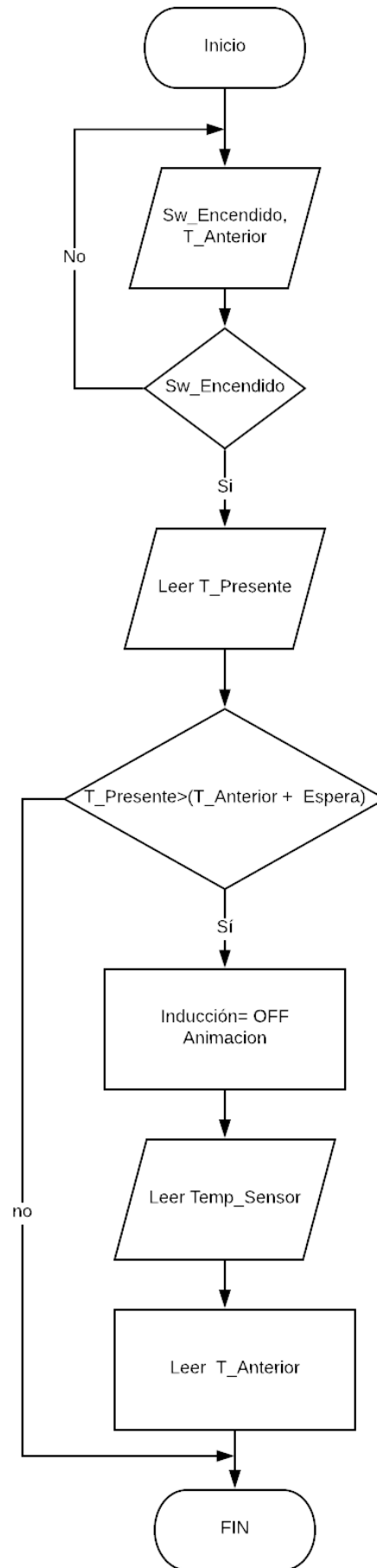


Fig. 8. Algoritmo de adquisición de temperatura

2) Llenado del tanque: En la tabla II se determinó que el tiempo promedio que tarda el contenedor en llenarse es de 3 minutos y 25 segundos con un error 0.05 segundos, considerando un caudal constante de 1.83 litros/minuto con un error de 0.25 debido al instrumento de medición.

Tabla II
LAPSO DE TIEMPO PARA OBTENER NIVEL ÓPTIMO EN EL CONTENEDOR

MUESTRA	SENSORC CAUDAL	TIEMPO DE LLENADO
1	1.89	03:25,0
2	1.83	03:46,0
3	1.83	03:16,0
4	1.97	02:57,0
5	1.83	03:20,0
6	1.83	03:18,0
7	1.83	03:11,0
8	1.83	03:20,0
9	1.8	03:53,0
10	1.83	03:50,0
	MEDIA	03:25,6

3) Tiempo en alcanzar 25°C: En la tabla III se determinó que el tiempo promedio que tardó el prototipo en alcanzar esta temperatura es de 4 minutos con 7 segundos con un error de instrumentación de 0.05 segundos para alcanzar una temperatura de 25°C con un error de 0.5°C.

Tabla III
TIEMPO QUE TARDA EL PROTOTIPO EN ALCANZAR UNA TEMPERATURA DE 25C

MUESTRA	FECHA Y HORA	SET POINT	TIEMPO DEMORA +-0.05
1	15/10/2018 8:00	25	04:00,0
2	15/10/2018 08:15	25	04:07,0
3	16/10/2018 08:00	25	04:13,0
4	16/10/2018 08:30	25	04:03,0
5	17/10/2018 08:05	25	04:12,0
6	17/10/2018 08:20	25	04:09,0
7	18/10/2018 08:00	25	04:04,0
8	18/10/2018 08:20	25	04:10,0
9	19/10/2018 08:00	25	04:05,0
10	19/10/2018 08:25	25	04:12,0
		MEDIA	04:07,5

4) Tiempo en alcanzar 30°C: Se observó en la tabla IV, el promedio del prototipo en alcanzar la temperatura para este apartado es de 7 minutos y 18 segundos con un error de 0.05 segundos para alcanzar una temperatura de 30°C con un error de 0.5°C.

Tabla IV
TIEMPO QUE TARDA EL PROTOTIPO EN ALCANZAR UNA TEMPERATURA DE 30°C

MUESTRA	FECHA Y HORA	SET POINT	TIEMPO DEMORA +-0.05
1	15/10/2018 8:30	30	06:24,0
2	15/10/2018 08:50	30	07:12,0
3	16/10/2018 08:40	30	07:35,0
4	16/10/2018 09:00	30	07:45,0
5	17/10/2018 08:40	30	07:20,0
6	17/10/2018 09:20	30	07:53,0
7	18/10/2018 08:43	30	07:11,0
8	18/10/2018 09:15	30	07:18,0
9	19/10/2018 08:45	30	07:05,0
10	19/10/2018 09:30	30	07:20,0
		MEDIA	07:18,3

5) Tiempo en alcanzar 35°C: Se observa que en la tabla V, el promedio que tardó el prototipo en alcanzar la temperatura para una temperatura de 35°C con un error de instrumento de 0.5°C es de 10 minutos y 8 segundos con un error de +- 0.05 segundos.

Tabla V
TIEMPO QUE TARDA EL PROTOTIPO EN ALCANZAR UNA TEMPERATURA DE 35°C

MUESTRA	FECHA Y HORA	SET POINT	TIEMPO DEMORA +-0.05
1	15/10/2018 9:30	35	06:24,0
2	15/10/2018 10:00	35	07:12,0
3	16/10/2018 09:30	35	07:35,0
4	16/10/2018 10:00	35	07:45,0
5	17/10/2018 9:40	35	07:20,0
6	17/10/2018 10:10	35	07:53,0
7	18/10/2018 09:40	35	07:11,0
8	18/10/2018 10:15	35	07:18,0
9	19/10/2018 10:00	35	07:05,0
10	19/10/2018 10:30	35	07:20,0
		MEDIA	07:07,8

6) Tiempo en alcanzar 40°C: Se observa en la tabla VI, el promedio que tardó el prototipo en alcanzar la temperatura para una temperatura de 40 °C con un error de 0.5 segundos es de 14 minutos con 46 segundos con un error de medición de 0.05 °C.

Tabla VI
TIEMPO QUE TARDA EL PROTOTIPO EN ALCANZAR UNA TEMPERATURA DE 40°C

MUESTRA	FECHA Y HORA	SET POINT	TIEMPO DEMORA +-0.05
1	15/10/2018 9:30	40	14:11,0
2	15/10/2018 10:00	40	14:59,0
3	16/10/2018 09:30	40	15:02,0
4	16/10/2018 10:00	40	15:05,0
5	17/10/2018 9:40	40	14:25,0
6	17/10/2018 10:10	40	14:23,0
7	18/10/2018 09:40	40	15:10,0
8	18/10/2018 10:15	40	15:03,0
9	19/10/2018 10:00	40	14:13,0
10	19/10/2018 10:30	40	15:08,0
		MEDIA	14:45,9

7) Tiempo en alcanzar 45°C: Se observa en la tabla VII, que el promedio que tardó el prototipo en alcanzar la temperatura máxima para el prototipo de 45°C con un error de 0.5°C es de 20 minutos y 29 segundos con un error por instrumentación de 0.05 segundos.

Tabla VII
TIEMPO QUE TARDA EL PROTOTIPO EN ALCANZAR UNA TEMPERATURA DE 45°C

MUESTRA	FECHA Y HORA	SET POINT	TIEMPO DEMORA +-0.05
1	15/10/2018 20:02	45	14:11,0
2	15/10/2018 21:01	45	14:59,0
3	16/10/2018 20:13	45	15:02,0
4	16/10/2018 20:19	45	15:05,0
5	17/10/2018 20:03	45	14:25,0
6	17/10/2018 19:51	45	14:23,0
7	18/10/2018 21:07	45	15:10,0
8	18/10/2018 21:01	45	15:03,0
9	19/10/2018 21:01	45	14:13,0
10	19/10/2018 21:16	45	15:08,0
		MEDIA	20:29,4

8) Eficiencia Energética del Prototipo: La ecuación 9 se emplea para determinar la energía almacenada por el sistema.

$$Q = m * k * \Delta T \tag{9}$$

Potencia eléctrica consumida

$$E = P_{cont} * t \tag{10}$$

Eficiencia energética

$$\eta = \frac{Q_s}{E_e} \tag{11}$$

Tabla VIII
EFICIENCIA EL SISTEMA

PRUEBA	CANTIDAD DE ENERGÍA ALMACENADA (J)	ENERGÍA CONSUMIDA (J)	EFICIENCIA ENERGÉTICA (%)
1	873558	1260000	69.33
2	873545.47	1277300	68.39
3	843494.4	1262100	66.84

En la tabla VIII se puede visualizar los datos promedios de las pruebas realizadas al sistema.

IV. CONCLUSIONES

Se observó que el dispositivo cuenta con una eficiencia superior al 69% la cual, en este tipo de sistemas, es alto debido a que no existe muchas pérdidas por conmutación gracias al convertidor ZVS utilizado ya que su función es conmutar cuando el voltaje cae a cero evitando desprendimiento de calor. También se debe considerar que al observar el datasheet de las fuentes conmutadas poseen una eficiencia del 87% lo cual limita la eficiencia de cualquier dispositivo que las utilice.

REFERENCIAS

- [1] "Cuanta agua desperdicias por minuto", 2018.[En línea]. Disponible en:<https://www.fundacionaquae.org> [Accedido: 10-agos-2018].
- [2] G. Molina, "Sistema de calefacción de agua por inducción electromagnética para el uso doméstico," 2015.
- [3] C. E. P. Fierro and A. J. O. Fuentes, "Desarrollo de un Sistema de Procesamiento de Plásticos por Calentamiento Basado en el Principio de Inducción Electromagnética," 2014.
- [4] O. F. Loayza Collaguazo and M. E. Mullo Pallo, "Diseño y construcción de una ducha de inducción," 2017.
- [5] W. H. Hayt, *Teoría Electromagnética, Séptima*. McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- [6] A. A. Picon, "CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA: DISEÑO y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO," *Rev. Uis ...*, vol. 6, pp. 69–76, 2007.
- [7] Urbina Gamboa, W. M. (2014). Estudio y diseño de un sistema de medición remota utilizando sensores inalámbricos bajo el estándar 802.15. 4 para los servicios de energía eléctrica y agua potable.
- [8] Martín, J., Solbes Matarredona, J. (2001). Diseño y evaluación e una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en física. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 393-403.
- [9] Burbano, J. C., Restrepo, Á. H., Sabogal, Ó. J. (2006). Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón. *Scientia et technica*, 2(31).