



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**DISEÑO Y COSTRUCCIÓN DE UNA COCINA DE INDUCCIÓN
DE UNA HORNILA QUE UTILICE OLLAS
FERROMAGNÉTICAS Y NO FERROMAGNÉTICAS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

DARWIN SANTIAGO BRITO TITUANA

DIRECTOR: ING. ANÍBAL MANTILLA, MSC

Quito, Marzo 2018

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2018.
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1720989241
APELLIDO Y NOMBRES:	Brito Tituana Darwin Santiago
DIRECCIÓN:	La Roldós Mz 31 Lot 6
EMAIL:	darwinjaildar@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	(02)2497379
TELÉFONO MOVIL:	0982376454

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño y construcción de una cocina de inducción de una hornilla que utilice ollas ferromagnéticas y ollas no ferromagnéticas
AUTOR O AUTORES:	Darwin Santiago Brito Tituana
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	2018/03/09
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Aníbal Mantilla, MSC
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El gobierno ecuatoriano ha incentivado el cambio de cocinas que usan GLP a cocinas de inducción. Las cocinas que se comercializan a nivel nacional no funcionan con el voltaje de la red convencional, así que el gobierno ha recurrido al cambio de acometidas en los hogares ecuatorianos desde el año 2016. Este cambio ha provocado que los usuarios de estas cocinas se vean obligados a invertir tiempo en el cambio de acometidas de sus hogares

	<p>e invertir dinero en la adquisición de un nuevo juego de ollas. Este proyecto planteó el diseño y construcción de una cocina de inducción capaz de funcionar al voltaje y frecuencia de la red convencional (110 VAC – 60 Hz) y a la vez consiga calentar recipientes con propiedades ferromagnéticas y recipientes sin propiedades ferromagnéticas mediante un sistema de adaptación. Con un diseño adecuado de la parte eléctrica y electrónica del equipo, se pudo realizar la detección del tipo de recipiente, permitiendo al usuario calentar recipientes no ferromagnéticos con base de hasta 19 cm de diámetro. Para mecanismo de adaptación, se implementó un mecanismo tuerca-tornillo sin fin, ya que este en relación a otros mecanismos este ocupa un menor espacio para desarrollar su movimiento. Como resultado de las buenas prácticas de ingeniería se construyó un equipo confiable y eficiente a la hora de trabajar, ya que este equipo brinda al usuario una eficiencia máxima del 88,8 % con recipientes ferromagnéticos y una eficiencia máxima de 85,4 con recipientes no ferromagnéticos. Este equipo entra en la categoría de un equipo portátil debido a sus características, ya que posee una hornilla y puede ser conectado a la red convencional.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Inducción, cocina, eficiencia, materiales ferromagnéticos, universal.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The Ecuadorian government has encouraged the change of kitchens that use LPG to induction cookers. The kitchens that are commercialized at the national level do not work with the voltage of the conventional network, so the government has resorted to the change of connections in Ecuadorian homes since 2016. This change has caused the users of these kitchens to be forced to invest time in the change of connections of their homes and invest money in the acquisition of a new set of pots. This project proposed the design and construction of an induction cooker capable of operating at the voltage and frequency of the conventional network (110 VAC - 60 Hz) and at the same time get to heat containers with ferromagnetic properties and containers</p>

	<p>without ferromagnetic properties through an adaptation system. With a suitable design of the electrical and electronic part of the equipment, it was possible to perform the detection of the type of container, allowing the user to heat non-ferromagnetic containers with a base of up to 19 cm in diameter. For adaptation mechanism, an endless nut-screw mechanism was implemented, since this in relation to other mechanisms this occupies a smaller space to develop its movement. As a result of good engineering practices, a reliable and efficient team was built at the time of work, since this equipment provides the user with a maximum efficiency of 88.8% with ferromagnetic vessels and a maximum efficiency of 85,4 with non-ferromagnetic containers. This equipment falls into the category of a portable equipment due to its characteristics, since it has a burner and can be connected to the conventional network.</p>
<p>KEYWORDS:</p>	<p>induction, cooking, efficiency, ferromagnetic materials, universal.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

BRITO TITUANA DARWIN SANTIAGO

172098924-1

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **BRITO TITUANA DARWIN SANTIAGO**, CI 172098924-1 autor del proyecto titulado: **Diseño y construcción de una cocina de inducción de una hornilla que utilice ollas ferromagnéticas y no ferromagnéticas** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 3 de marzo de 2018



f: _____

BRITO TITUANA DARWIN SANTIAGO

172098924-1

DECLARACIÓN

Yo **BRITO TITUANA DARWIN SANTIAGO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

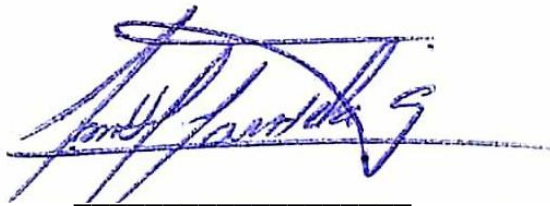


DARWIN SANTIAGO BRITO TITUANA

C.I. 172098924-1

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “Diseño y construcción de una cocina de inducción de una hornilla que utilice ollas ferromagnéticas y ollas no ferromagnéticas”, que, para aspirar al título de Ingeniero Mecatrónico fue desarrollado por Darwin Santiago Brito Tltuana, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Anibal Mantilla', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

ING. ANÍBAL MANTILLA, MSC.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 171199612-2

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo quiero dedicar a mi madre Ana Tituana, ya que es la persona que me ha apoyado en cada etapa de mi vida con sus consejos, sabiduría y amor incondicional.

A mi hermana Yajaira Brito por estar pendiente de mí cuando más lo he necesitado y brindarme su apoyo incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutor Aníbal Mantilla, quien fue un gran apoyo en la elaboración de este trabajo de titulación al brindarme su tiempo y consejos cuando los he requerido.

Agradezco a mi madre Ana Tituana brindó su apoyo incondicional, paciencia y su aliento para hacer esto posible.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO	7
2.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	7
2.2. ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS	8
2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	8
2.4. DISEÑO DEL SISTEMA	8
2.4.1. Diseño del circuito electrónico y de control	9
2.4.1.1. Generación de frecuencia de operación	10
2.4.1.2. Diseño del circuito para la selección de potencia	12
2.4.1.3. Circuito para la detección de recipiente ferromagnético.....	13
2.4.1.4. Desarrollo del algoritmo de control	17
2.4.2. Diseño del circuito eléctrico de potencia	21
2.4.2.1. Diseño del circuito rectificador y filtro LC.....	21
2.4.2.2. Diseño del circuito cuasi-resonante	23
2.4.2.3. Circuito de disparo diseñado para el IGBT	25
2.4.2.4. Protección térmica para el IGBT.....	25
2.4.3. Diseño mecánico.....	26
2.4.3.1. Mecanismo de adaptación para uso universal de recipientes de calentamiento	26
2.4.3.2. Diseño del circuito de control para el posicionamiento del mecanismo de adaptación	27
2.4.3.3. Selección de materiales para la estructura de soporte del equipo	28
2.5. DESARROLLO DEL PROTOTIPO FÍSICO Y PRUEBAS DE VALIDACIÓN.....	30
2.5.1. Desarrollo del prototipo	30
2.5.1.1. Elaboración de los circuitos impresos	30
2.5.1.2. Prototipo físico.....	32

2.5.2. Pruebas de funcionamiento.....	33
2.5.2.1. Protocolo de pruebas	33
2.5.2.2. Pruebas de eficiencia con un recipiente ferromagnético.....	34
2.5.2.3. Pruebas de eficiencia con un recipiente no ferromagnético.....	37
2.5.2.4. Calculo de eficiencia de una cocina de inducción comercial de 220 VAC con una potencia máxima de 2200 W.	39
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1. Comparación de eficiencia entre recipientes ferromagnéticos y recipientes no ferromagnéticos.	42
3.2. Comparación de eficiencia entre el equipo y una cocina comercial.	43
3.3. Análisis del prototipo en uso prolongado.....	44
3.4. Características del prototipo.....	45
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Eficiencia en algunos métodos de cocción	6
Tabla 2. Requerimientos mínimos para la selección de un microcontrolador	9
Tabla 3. Comparación de los microcontroladores ATmega 328P y PIC18F2550	9
Tabla 4. Valores preescaler para el temporizador 1	11
Tabla 5. Valores del registro ORC1A para cada potencia del equipo.....	12
Tabla 6. Estados de comparación del LM324.....	17
Tabla 7. Características del rectificador D20XB80	22
Tabla 8. Características del IGBT SKW25N120	24
Tabla 9. Estados de los elementos de conmutación en el circuito de disparo del IGBT	25
Tabla 10. Resistencia del NTC en función de la temperatura	26
Tabla 11. Ventajas y desventajas para la selección de un mecanismo de adaptación	27
Tabla 12. Características principales de los materiales para la elaboración de la estructura del prototipo	28
Tabla 13. Equipo de medición	33
Tabla 14. Condiciones de ensayo	33
Tabla 15. Procedimiento de ensayo	34
Tabla 16. Consumos y tiempos al hervir un litro de agua en una olla con propiedades ferromagnéticas	34
Tabla 17. Consumos y tiempos al hervir un litro de agua en una olla sin propiedades ferromagnéticas.....	37
Tabla 18. Consumos y tiempos para hervir un litro de agua para una cocina de inducción de 2200 W a 220 VAC	39
Tabla 19. Ficha técnica del prototipo	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Estructura típica para una cocina de inducción.....	4
Figura 2. Curva de profundidad de penetración en función de la frecuencia para diversos materiales.....	5
Figura 3. Capas de una sartén de inducción eficiente	5
Figura 4. Topología de un inversor cuasi-resonante	6
Figura 5. Metodología para el desarrollo del proyecto	7
Figura 6. Esquema general del sistema	8
Figura 7. Modulación de ancho de pulso	10
Figura 8. Comportamiento del registro TNCT1 para la obtención de la señal PWM en modo rápido	11
Figura 9. Circuito para selección de potencia	12
Figura 10. Detección de cruce por cero	14
Figura 11. Circuito de detección de cruce por cero.....	14
Figura 12. Divisor de tensión para el voltaje en el capacitor	15
Figura 13. Divisor de tensión para el voltaje de colector emisor en el IGBT.....	16
Figura 14. Circuito de muestreo y comparación.....	17
Figura 15. Posición A del mecanismo	18
Figura 16. Posición B del mecanismo	18
Figura 17. Algoritmo para el encendido del equipo	19
Figura 18. Algoritmo para el calentamiento de recipientes	20
Figura 19. Circuito rectificador y filtro LC	22
Figura 20. Circuito del Tanque cuasi-resonante.....	24
Figura 21. Circuito de disparo del IGBT	25
Figura 22. Circuito para lectura de temperatura del IGBT.....	26
Figura 23. Circuito para el actuador del mecanismo de adaptación.....	27
Figura 24. Circuito de fines de carrera	28
Figura 25. Modelo virtual del prototipo diseñado.....	29
Figura 26. PCB diseñado para control y manejo de potencia	30
Figura 27. PCB del circuito de control y de potencia.....	30

Figura 28. Diseño de la PCB de la interfaz de usuario.....	31
Figura 29. PCB de la interfaz de usuario	31
Figura 30. Bobina para calentamiento por inducción	32
Figura 31. Prototipo de la cocina de inducción	32
Figura 32. Resultados de la eficiencia para dos tipos de recipientes.....	42
Figura 33. Comparación de eficiencia entre el prototipo y una cocina comercial	43
Figura 34. Mediciones de temperatura la prueba de uso prolongado	44
Figura 35. Consumo eléctrico en la prueba de uso prolongado.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Circuito del prototipo.....	48

RESUMEN

El gobierno ecuatoriano ha incentivado el cambio de cocinas que usan GLP a cocinas de inducción. Las cocinas que se comercializan a nivel nacional no funcionan con el voltaje de la red convencional, así que el gobierno ha recurrido al cambio de acometidas en los hogares ecuatorianos desde el año 2016. Este cambio ha provocado que los usuarios de estas cocinas se vean obligados a invertir tiempo en el cambio de acometidas de sus hogares e invertir dinero en la adquisición de un nuevo juego de ollas. Este proyecto planteó el diseño y construcción de una cocina de inducción capaz de funcionar al voltaje y frecuencia de la red convencional (110 VAC – 60 Hz) y a la vez consiga calentar recipientes con propiedades ferromagnéticas y recipientes sin propiedades ferromagnéticas mediante un sistema de adaptación. Con un diseño adecuado de la parte eléctrica y electrónica del equipo, se pudo realizar la detección del tipo de recipiente, permitiendo al usuario calentar recipientes no ferromagnéticos con base de hasta 19 cm de diámetro. Para mecanismo de adaptación, se implementó un mecanismo tuerca-tornillo sin fin, ya que este en relación a otros mecanismos este ocupa un menor espacio para desarrollar su movimiento. Como resultado de las buenas prácticas de ingeniería se construyó un equipo confiable y eficiente a la hora de trabajar, ya que este equipo brinda al usuario una eficiencia máxima del 88,8 % con recipientes ferromagnéticos y una eficiencia máxima de 85,4 % con recipientes no ferromagnéticos. Este equipo entra en la categoría de un equipo portátil debido a sus características, ya que posee una hornilla y puede ser conectado a la red convencional.

Palabras clave: inducción, cocina, eficiencia, materiales ferromagnéticos, universal.

ABSTRACT

The Ecuadorian government has encouraged the change of kitchens that use LPG to induction cookers. The kitchens that are commercialized at the national level do not work with the voltage of the conventional network, so the government has resorted to the change of connections in Ecuadorian homes since 2016. This change has caused the users of these kitchens to be forced to invest time in the change of connections of their homes and invest money in the acquisition of a new set of pots. This project proposed the design and construction of an induction cooker capable of operating at the voltage and frequency of the conventional network (110 VAC - 60 Hz) and at the same time get to heat containers with ferromagnetic properties and containers without ferromagnetic properties through an adaptation system. With a suitable design of the electrical and electronic part of the equipment, it was possible to perform the detection of the type of container, allowing the user to heat non-ferromagnetic containers with a base of up to 19 cm in diameter. For adaptation mechanism, an endless nut-screw mechanism was implemented, since this in relation to other mechanisms this occupies a smaller space to develop its movement. As a result of good engineering practices, a reliable and efficient team was built at the time of work, since this equipment provides the user with a maximum efficiency of 88.8% with ferromagnetic vessels and a maximum efficiency of 85,4 with non-ferromagnetic containers. This equipment falls into the category of a portable equipment due to its characteristics, since it has a burner and can be connected to the conventional network.

Keywords: induction, cooking, efficiency, ferromagnetic materials, universal.

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador está atravesando un proceso de cambio de la matriz energética, dejando de lado el uso excesivo de petróleo y usando la energía proveniente de las hidroeléctricas; con la puesta en marcha de estas se ha logrado reemplazar el consumo de combustibles fósiles por un 51,78% en la producción de energía renovable, lo cual representa 13.638,89 gigavatios hora (GWh). (Electricidad, 2017)

El gobierno planteó que partir del año 2018 el GLP se cotizará a precios internacionales. Según el gobierno, el subsidio es de aproximadamente de 700 millones de dólares al año. (El Diario, 2017)

Por esta razón actualmente se ha incentivado el cambio de cocinas que usan GLP a cocinas de inducción, creando planes de financiamiento para que estas sean accesibles a la mayoría de personas. Con el uso de estas cocinas se busca un aprovechamiento óptimo y el uso racional de la energía.

Debido al cambio de cocinas que se está produciendo, los nuevos usuarios de estas necesitan emplear tiempo y dinero en una nueva acometida en sus respectivos hogares. Otro gasto que deben asumir los dueños que poseen este tipo de cocinas es la compra de un nuevo juego de ollas fabricadas con materiales ferromagnéticos.

En este proyecto se plantea como objetivo general diseñar y construir una cocina de inducción de una hornilla que utilice ollas ferromagnéticas y no ferromagnéticas, capaz de funcionar al mismo voltaje y frecuencia de la red convencional (110 VAC – 60Hz), evitando la necesidad del cambio de acometidas en los hogares. La posibilidad de usar una hornilla de inducción con cualquier tipo de olla, evita que los nuevos usuarios de estas cocinas tengan la obligación de adquirir nuevos instrumentos de cocina.

Para desarrollar adecuadamente este proyecto se plantea los siguientes objetivos específicos:

- Analizar métodos y técnicas de calentamiento por inducción para cocinas de uso residencial.
- Diseñar el sistema de control para el proceso de calentamiento por inducción.
- Diseñar el sistema mecánico de adaptación para ollas no convencionales y la estructura del equipo.
- Construir el prototipo.
- Realizar las pruebas de funcionamiento para la validación del proyecto.

El calentamiento por inducción parte cuando una corriente circula en alta frecuencia por una inductancia, que se encarga de generar un campo magnético. Cuando la corriente es variable en el tiempo, el campo magnético que se produce también será variable sobre un material conductor, en el cual se inducirán corrientes llamadas corrientes parásitas o de Foucault, que se disipan como calor mediante el efecto Joule. Un sistema de calentamiento por inducción consta de un rectificador de onda completa conformado por un puente de diodos, seguido de un filtro LC. El nivel de

voltaje DC alimenta al inversor de alta frecuencia conformado por circuito resonante. El inversor suministra una corriente variable en el tiempo a la bobina de trabajo, para así generar un campo magnético que está encargado de inducir corrientes y por ende calentar el material de trabajo. En la Figura 1, se puede apreciar los elementos que conforman un sistema de calentamiento por inducción. (Tulu & Yildirim, 2013)

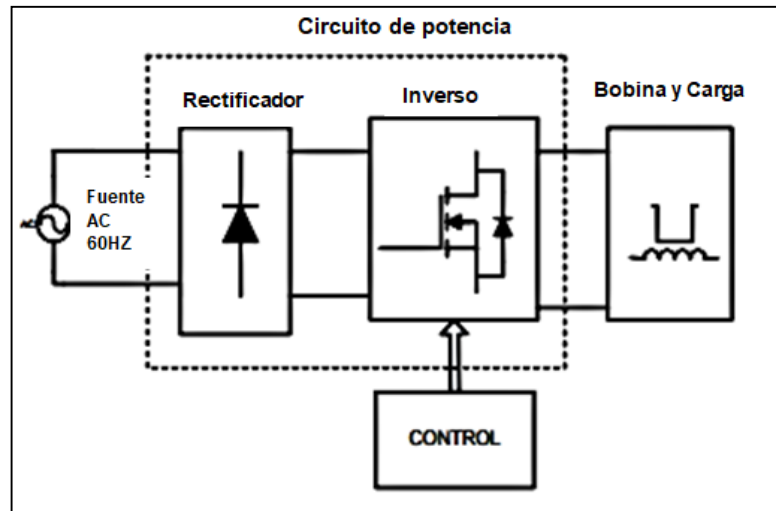


Figura 1. Estructura típica para una cocina de inducción. (Bhaskar, 2013)

El rango de frecuencias generalmente usadas para el desarrollo de cocinas de inducción se dan entre 20 KHz y 50 KHz. (BS, H, & S, 2009)

Existen investigaciones que se han validado en la India, donde los diseños se realizan con un promedio de las frecuencias comunes de operación, como se mencionó previamente, son de 20KHz a 50 KHz. (Bhaskar & N, Full Bridge Series Resonant Inverter for Induction, 2012)

Además el efecto piel también permite establecer el rango de frecuencia de operación de la cocina que se diseña. El efecto piel indica que cuanto más grande sea la frecuencia de las corrientes en un conductor, más se concentrarán estas en su superficie. Esto se produce mediante la difusión del campo magnético y es la causa principal en el calentamiento por inducción. (Gómez, 1999)

En la Figura 2, se puede apreciar porque el acero es el mejor y más apropiado material para usar en el calentamiento por inducción, el indicador de color verde señala la curva de profundidad de penetración en función de la frecuencia para el acero. Los recipientes para cocinas de inducción tienen un espesor de entre 2mm y 3 mm, trasladando dichos espesores hacia la curva del acero mediante los indicadores de color rojo, se puede observar el rango de frecuencia de operación con las que se puede calentar este material mediante los indicadores de color celeste. Estas frecuencias van de entre 30 KHz y 40 KHz.

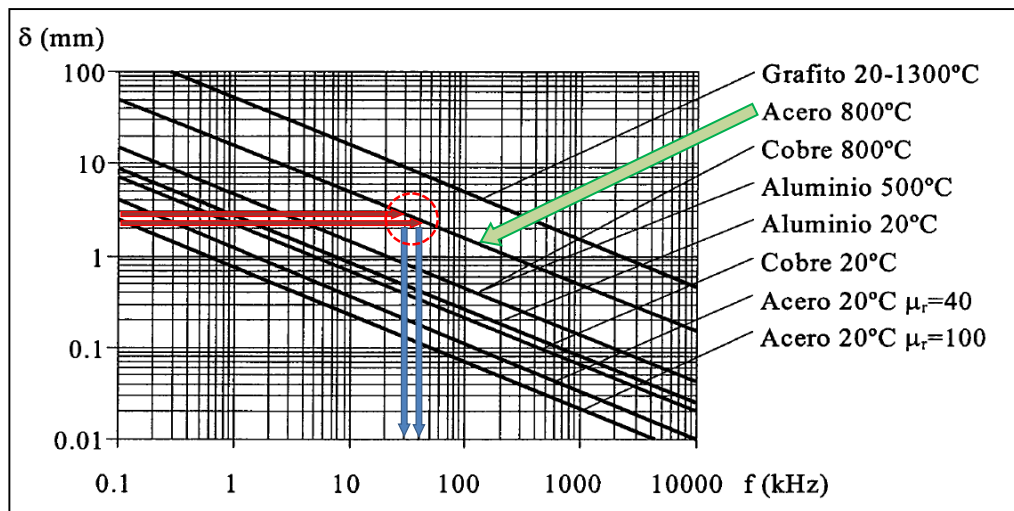


Figura 2. Curva de profundidad de penetración en función de la frecuencia para diversos materiales (Gómez, 1999)

Los utensilios para cocinas de inducción están diseñados para absorber energía magnética y difundir el calor rápidamente en la superficie y a la vez dar como resultado una mayor eficiencia. En la Figura 3, se puede observar las capas que conforman un recipiente apto para el uso de una cocina de inducción. Básicamente las capas del recipiente buscan obtener la máxima ganancia de calentamiento por inducción y a la vez proporcionar una distribución uniforme del calor. (Tulu & Yildirim, 2013)

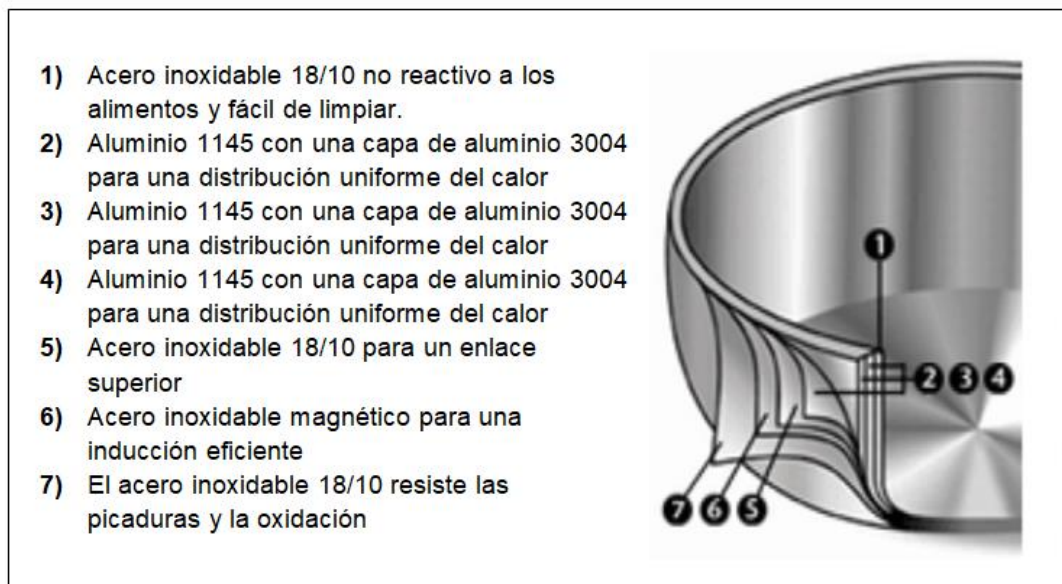


Figura 3. Capas de una sartén de inducción eficiente (Tulu & Yildirim, 2013)

Los beneficios de usar una cocina de inducción en comparación con métodos de cocción a gas o con resistencia eléctrica, son la eficiencia, seguridad y capacidad de control. En la Tabla 1, se puede observar la eficiencia de cada uno de los métodos de cocción que se usan hasta la actualidad, concluyendo que el calentamiento por inducción es el más eficiente ya que se ha logrado llegar hasta un 90% de eficiencia.

Tabla 1. Eficiencia en algunos métodos de cocción

Método de cocción	Eficiencia
Inducción	90 %
Eléctrico	58 %
Halógeno	47 %
Gas	40 %

(Tulu & Yildirim, 2013)

Existen dos topologías que se usan para la elaboración de sistemas de calentamiento por inducción, un inversor de medio puente y un inversor cuasi-resonante. Cada topología tiene sus desventajas y ventajas, la elaboración de estas va a depender del diseñador y de los requerimientos que este tenga. Un inversor de medio puente está limitado al nivel de tensión de entrada, esto provoca que el circuito de conmutación opere con menor esfuerzo. Las desventajas de usar este tipo de inversores, radica en que se necesitan dos conmutadores, esto hace que la placa de circuito impreso sea de mayor tamaño y se requiera unos disipadores de calor de grandes dimensiones. La principal desventaja de un inversor cuasi-resonante es que el diseño del sistema de control es más complicado, ya que a causa de la tensión de resonancia que se administra a ambos lados de circuito es más complicado de estabilizar, ya que el conmutador está sometido a un esfuerzo mayor. Este circuito utiliza solo un conmutador; esto permite que tanto el circuito impreso como el disipador sean de menor tamaño. (FAIRCHILD, 2013)

En la Figura 4, se puede observar los elementos que conforman un inversor cuasi-resonante.

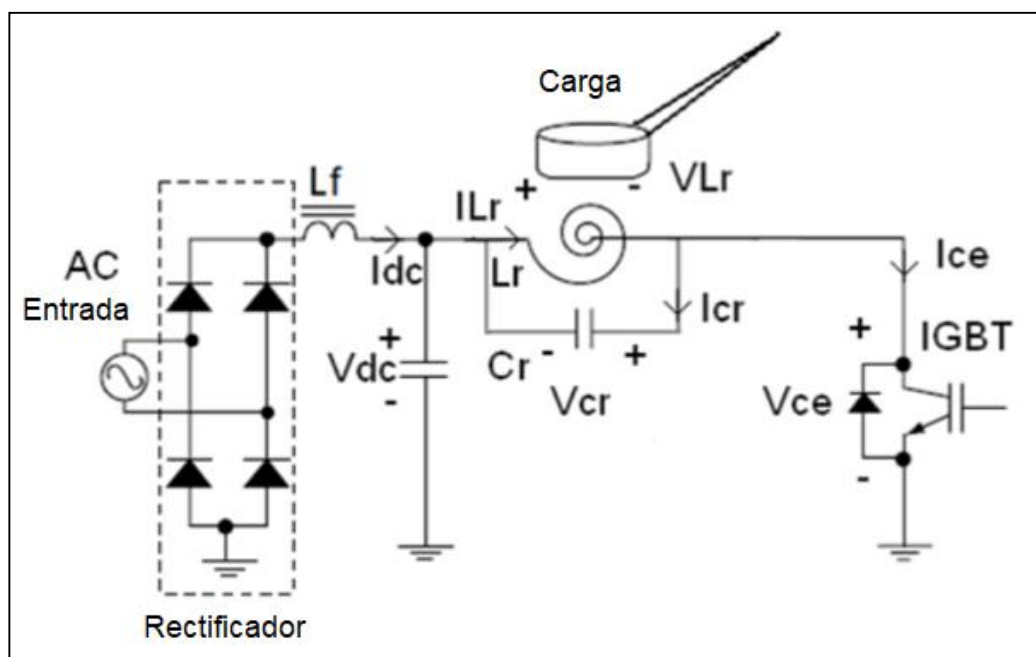


Figura 4. Topología de un inversor cuasi-resonante
(Tulu & Yildirim, 2013)

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó una metodología conocida como enfoque en prototipo. Esta metodología se adaptó mejor al proyecto, ya que esta abarca un desarrollo de software y la implementación de un hardware, mediante el desarrollo de prototipos.

Tanto los prototipos preliminares como el equipo construido, partieron de un estudio del problema, ya que al no hacer esto correctamente se hubiese perdido tiempo en diseños que al final no cumpliesen la necesidad. (Bolton, 2016)

En la Figura 5, se puede observar la secuencia que se usó para el desarrollo de este proyecto.

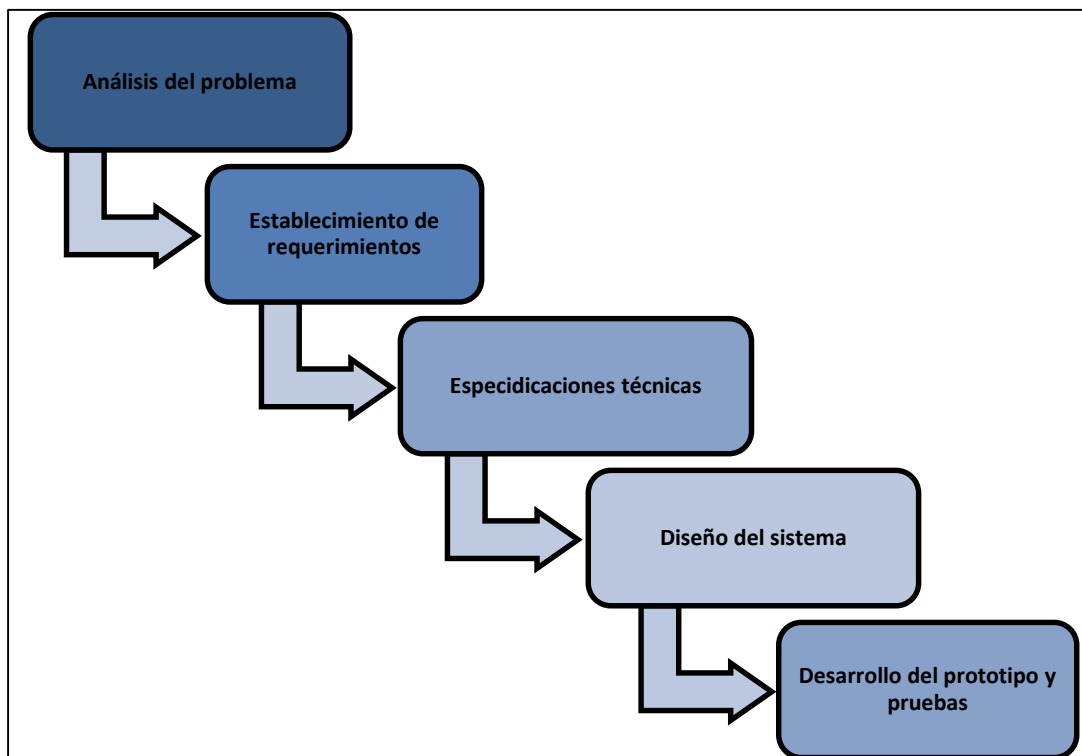


Figura 5. Metodología para el desarrollo del proyecto

2.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Para poder beneficiarse del calentamiento por inducción, los ecuatorianos están obligados a gastar una serie de recursos, como tiempo y dinero, ya que para el uso de las cocinas que se comercializan a nivel nacional, se requiere un cambio de acometida y la adquisición de nuevos recipientes con propiedades ferromagnéticas. El cambio de acometida en caso de las personas que arriendan y viven en edificios donde hay gran cantidad de inquilinos es aún más complicado, ya que estas personas se ven obligadas a pedir autorización al arrendatario. Una manera de afrontar esta situación es construyendo un equipo de fácil maniobrabilidad, confiable y eficiente, que permita operar la cocina con recipientes convencionales y recipientes ferromagnéticos, sin la necesidad de cambiar la acometida en los hogares.

2.2. ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS

Para que la cocina funcione con una alimentación de 110V a 60Hz y active el mecanismo de adaptación de ollas no ferromagnéticas, se requieren lo siguiente:

- Circuito resonante.
- Potencia regulable.
- Una hornilla.
- Reconocimiento del recipiente colocado en la hornilla.
- Mecanismo de adaptación para ollas no ferromagnéticas.

2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- 3 niveles de potencia con salida máxima de 1000W.
- Hornilla de 16 cm de diámetro.
- 110 VAC a 60 Hz

2.4. DISEÑO DEL SISTEMA

En la Figura 6, se muestra el esquema general del sistema, en donde se especifican tanto las entradas del sistema, el sistema mecatrónico y la salida de este.

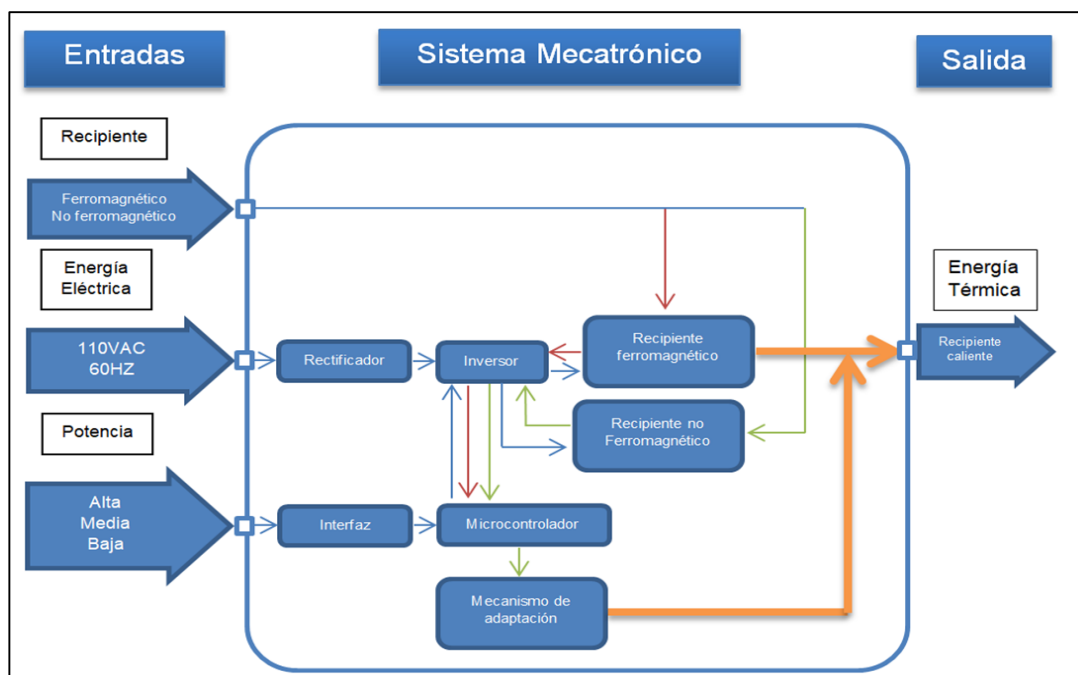


Figura 6. Esquema general del sistema

Para el desarrollo del sistema se tomó en cuenta tres entradas, que son: el recipiente que se desea calentar, la energía eléctrica y la potencia con la que el usuario desea operar la cocina. Los 110 VAC provenientes de la energía eléctrica ingresan al rectificador y posteriormente al inversor. Este inversor trabaja a la frecuencia que le proporciona el microcontrolador, que

previamente a esto, recibió el dato del nivel de potencia a la que debe trabajar. Las señales de color verde y rojo que se muestran en la Figura 6 son la realimentación que necesita el microcontrolador para poder reconocer si la olla que se está colocando en el área de calentamiento es de un material ferromagnético o cuando no le es. Cuando se detecte que el recipiente a calentar es de un material ferromagnético, la cocina trabaja normalmente, pero cuando el microcontrolador reciba la señal de que el material que se desea calentar, no es ferromagnético el usuario puede activar un mecanismo de adaptación.

2.4.1. Diseño del circuito electrónico y de control

En la Tabla 2, se pueden observar los requerimientos mínimos que debió tener el microcontrolador para el desarrollo del equipo.

Tabla 2. Requerimientos mínimos para la selección de un microcontrolador

Requerimiento	Cantidad
Salida PWM	1
Entradas/Salidas Digitales	12
Entradas analógicas	1

En el mercado se pudo encontrar dos microcontroladores que cumplen estos requerimientos mínimos. Se hizo una comparación entre estos en la Tabla 3, para así haber podido seleccionar uno de estos.

Tabla 3. Comparación de los microcontroladores ATmega 328P y PIC18F2550

Característica	ATmega 328P	PIC18F2550
Voltaje de operación	1.8 V – 5.5 V	2 V – 5 V
Canales PWM	6	2
Temporizadores	1 x 8 bits 3 x 16 bits	2 x 8 bits 1 x 16 bits
Pines de Entrada/Salida	23	24
Frecuencia máxima	20 MHz	48 MHz
Consumo en modo inactivo	1.2 mA (1 MHz)	1 mA (8 MHz)
Precio	4 \$	6 \$

Estos dos microcontroladores son de características muy similares, pero el ATmega 328P cumplió con los requerimientos mínimos para el desarrollo del sistema de control y es más económico que el PIC18F2550. Además que el ATmega 328P permite usar las salidas PWM que estén enlazadas a sus temporizadores en Modo PMW rápido y esto fue de gran utilidad en el desarrollo del proyecto.

2.4.1.1. Generación de frecuencia de operación

Para general la frecuencia de operación del tanque cuasi-resonante se necesitó obtener una señal PWM. Mediante la modificación de los registros se pudo hacer que el microcontrolador entregue una señal PWM en modo rápido, aprovechando el uso del oscilador interno que este posee.

Una señal PWM tiene un periodo que se mantiene constante, en la Figura 7, se puede observar que T_{alto} corresponde al tiempo de ciclo en el que la señal se mantiene en 1 lógico, este puede variar o cambiar en este tipo de señales. Al tiempo que la señal se mantiene en alto se lo conoce como ciclo de trabajo o también como ancho de pulso.

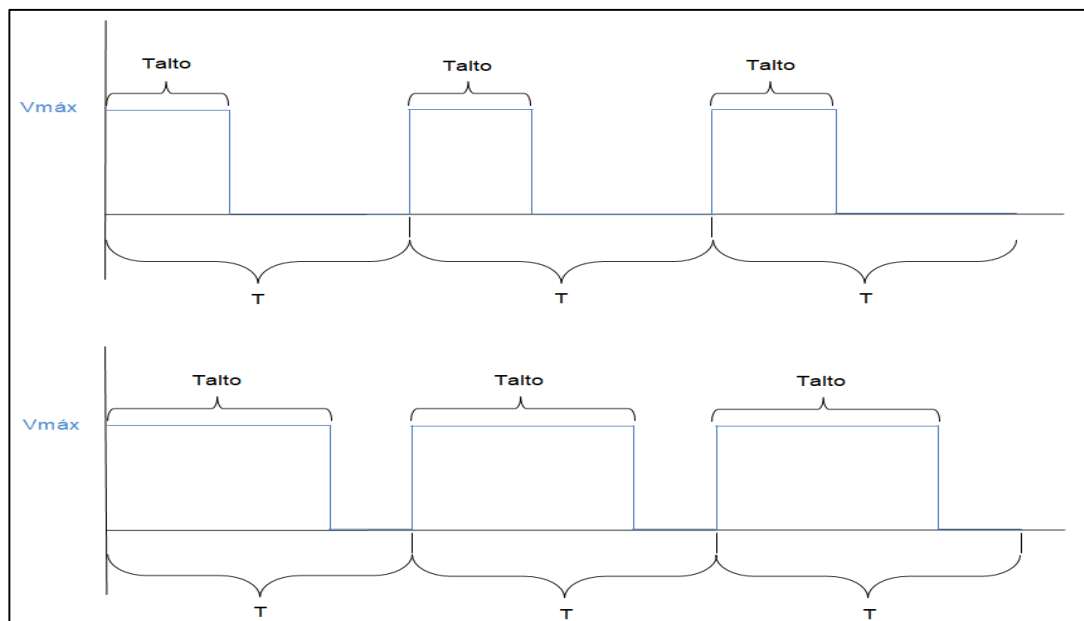


Figura 7. Modulación de ancho de pulso

El registro del temporizador que se usó, es el TCNT1, este registro aumenta su valor a través del tiempo y su valor máximo depende de la resolución que se seleccione, para este proyecto se seleccionó una resolución de 8 bits.

El registro TCNT1 está ligado a un registro comparador que es el OCR1A, en la Figura 8, se puede apreciar como en función del valor que se le asigne al registro OCR1A y el valor de la resolución del registro TCNT1 se obtiene una señal PWM. Al ser una resolución de 8 bits, el contador incrementa su valor desde 0 a 255 y el valor del registro comparador OCR1A se obtiene de la selección de potencia que propuso al inicio del proyecto.

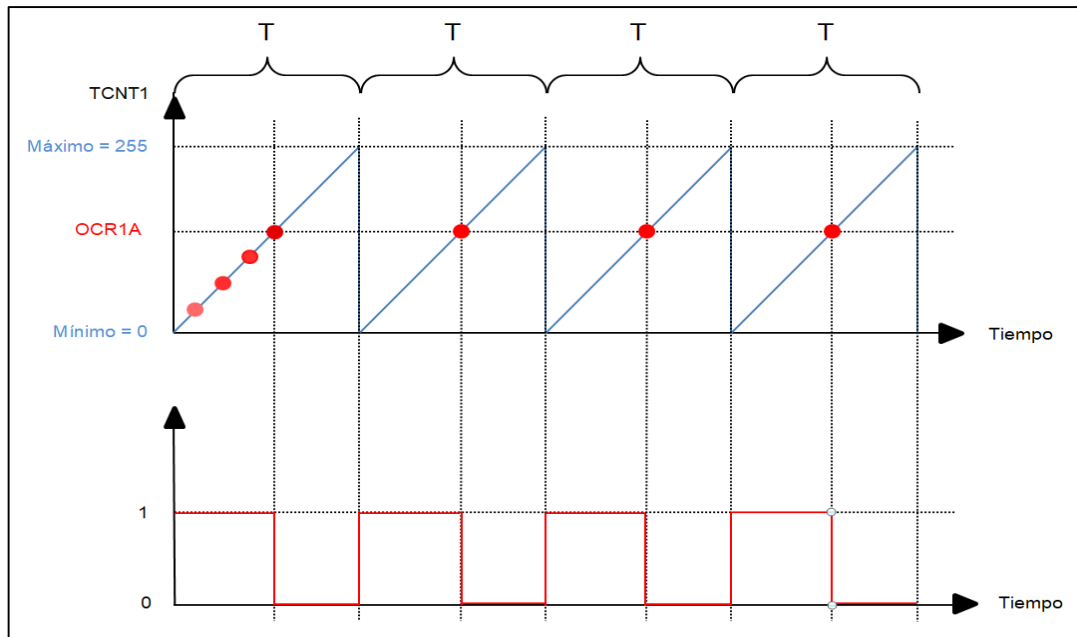


Figura 8. Comportamiento del registro TNCT1 para la obtención de la señal PWM en modo rápido

Mediante la siguiente ecuación se pudo obtener la frecuencia PWM.

$$f_{\text{PWM}} = \frac{f_{\text{CPU}}}{256 \cdot \text{Preescaler}} \quad [1]$$

Dónde:

- f_{CPU} : Frecuencia de 8MHz (Oscilador interno del microcontrolador)
- Preescaler: Es un conteo electrónico que se usa para reducir la señal eléctrica de alta frecuencia a una de más baja frecuencia por división entera, este caso se usó uno no preescalado.

En la Tabla 4, se puede apreciar los valores de preescaler que se le pueden asignar al registro.

Tabla 4. Valores preescaler para el temporizador 1

CS12	CS11	CS10	Descripción
0	0	0	Sin fuente de reloj (Temporizador/Contador detenido)
0	0	1	$\text{Clk}_{I/O}/1$ (no preescalado)
0	1	0	$\text{Clk}_{I/O}/8$ (del preescalador)
0	1	1	$\text{Clk}_{I/O}/64$ (del preescalador)
1	0	0	$\text{Clk}_{I/O}/256$ (del preescalador)
1	0	1	$\text{Clk}_{I/O}/1024$ (del preescalador)
1	1	0	Fuente de reloj externo en el pin T1. Reloj en el borde descendente
1	1	1	Fuente de reloj externo en el pin T1. Reloj en el borde ascendente

(ATMEL, 2016)

$$f_{PWM} = \frac{8000000 \text{ Hz}}{256 * 1}$$

$$f_{PWM} = 31,25 \text{ KHz}$$

2.4.1.2. Diseño del circuito para la selección de potencia

Para la selección de potencia se usó como componente principal el circuito integrado CD4017, que es un contador y divisor hasta 10. En la Figura 9, se muestra el circuito implementado.

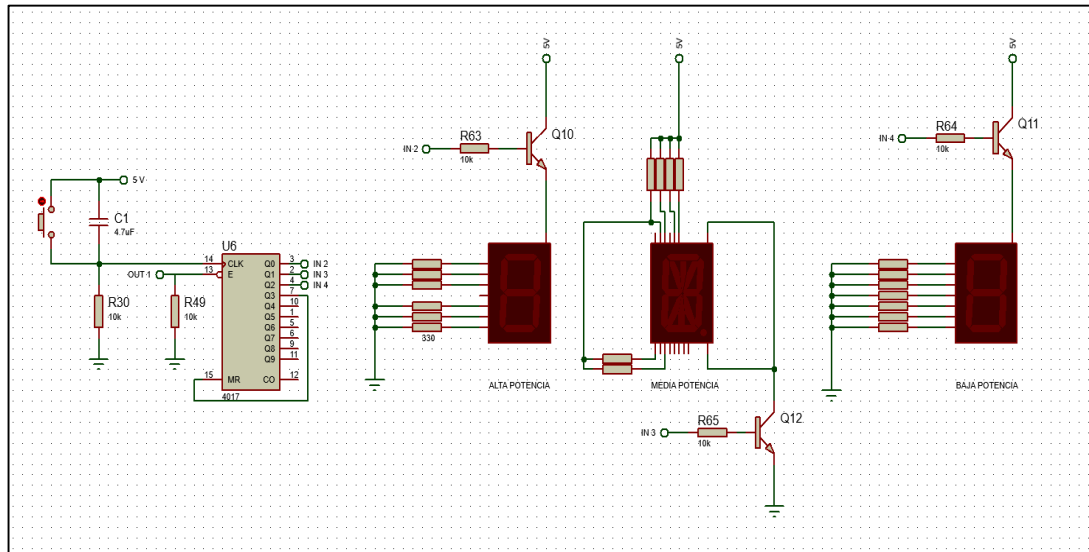


Figura 9. Circuito para selección de potencia

Se implementó un pulsador con una conexión anti rebote para dar la señal de entrada de CLK del integrado CD4017, esta señal permite que el contador avance desde Q0 hasta Q3. Desde Q0 hasta la Q2 el contador se incrementó mediante 3 pulsaciones y mediante la cuarta pulsación se activa el Q3 que está conectado a la señal de RESET del circuito integrado. Los Display de 7 segmentos, como el Display de 14 segmentos fueron condicionados la saturación de los transistores de tipo NPN, ya que estos entran en saturación en función del estado del CD4017.

Las salidas Q0, Q1 y Q2 están conectadas a entradas del microcontrolador y cada una de estas entradas tiene un valor relacionado con el registro ORC1A como se muestra en la Tabla 5, que como se mencionó previamente en este capítulo, es el registro comparador que permite que la señal PWM cambie su ancho de pulso.

Tabla 5. Valores del registro ORC1A para cada potencia del equipo

Potencia	Valor en el registro ORC1A
Baja	80
Media	100
Alta	127

2.4.1.3. Circuito para la detección de recipiente ferromagnético

Para la detección del tipo de recipiente que se va a usar en la hornilla se implementó un circuito de cruce por cero, un circuito de muestreo y comparación del voltaje del capacitor y del voltaje del colector emisor del IGBT. El circuito para la detección del cruce por cero es para que en el instante que el equipo empiece a trabajar, pueda enviar un tramo de onda y así el tanque cuasi-resonante sea energizado. Cuando el tanque cuasi-resonante es dotado de energía eléctrica y esta se transforma en energía calórica en la superficie del recipiente, quiere decir que el recipiente que se está usando tiene propiedades ferromagnéticas, pero cuando la energía no se disipa, quiere decir que el material del recipiente colocado no posee propiedades ferromagnéticas. Mediante las siguientes ecuaciones se pudo calcular los tiempos necesarios para la conmutación del IGBT en la detección del recipiente.

$$f_{\text{salida}}=2*f_{\text{entrada}} \quad [2]$$

Dónde:

- f_{salida} : Es la frecuencia luego de pasar por el puente de diodos.
- f_{entrada} : Frecuencia de la red a la entrada del circuito.

$$f_{\text{salida}}=2*60 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{salida}}=120 \text{ Hz}$$

Ya obtenida la frecuencia de salida se pudo calcular el periodo de la señal con la siguiente ecuación:

$$T_{\text{señal}}=\frac{1}{f_{\text{salida}}} \quad [3]$$

$$T_{\text{señal}}=\frac{1}{120 \text{ Hz}}$$

$$T_{\text{señal}}=8333,33 \text{ us}$$

El siguiente periodo que se calculó es el de la señal PWM con la fórmula que se muestra a continuación:

$$T_{\text{PWM}}=\frac{1}{f_{\text{PWM}}} \quad [4]$$

$$T_{\text{PWM}}=\frac{1}{31,25 \text{ KHz}}$$

$$T_{\text{PWM}}=32 \text{ us}$$

Mediante la siguiente ecuación se calculó el tiempo de se debe esperar para que el IGBT conmute después de detectar un cruce por cero y así poder enviar energía al circuito tanque cuasi-resonante.

$$t_{\text{cruce por cero}} = T_{\text{señal}} - \frac{T_{\text{PWM}}}{2} \quad [5]$$

$$t_{\text{cruce por cero}} = 8333,33 \text{ us} - \frac{32}{2} \text{ us}$$

$$t_{\text{cruce por cero}} = 8317,33 \text{ us}$$

En la Figura 10, se puede observar la distribución de tiempos y la etapa de la onda que se va a enviar al tanque cuasi-resonante. Se eligió esta etapa de onda, ya que los elementos de potencia son más fáciles de manipular a la conexión que a la desconexión.

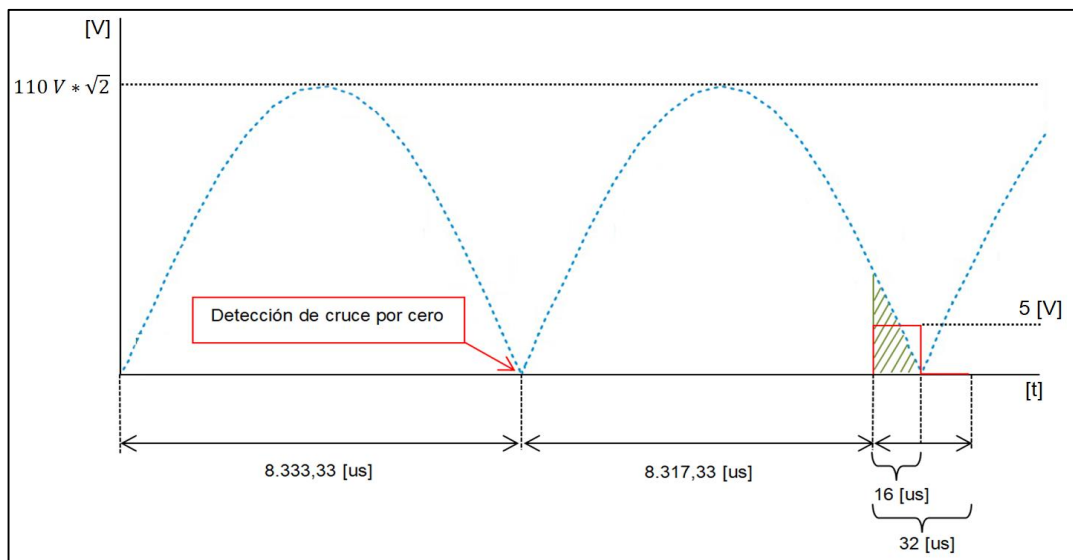


Figura 10. Detección de cruce por cero

En la Figura 11, se presenta el circuito de detección de cruce por cero, básicamente conformado de un puente rectificador y un PC817.

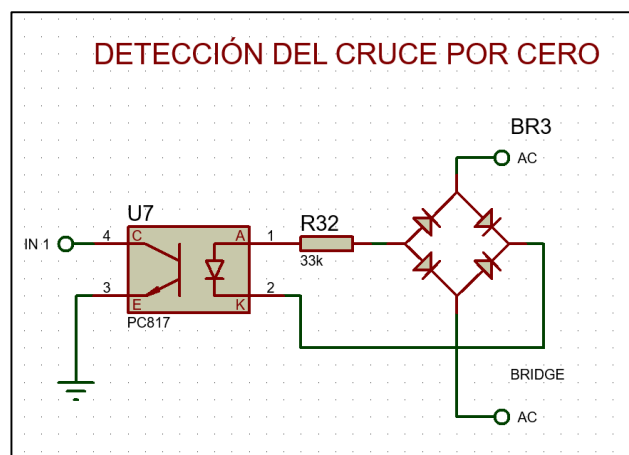


Figura 11. Circuito de detección de cruce por cero

Luego que el circuito tanque ya fue energizado, se procedió a recoger un muestreo del voltaje en el capacitor y voltaje entre colector-emisor que hay en el IGBT. Mediante dos divisores de tensión se redujo el voltaje a menos de 1.5V, para que este voltaje pueda ingresar a un comparador.

En la Figura 12, se puede observar un divisor de tensión para el voltaje del capacitor, del que se partió para encontrar las resistencias que permitan reducir el voltaje del capacitor a 1,5 V.

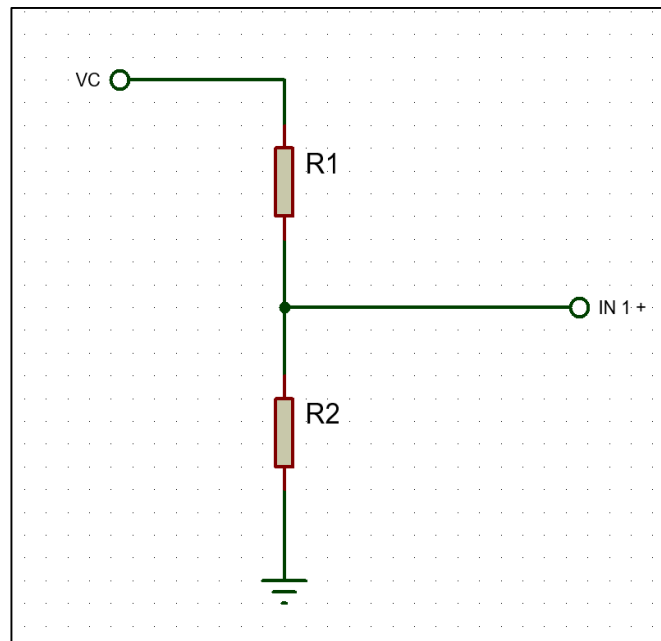


Figura 12. Divisor de tensión para el voltaje en el capacitor

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot V_C - R_2 \cdot V_{IN+}}{V_{IN+}} \quad [6]$$

Dónde:

- V_{IN+} : Voltaje a la entrada no invertida del comparador.
- V_C : Voltaje en el capacitor.

Se asume una resistencia R_2 de 3,9 K Ω .

$$R_1 = \frac{3,9 \text{ K}\Omega \cdot 160\text{V} - 3,9 \text{ K}\Omega \cdot 1,5}{1,5 \text{ V}}$$

$$R_1 = \frac{623994 \text{ K}\Omega \text{ V}}{1,5 \text{ V}}$$

$$R_1 = 416 \text{ K}\Omega$$

Cuando se implementó el circuito se seleccionó dos resistencias para reemplazar R_1 con los valores de 220K Ω y 200 K Ω .

En la Figura 13, se puede observar un divisor de tensión para el voltaje del capacitor del que se partió para encontrar las resistencias que permitan reducir el voltaje del capacitor a 1,5 V.

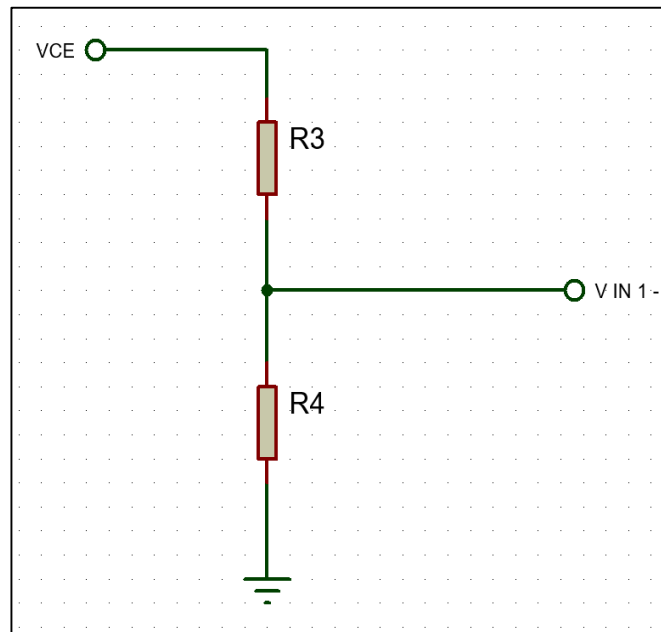


Figura 13. Divisor de tensión para el voltaje de colector emisor en el IGBT

$$R_3 = \frac{R_4 * V_{CE} - R_4 * V_{IN-}}{V_{IN-}} \quad [7]$$

Dónde:

- V_{IN-} : Voltaje a la entrada invertida del comparador.
- V_{CE} : Voltaje colector emisor en el IGBT.

Se asume al resistencia R4 de 1 K Ω

$$R_3 = \frac{1 \text{ K} * 779 \text{ V} - 1 \text{ K}\Omega * 1,5}{1,5 \text{ V}}$$

$$R_3 = \frac{777500 \text{ K}\Omega \text{ V}}{1,5 \text{ V}}$$

$$R_3 = 518 \text{ K}\Omega$$

Cuando se implementó el circuito se seleccionó dos resistencias para remplazar R3 con los valores de 330K Ω y 180 K Ω .

En la Figura 14, se puede observar como implementó los anteriores circuitos con el circuito integrado LM324.

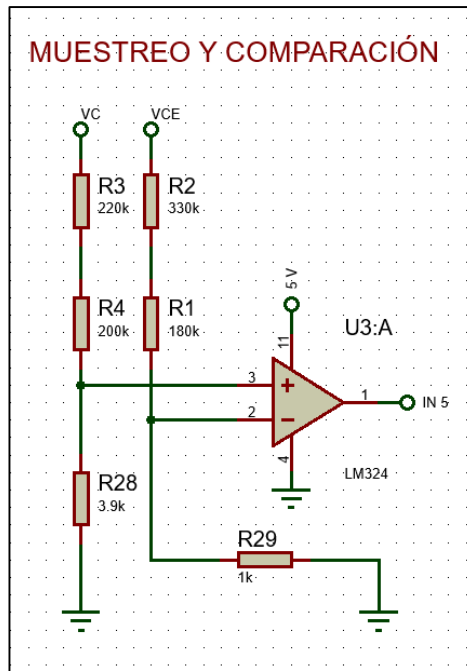


Figura 14. Circuito de muestreo y comparación

El comparador está polarizado solo con un voltaje de referencia de 5 V positivos, para que a la salida de comparador por la IN 5 del LM324 se obtenga 5 V o 0 V según sea el caso.

El comparador tiene dos estados posibles que se exponen en la Tabla 6.

Tabla 6. Estados de comparación del LM324

Entradas del comparador	Salida del comparador
$V_c > V_{ce}$	5 V
$V_c < V_{ce}$	0 V

Debido a que por el efecto de tanque cuasi-resonante el voltaje del colector-emisor del IGBT oscila entre voltajes positivos y negativos, esto permitió realizar una comparación entre este y el voltaje del capacitor del filtro. A la salida de la comparación se tiene un 1 o 0 lógico que permite la lectura de este muestreo en el microcontrolador. El número de pulsos que recibe al microcontrolador, depende de si la cantidad de energía enviada al tanque cuasi-resonante se transforma en energía calórica en el recipiente o no, así se pudo definir e identificar si el recipiente es o no ferromagnético.

2.4.1.4. Desarrollo del algoritmo de control

En esta sección se presentan los algoritmos que se desarrollaron para que el proyecto haya sido capaz de cumplir con los requerimientos y especificaciones que se plantearon al inicio del mismo. Para aumentar la eficiencia del software de control que se desarrolló para el control del equipo, se decidió utilizar programación de bajo nivel en ciertas partes del código,

como al enviar la señal PWM para la conmutación de alta frecuencia del IGBT y para la lectura de temperatura de este elemento.

Se hizo uso de interrupciones para el desarrollo del software, ya que mediante esta herramienta se pudo enviar la señal PWM del microcontrolador sin interferir las demás funciones que se le asignó a este. En la detección del tipo de recipiente también se usó interrupciones, con esto se logró aumentar la velocidad en la detección y hacer más confiable esta función del equipo, ya que si no se lo hacía correctamente el circuito de potencia sufría daños considerables.

En la Figura 15, se puede observar la posición en la que el equipo puede empezar a operar, en este caso el adaptador no está en la zona de calentamiento, quiere decir que el recipiente que el usuario va a usar es de un material ferromagnético. La dirección A que se indica en esta figura muestra que el actuador se está retirando de la zona de calentamiento.

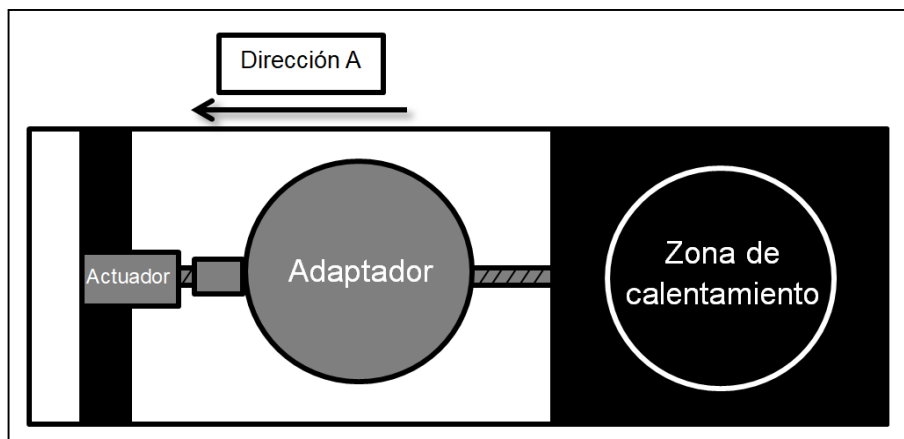


Figura 15. Posición A del mecanismo

En la Figura 16, se muestra el adaptador para recipientes no ferromagnéticos en la zona de calentamiento, además muestra la dirección B, que indica la dirección en la que el actuador coloca el adaptador para que el usuario pueda hacer uso de recipientes sin propiedades ferromagnéticas.

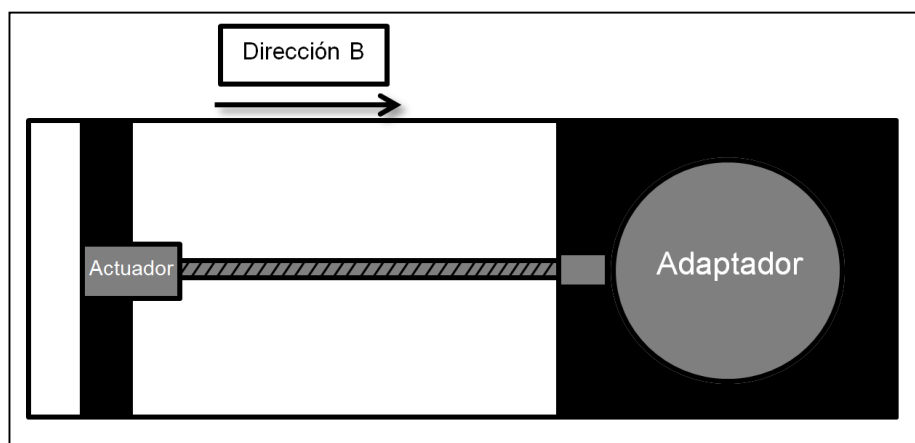


Figura 16. Posición B del mecanismo

En la Figura 17, se muestra el algoritmo que se implementó para el encendido del equipo, en esta parte se implemento que por seguridad el adaptador siempre debe estar fuera de la zona de calentamiento cuando el equipo inicie.

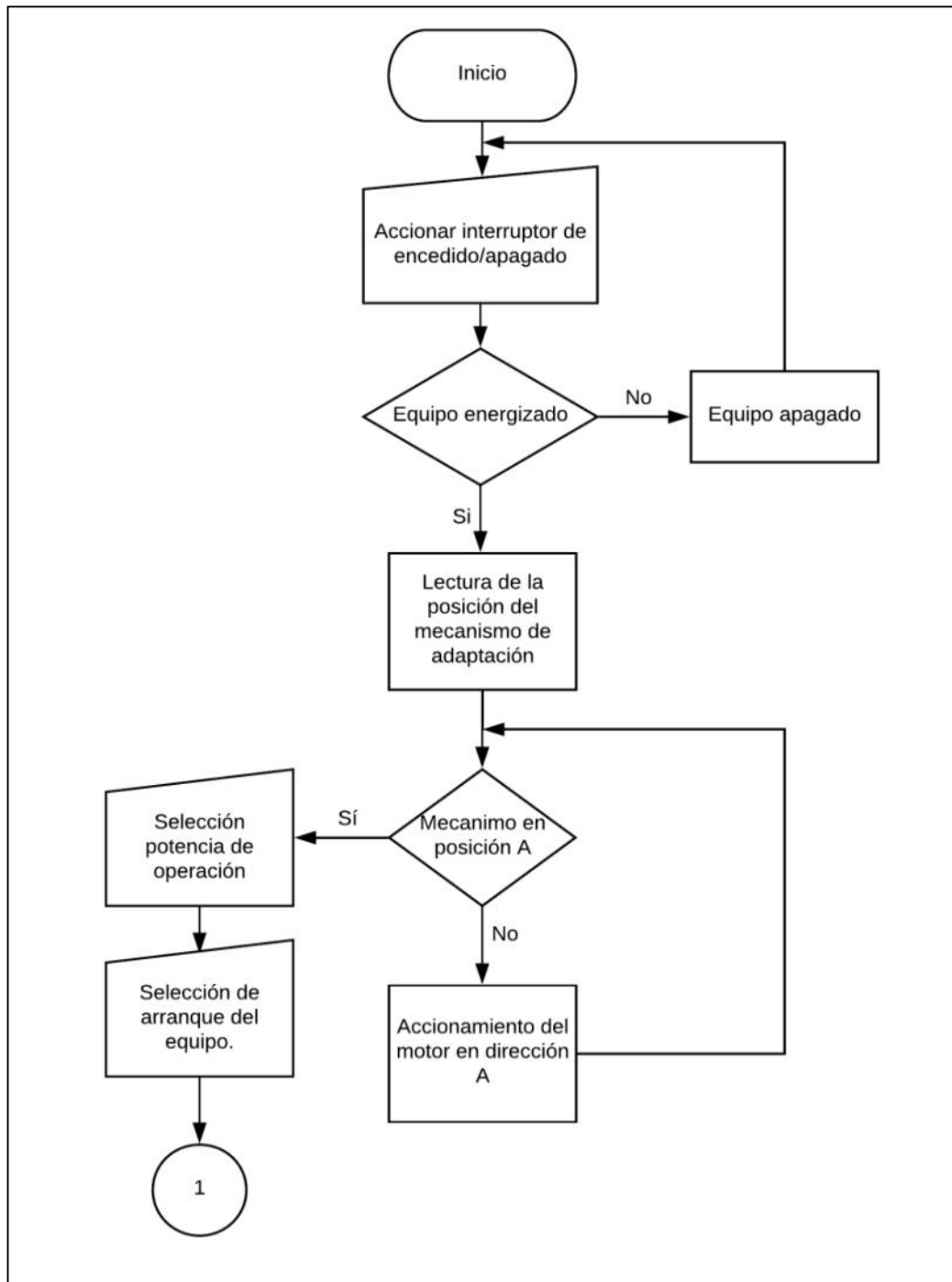


Figura 17. Algoritmo para el encendido del equipo

En la Figura 18, se puede observar el algoritmo de control apartir de que el usuario dé la instrucción para que el equipo empiece a calentar.

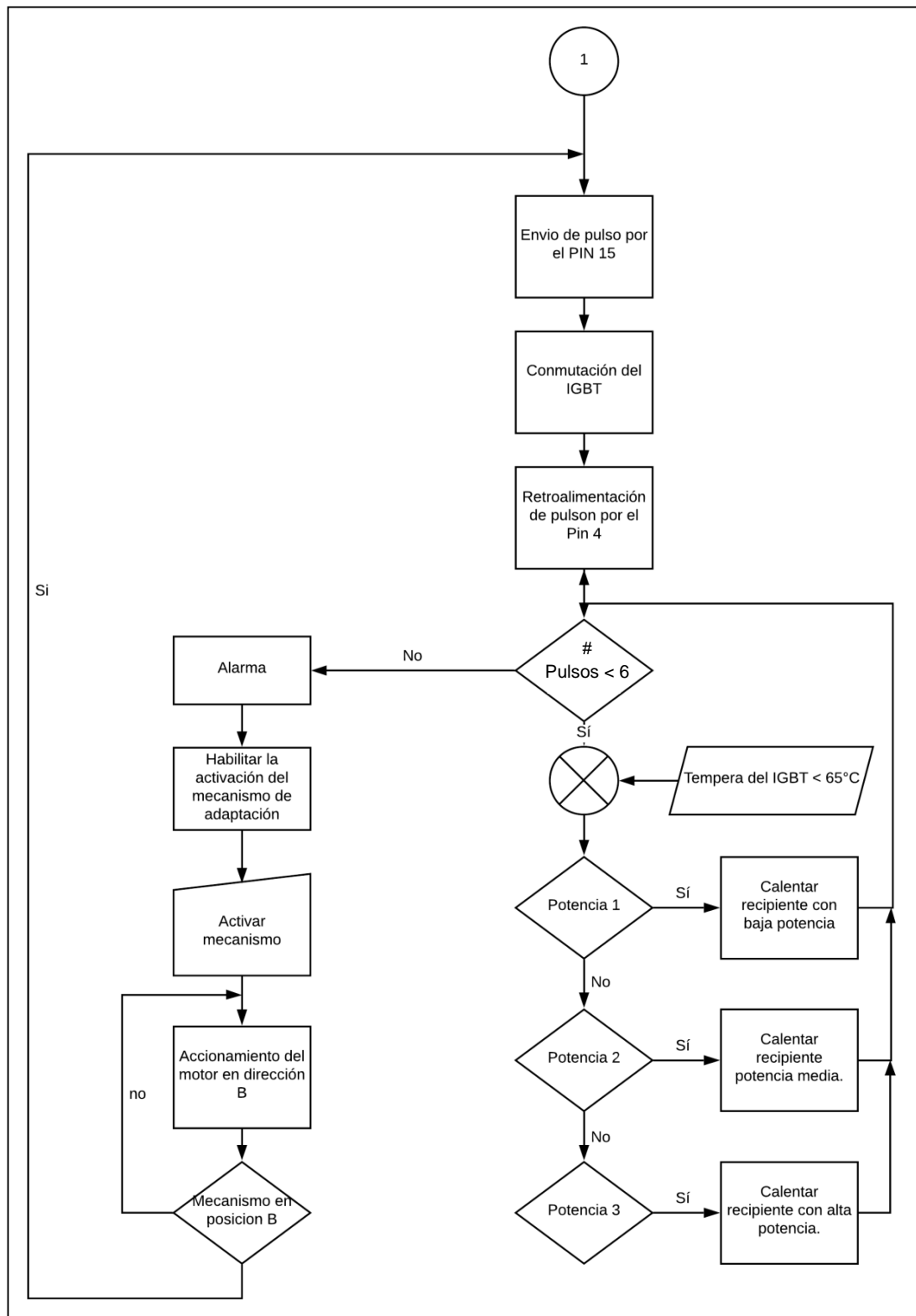


Figura 18. Algoritmo para el calentamiento de recipientes

2.4.2. Diseño del circuito eléctrico de potencia

El circuito está compuesto principalmente por un rectificador, un filtro LC y un tanque cuasi-resonante. Se le adicionó un disipador de calor y un ventilador tanto al IGBT como al puente de diodos, ya que en las pruebas que se realizaron estos dos elementos son los llegaron a tener altas temperaturas.

2.4.2.1. Diseño del circuito rectificador y filtro LC

Para el diseño del circuito del rectificador se usó la potencia máxima de la cocina, que es de 1000 W y el voltaje de red que es de 110 VAC a 60 Hz. Con estos parámetros se pudo determinar la corriente nominal de trabajo de la cocina.

$$P=V * I \quad [8]$$

Dónde:

- P = Potencia
- V = Voltaje
- I = Corriente

$$I_{\text{entrada}} = \frac{1000 \text{ [W]}}{110 \text{ [V]}}$$

$$I_{\text{entrada}} = 9,09 \text{ [A]}$$

Se dimensionó el puente rectificador basado en el voltaje pico inverso y la corriente que circula por este.

$$V_{\text{pico inverso}} = V * \sqrt{2} \quad [9]$$

$$V_{\text{pico inverso}} = 110 \text{ [V]} * \sqrt{2}$$

$$V_{\text{pico inverso}} = 155,56 \text{ [V]}$$

Se asume un Factor de seguridad de 1,5

$$I_{\text{rectificador}} = FS * I_{\text{entrada}} \quad [10]$$

$$I_{\text{rectificador}} = 1,5 * 9,09$$

$$I_{\text{rectificador}} = 13,63 \text{ [A]}$$

Se seleccionó un puente rectificador de valor comercial de 800 V a 20 A. En la Tabla 7, se puede observar las características principales del elemento seleccionado. A nivel local no se encontró un elemento que cumpla con el voltaje requerido y a la vez que cumpla con el amperaje calculado, así que

se adquirió un rectificador que soporte el amperaje aunque el elemento esté sobre dimensionado para el valor del voltaje.

Tabla 7. Características del rectificador D20XB80

Temperatura de operación	De -40°C a 150°C
Voltaje invertido máximo	800 V
Corriente de operación	20 A

(Shindengen Electric Mfg.co.ltd, 2000)

El filtro LC se implementó, ya que a causa de las conmutaciones del circuito cuasi-resonante se generan corrientes armónicas. Como este filtro está relacionado directamente a la frecuencia de resonancia del circuito cuasi-resonante, se dimensionó los elementos en base a esta y asumiendo un capacitor comercial de 5 uF.

$$L_{\text{filtro}} = \frac{1}{C * (f * \pi)^2} \quad [11]$$

Dónde:

- C : Capacitancia
- f: frecuencia de corte

$$L_{\text{filtro}} = \frac{1}{5\mu\text{F} * (31,25\text{KHz} * \pi)^2}$$

$$L_{\text{filtro}} = 20,75 \mu\text{H}$$

Se añadió un fusible de 10 A a la entrada del circuito del circuito como protección de sobrecargas. En la Figura 19, se puede observar tanto el circuito Rectificador como el Filtro LC que se implementó.

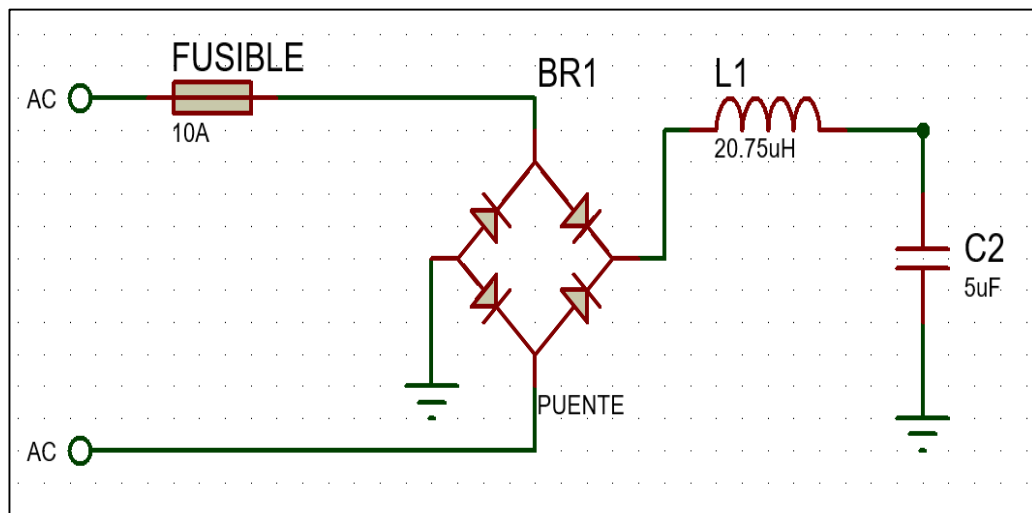


Figura 19. Circuito rectificador y filtro LC

2.4.2.2. Diseño del circuito cuasi-resonante

Para el diseño del circuito cuasi-resonante se partió de la potencia máxima de la cocina, la frecuencia de operación y la bobina con la que esta va a trabajar, es de 85 uH. Teniendo en cuenta la frecuencia y la bobina del tanque cuasi-resonante, obtuvo el capacitor mediante los siguientes cálculos:

$$C_{\text{tanque}} = \frac{1}{L \cdot (2 \cdot f_o \cdot \pi)^2} \quad [12]$$

Dónde:

- L = Inductancia de la bobina
- fo = Frecuencia de operación

$$C_{\text{tanque}} = \frac{1}{85 \text{ [uH]} \cdot (2 \cdot 31,25 \text{ [KHz]} \cdot \pi)^2}$$

$$C_{\text{tanque}} = 3,05 \times 10^{-7} \text{ [F]}$$

$$C_{\text{tanque}} = 0,30 \text{ [uF]}$$

$$I_{\text{resonante}} = \frac{2\pi \cdot P}{V} \quad [13]$$

$$I_{\text{resonante}} = \frac{2\pi \cdot P}{V}$$

$$I_{\text{resonante}} = \frac{2\pi \cdot 1000 \text{ [W]}}{110 \text{ [V]} \cdot \sqrt{2}}$$

$$I_{\text{resonante}} = 40,38 \text{ [A]}$$

Con los resultados obtenidos, se pudo seleccionar un capacitor de 0,3 uF, que trabaje a un voltaje de 1200 V.

Se seleccionó un IGBT como conmutador electrónico del inversor cuasi-resonante debido a que este puede manejar altas potencias a altas frecuencias de conmutación. Para su dimensionamiento se considera la corriente máxima y el voltaje colector-emisor máximo.

$$I_{\text{max}} = I_{\text{entrada}} \cdot \sqrt{2} \quad [14]$$

$$I_{\text{max}} = 9,28 \text{ [A]} \cdot \sqrt{2}$$

$$I_{\text{max}} = 25,71 \text{ [A]}$$

La corriente que pase por el colector del IGBT será la corriente máxima multiplicada por el factor de seguridad.

$$I_{\text{colector}} = I_{\text{max}} * F.S \quad [15]$$

$$I_{\text{colector}} = 12,85 \text{ [A]} * 1,5$$

$$I_{\text{colector}} = 19,28 \text{ [A]}$$

Cuando el IGBT está abierto, el voltaje entre colector y emisor es igual a la suma del voltaje a la salida del rectificador más el voltaje del capacitor del tanque resonante.

$$V_{\text{ce}} = V_{\text{rectificador}} + V_{\text{capacitor}} \quad [16]$$

$$V_{\text{ce}} = 110 \text{ [V]} * \sqrt{2} + 623,19 \text{ [V]}$$

$$V_{\text{ce}} = 778,756 \text{ [V]}$$

En la Figura 20, se puede apreciar la configuración del circuito tanque cuasi-resonante.

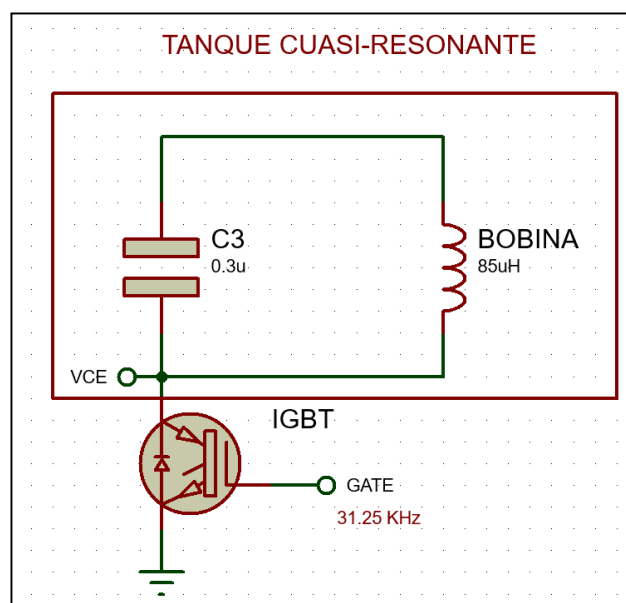


Figura 20. Circuito del Tanque cuasi-resonante

Se seleccionó un el IGBT SKW25N120, las principales características de este elemento se pueden apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8. Características del IGBT SKW25N120

Temperatura máxima de operación	≤150°C
Voltaje colector-emisor	1200 V
Corriente de colector	25 A

2.4.2.3. Circuito de disparo diseñado para el IGBT

La salida del microcontrolador es de 5 V, por lo tanto fue necesario acondicionar un circuito para que la conmutación del IGBT se dé con 18V. En la Figura 21, se puede observar una combinación entre transistores del tipo PNP y NPN, para garantizar que el IGBT entre en conmutación con 18V.

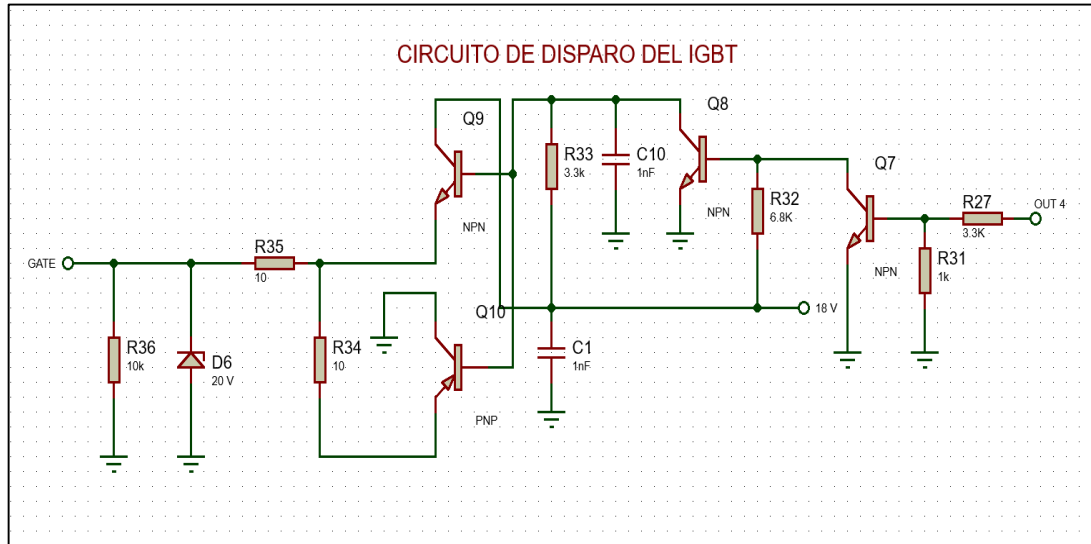


Figura 21. Circuito de disparo del IGBT

En la Tabla 9, se puede apreciar el estado de los transistores en función del voltaje en OUT 4.

Tabla 9. Estados de los elementos de conmutación en el circuito de disparo del IGBT

OUT 4	Q1	Q2	Q3	Q4	Gate IGBT
5 [V]	Saturación	Corte	Saturado	Saturado	18 [V]
0 [V]	Corte	Saturado	Corte	Corte	0 [V]

2.4.2.4. Protección térmica para el IGBT

El IGBT es el elemento que está sometido a grandes frecuencias de conmutación para que se dé el fenómeno de la inducción electromagnética. Por ende se decidió poner una protección térmica a este y así se evitó daños cuando el equipo está funcionando por un largo periodo.

Se debe proveer al IGBT de un sensor térmico que mediante el microcontrolador se pueda monitorear la temperatura de este, debe ser de pequeñas dimensiones y debe soportar hasta 150°C.

Un termistor del tipo NTC, es que más se acomodó a las necesidades antes mencionadas, ya que este tiene tamaño compacto y tiene una resistencia térmica de hasta 150° C.

En la Tabla 10, se puede observar la resistencia que tiene este elemento en función de la temperatura a la que es expuesto. Este termistor es de 100 K y tiene una lectura de temperatura de -39 °C hasta 187 °C

Tabla 10. Resistencia del NTC en función de la temperatura

Temperatura [°C]	Resistencia [Ω]
-39	3916295
25	10000
187	8783

(BAPI, 2012)

Para la lectura del sensor, se implementó un divisor de tensión, para que mediante la lectura analógica del microcontrolador, se pueda saber la temperatura que este censa. En la Figura 22, se puede apreciar el circuito implementado.

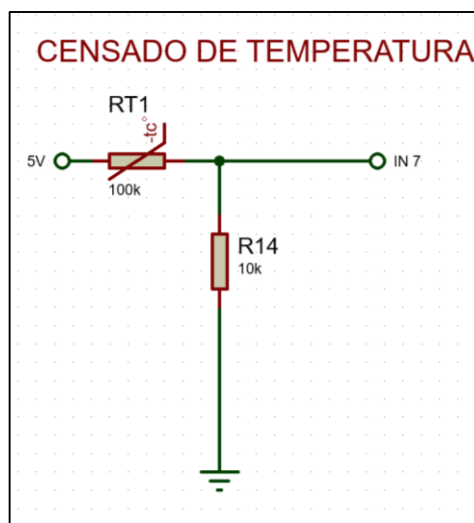


Figura 22. Circuito para lectura de temperatura del IGBT

Mediante el circuito se concluyó que el voltaje a la salida del divisor de tensión no debe exceder los 0,49 V, ya q esto equivale a una temperatura de 81°C.

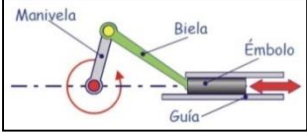

2.4.3. Diseño mecánico

La estructura del proyecto se basó en que este debe contener todos los elementos del sistema, tanto mecánicos como electrónicos y al mismo tiempo, tener un diseño estilizado y los más compacto posible. El mecanismo de adaptación se diseñó para que ocupe el menor espacio posible y sea preciso a la hora de colocarse en la parte superior de la bobina de inducción.

2.4.3.1. Mecanismo de adaptación para uso universal de recipientes de calentamiento

Para el desarrollo del mecanismo de adaptación, se tomó en cuenta 2 posibles alternativas. En la Tabla 11, se realizó una comparación de las dos alternativas, mencionando sus desventajas y ventajas, para posteriormente seleccionar una de las dos para su implementación.

Tabla 11. Ventajas y desventajas para la selección de un mecanismo de adaptación

Tipo de mecanismo	Ventajas	Desventajas
<p>Mecanismo Biela – Manivela</p> 	Utiliza un sistema de control sencillo.	Necesita una gran cantidad de espacio para desarrollar su movimiento.
	Es un mecanismo rápido de ensamblar.	Debe ser diseñado desde cero, para posteriormente ser maquinado.
	Mecanismo simple de diseñar.	Poca exactitud en su movimiento.
<p>Mecanismo Tuerca – Tornillo sin fin</p> 	Utiliza poco espacio para desarrollar su movimiento.	El control del actuador es más complejo.
	De fácil adquisición, ya q todas las piezas son comerciales.	Es un mecanismo complicado de ensamblar.
	Gran exactitud en su movimiento	Costo elevado.

Mediante la información de la Tabla 11, se decidió usar un mecanismo tuerca–tornillo sin fin, ya que este mecanismo de fácil acceso, de mayor exactitud, que es usado por ejemplo en máquinas CNC e impresoras 3D.

2.4.3.2. Diseño del circuito de control para el posicionamiento del mecanismo de adaptación

El mecanismo de adaptación para recipientes no ferromagnéticos consta principalmente de un moto-reductor y fines de carrera.

Para el control del sentido de giro del moto-reductor se usó un DRIVER L298N, este dispositivo permite usar motores de corriente continua de hasta 2 A. El circuito se implementó se puede observar en la Figura 23.

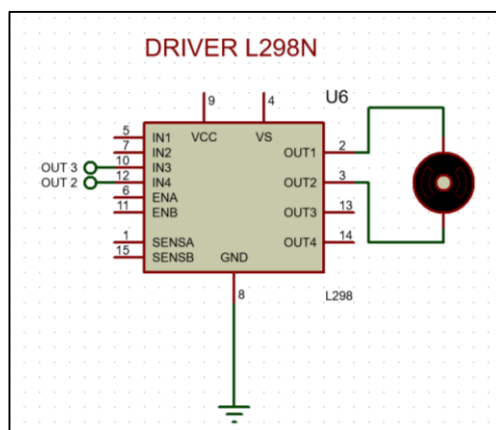


Figura 23. Circuito para el actuador del mecanismo de adaptación

Se decidió implementar fines de carrera en el prototipo, ya que se vio necesario conocer la posición del adaptador cuando este se mueve mediante el tornillo sin fin. El circuito se muestra en la Figura 24.

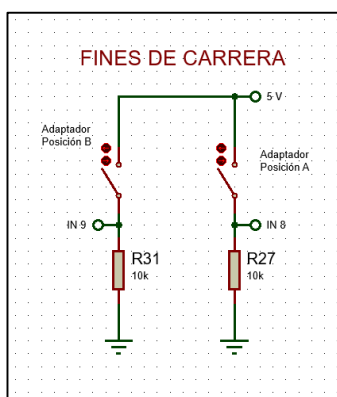


Figura 24. Circuito de fines de carrera

2.4.3.3. Selección de materiales para la estructura de soporte del equipo

Para el desarrollo de la estructura del proyecto, se tomó en cuenta 3 alternativas de materiales, en la Tabla 12, se describen las características más importantes, tomando en cuenta que se decidió utilizar planchas de 2mm de espesor, ya que la estructura no está sometida a grandes cargas ni a impactos considerable.

Tabla 12. Características principales de los materiales para la elaboración de la estructura del prototipo

Tol galvanizado	Acero inoxidable	Aluminio
Resistencia a cualquier otro tipo de recubrimiento	El acero inoxidable es una aleación de hierro con un mínimo de un 10,5% de cromo.	El aluminio es el material más utilizado para la fabricación de placas por su inmejorable relación calidad-precio.
Mayor dureza en relación a un tol negro frío o caliente.	Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo.	Es un material de altas prestaciones: económico, ligero, dúctil y resistente a la oxidación.
No necesita mantenimiento	Su bajo contenido en carbono otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras	Se las utiliza en pisos frigoríficos, pisos para pick up de camionetas, pisos en general.
Se la utiliza para la realización de ductos para aire acondicionado, muebles, mobiliario urbano, equipamientos para carreteras, etc.	Las planchas de acero inoxidable 430 tienen excelentes características de pulido y por lo tanto se utiliza en aplicaciones tales como ajuste arquitectónico, también tiene buena resistencia a la corrosión en altas temperaturas.	Los usos del aluminio más comunes refieren a la producción de utensilios de cocina, revestimiento para construcciones y toda clase de elaboraciones y aplicaciones en la industria.

(Aceros Center, 2017) ; (Ferrotoll Cia. Ltda., 2017)

Mediante la Tabla 12, se concluyó que el aluminio es un material que tiene una excelente relación calidad-precio y es un material liviano en comparación a las demás alternativas, este fue seleccionado para la estructura del proyecto. La ductilidad del material, permitió que este pueda ser doblado con mayor facilidad y siendo este resistente a la corrosión, es el adecuado para trabajar en ambientes húmedos, como es la cocina de un hogar.

Con los diseños que se realizaron previamente se procedió a crear un prototipo virtual, este se puede observar en la Figura 25.



Figura 25. Modelo virtual del prototipo diseñado

2.5. DESARROLLO DEL PROTOTIPO FÍSICO Y PRUEBAS DE VALIDACIÓN

El desarrollo del prototipo permitió validar la eficiencia y la confiabilidad del equipo mediante pruebas que se realizaron.

2.5.1. Desarrollo del prototipo

2.5.1.1. Elaboración de los circuitos impresos

Para la elaboración de los circuitos impresos se decidió manejar el software PCB Wizard. En la Figura 26, se puede observar el diseño del circuito impreso donde está la parte de control y la parte de potencia.

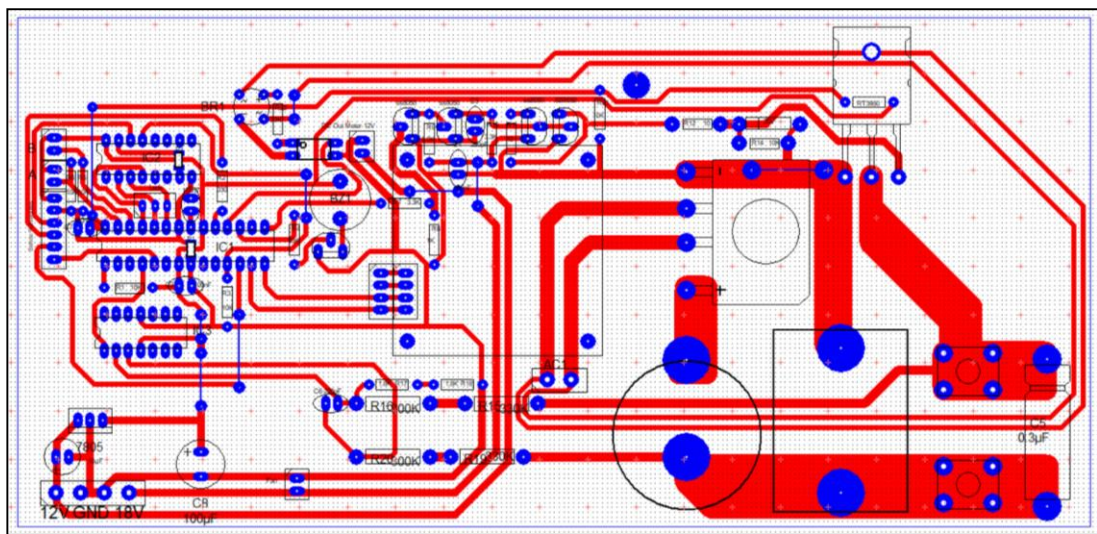


Figura 26. PCB diseñado para control y manejo de potencia

En la Figura 27, se presenta el resultado final del circuito impreso, donde este ya consta de todos los elementos propuestos en el diseño que se hizo previamente.

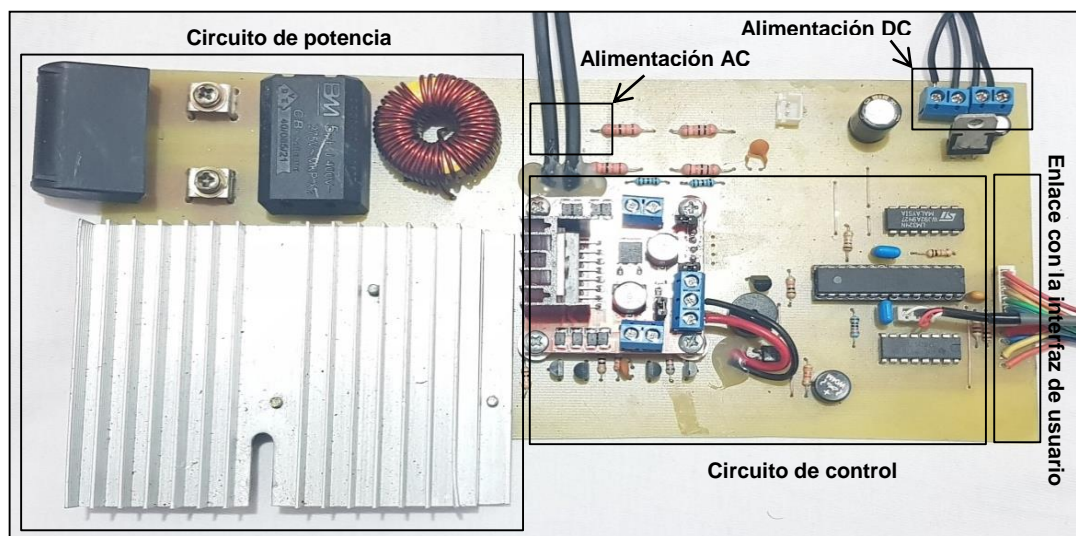


Figura 27. PCB del circuito de control y de potencia

En la Figura 28, se puede observar el diseño del circuito impreso en el software PCB Wizard.

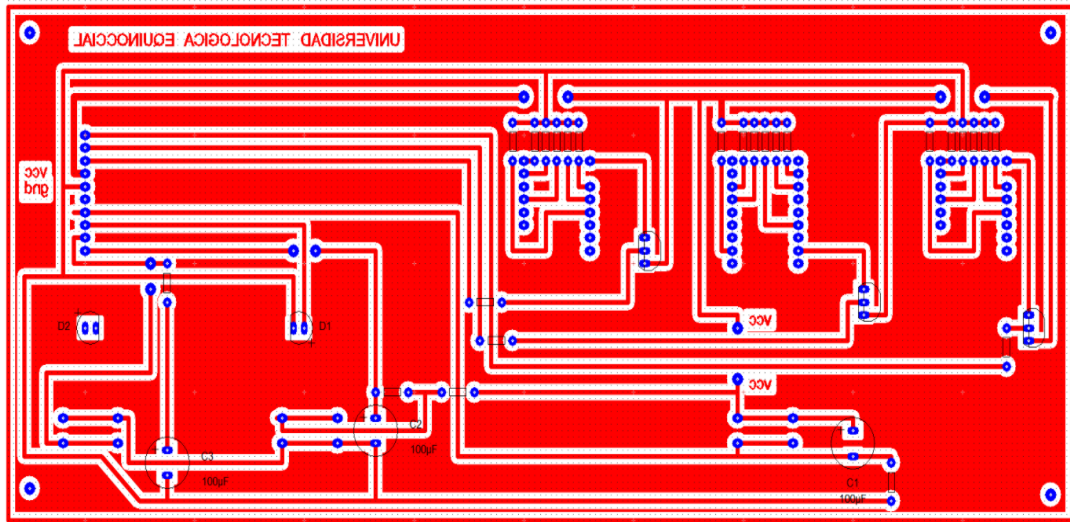


Figura 28. Diseño de la PCB de la interfaz de usuario

En la Figura 29, se presenta el resultado del circuito impreso con todos los elementos soldados, para así poder realizar las pruebas del equipo.

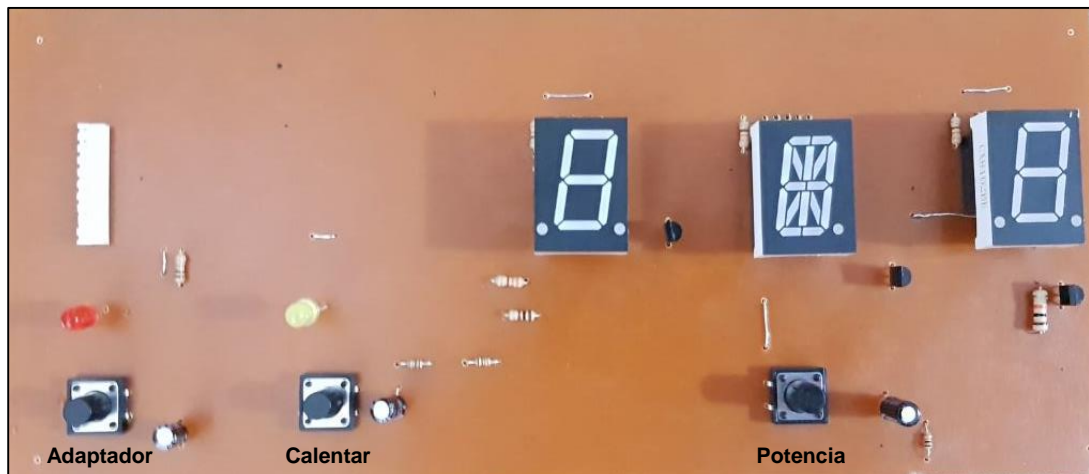


Figura 29. PCB de la interfaz de usuario

2.5.1.2. Prototipo físico

El prototipo fabricado consta de las placas electrónicas que se desarrollaron, la bobina y el mecanismo de adaptación. En la Figura 30, se puede observar a la bobina 85 μH con la que se diseñó el circuito cuasi-resonante.

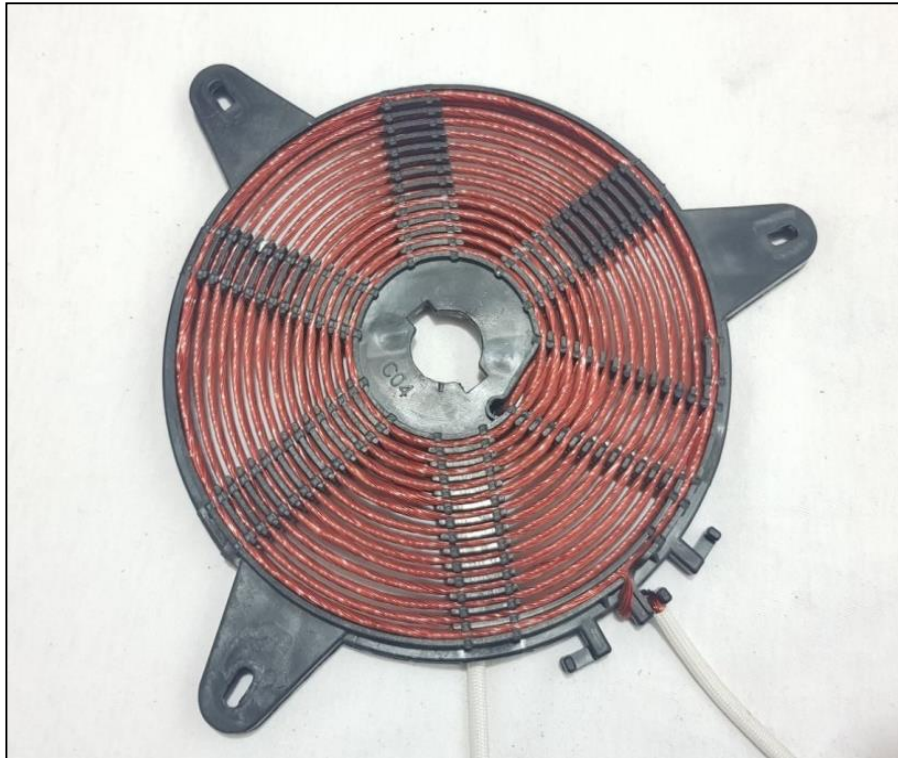


Figura 30. Bobina para calentamiento por inducción

En la Figura 31, se puede observar la estructura de la zona de calentamiento, donde va a ir el recipiente ferromagnético o el adaptador, según sea el caso.



Figura 31. Prototipo de la cocina de inducción

2.5.2. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en base al protocolo que se describe a continuación, y las pruebas se realizaron con recipientes ferromagnéticos y no ferromagnéticos.

2.5.2.1. Protocolo de pruebas

Para el desarrollo de pruebas se hizo uso de los equipo de medición descritos en la Tabla 13.

Tabla 13. Equipo de medición

Equipos de medición	Pinza amperimétrica 	Especificaciones	
		Rango:	999,9 A
		Exactitud	2 % ± 5 dígitos (10-100 Hz) 2,5 % ± 5 dígitos (100-500 Hz)
	Pirómetro infrarrojo 	Especificaciones	
		Rango de temperatura	20°C – 1200°C
		Exactitud	± 1,0 °C

Las condiciones en las que se realizaron las pruebas de eficiencia se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Condiciones de ensayo

Condiciones de ensayo	Temperatura ambiente	20°C ± 5 °C
	Humedad Relativa	85 %
	Hora mediciones	11:00 am a 13:00 pm

El procedimiento descrito en la Tabla 15, es el que se realizó para los 3 niveles de potencia que tiene el prototipo.

Tabla 15. Procedimiento de ensayo

Procedimiento de ensayo para eficiencia energética	
1	Colocar en el recipiente 1 litro de agua.
2	Constatar la temperatura inicial del líquido en el recipiente.
3	Colocar la tapa de la olla.
4	Seleccionar la potencia con la que se desea calentar el líquido
5	Activar el cronómetro.
6	Medir el consumo con la pinza amperimétrica.
7	Monitorear la temperatura del líquido.
8	Medir el tiempo cuando el líquido llegue a 90°C.

2.5.2.2. Pruebas de eficiencia con un recipiente ferromagnético

Las mediciones se realizaron para los distintos niveles de potencia que tiene el equipo. La medición se hizo hirviendo un litro de agua en la ciudad de Quito y los valores recolectados se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Consumos y tiempos al hervir un litro de agua en una olla con propiedades ferromagnéticas

Nivel de potencia	Consumo [A]	Potencia [KW]	T° Inicial [°C]	T° Final [°C]	Tiempo [min]
Alta	8,6	0,946	20	90	5,9
Media	7,5	0,825	21	90	6,6
Baja	6,3	0,693	20	90	10,1

A. Con los datos recolectados en la Tabla 10 se procedió a calcular el consumo eléctrico que tiene el equipo en todos sus niveles de potencia con la siguiente ecuación

$$Q=P*t \quad [17]$$

Dónde:

- Q = Energía suministrada en KWh
- P = Potencia en KW
- t = Tiempo en horas

A.1. Nivel de potencia: Alta

$$Q_A = P \cdot t$$

$$Q_A = 0,946 \text{ KW} \cdot 5,9 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_A = 0,093 \text{ KWh}$$

A.2. Nivel de potencia: Media

$$Q_M = P \cdot t$$

$$Q_M = 0,825 \cdot 6,6 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_M = 0,09 \text{ KWh}$$

A.3. Nivel de potencia: Baja

$$Q_B = P \cdot t$$

$$Q_B = 0,693 \cdot 10,1 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_B = 0,116 \text{ KWh}$$

B. A continuación se calculó el calor requerido para calentar un litro de agua mediante la siguiente ecuación.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [18]$$

Dónde:

- Q = Calor requerido en Kcal
- M = Masa de sustancia a calentar
- Δt = Variación de temperatura
- c_p = Capacidad calorífica del cuerpo

B.1. Nivel de potencia: Alta

$$Q_A = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$Q_A = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (90-20)^\circ\text{C}$$

$$Q_A = 70 \text{ Kcal}$$

$$Q_A = 70 \text{ Kcal} \cdot \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_A = 0,081 \text{ KWh}$$

B.2. Nivel de potencia: Media

$$Q_M = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$Q_M = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (90-21)^\circ\text{C}$$

$$Q_M = 69 \text{ KWh}$$

$$Q_M = 69 \text{ Kcal} \cdot \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_M = 0,08 \text{ KWh}$$

B.3. Nivel de potencia: Baja

$$Q_M = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$Q_M = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (90-22)^\circ\text{C}$$

$$Q_A = 68 \text{ Kcal}$$

$$Q_A = 68 \text{ Kcal} \cdot \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_A = 0,1 \text{ KWh}$$

C. Con los datos obtenidos, se pudo obtener la eficiencia de la cocina.

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{\text{Calor requerido}}{\text{Calor suministrado}} \cdot 100\% \quad [19]$$

C.1. Nivel de potencia: Alta

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,081}{0,093} \cdot 100\%$$

$$\text{Eficiencia \%} = 87\%$$

C.2. Nivel de potencia: Media

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,08}{0,09} \cdot 100\%$$

$$\text{Eficiencia \%} = 88,8 \%$$

C.3. Nivel de potencia: Baja

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,1}{0,116} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 86,2 \%$$

2.5.2.3. Pruebas de eficiencia con un recipiente no ferromagnético

Las mediciones se realizaron para los distintos niveles de potencia que tiene el equipo. La medición se hizo hirviendo un litro de agua en la ciudad de Quito y los valores recolectados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Consumos y tiempos al hervir un litro de agua en una olla sin propiedades ferromagnéticas

Nivel de potencia	Consumo [A]	Potencia [KW]	T° Inicial [°C]	T° Final [°C]	Tiempo [min]
Alta	8,8	0,968	21	90	6,1
Media	7,6	0,836	19	90	6,9
Baja	6,3	0,693	18	90	10,3

D. Con los datos recolectados en la Tabla 17 se procedió a calcular el consumo eléctrico que tiene el equipo en todos sus niveles de potencia con la siguiente ecuación

$$Q = P * t \quad [20]$$

D.1. Nivel de potencia: Alta

$$Q_A = P * t$$

$$Q_A = 0,968 \text{ KW} * 6,1 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_A = 0,098 \text{ KWh}$$

D.2. Nivel de potencia: Media

$$Q_M = P * t$$

$$Q_M = 0,836 * 6,9 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_M = 0,096 \text{ KWh}$$

D.3. Nivel de potencia: Baja

$$Q_B = P \cdot t$$

$$Q_B = 0,693 \cdot 10,3 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_B = 0,118 \text{ KWh}$$

E. A continuación se calculó el calor requerido para calentar un litro de agua mediante la siguiente ecuación.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [21]$$

E.1. Nivel de potencia: Alta

$$Q_A = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$Q_A = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \cdot (90-21)^\circ\text{C}$$

$$Q_A = 69 \text{ Kcal}$$

$$Q_A = 69 \text{ Kcal} \cdot \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_A = 0,08 \text{ KWh}$$

E.2. Nivel de potencia: Media

$$Q_M = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$Q_M = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \cdot (90-19)^\circ\text{C}$$

$$Q_M = 71 \text{ KWh}$$

$$Q_M = 71 \text{ Kcal} \cdot \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_M = 0,082 \text{ KWh}$$

E.3. Nivel de potencia: Baja

$$Q_B = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$Q_B = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \cdot (90-18)^\circ\text{C}$$

$$Q_B = 72 \text{ Kcal}$$

$$Q_B = 72 \text{ Kcal} * \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_B = 0,084 \text{ KWh}$$

F. Con los datos obtenidos, se pudo obtener la eficiencia de la cocina.

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{\text{Calor requerido}}{\text{Calor suministrado}} * 100\% \quad [22]$$

F.1. Nivel de potencia: Alta

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,08}{0,098} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia \%} = 81,63\%$$

F.2. Nivel de potencia: Media

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,082}{0,096} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia \%} = 85,4 \%$$

F.3. Nivel de potencia: Baja

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,084}{0,118} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia \%} = 71,2 \%$$

2.5.2.4. Calculo de eficiencia de una cocina de inducción comercial de 220 VAC con una potencia máxima de 2200 W.

Esta prueba se realizó calentando un litro de agua y bajo las mismas condiciones a las que el prototipo fue expuesto. La prueba se realizó basándose en la corriente que este equipo consumía.

Tabla 18. Consumos y tiempos para hervir un litro de agua para una cocina de inducción de 2200 W a 220 VAC

Nivel de potencia	Consumo [A]	Potencia [KW]	T° Inicial [°C]	T° Final [°C]	Tiempo [min]
Alta	9,32	2,04	18	90	2,7
Media	4,54	0,99	21	90	5,5
Baja	2,31	0,7	19	90	8,1

G. Con los datos recolectados en la Tabla 18, se procedió a calcular el consumo eléctrico que tiene el equipo en todos sus niveles de potencia con la siguiente ecuación.

$$Q=P*t \quad [23]$$

G.1. Nivel de potencia: Alta

$$Q_A=P*t$$

$$Q_A=2,04 \text{ KW} * 2,7 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_A=0,091 \text{ KWh}$$

G.2. Nivel de potencia: Media

$$Q_M=P*t$$

$$Q_M=0,99 * 5,5 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_M= 0,09 \text{ KWh}$$

G.3. Nivel de potencia: Baja

$$Q_B=P*t$$

$$Q_B=0,7 * 8,1 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_B=0,094 \text{ KWh}$$

H. A continuación se calculó el calor requerido para calentar un litro de agua mediante la siguiente ecuación

$$Q=m*cp* \Delta t \quad [24]$$

H.1. Nivel de potencia: Alta

$$Q_A=m*cp* \Delta t$$

$$Q_A=1 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} * (90-18)^\circ\text{C}$$

$$Q_A=72 \text{ Kcal}$$

$$Q_A=69 \text{ Kcal} * \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_A=0,083 \text{ KWh}$$

H.2. Nivel de potencia: Media

$$Q_M=m*cp* \Delta t$$

$$Q_M = 1 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} * (90-21)^\circ\text{C}$$

$$Q_M = 69 \text{ KWh}$$

$$Q_M = 69 \text{ Kcal} * \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_M = 0,080 \text{ KWh}$$

H.3. Nivel de potencia: Baja

$$Q_B = m * c_p * \Delta t$$

$$Q_B = 1 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} * (90-19)^\circ\text{C}$$

$$Q_B = 71 \text{ Kcal}$$

$$Q_B = 71 \text{ Kcal} * \frac{1 \text{ KWh}}{860 \text{ Kcal}}$$

$$Q_B = 0,082 \text{ KWh}$$

I. Con los datos obtenidos, se pudo obtener la eficiencia de la cocina.

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{\text{Calor requerido}}{\text{Calor suministrado}} * 100\% \quad [25]$$

I.1. Nivel de potencia: Alta

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,083}{0,091} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia \%} = 91,2\%$$

I.2. Nivel de potencia: Media

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,08}{0,09} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia \%} = 88,8\%$$

I.3. Nivel de potencia: Baja

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{0,082}{0,094} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 87,2 \%$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comparación de eficiencia entre recipientes ferromagnéticos y recipientes no ferromagnéticos.

En la Figura 32, se puede observar la eficiencia del prototipo cuando fue probado con todos los niveles de potencia y con dos tipos de recipientes, tanto un ferromagnético y un no ferromagnético.

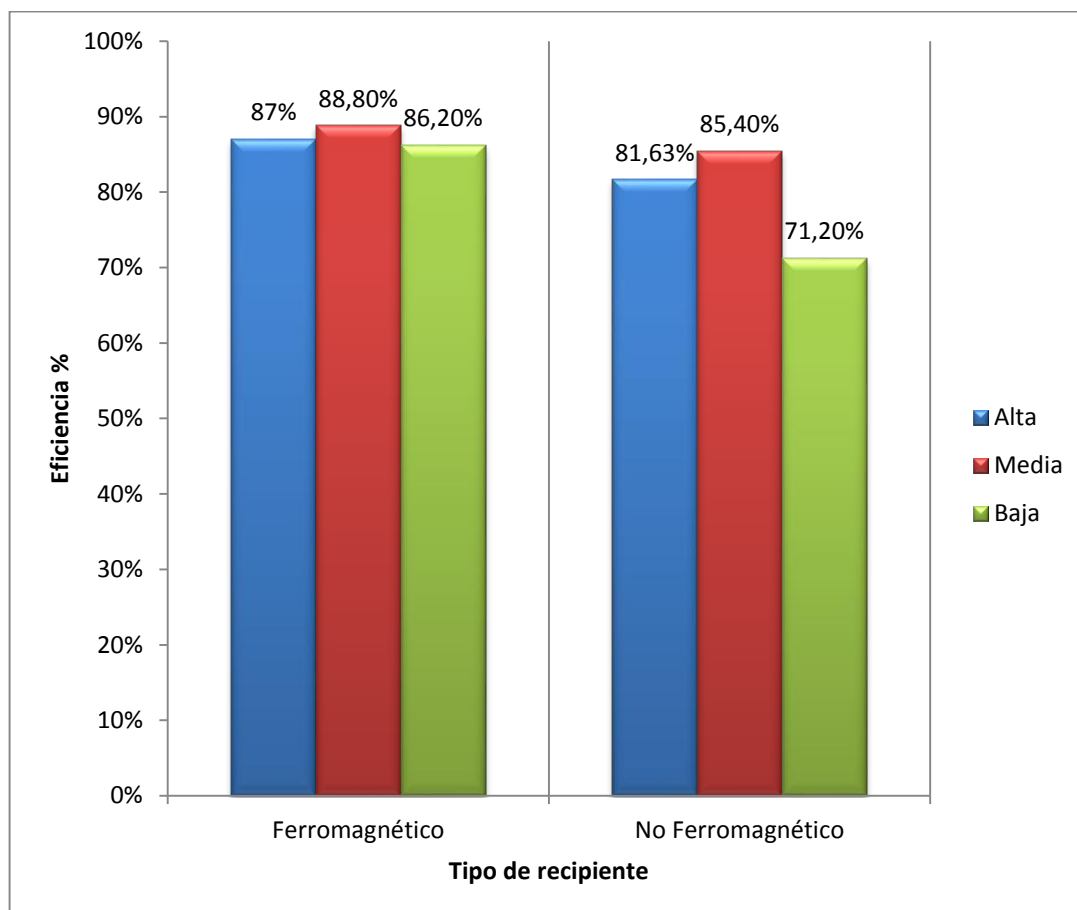


Figura 32. Resultados de la eficiencia para dos tipos de recipientes

La mayor eficiencia se logró al calentar un recipiente ferromagnético con la potencia media que tiene el equipo. Con la potencia media también se logró la mayor eficiencia con recipientes no ferromagnéticos.

La eficiencia con recipientes ferromagnéticos cumple con la el rango establecido en la normativa ecuatoriana, la eficiencia debe ser superior al 85%.

Mediante el uso de adaptador se pudo usar recipientes no ferromagnéticos y a la vez tener una eficiencia aún mayor que otros métodos de cocción, como es a gas y con resistencia eléctrica.

3.2. Comparación de eficiencia entre el equipo y una cocina comercial.

En la Figura 33, se puede apreciar la comparación entre la eficiencia para diferentes niveles de potencia, tanto del prototipo como de una cocina a inducción comercial.

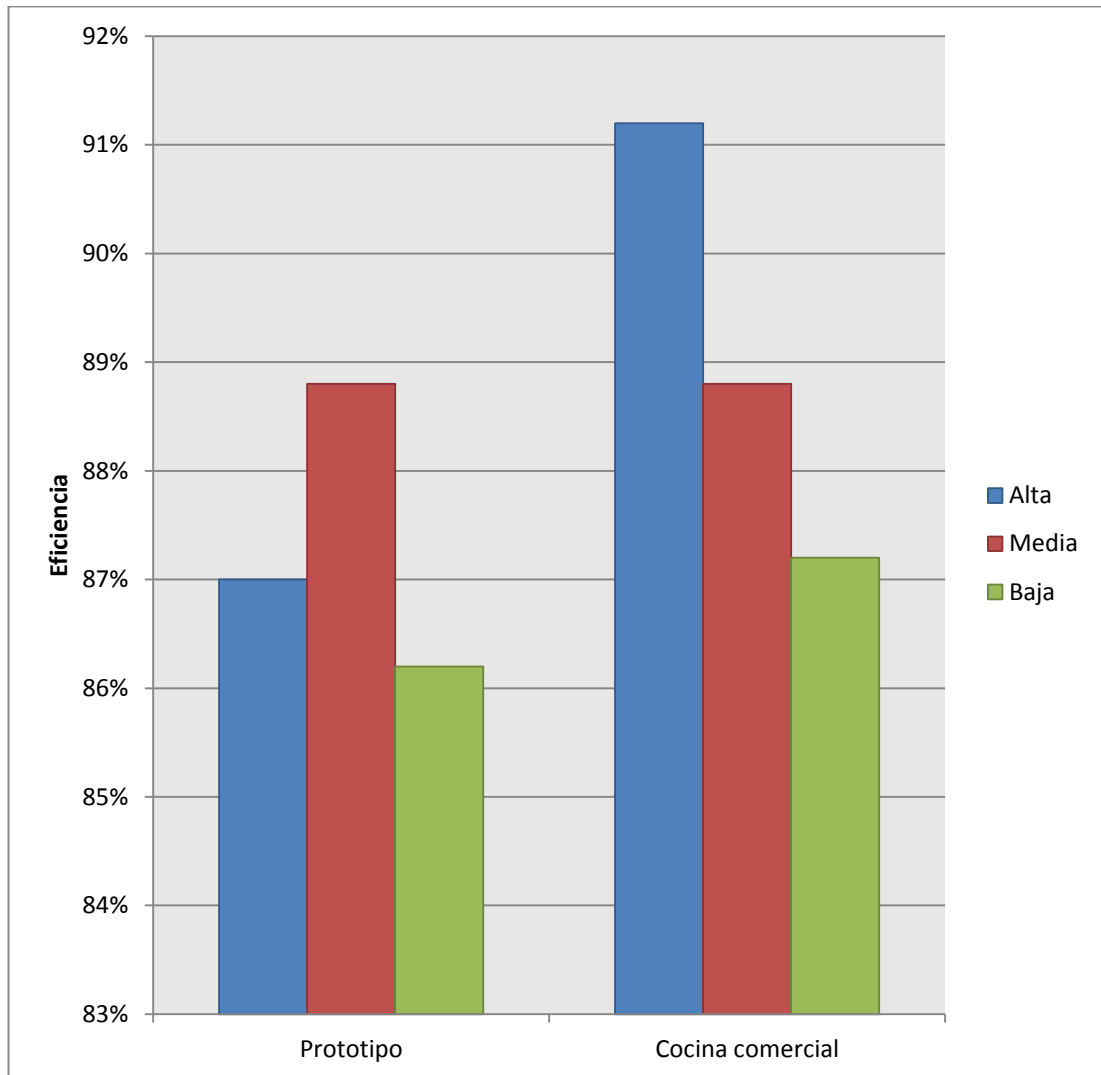


Figura 33. Comparación de eficiencia entre el prototipo y una cocina comercial

El prototipo es comparable con una cocina de inducción comercial en cuestiones de eficiencia, las cocinas comerciales son producidas por empresas que tienen a su disposición gran capacidad tecnológica y una mayor cantidad de recursos.

3.3. Análisis del prototipo en uso prolongado

Para esta prueba se decidió usar el prototipo durante una hora continua a largo plazo a máxima potencia. Se evaluó la temperatura del disipador que tiene el equipo, que protege el IGBT y el puente de diodos junto al ventilador de 18V, también se midió corriente en intervalos de 5 minutos.

Tiempo	Temperatura en el disipador	Consumo [A]
t = 5 min	35,3°C	8,51
t = 10 min	41,7°C	8,63
t = 15 min	46,6°C	8,57
t = 20 min	49,7°C	8,61
t = 25 min	51,6°C	8,49
t = 30 min	53,9°C	8,52
t = 35 min	55,1°C	8,61
t = 40 min	59,6°C	8,59
t = 45 min	61,8°C	8,57
t = 50 min	62,1°C	8,62
t = 55 min	62,4°C	8,52
t = 60 min	59,2°C	8,49

En la Figura 34, se puede apreciar el incremento de temperatura del disipador de aluminio que poseen el IGBT y puente de diodos.

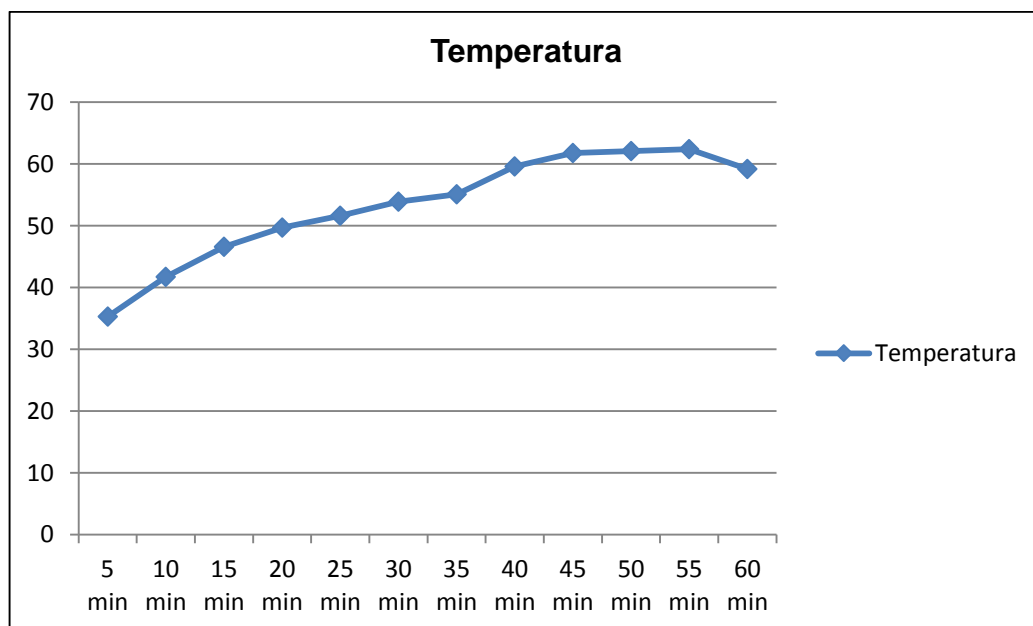


Figura 34. Mediciones de temperatura la prueba de uso prolongado

En la Figura 35, se puede observar el consumo de corriente a lo largo de la prueba de uso prolongado del prototipo.

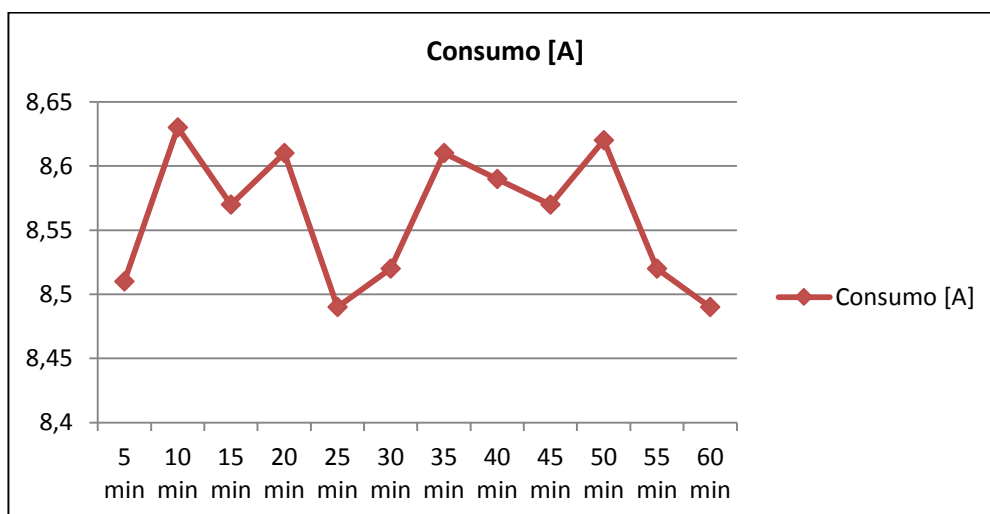


Figura 35. Consumo eléctrico en la prueba de uso prolongado

3.4. Características del prototipo

Las principales características del prototipo se observan en la Tabla 19.

Tabla 19. Ficha técnica del prototipo

Nombre del prototipo		Cocina de Inducción portátil	
Función: Este prototipo se ha diseñado para que sea capaz de funcionar tanto con recipientes ferromagnéticos, como no ferromagnéticos.			
Descripción física: Cocina de inducción de una hornilla capaz de diferenciar entre materiales ferrosos de no ferrosos.			
Características generales			Equipo
Peso aproximado	6,1 Kg		
Dimensiones	Alto	270 mm	
	Ancho	600 mm	
	Profundidad	250 mm	
Especificaciones técnicas			
Voltaje		110 V 60 Hz	
Potencia máxima		1000 W	
Corriente		10 A	
Rango de potencia		690 W – 1000W	

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Mediante la realización de pruebas del prototipo se puede concluir que cumple con los principales parámetros de diseño, que son: eficiencia, potencia regulable y que el prototipo sea capaz de calentar todo tipo de recipientes mediante el uso del mecanismo de adaptación.
- Con la aplicación correcta de métodos y técnicas de ingeniería se pudo diseñar y construir una cocina de inducción que permite la detección de recipientes ferromagnéticos y no ferromagnéticos con gran confiabilidad.
- Con el uso de recipientes ferromagnéticos se obtuvo una alta eficiencia en los tres rangos de potencias establecidos y se obtuvo alta eficiencia con recipientes no ferromagnéticos trabajando con una potencia media.
- Con este prototipo los usuarios que deseen beneficiarse del calentamiento por inducción no deben cambiar las acometidas en sus hogares ni comprar un nuevo juego de ollas.
- Este proyecto tiene una gran proyección a futuro, ya que en el Ecuador y en el mundo cada día se da prioridad a las energías limpias y a la eficiencia energética. Es por eso que el gobierno está incentivando la compra de cocinas de inducción al aplicar un subsidio de consumo eléctrico hasta el año 2024.

RECOMENDACIONES

- Sobre este prototipo se pueden desarrollar nuevos prototipos con mejores prestaciones y de una calidad más alta.
- Realizar más proyectos de esta naturaleza, ya que el conocimiento de electrónica de potencia y de sistemas de inducción dan mucha apertura al desarrollo actual de la ingeniería.
- Apoyo a las políticas actuales para el uso de energía limpia, ya que cada vez más este tipo de energía se involucra en la industria y en el desarrollo tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceros Center. (2017). *Aceroscenter*. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <http://www.aceroscenter.com.ec/pdf/LAMINAS.pdf>
- ATMEL. (Noviembre de 2016). *Microchip*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2018, de http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf
- BAPI. (2012). *bapihvac*. Obtenido de http://www.bapihvac.com/wp-content/uploads/2010/11/Thermistor_100K.pdf
- Bhaskar, V., & N, V. (2012). Full Bridge Series Resonant Inverter for Induction. *IEEE*, 5.
- Bolton, W. (2016). *Mecatrónica*. México: ALFAOMEGA.
- BS, S., H, B., & S, C. (26 de Junio de 2009). A Comparative Study of Dual Half-Bridge Inverter. *IEEE*, 4.
- El Diario, G. (2017). *El Diario Ecuador*. Obtenido de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/321353-subsidio-al-gas-sera-hasta-el-2017/>
- Electricidad, A. d. (2017). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
- FAIRCHILD. (18 de Diciembre de 2013). *Fairchildsemi*. Recuperado el 6 de Diciembre de 2017, de <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-9012.pdf>
- Ferrotoll Cia. Ltda. (2017). *Ferrotoll*. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <https://www.ferrotoll.com/planchas/planchas-de-acero-inoxidable-ss-304-ss-430/>
- Gómez, V. E. (Junio de 1999). Influencia de los Componentes Parásitos en el Análisis y Diseño de Inversores Resonantes Paralelo para Aplicaciones de Calentamiento por Inducción. Valencia, España: Universidad de Valencia.
- González, G. (Octubre de 2005). *Editorial Emma Fiorentino*. Obtenido de <http://www.emmafiorentino.com.ar/VIII%20SEMINARIO/APLICACIONES.PDF>
- Hincapié, J., Trejos, A., Moncada, M., & Escobar, A. (21 de Octubre de 2013). *EAFIT*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2017, de [file:///C:/Users/POWER%20PC/Downloads/Dialnet-ElectronicaDePotenciaParaElCalentamientoPorInducci-4529558%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/POWER%20PC/Downloads/Dialnet-ElectronicaDePotenciaParaElCalentamientoPorInducci-4529558%20(5).pdf)
- Shindengen Electric Mfg.co.ltd. (2000). *Shindengen*. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/43714/SHINDENGEN/D20XB80.html>
- Tulu, M. E., & Yildirim, D. (2013). Induction Cooker Desing with Quasi Resonant Topology using Jitter Drive Method. *IEEE*, 6.

ANEXOS

ANEXO 1

Circuito del prototipo

