



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGIA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y
ADAPTACIÓN DE UNA COCINA A GAS
(GLP) A UNA COCINA DE INDUCCIÓN
UTILIZANDO LA TECNOLOGIA HÍBRIDA.”

AUTORES:

GROSS GODOY, JOSÉ ANTONIO
PINO POLIT, JORGE LUIS

Director: Ing. Paúl Ayala

Codirector: Ing. Roberto Gutiérrez

SANGOLQUÍ - ECUADOR
2015

CERTIFICADO

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que los Señores: José Antonio Gross con C.I. 1713474714 y Jorge Luis Pino Polit con C.I. 1720446317, han desarrollado el proyecto de grado titulado “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DE UNA COCINA A GAS (GLP) A UNA COCINA DE INDUCCIÓN UTILIZANDO LA TECNOLOGIA HÍBRIDA”, observando las disposiciones institucionales, metodológicas y técnicas, que regulan esta actividad académica, por lo que autorizamos para que los mencionados señores reproduzcan el documento definitivo, presente a las autoridades del Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica y procedan a la exposición de su contenido.

Sangolquí, Jueves 28 de Octubre del 2015

Sr. Ing. Paúl Ayala
Director

Sr. Ing. Roberto Gutiérrez
Co-Director

AUTORÍA

Nosotros, JOSÉ ANTONIO GROSS GODOY

Y

JORGE LUIS PINO POLIT

DECLARAMOS QUE:

La tesis de grado titulada: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DE UNA COCINA A GAS (GLP) A UNA COCINA DE INDUCCIÓN UTILIZANDO LA TECNOLOGIA HÍBRIDA”, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente, este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis de grado misión.

Sangolquí, Jueves 28 de Octubre del 2015

Sr. José Antonio Gross
C.I. 1713474714

Sr. Jorge Luis Pino
C.I. 1720446317

AUTORIZACIÓN

Nosotros, JOSÉ ANTONIO GROSS GODOY

Y

JORGE LUIS PINO POLIT

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” la publicación en la biblioteca virtual de la institución la tesis de grado titulada: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DE UNA COCINA A GAS (GLP) A UNA COCINA DE INDUCCIÓN UTILIZANDO LA TECNOLOGIA HÍBRIDA”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad de autoría.

Sangolquí, Jueves 28 de Octubre del 2015

Sr. José Antonio Gross
C.I. 1713474714

Sr. Jorge Luis Pino
C.I. 1720446317

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos permitido terminar esta etapa de nuestra vida académica, a nuestras familias por el apoyo incondicional y el ejemplo brindado día a día, al Ing. Paúl Ayala por saber guiarnos a lo largo de este trabajo, al Ing. Roberto Gutiérrez por todo el apoyo brindado y a todos nuestros maestros que han sabido compartir su sabiduría con nosotros a lo largo de nuestra carrera universitaria.

José Antonio Gross, Jorge Luis Pino

DEDICATORIA

Queremos dedicar esta Tesis a Dios por todas las bendiciones que ha derramado sobre nosotros, a nuestros padres, hermanos y a nuestras familias por haber estado siempre a nuestro lado y sabernos guiar por el camino correcto para alcanzar nuestras metas, a nuestros amigos que han sabido estar en las buenas y malas a nuestro lado, finalmente a todas las personas que siempre han estado pendientes de nosotros a lo largo de nuestras vidas.

José Antonio Gross, Jorge Luis Pino

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó el diseño, construcción y adaptación de una cocina híbrida gas – inducción partiendo de una cocina convencional a gas. Se realizó el dimensionamiento y diseño del circuito electrónico de la cocina de inducción utilizando un inversor cuasi resonante, los cálculos fueron realizados de manera teórica y siguiendo las formulas correspondientes, sin embargo la selección de varios elementos utilizados para las tarjetas electrónicas fueron tomados de manera experimental al observar mejores resultados al momento de montaje.

Las placas electrónicas fueron realizadas con la ayuda de PROTEUS, un software que permite el ruteo de las pistas de cobre permitiendo colocar los diferentes elementos de modo que las conexiones de los mismos tengan secuencia lógica y simple.

Posteriormente se adaptaron las hornillas de inducción en la cocina de gas obteniéndose así la hibridación deseada. Se realizaron diferentes pruebas al prototipo lo cual dio a conocer que las hornillas a gas tienen una eficiencia del 51 % mientras que las hornillas de inducción adaptadas tienen una eficiencia del 89%. Mediante los costos obtenidos se pudo concluir que el proyecto es viable siempre y cuando su fabricación sea en masa, debido a que los costos por importación en grandes cantidades de los elementos electrónicos se reduce aproximadamente en un 60 %.

PALABRAS CLAVES:

- **DISEÑO**
- **CONSTRUCCIÓN**
- **ADAPTACIÓN**
- **COCINA HIBRIDA**
- **GAS-INDUCCION**

ABSTRACT

The title of the project is design, construction and adaptation of a hybrid gas - induction stove starting from a conventional gas stove. Sizing and design of the electronic circuit of the induction cooker using a quasi - resonant inverter however performed , calculations were done theoretically and following the corresponding formulas , selecting various items used for electronic cards were taken experimentally to see best results when mounting.

The electronic boards were made with the help of PROTEUS , a software that allows routing the copper tracks allowing to place the different elements so that these connections are simple and logical sequence.

Subsequently induction burners adapted to the gas stove thus obtaining the desired hybridization. The prototype different tests which revealed that the gas burners have an efficiency of 51 % while tailored induction burners have an efficiency of 89 % were made. By costs obtained it was concluded that the project is viable as long as their manufacture is mass , because the costs for massive imports of electronic components is reduced by approximately 60 %.

KEY WORDS:

- DESIGN
- CONSTRUCTION
- ADAPTATION
- HYBRID STOVE
- GAS - INDUCTION

Índice general

Certificado	I
Autoría	II
Autorización	III
Agradecimiento	IV
Dedicatoria	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Indice de Figuras	XI
Indice de Tablas	XIV
1. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.6. ALCANCE	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. PRINCIPIO DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	7
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CALENTAMIENTO	8
2.2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA	9
2.2.2. EFECTO PIEL (PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN)	9

2.3.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	11
2.3.1.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	11
2.3.2.	ETAPA DE RECTIFICACIÓN	11
2.3.3.	INVERSOR DE ALTA FRECUENCIA	13
2.3.4.	SISTEMA DE CONTROL	16
2.3.5.	BOBINAS DE INDUCCIÓN	18
2.4.	COMPONENTES ELECTRÓNICOS	18
2.4.1.	COMPONENTES PASIVOS	19
2.4.2.	COMPONENTES ACTIVOS	22
2.5.	COCINAS A GAS	26
2.5.1.	VENTAJAS DE UNA COCINA DE GAS	26
2.5.2.	DESVENTAJAS DE UNA COCINA DE GAS	27
3.	DISEÑO ELECTRÓNICO	28
3.1.	CIRCUITO DE POTENCIA	28
3.1.1.	RECTIFICADOR DE SEÑAL	28
3.1.2.	INVERSOR CUASI RESONANTE	30
3.1.3.	EFEECTO TANQUE RESONANTE	33
3.1.4.	SELECCIÓN DEL TRANSISTOR	34
3.1.5.	IMPLEMENTACIÓN DEL SNUBBER	35
3.2.	CIRCUITO DE DISPARO	36
3.2.1.	CIRCUITO IR2110	36
3.2.2.	CIRCUITO IGBT	37
3.3.	CIRCUITO DE CONTROL	38
3.3.1.	MICROCONTROLADOR ATTINY84	38
3.3.2.	CIRCUITO SENSOR DE CORRIENTE	39
3.4.	CONTROL	40
3.4.1.	PWM	40
3.4.2.	DETECCIÓN DEL SARTÉN	41
3.5.	BOBINA DE INDUCCIÓN	44
4.	CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DEL PROTOTIPO	45
4.1.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	45
4.2.	ADAPTACIÓN DE LA COCINA	50
4.2.1.	ESTADO INICIAL	50
4.2.2.	ADAPTACIÓN	51

5. PRUEBAS Y TOMA DE DATOS	60
5.1. INSTRUMENTOS Y ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS	60
5.2. MEDICIÓN DE POTENCIA DE ENTRADA DE LAS HORNILLAS DE INDUCCIÓN	63
5.3. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO	64
5.4. PRUEBA DE EFICIENCIA DEL PROTOTIPO EN LAS HORNILLAS DE INDUCCIÓN	70
5.5. PRUEBA COMPARATIVA ENTRE HORNILLA DE INDUCCIÓN Y GAS DEL PROTOTIPO	70
6. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	72
6.1. CÁLCULOS PRUEBA DE CALENTAMIENTO DE UN LITRO DE AGUA	72
6.2. PRUEBA DE CALENTAMIENTO DE TRES LITROS DE AGUA	76
7. COSTOS DEL PROTOTIPO	80
7.1. COSTOS ELECTRÓNICOS	80
7.1.1. COCINA DE INDUCCIÓN	80
7.1.2. RESUMEN DE COSTOS ELECTRÓNICOS	85
7.2. COSTOS ADAPTACIÓN MECÁNICA	85
7.3. COSTOS MANO DE OBRA	86
7.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO DE TESIS	87
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
8.1. CONCLUSIONES	88
8.2. RECOMENDACIONES	89
Referencias	91

Índice de figuras

1.2.1.Funcionamiento de una Cocina de Inducción	3
2.1.1.Principio del Calentamiento por Inducción	7
2.1.2.Bobinado Plano para Cocinas de Inducción	8
2.2.1.Curva de la profundidad de penetración en función de la frecuencia para diversos materiales.	11
2.3.1.Representación Esquemática de una Estufa por Calentamiento por Inducción	12
2.3.2.Rectificador de Onda Completa con Transformador de Toma In- termedia	13
2.3.3.Rectificador de Onda Completa con Puente de Diodos	13
2.3.4.Topologías de los Inversores en Serie	15
2.3.5.Circuito Básico de un Inversor Cuasi - Resonante	16
2.4.1.Codificación de Resistencias	20
2.4.2.Características de los Condensadores	21
2.4.3.Codificación de Condensadores	22
2.4.4.Funcionamiento de un Diodo	23
2.4.5.Tipos de Diodos	24
2.4.6.Clasificación de los Transistores	25
2.4.7.Transistor IGBT	26
2.5.1.Equivalente Calórico - Energético - Electricidad del GLP	26
3.1.1.Circuito Rectificador	30
3.1.2.Diseño Inversor Cuasi Resonante	31
3.2.1.Circuito Conexión IR2110	37
3.2.2.Circuito IGBT	38
3.3.1.Microcontrolador ATTINY84	39
3.3.2.Circuito Sensor Corriente	40
3.4.1.Formas de Onda Detección del Sartén	42
3.4.2.Detección del Retiro del Sartén Durante Operación	43
3.5.1.Detalle de la Bobina de Inducción	44

4.1.1. Impresión del Circuito en Papel Couche	45
4.1.2. Adherencia de Pistas en la Baquelita	46
4.1.3. Pistas Conductoras en la Baquelita	46
4.1.4. Impresión Parte Superior en Papel Couche	47
4.1.5. Parte Superior en la Baquelita	47
4.1.6. Perforaciones de la Placa	48
4.1.7. Incorporación Elementos SMD	48
4.1.8. Colocación Puentes en el Circuito	49
4.1.9. Incorporación Elementos en la Placa	49
4.1.10. Refuerzo de Pistas de Potencia	50
4.2.1. Estado Inicial de la Cocina	50
4.2.2. Tubería Distribuidora de Gas	51
4.2.3. Válvula Shiglor	51
4.2.4. Corte Tubo de Distribución de Gas	52
4.2.5. Adaptación Final Tubo Distribuidor de Gas	52
4.2.6. Reincorporación del Tubo Adaptado	53
4.2.7. Adaptación de Potenciómetros en la Cocina	53
4.2.8. Ventiladores Laterales	54
4.2.9. Perforaciones Ventiladores Laterales	54
4.2.10. Ventiladores Inferiores Bobinas de Inducción	55
4.2.11. Interruptor de Encendido Ventiladores Bobinas	55
4.2.12. Regleta de Alimentación	56
4.2.13. Montaje de Placas Electrónicas	56
4.2.14. Montaje Bobinas de Inducción	57
4.2.15. Componentes Gas-Inducción	57
4.2.16. Montaje Vidrios Templados	58
4.2.17. Quemadores de Gas y Rejilla de Seguridad	58
4.2.18. Resumen Fotográfico de Adaptación	59
5.1.1. Hornillas a Gas del Prototipo	60
5.1.2. Hornillas de Inducción del Prototipo	61
5.1.3. Gasómetro	61
5.1.4. Multímetro	62
5.1.5. Termómetro Digital	62
5.1.6. Cronómetro	63
5.1.7. Osciloscopio	63
5.3.1. Señal de Salida del Microcontrolador	64
5.3.2. Señal de Entrada Compuerta IGBT	65
5.3.3. Pulso de Arranque IGBT	65

5.3.4. Forma de Onda Corriente Inicio de Operación	66
5.3.5. Forma de Onda V_{ce}	66
5.3.6. Tensión Colector Emisor 125 Hz	67
5.3.7. Tensión de Entrada	67
5.3.8. Tensión Rectificada	68
5.3.9. Efecto de Conmutación sobre la Tensión Rectificada	68
5.3.10. Corriente en Bobina durante Funcionamiento	69
5.3.11. Efecto Tanque Resonante	69
6.1.1. Gráfica de Resultados de la Prueba para Hervir 1 lt Agua	76
6.2.1. Gráfica de Tiempo para Hervir 3 lt de Agua	78
6.2.2. Gráfica Consumo Energético de Hornillas para Hervir 3 lt de Agua	78
6.2.3. Gráfica de Comparación de Eficiencias de Hornillas	78

Índice de tablas

1.1. Eficiencias de Cocinas	3
1.2. Tiempos de Cocción de 2 lt. de Agua	3
1.3. Tabla de Comparación de Cocinas	6
2.1. Profundidad de Penetración	10
3.1. Asignación de los Terminales del Microprocesador	39
3.2. Estados de Temperatura de Cocción	41
5.1. Tensión y Corriente Medidas de la Cocina de Inducción	64
5.2. Prueba para Hervir un lt. de Agua	70
5.3. Tiempos para Hervir 3 lt. de Agua	71
6.1. Resultados de la Prueba para Hervir un lt de Agua	75
6.2. Resultados para Hervir 3 lt de Agua	77
7.1. Costos de Capacitores	81
7.2. Costos de Resistencias	81
7.3. Costos Circuitos Integrados	81
7.4. Costos de Transistores	82
7.5. Costos de Diodos	82
7.6. Costos Componentes Misceláneos	83
7.7. Costos Placa Ventiladores Bobinas de Inducción	84
7.8. Resumen de Costos Finales Electrónicos	85
7.9. Costos de Adaptación	86
7.10. Costos de Ingeniería y Mano de Obra	86
7.11. Resumen Costo Total del Proyecto	87

Capítulo 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de los tiempos, la civilización humana se ha encontrado en constante búsqueda de mejora continua, con la finalidad de dar mayor calidad a su estilo de vida. Dicha búsqueda ha mantenido latente en la humanidad la insaciable necesidad de innovar y dar solución a problemas que se han presentado a lo largo de la historia.

De estas soluciones el hombre crea la hibridación, que básicamente es “el acto de combinar dos elementos para formar un producto nuevo” [Franco, 2013]. El nuevo producto es a menudo similar a cada uno de los elementos originales y de hecho, puede tener características de ambos y sus propias características únicas.

La hibridación de cocinas es una de las tecnologías que apuntan a la disminución del consumo de combustibles no renovables, especialmente del gas licuado de petróleo, en busca de la eficiencia energética dentro de hogares y locales comerciales.

“El continuo crecimiento en la demanda de uso de combustibles no renovables, como el GLP para la preparación y cocción de alimentos, ha llevado a la búsqueda de nuevas aplicaciones con mayor eficiencia, entre las cuales sobresale el Calentamiento por Inducción” [Franco, 2013].

La hibridación de cocinas se viene dando “mediante la combinación de cocinas a gas y cocinas de inducción ya que estas últimas brindan una eficiencia del 90 %” [Franco, 2013]. Además estas presentan seguridad, limpieza, rapidez de calentamiento entre otras características que la hacen sobresalir de otras alternativas.

1.2. ANTECEDENTES

Las cocinas convencionales funcionan con gas natural o gas propano. Su funcionamiento es simple: el gas fluye desde el cilindro hasta una válvula en la estufa, esta regula el caudal que atraviesa por el quemador para obtener la llama deseada para la cocción. El encendido de la llama se la puede realizar manualmente (por medio de fósforos) o un sistema de encendido por chispa ya incorporado en la cocina.

Lamentablemente las estufas a gas presentan un grado de inseguridad. Siempre corre el riesgo de existir quemaduras por la llama o por superficies calientes. De igual manera existe el riesgo de fuga de gas, el cual puede tener lamentables consecuencias.

“Las cocinas de inducción calientan directamente el recipiente por medio de un campo magnético” [Franco, 2013]. Esto hace que la cocción por inducción sea más segura, ya que no existe el riesgo de quemaduras por superficies calientes. Este campo magnético es generado por un bobinado de cobre que se encuentra por debajo de la placa cerámica. “Por el bobinado pasa una corriente eléctrica de frecuencia variable (20 – 100 kHz), la misma que genera una densidad de flujo magnético alterno” [Franco, 2013]. Debido a la frecuencia inducida al recipiente por medio del campo magnético, se provoca que las moléculas del recipiente vibren a altas velocidades y se genere el calentamiento del sartén. “Este campo magnético, no provoca interacción alguna si no está presente algún conductor eléctrico” [Franco, 2013]. Por lo que los recipientes a utilizarse deben ser de materiales ferromagnéticos para poder funcionar correctamente y aprovechar la histéresis magnética.

Debido al campo magnético alterno generado, se incrementa la resistencia alterna del recipiente a medida que se incrementa la frecuencia, produciendo así un intenso calor en la base del recipiente. Este campo alterno se magnetiza y desmagnetiza rápidamente, “lo que provoca que las moléculas de hierro vibren entre 20000 a 50000 veces por segundo, y la fricción entre ellas produce un calor adicional (pérdida por histéresis)” [Franco, 2013]. El funcionamiento antes descrito se puede apreciar en la Figura 1.2.1.

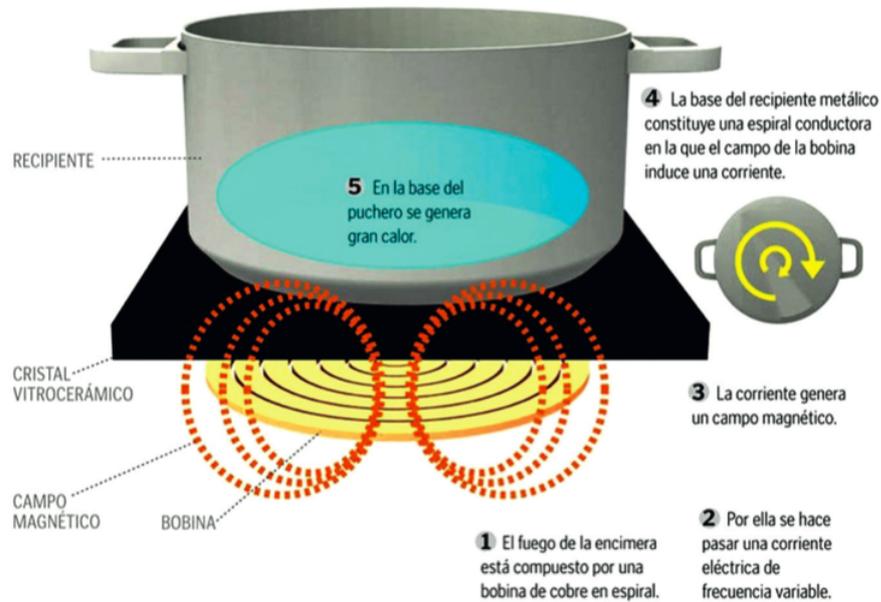


Figura 1.2.1: Funcionamiento de una Cocina de Inducción
Fuente: [Franco, 2013]

Las cocinas de inducción presentan notables ventajas comparadas con otras alternativas, como se compararán a continuación con cocinas de gas, las eléctricas convencionales y vitrocerámicas:

- “Las cocinas de inducción presentan una mayor eficiencia energética, toda la energía generada por la bobina de inducción se la utiliza para calentar el recipiente. Existen muy pocas pérdidas por transferencia de calor por radiación al ambiente” [Franco, 2013].

Tabla 1.1: Eficiencias de Cocinas

Cocina a gas GLP	Cocina eléctrica Inducción	Cocina Eléctrica Convencional
40 %	94 %	74 %

Fuente: [Franco, 2013]

- “Las cocinas de inducción muestran un calentamiento mucho más rápido y el calor se distribuye de manera más uniforme” [Franco, 2013].

Tabla 1.2: Tiempos de Cocción de 2 lt. de Agua

Ítems	Cocina de Inducción	Cocina a Gas	Vitrocera mica
Hervir 2 lt de agua	4 minutos	7 minutos	8 minutos

Fuente: [Franco, 2013]

- Al no utilizar combustibles fósiles para el calentamiento no se ocasiona un impacto severo al medio ambiente.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Al intervenir el sector industrial mediante la producción en masa de nuevas cocinas de inducción eléctrica, “se generarán toneladas de desechos y chatarra provenientes de las cocinas a gas que quedaran en desuso y que serán recicladas” [Franco, 2013], debido a que no se ha tomado en cuenta que únicamente el 60 % de las partes y piezas de una cocina a gas son reciclables, lo que representa en promedio 60 kg del peso total de la misma, el otro 40 % (40kg) tendrán que ser desechadas; estaríamos hablando de aproximadamente 80580 toneladas de desperdicios (tomando en cuenta que de la población total del Ecuador aproximadamente por cada familia de 5 personas se tiene una cocina a gas), deberán ser enterrados en botaderos de basura en donde se tardarán miles de años en descomponerse, causando un grave problema como es la contaminación ambiental.

“Además el 64 % de la población ecuatoriana pertenece al sector medio-bajo” [INEC, 2010], y han adquirido su cocina a gas haciendo un gran esfuerzo económico e incluso en muchos casos esta se ha convertido en su sostén de vida, motivo por el cual gran parte de la población ecuatoriana se verá afectada económicamente por el cambio que se quiere implementar por parte del gobierno ya que sus electrodomésticos se volverán obsoletos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño, construcción y adaptación de una cocina híbrida gas-inducción partiendo de una cocina convencional a gas (GLP).

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el prototipo.
- Implementar el sistema híbrido deseado (inducción y gas).
- Evaluar la factibilidad técnica y económica.
- Analizar la eficiencia energética del prototipo.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de las políticas de estado se prevé que se realice un cambio en la matriz energética, para el uso de energía eléctrica limpia con la finalidad de “eliminar el subsidio al gas licuado de petróleo (GLP)” [Franco, 2013].

La estrategia 6.7 del Plan Nacional del Buen Vivir que se encuentra referida al Cambio de la Matriz Energética, indica lo siguiente: “...El programa de sustitución de cocinas a gas (GLP) por cocinas de inducción deberá ejecutarse tan pronto como exista la factibilidad de la generación eléctrica para este plan. Los ahorros energéticos vienen emparejados con la disminución de contaminantes...” [Franco, 2013]. Tomando en cuenta esta estrategia, se desea dar cumplimiento con este objetivo lo antes posible y crear una nueva alternativa para los consumidores en adaptar su cocina de gas a una cocina híbrida (gas e inducción). De esta manera en caso de que existiera una falla eléctrica el usuario podrá seguir haciendo uso de su equipo.

Con el nuevo programa de la matriz energética el gobierno busca estimular a la población en cuanto al consumo de energías limpias. De esta manera el gobierno está ofreciendo el consumo libre de 80 kW/h para las personas que adquieran una cocina de inducción durante un año. Esto generará un aumento en la demanda de cocinas que con este proyecto de tesis, se desea satisfacer parcialmente.

En cuanto al consumo energético se puede decir que la cocina de inducción es más eficiente que una de gas o una eléctrica convencional. Esta eficiencia se la puede demostrar por el consumo de energía que se necesita para hervir 10 litros de agua. La cocina de gas necesita 7872,23 kJ, a diferencia que la cocina de inducción 3738,24. Transformando esto en unidades de kW/h y unidades de cilindros de gas se obtiene que la cocina a gas utiliza 0,0109 de un cilindro de 15 kg, la cocina de inducción 1,0384 kW/h. Haciendo referencia a los costos actuales de la unidad del cilindro de gas (\$1,60) y de kW/h (\$0,09) se obtiene que solo cuesta 1,744 ¢ USD para el cilindro de gas y 9,979 ¢ USD para la cocina de inducción. A partir del 2018, año en que el gobierno ecuatoriano pretende eliminar completamente el subsidio a gas (\$15 o más), y se proyecta un precio de \$0,04 el kW/h por la nueva matriz energética, se puede observar claramente que el uso de una cocina de inducción conlleva un ahorro económico considerable comparado con el uso del cilindro de GLP. Los nuevos costos por unidad serían de 16,35 ¢ USD para GLP y 4,154 ¢ USD para cocina de inducción.

Los datos expresados anteriormente se los puede observar en la Tabla 1.3:

Tabla 1.3: Tabla de Comparación de Cocinas

	GLP	Eléctrica Inducción	Eléctrica Convencional
Eficiencia	40 %	84 %	74 %
Unidad Definida	Cilindro de 15 kg	1 kW/h	1kW/h
Energía por Unidad	722223 kJ	3600 kJ	3600 kJ
Unidades para Hervir 10 lt de Agua	0,0109 cilindro	1,0384 kW/h	1,1787 kW/h
Energía Necesaria para Hervir 10 lt de Agua	7872,23 kJ	3738,24 kJ	4243,32 kJ
Costo por Unidad (precio actual)	1,744 ¢ USD	9,979 ¢ USD	11,327 ¢ USD
Costo por Unidad Proyectado a Partir del 2018	16,35 ¢ USD	4,154 ¢ USD	4,715 ¢ USD

Fuente: [Franco, 2013]

1.6. ALCANCE

El proyecto a ejecutarse en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” busca cumplir con lo siguiente:

- Contar con un prototipo completamente funcional, que permita a los usuarios una fácil manipulación del equipo.
- Realizar un balance energético del prototipo para obtener la eficiencia del mismo.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1. PRINCIPIO DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN

El funcionamiento de una cocina de inducción se basa por el principio de que: “si se aplica una corriente en un conductor, este genera un campo magnético” [Antonio, 2009]. Esto se lo conoce como la ley de Ampere y se muestra en (2.1.1).

$$Ni = \oint \overline{H} dl = H \quad (2.1.1)$$

Donde:

N = Número de espiras.

i = la corriente que circula por el conductor.

l = longitud del circuito.

H = Intensidad de campo magnético.

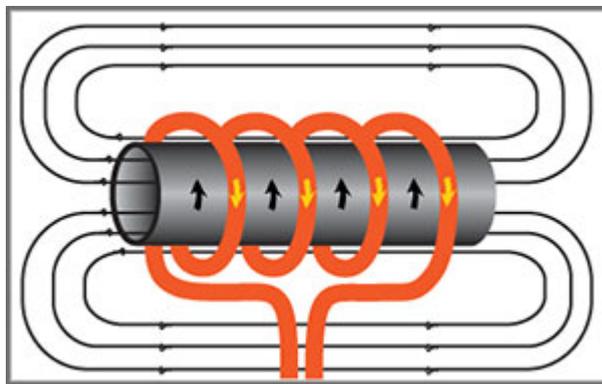


Figura 2.1.1: Principio del Calentamiento por Inducción
Fuente: [Antonio, 2009]

En el caso de las estufas de inducción es diferente, el bobinado es en forma de espiral y plana. El campo magnético producido por este último es aproximadamente igual en toda la región y está dado por (2.1.2):

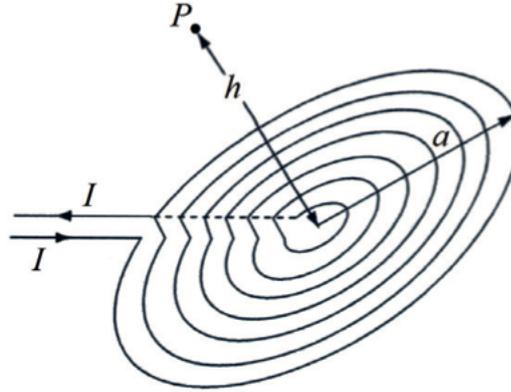


Figura 2.1.2: Bobinado Plano para Cocinas de Inducción
Fuente: [Franco, 2013]

$$B(P) = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_0 I (ai)^2}{2N^2 \left[h^2 + \left(\frac{ai}{N} \right)^2 \right]^{3/2}} \mu_z \quad (2.1.2)$$

Donde:

a = Radio de la bobina plana de cobre y con forma espiral.

h = altura por encima de la bobina a la cual se está determinando la densidad del flujo magnético.

N = Número de espiras de la bobina, asumiendo que se encuentran uniformemente distribuidas y que cada espira es una espiral circular perfecta.

i = es el elemento espira circular perfecta, que va desde 1 hasta N .

μ_0 = Permeabilidad eléctrica del inductor.

μ_z = Permeabilidad eléctrica del material a calentar.

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CALENTAMIENTO

Las características más importantes del calentamiento inductivo son: la eficiencia térmica y la eficiencia energética del proceso. Se debe tomar en cuenta el efecto piel (profundidad de penetración) que se produce en el material inducido. Este efecto caracteriza la distribución de las corrientes inducidas en la pieza.

A medida que la intensidad del campo magnético decrece, la profundidad de penetración incrementa al igual que las corrientes inducidas.

Algunos parámetros importantes a tomar en cuenta en el calentamiento por inducción son:

- La frecuencia de la corriente.
- La naturaleza del material a calentar.
- La intensidad del campo magnético inductor.
- El acoplamiento entre el inductor y la pieza a calentar.
- El tipo de inductor y sus características geométricas.
- La naturaleza del material conductor del inductor.

2.2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética se define prácticamente por la potencia que se encuentra en la carga y en el inductor. Esta se define por (2.2.1):

$$\eta_e = \frac{P}{P + P_i} \quad (2.2.1)$$

Donde:

P = Potencia inducida en la carga.

P_i = Potencia disipada en el inductor.

La eficiencia también viene afectada por la relación del diámetro vs el efecto de penetración en una carga cilíndrica. Por lo general se tratan de evitar pérdidas y utilizar materiales con pequeñas resistencias en el inductor y pequeñas distancias entre bobinados.

2.2.2. EFECTO PIEL (PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN)

Este efecto se da a lo largo de un conductor. Cuando se atraviesa una corriente alterna por un conductor este produce un campo magnético, que genera una corrientes de inducción. Esta corriente se produce solamente en la superficie del conductor, mientras que las que se encuentran en el interior del conductor se anulan.

“Cuanto más grande sea la frecuencia de las corrientes en conductor más se concentrarán estas en su superficie” [Gomez, 1999]. De esto se puede resumir el funcionamiento del calentamiento por inducción. Por lo general la frecuencia a la que se debe trabajar debe ser superior que la frecuencia a la que se genera ruido por lo que las bobinas de inducción deben trabajar a una frecuencia superior a 20 kHz.

La profundidad de penetración depende de las propiedades del material, como son: la resistividad del material, permeabilidad magnética relativa y del vacío del material. Para una carga cilíndrica con diámetro mucho mayor que la profundidad de penetración se puede deducir, a partir de las ecuaciones de Maxwell la fórmula para determinar el efecto piel, obteniéndose así (2.2.2).

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f u_o u_r}} \quad (2.2.2)$$

Donde:

ρ = Resistividad del material.

u_o = Permeabilidad magnética del vacío $4\pi \times 10^{-7}$.

u_r = Permeabilidad magnética relativa del material.

f = Frecuencia de trabajo.

Es conveniente que la profundidad de penetración dependa de la frecuencia de trabajo, de modo que se la pueda controlar variando únicamente este parámetro, como se puede observar en la Figura 2.2.1. Así a medida que la frecuencia aumente la profundidad de penetración va a disminuir. En la Tabla 2.1 se puede apreciar valores próximos de profundidad de penetración a frecuencias determinadas.

Tabla 2.1: Profundidad de Penetración

	Acero 20 C	Acero 20 C	Cobre 20 C	Cobre 900 C	Grafito 20 C
ρ [$\mu\Omega \cdot m$]	0,16	0,16	0,017	0,086	10
u_r [-]	40	100	1	1	1
Frecuencia	δ [mm]				
50 Hz	4,50	2,85	9,31	20,87	225,08
100 Hz	3,18	2,01	6,58	14,76	159,15
1 kHz	1,01	0,64	2,08	4,67	50,33
10 kHz	0,32	0,20	0,66	1,48	15,92
100 kHz	0,1	0,06	0,21	0,47	5,03
1 MHz	0,03	0,02	0,07	0,15	1,59

Fuente:[Callebaut, 2014]

En el caso de los materiales ferromagnéticos, estos tienen un valor de permeabilidad magnética más alta que los no magnéticos (Cobre y Grafito) que es próxima a 1, por lo que provoca una profundidad de penetración más pequeña.

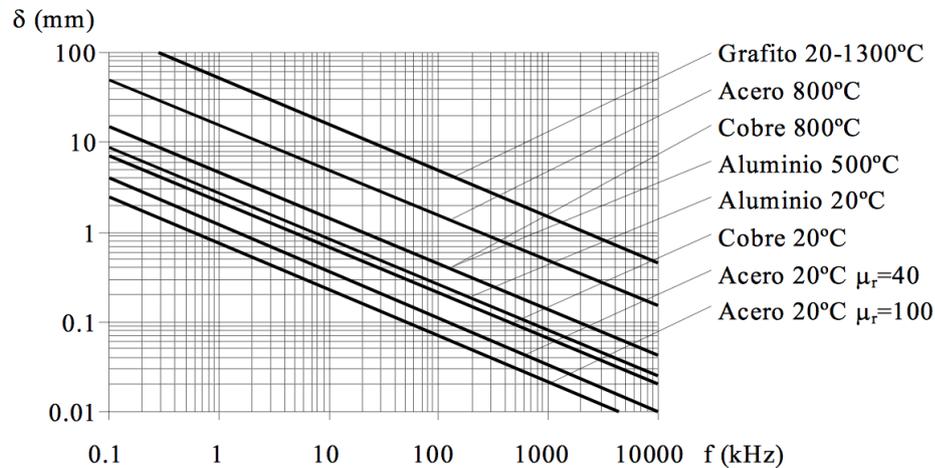


Figura 2.2.1: Curva de la profundidad de penetración en función de la frecuencia para diversos materiales.

Fuente: [Gomez, 1999]

2.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN

“Un sistema básico de calentamiento por inducción doméstico consta de tres partes: a) convertor AC/DC, b) convertor DC/AC y c) la carga” [John N. Hincapié, 2013]. Este esquema se lo puede apreciar en la Figura 2.3.1. A continuación se una explicación más detallada de todas sus partes.

2.3.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

La energía que se utiliza para alimentar el sistema completo de inducción proviene de la red eléctrica. Esta puede ser de 110 V, 220 V o incluso un valor mayor en caso de uso industrial. Su naturaleza es de corriente alterna, con frecuencias que pueden ser de 50 Hz o 60 Hz.

2.3.2. ETAPA DE RECTIFICACIÓN

En esta etapa se toma la energía de la fuente que viene en forma alterna para transformarla a continua por medio de un sencillo arreglo de semiconductores. Existen varios tipos de rectificadores, como son los de media onda y los de onda

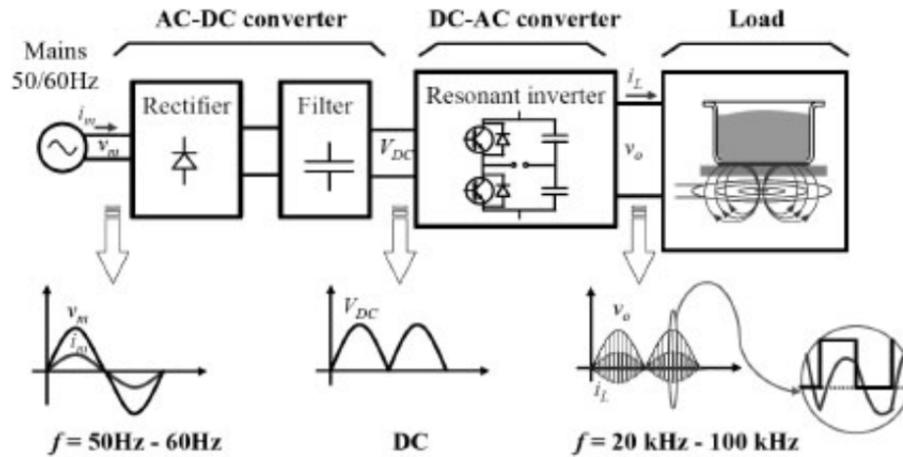


Figura 2.3.1: Representación Esquemática de una Estufa por Calentamiento por Inducción

Fuente:[John N. Hincapié, 2013]

completa. Por motivos de aplicación a esta tesis, se estudiarán a continuación los rectificadores de onda completa.

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON TRANSFORMADOR DE TOMA INTERMEDIA

El circuito consiste en un transformador alimentado a la fuente, conectado con un arreglo de semiconductores. Este tipo de rectificador es el más empleado debido a que produce una corriente continua muy similar a la que proporcionan las pilas o las baterías. Cuando conduce el diodo $D1$ en el primer semiciclo fluye una corriente i por la resistencia de carga. El diodo $D2$ está polarizado inversamente y no conduce ninguna corriente. En el segundo semiciclo el diodo $D2$ es quien conduce la corriente y el diodo $D1$ queda polarizado inversamente, por lo que este no conduce ninguna corriente. Como la corriente circula en el mismo sentido que en el caso del diodo $D1$, esta siempre es positiva en la resistencia.

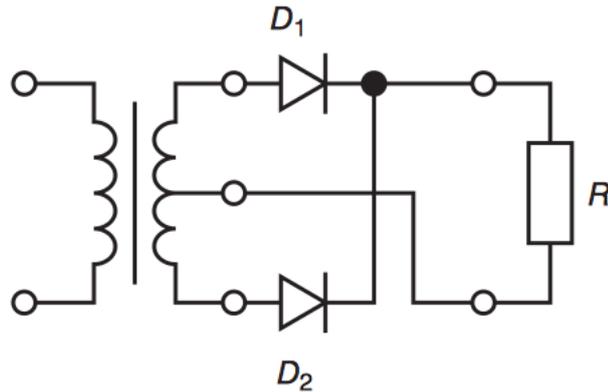


Figura 2.3.2: Rectificador de Onda Completa con Transformador de Toma Intermedia

Fuente: [Rubio, 2010]

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON PUENTE DE DIODOS

Este rectificador es utilizado comúnmente en las fuentes de alimentación. Se lo puede realizar por medio de un circuito con cuatro diodos individuales o utilizando ya su versión integrada, los cuales son más fáciles de manejar. El funcionamiento es similar al rectificador anterior, pero en este caso los diodos funcionan por pares. En el primer semiciclo conducen los diodos D_2 y D_4 y en el segundo semiciclo conducen los diodos D_1 y D_3 .

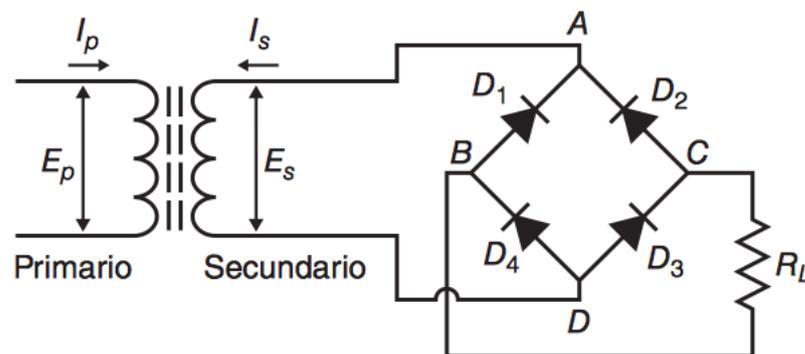


Figura 2.3.3: Rectificador de Onda Completa con Puente de Diodos

Fuente: [Rubio, 2010]

2.3.3. INVERSOR DE ALTA FRECUENCIA

En esta etapa se toma la corriente DC del convertor de la etapa anterior y se la transforma en AC para poder alimentar a la bobina de inducción con una frecuencia deseada de operación. Algunos de los inversores utilizados son: Inversores en Paralelo, Inversores en Serie, Inversores Paralelo - Serie y los Inversores

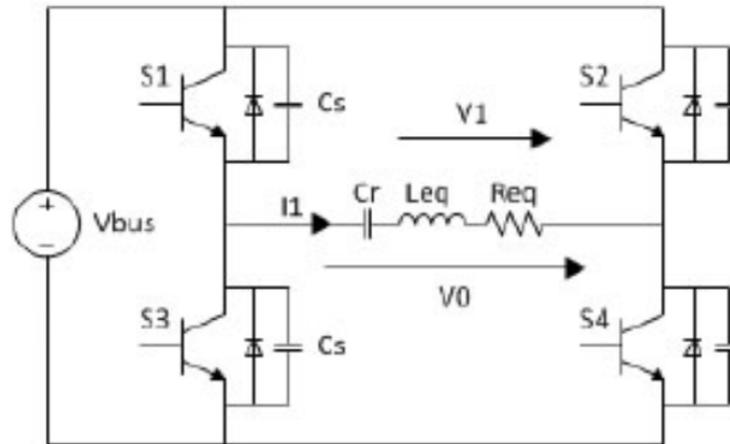
Cuasi - Resonantes.

INVERSOR EN PARALELO

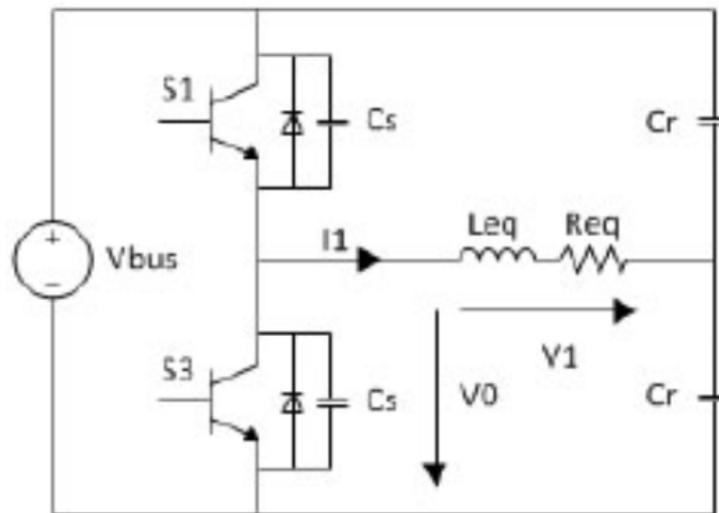
Estos inversores se caracterizan por estar conectados a la bobina de calentamiento en paralelo con un condensador. Al encontrarse en paralelo estos “tienen mayor flexibilidad ya que el condensador siempre sigue la frecuencia de resonancia del circuito principal” [John N. Hincapié, 2013]. Se los utilizan principalmente cuando la impedancia de la bobina de calentamiento es baja y se los suele aplicar para el endurecimiento de superficies o soldadura de tubos.

INVERSORES EN SERIE

Se caracterizan por estar conectados en serie la bobina de calentamiento con un condensador y pueden ser de media onda o de onda completa como se puede observar en la Figura 2.3.4. “Los inversores en serie se consideran más simples que los en paralelo y permite variar la frecuencia y regular la potencia” [John N. Hincapié, 2013]. En el caso de los inversores de onda completa se los considera más eficientes que los de media onda debido a que generan menores corrientes por los interruptores de potencia, pero su implementación es más compleja y costosa. En cambio en los inversores de media onda “se encontró un balance más apropiado entre complejidad, el costo y el desempeño” [John N. Hincapié, 2013].



(a) Onda Completa



(b) Media Onda

Figura 2.3.4: Topologías de los Inversores en Serie
Fuente:[John N. Hincapié, 2013]

INVERSORES SERIE - PARALELO

Los inversores serie - paralelo cuentan de dos circuitos, uno en serie y otro en paralelo, brindando las ventajas antes mencionadas de cada uno de ellos. “El oscilador serie - paralelo mejora el desempeño de los inversores en serie, disminuye la corriente del transformador de aislamiento y dota al inversor de una capacidad de corto circuito” [John N. Hincapié, 2013].

INVERSORES CUASI - RESONANTES

El circuito consiste en el uso de un interruptor resonante, el cual se conforma por un interruptor de potencia y dos elementos de resonancia L_r y C_r . En estos inversores híbridos existen dos tipos de interruptores resonantes: interruptores de

corriente cero e interruptores de tensión cero. En los primeros la inductancia L_r , se conecta en serie con el interruptor de potencia, en este caso se puede operar en modo de media onda o de onda completa. En el segundo caso es el condensador C_r que se conecta en serie con el interruptor de potencia y puede trabajar de igual manera como media onda u onda completa.

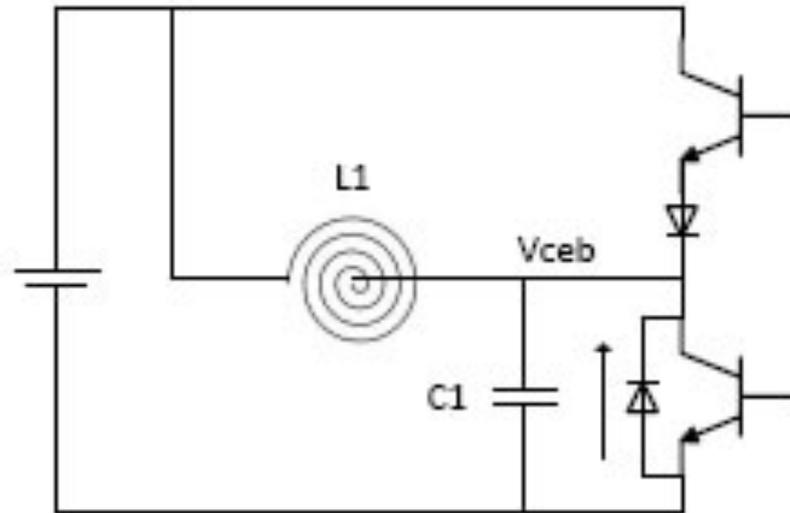


Figura 2.3.5: Circuito Básico de un Inversor Cuasi - Resonante
Fuente: [John N. Hincapié, 2013]

2.3.4. SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control definen el comportamiento de los sistemas del circuito completo de inducción (convertidores, inversores, rectificadores) y además monitorea constantemente los parámetros de funcionamiento (potencia, temperaturas, tensión, corriente, etc). Existen muchos métodos de control, a continuación se explicarán varios de ellos.

MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM)

En este tipo de modulación se desea manipular la frecuencia por medio de una señal de control. Algunos modos de control típicos son:

- **Control con Onda Cuadrada (SW):** La potencia de salida es controlada por la frecuencia de conmutación y es inversamente proporcional a ella.
- **Control de Onda Triangular:** La frecuencia de conmutación varía alrededor del punto de trabajo de acuerdo a un patrón triangular y depende del tiempo.

- **Control por Cancelación de Tensión Asimétrico (AVC):** Este control se los utiliza comúnmente en inversores de onda completa y se caracteriza por generar una tensión de salida como forma de onda cuasi cuadrada. Para este caso se necesita de cuatro variables: tres ángulos ($\alpha-$, $\alpha+$ y β) y la frecuencia de conmutación (T_s). Este tipo de control ha permitido un mejor desempeño y mayor eficiencia que la de frecuencia fija convencional.
- **Control de Modo Discontinuo (DMC):** Este tipo de control lleva a cero la corriente del inductor para reducir la potencia entregada a la carga, mejorando la eficiencia en rangos más bajos de potencia en comparación con el control tradicional.

MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSOS (PWM)

El ancho de pulso de la frecuencia es modificado por una señal de control. Las ventajas son que no se requiere utilizar un condensador electrolítico en el bus de DC, un factor de potencia unitario, corriente de línea sinusoidal, alta eficiencia, configuración simple, mínimo de componentes y disminución de tamaño.

Existe una variante que es la Modulación Digital por Ancho de Pulso (DPWM). En ésta, el valor medio de la tensión y la corriente que alimenta la carga se controlan al conmutar el interruptor entre la fuente y la carga. Cuanto más tiempo el interruptor está encendido en comparación con los períodos de apagado, mayor es la potencia suministrada a la carga. “La frecuencia de conmutación del PWM debe ser mucho más rápida que la que afecta la carga” [John N. Hincapié, 2013].

MODULACIÓN POR DENSIDAD DE PULSO (PDM)

Se basa en el ancho de un pulso unitario, la altura y la constante de tiempo de ocurrencia de los pulsos dentro de un intervalo de conmutación. En cada intervalo de muestreo se evalúa si el pulso está presente o no.

MODULACIÓN POR PLANOS DESLIZANTES

Este método de control se caracteriza por especificar una superficie deslizante, que es el valor que se referencia como control. Existen dos tipos de planos deslizantes, uno con respecto a la corriente y otro con respecto a la tensión. En esta aplicación no se realizará esta modulación de control debido a que se desea utilizar un PWM. El sistema de modulación mantendrá el valor de referencia, por medio de rebotes en un intervalo de valores que atraviesen la superficie deseada, sin

importar que se cambien los parámetros del circuito o existan perturbaciones externas. Esta es una ventaja ya que se permite un control más robusto del sistema.

Para el pleno funcionamiento se debe tomar en cuenta un sistema de realimentación de estructura variable. Esto quiere decir que depende de dos estados para que el sistema funcione. Estos sistemas se los puede presentar en su forma general por modelos no lineales, afines en el control, descritos en el espacio de estado de la forma:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u \quad (2.3.1)$$

$$y = h(x) \quad (2.3.2)$$

“Las funciones $f(x)$ y $g(x)$ representan campos vectoriales suaves, es decir, infinitamente diferenciables” [Hebert Sira-Ramírez, 2005]. La función $h(x)$ es una función escalar. Se refiere al vector x como el vector de estados del sistema, u como la entrada o el control y la variable y como la salida del sistema.

La característica principal de estos sistemas es la naturaleza binaria de la variable de control, $u \in \{0, 1\}$. Para $u = 0$, se tiene validación de superficie:

$$\dot{x} = f(x)$$

y para $u = 1$, la dinámica del sistema está dada por:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)$$

2.3.5. BOBINAS DE INDUCCIÓN

Dependiendo de la aplicación que se desee dar a la bobina (tratamiento térmico, soldadura, fusión, forja, etc) varía la forma de la misma. La geometría va a variar dependiendo de que sea lo que se desee calentar y la geometría de la pieza.

2.4. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Dentro de los componentes electrónicos existen dos grupos, los pasivos y los activos.

2.4.1. COMPONENTES PASIVOS

Se puede decir que son los elementos básicos de un circuito electrónico. Estos componentes no realizan ninguna acción de control, no intervienen en la contribución de energía o en la amplificación para un sistema eléctrico. Entre alguno de estos componentes se puede encontrar:

- Resistencias
- Condensadores
- Bobinas
- Conductores
- Interruptores
- Conectores, etc

RESISTENCIAS

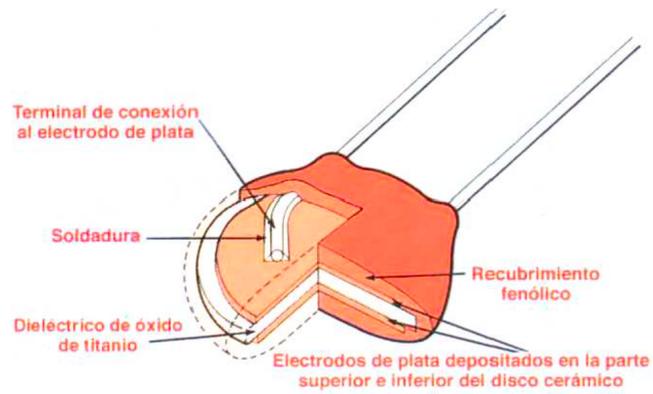
“Las resistencias son pequeños componentes de carbono o aleaciones metálicas que pueden tener valores fijos o variables” [CEK, 2006]. Estos llevan un valor óhmico el cual determina la caída de tensión. También vienen determinados por un valor máximo de potencia al cual pueden trabajar y disipar como calor. En su superficie se encuentra una codificación de colores que determinan el valor en ohms de la resistencia y su tolerancia porcentual, como se puede observar en la Figura 2.4.1.

Negro	0	0	x1	
Marrón	1	1	x10	±1%
Rojo	2	2	x100	±2%
Naranja	3	3	x1.000	
Amarillo	4	4	x10.000	
Verde	5	5	x100.000	
Azul	6	6	x1.000.000	
Violeta	7	7		
Gris	8	8		
Blanco	9	9		
Dorado			x0,1	±5%
Plata			x0,01	±10%

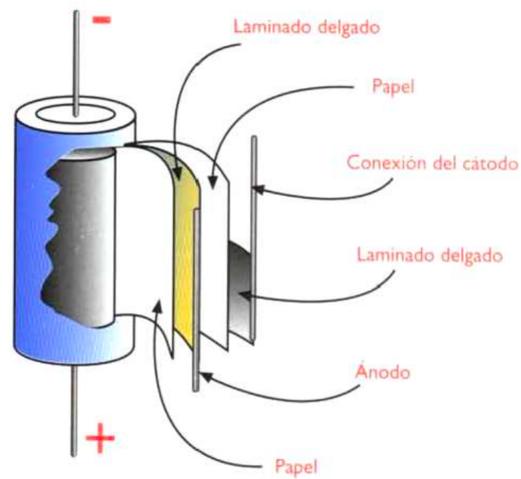
Figura 2.4.1: Codificación de Resistencias
Fuente: [CEK, 2006]

CONDENSADORES

“Los condensadores o capacitores son elementos que almacenan energía en un campo eléctrico formado por dos placas conductoras separadas por un dieléctrico” [CEK, 2006]. Este dieléctrico puede ser papel, cerámica, aire u otros materiales no conductores (Figura 2.4.2a). Su capacidad de almacenamiento de energía viene denominado por sus unidades expresadas en Faradios. Existen también los electrolíticos (Figura 2.4.2b) los cuales utilizan como dieléctrico aluminio o tantalio, los cuales permiten tener una capacidad más elevada. Al momento de seleccionar el condensador se debe tener mucho cuidado con el voltaje de operación del elemento ya que si se supera el voltaje puede fallar el mismo.



(a) Partes de un Condensador Cerámico



(b) Partes de un Condensador Electrolítico

Figura 2.4.2: Características de los Condensadores
Fuente: [CEK, 2006]

En la Figura 2.4.3 se puede observar la manera en que se pueden identificar los condensadores.

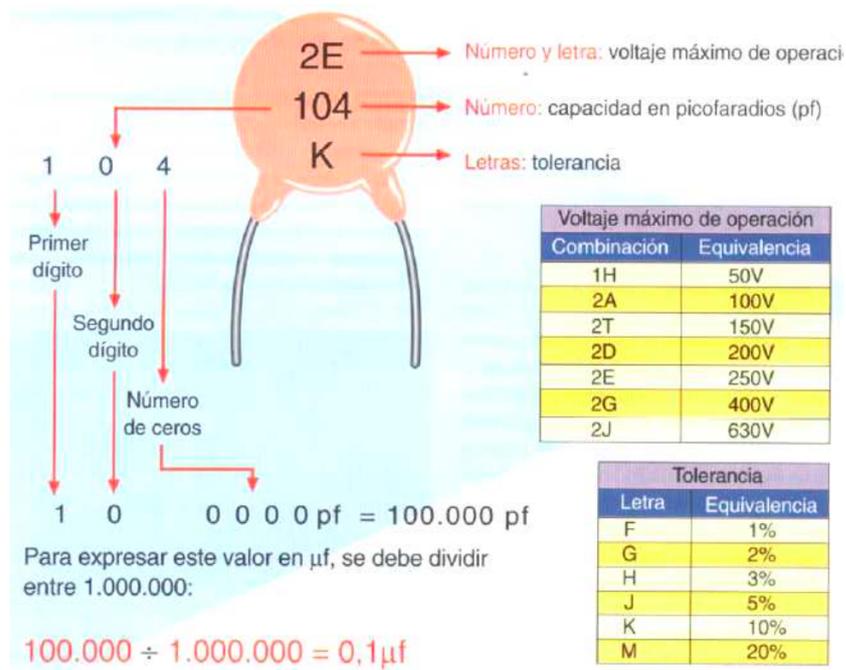


Figura 2.4.3: Codificación de Condensadores
 Fuente: [CEK, 2006]

BOBINAS

Las bobinas, al igual que los condensadores, son elementos almacenadores de energía, la diferencia es que estos lo hacen en forma de corriente. “Se basan en el principio de autoinductancia (cuando se somete un conductor a un campo magnético se induce una tensión en los extremos y a su vez produce una corriente) para su funcionamiento” [CEK, 2006]. Algunos parámetros importantes que hay que tener en cuenta de las bobinas son: Número de vueltas de la bobina, permeabilidad del núcleo, longitud del conductor y diámetro del mismo. La unidad de inductancia es el henrio (L).

2.4.2. COMPONENTES ACTIVOS

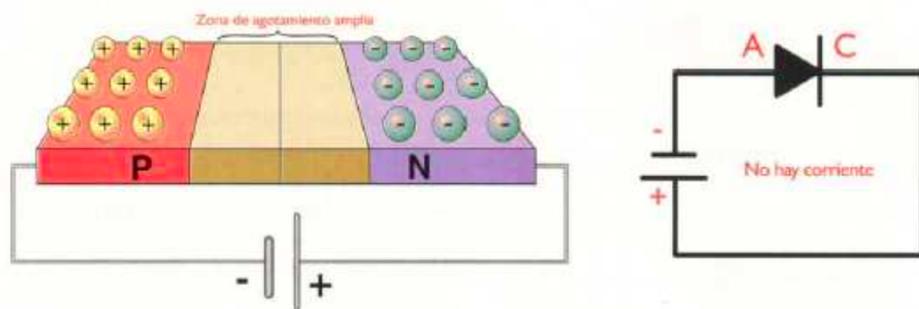
Son los elementos que ya influyen en el circuito y sirven para controlar tensiones, corrientes y pueden crear una acción de amplificación o de conmutación. Algunos de estas componentes son:

- Diodos
- Transistores
- Circuitos integrados

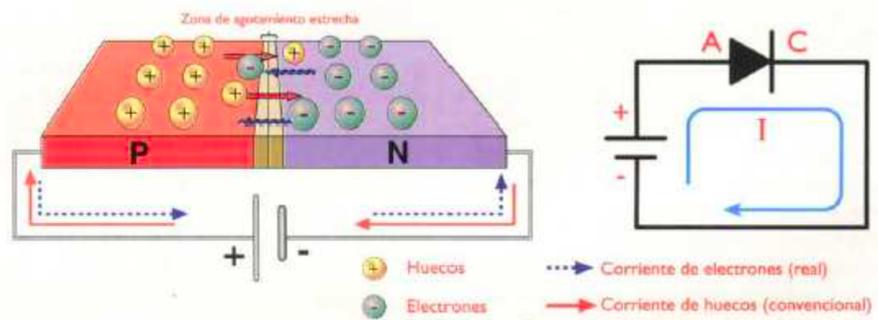
- Tiristores
- Transductores, etc

DIODOS

“El diodo es un elemento que permite el flujo de electrones en un solo sentido, dependiendo del sentido de la corriente eléctrica que se desee” [CEK, 2006]. Dependiendo de la configuración este puede actuar como aislante o conductor. Si se conecta el terminal positivo de la fuente con el cátodo del diodo se dice que esta polarizado inversamente, ya que el terminal positivo de la fuente atraen los electrones del cátodo y el terminal negativo atrae a los protones del ánodo (Figura 2.4.4a). En el caso de que se conecte el terminal positivo de la fuente con el ánodo del diodo ocurre lo opuesto, se permite el paso de electrones y se produce un flujo de corriente en un sentido (Figura 2.4.4b).



(a) Polarización Inversa en un Diodo



(b) Polarización Directa en un Diodo

Figura 2.4.4: Funcionamiento de un Diodo
Fuente: [CEK, 2006]

Depende de la utilización y características los diodos se los puede agrupar en dos grandes grupos: El primero lo conforman los diodos rectificadores, LED y

zenner; mientras que el segundo grupo lo conforman los no tan comunes, como diodos láser, túnel, Schottky, PIM, Gumm y los fotodiodos. En la Figura 2.4.5 se puede apreciar la simbología de diferentes diodos. Entre los parámetros de selección de los diodos el más importante que se debe tomar en cuenta es la corriente máxima, ya que esta es la corriente máxima que puede conducir en polaridad directa sin destruirse por sobrecalentamiento.

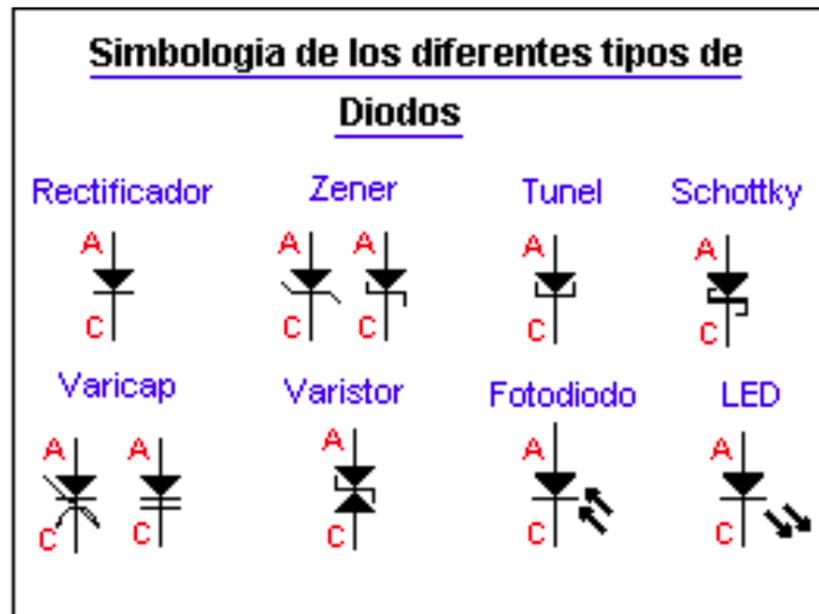


Figura 2.4.5: Tipos de Diodos
Fuente:[CEK, 2006]

Existen tres sistemas de nomenclatura: el americano, el europeo y el japonés. “El sistema americano asigna las letras IN, por ejemplo IN4001, donde I significa el número de uniones PN; N que es un semiconductor y 4001 las características propias del diodo” [CEK, 2006]. El sistema europeo utiliza letras para definir el material y el tipo como por ejemplo BY254. En cambio en el japonés se asigna una I para identificar que es un diodo, seguido de una S y un número que especifica las propiedades del diodo, por ejemplo IS922.

TRANSISTOR

El transistor es un elemento electrónico el cual se lo utiliza como una compuerta. Está conformado por tres terminales, “en donde, la resistencia de dos de ellos (colector y emisor) depende del nivel de corriente o tensión aplicado al tercero (base)” [CEK, 2006]. Existen dos grupos grandes de transistores, los bipolares y los de efecto de campo, como se puede apreciar en la Figura 2.4.6.

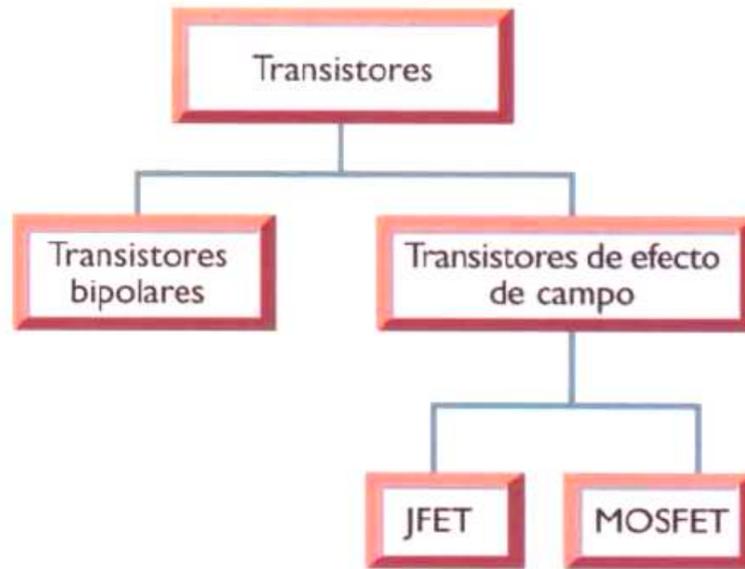


Figura 2.4.6: Clasificación de los Transistores
Fuente: [CEK, 2006]

Los transistores de campo se dividen a su vez en JFET y MOSFET (FET de Semiconductor de Óxido Metálico, por sus siglas en inglés). En este tipo de transistores existen tres terminales denominados: Fuente (S), Drenador o sumidero (D) y compuerta (G).

Los transistores bipolares son elementos semiconductores formados por tres capas alternadas de materiales tipo P o tipo N, si el material central es un material tipo P, el transistor es de tipo NPN, y si el material central es tipo N, el transistor es de tipo PNP.

Los transistores IGBT (Transistor Bipolar de Compuerta Aislada), son la combinación de un transistor bipolar y un FET. Estos se comportan como FET a la entrada y a la salida se comportan como un transistor bipolar de potencia. Esta combinación brinda excelentes características como interruptores de potencia, reemplazando otros semiconductores como los MOSFET de potencia y los tiristores. En su composición los IGBT se asemejan mucho a los MOSFET de potencia pero en su operación se asemejan más a los transistores bipolares. Al igual que los demás transistores estos pueden ser PNP o NPN (Figura 2.4.7).

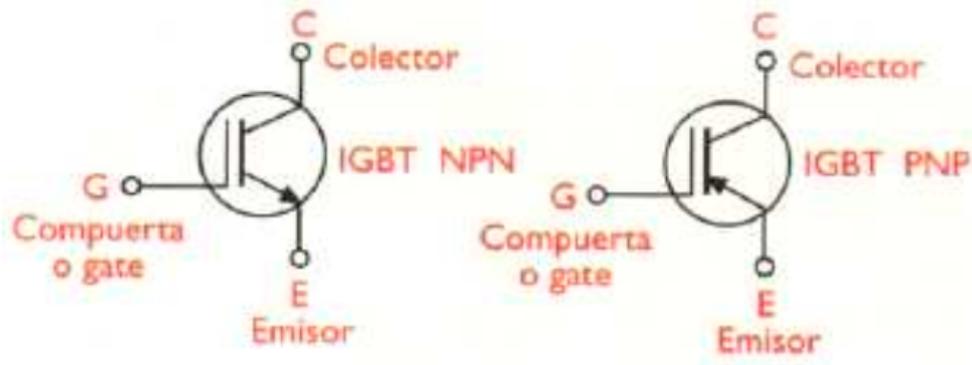


Figura 2.4.7: Transistor IGBT
Fuente: [CEK, 2006]

2.5. COCINAS A GAS

Una estufa a gas funciona con gas natural o gas propano. El funcionamiento es muy sencillo, el gas fluye desde la válvula principal hacia las válvulas secundarias que controlan cada quemador de la estufa. Estas válvulas controlan el flujo de gas por medio de una perilla que se encuentra en el exterior de la estufa. Mientras mas se permita el flujo de gas, mayor será la llama y el calor generado. Las estufas a gas utilizan cilindros de 15 kg, que suelen equivaler a 722,223 kJ de energía calorífica, cuyo equivalente son 200,62 kW/h de energía eléctrica como se muestra en la Figura 2.5.1.



Figura 2.5.1: Equivalente Calorífico - Energético - Electricidad del GLP
Fuente: [Franco, 2013]

2.5.1. VENTAJAS DE UNA COCINA DE GAS

- Conveniencia y Limpieza:** Su uso y mantenimiento son muy convenientes, el encendido es fácil y rápido. Su limpieza es sencilla y no necesita una limpieza profunda.

- **Precisión:** Debido a que lo único que se debe hacer para controlar el fuego de la estufa es girar una perilla, se puede controlar la temperatura con mayor precisión que una cocina eléctrica que tiene posiciones establecidas de temperatura (baja, media, alta).
- **Costo Operativo:** Estas cocinas no necesitan de una conexión eléctrica para poder producir fuego y las bombonas con un uso moderado tienen una larga duración.
- **Cortes de Electricidad:** Es una de las ventajas más grandes, debido a que estas cocinas no dependen de la electricidad, se las puede seguir utilizando aún así exista un corte del suministro eléctrico.

2.5.2. DESVENTAJAS DE UNA COCINA DE GAS

- **Seguridad:** Se deben controlar cada cierto tiempo las estufas de gas para asegurarse de que no existan fugas que puedan provocar incendios inesperados.
- **Portabilidad:** Estas cocinas son pesadas, e incluso en sus versiones portátiles se debe llevar consigo el cilindro de gas, lo cual no lo convierte en un equipo portátil.
- **Contamina el medio ambiente:** Al producirse la llama del gas en el quemador, se desprende CO_2 como uno de los productos resultantes de la combustión del Gas Licuado del Petróleo (GLP) hacia el medio ambiente.
- **Utiliza energía no renovable:** Como el proceso de combustión necesita como fuente principal de energía el GLP, significa que depende para su proceso de una fuente de energía no renovable, a diferencia de la cocina de inducción cuya fuente pueden ser energías limpias.

Capítulo 3

DISEÑO ELECTRÓNICO

3.1. CIRCUITO DE POTENCIA

3.1.1. RECTIFICADOR DE SEÑAL

Para diseñar el rectificador se debe tomar en cuenta la potencia máxima de trabajo y la tensión pico suministrado de la red. El suministro de la red ecuatoriana entrega una tensión de 110 V con 60 Hz y la cocina se diseñó para operar a 600 W . Para poder rectificar se debe duplicar la frecuencia de la que se obtiene de la red.

DATOS:

$$\begin{aligned}V_{red} &= 110\text{ V} \\P_{cocina} &= 600\text{ W} \\f &= 120\text{ Hz} \\fr &= 0,03\end{aligned}$$

CÁLCULOS:

Para determinar la corriente nominal de trabajo de la cocina se utiliza la ecuación siguiente:

$$P = V \times I \tag{3.1.1}$$

$$I_{in} = \frac{P_{cocina}}{V_{red}}$$

$$I_{in} = \frac{600\text{ W}}{110\text{ V}} = 5,45\text{ A}$$

Se dimensiona el rectificador en base la tensión pico inverso sobre el puente rectificador y la corriente que circula por el mismo. El voltaje pico se calcula de la siguiente manera:

$$V_{pico_inv} = V_{red} \times \sqrt{2} \quad (3.1.2)$$

$$V_{pico_inv} = 110 \times \sqrt{2} = 155,56 V$$

La corriente en el rectificador se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_{Rectificador} = 1,5 \times I_{in} \quad (3.1.3)$$

$$I_{Rectificador} = 1,5 \times 5 = 8,18 A$$

Por lo tanto se toma un rectificador de puente de diodos con un valor comercial de 400 V y 15 A (GSIB1540).

FILTRO ELIMINADOR DE RUIDO

Al momento de operación de la cocina se va a percibir ruido, a pesar de que la tensión de la fuente se rectifique por medio de un puente de diodos. Para evitar este ruido se debe implementar un filtro eliminador de ruido que se conecta en paralelo a continuación del puente de diodos. Este filtro consiste en conectar una bobina en serie a continuación del rectificador y un capacitor en paralelo. Este capacitor, debido a los altos picos de corriente (15 - 20 A) debe ser de potencia para que soporte las altas demandas de corriente y no falle por sobrecalentamiento.

■ Cálculo Capacitor

Para determinar el valor del capacitor del rectificador se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$C_{rec} = \frac{\frac{1}{4 \times f} \left(3 + \arcsin \left(\frac{1-fr}{\frac{\pi}{2}} \right) \right)}{\frac{V_{pico_inv}}{I_{Rectificador}} \times \ln \left(\frac{1}{1-fr} \right)} \quad (3.1.4)$$

$$C_{rec} = \frac{\frac{1}{4 \times 110} \left(3 + \arcsin \left(\frac{1-0,03}{\frac{\pi}{2}} \right) \right)}{\frac{155,56}{7,5} \times \ln \left(\frac{1}{1-0,03} \right)} = 0,013 mF$$

$$C_{rec} = 13 \mu F$$

Se escoge un capacitor de valor comercial de $22 \mu F$.

El circuito implementado rectificando de la fuente incluido el filtro se puede apreciar en la Figura 3.1.1.

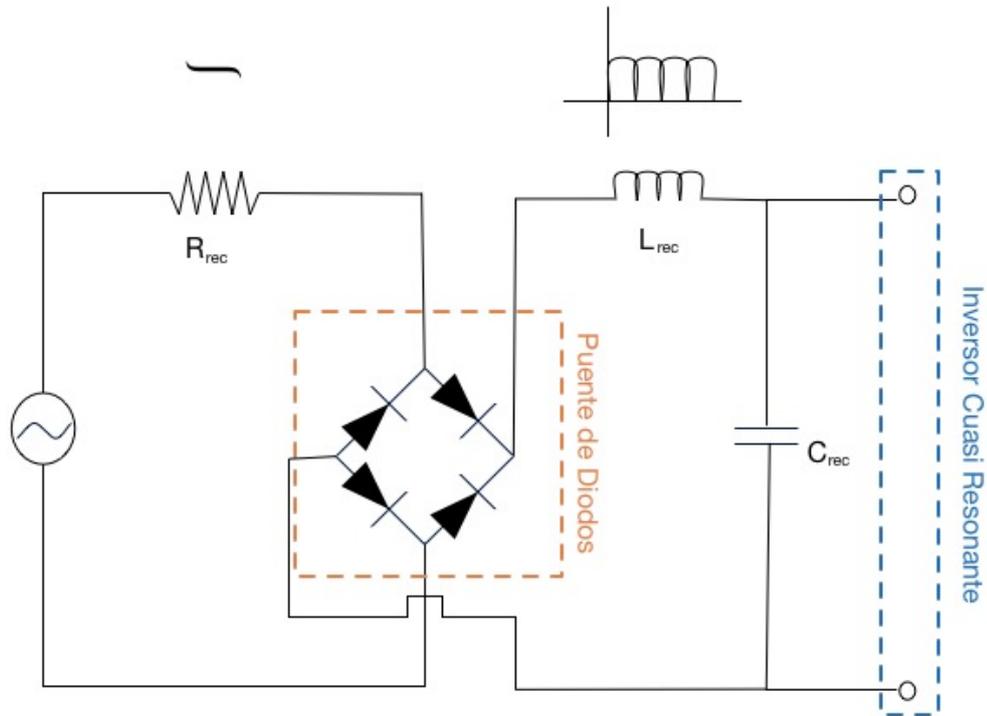


Figura 3.1.1: Circuito Rectificador

3.1.2. INVERSOR CUASI RESONANTE

El inversor cuasi resonante es la parte del circuito que permite el funcionamiento pleno de la cocina de inducción. Este se lo coloca a continuación del circuito de rectificado. El diseño del circuito implementado es diferente al de la Figura 2.3.5. Esto se debe a que, como se desea implementar la cocina de inducción dentro de una cocina a gas convencional, se tiene un espacio limitado. Además se debe optimizar el espacio porque dentro de la cocina a gas deben entrar ambas hornillas de inducción (circuitos) sin afectar la parte original de la cocina a gas.

El circuito original en la Figura 2.3.5 plantea la utilización de dos transistores, de manera que se obtenga la forma completa sinusoidal de la corriente y voltaje. Esta configuración se complica debido al espacio reducido, ya que al tener dos transistores se debe implementar dos disipadores de calor, o a su vez uno solo pero de mayor tamaño. Dicha configuración no beneficia el objetivo de esta tesis porque al tener dos transistores también se deben incluir sus dos diodos en

antiparalelo y de igual manera se los debe incorporar a los disipadores del circuito.

Se deben colocar dos transistores IGBT en paralelo para soportar los altos picos de corriente que se obtienen cuando se realizan los disparos de activación del IGBT (20 a 24 A) al funcionar la cocina. Cada IGBT soporta como máximo 20 A. Si se aplica el diseño de la Figura 2.3.5 se tendrían cuatro transistores IGBT por cocina, y al ser dos cocinas esto incrementaría el precio de la cocina de inducción.

Por estas razones se desarrolló un diseño diferente del inversor cuasi resonante, como se muestra en la Figura 3.1.2. Los cálculos pertinentes del circuito mencionado se encuentran en la sub sección “Cálculo de la Capacitancia y de la Inductancia del Circuito Resonante” a continuación.

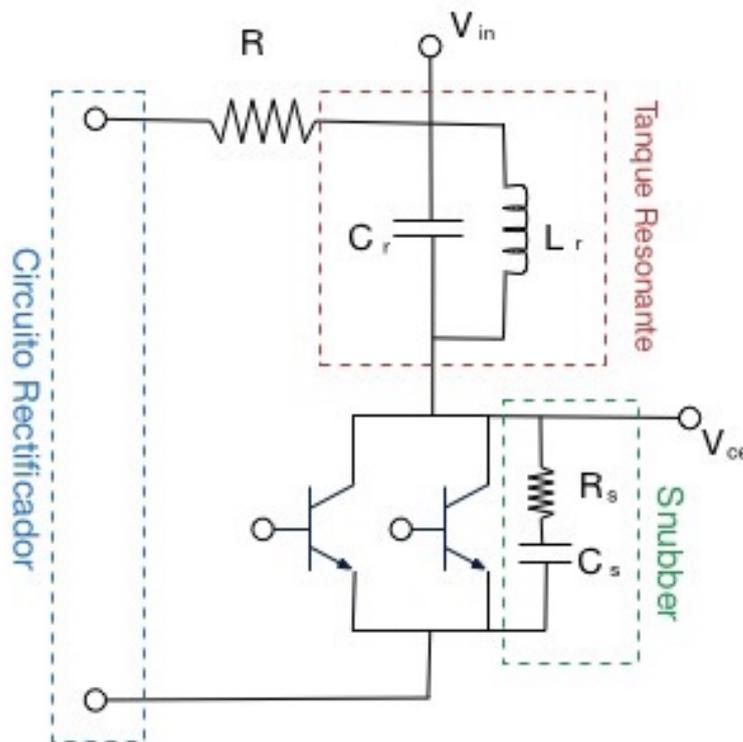


Figura 3.1.2: Diseño Inversor Cuasi Resonante

La desventaja de aplicar el diseño propuesto es que en este circuito se obtiene solo la fase positiva de la forma sinusoidal que debería tener la cocina, lo que no se presentaría con el diseño original del inversor cuasi resonante. Este diseño implementado no presenta inconvenientes al momento que se encuentra en operación y con el sartén encima de la hornilla, ya que la energía almacenada por la bobina se disipa como calor. El problema se presenta cuando se retire el sartén,

al ser solo la parte positiva de la forma de onda no permite que la bobina se descargue completamente. Esto provoca que en un punto se sature la bobina y provoque una falla en los transistores. Para evitar esto se debe aplicar un tanque resonante y un sistema de control de detección del sartén. Todo esto se explicara mas en detalle en las secciones 3.4.2 y 3.1.3 de este capítulo.

CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA Y DE LA INDUCTANCIA DEL CIRCUITO RESONANTE

Debido a que la energía de calentamiento es generada debido al proceso de intercambio de energía entre el inductor y el capacitor del circuito resonante, los valores son muy importantes.

DATOS:

$$\begin{aligned} V_{red} &= 110 V \\ P_{cocina} &= 600 W \\ f_o &= 25 KHz \end{aligned}$$

CÁLCULOS:

■ Cálculo de Inductancia

Para calcular se va a asumir que el capacitor del tanque resonante tiene un valor de $0,3 \mu F$ y utilizando la ecuación 3.1.5 se puede determinar el valor de la inductancia.

$$L_r = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 C_r} \quad (3.1.5)$$

$$L_r = \frac{1}{(2\pi \times 25000 Hz)^2 0,3 \mu F} = 13,5 mH$$

$$L_r = 135 \mu H$$

Es importante considerar que el valor de la inductancia de la bobina de inducción está determinada por la forma geométrica de la bobina, así como el número de vueltas. De igual manera depende de la carga, que en este caso seria el material del cuál está fabricada la olla.

■ Cálculo Capacitor

Para el cálculo del capacitor se debe utilizar la corriente de entrada, pero tomando en cuenta que “la corriente de entrada es un promedio de la corriente resonante” [Corporation, 2000]. Por lo que se representa a la corriente de entrada como:

$$I = \frac{I_r}{2\Pi} \quad (3.1.6)$$

El cálculo de la corriente de resonancia se la obtiene por medio de la siguiente fórmula ya reemplazando la corriente de entrada:

$$I_r = \frac{2\Pi P}{V} \quad (3.1.7)$$

$$I_r = \frac{2\Pi \times 600 \text{ W}}{\sqrt{2} \times 110 \text{ V}} = 24,23 \text{ A}$$

Con la corriente calculada de resonancia se puede determinar la tensión que circula por el capacitor despejando este de la ecuación 3.1.8.

$$C_r = \frac{I_r}{2\Pi f_o V_c} \quad (3.1.8)$$

$$V_c = \frac{24,23 \text{ A}}{2\Pi \times 25000 \text{ Hz} \times \sqrt{2} \times 0,33 \mu\text{F}} = 330,53 \text{ V}$$

$$V_c = 330,53 \text{ V}$$

El valor de tensión de operación del capacitor (V_r) se debe multiplicar por un factor de seguridad de 1,5 lo que aumenta el valor en un 50%. Como la tensión $V_c = 330,53 \text{ V}$, la tensión a la cual debe operar el capacitor es de 495,80 V.

Se escoge un capacitor de valor comercial de 0,33 μF de 500 V.

3.1.3. EFECTO TANQUE RESONANTE

El tanque resonante se lo utiliza dentro del circuito por la naturaleza de la bobina de inducción (hornilla) de permanecer cargada durante el disparo del transistor y descargarse cuando se desconecta el mismo. Para tener un funcionamiento más eficiente de la bobina y mantener un campo magnético uniforme generado por la bobina se implementa el circuito del tanque resonante, que consiste en incluir un capacitor en paralelo a la bobina de inducción como se muestra en la Figura 3.1.2. Esto permite que cuando no está activado el IGBT en vez de que se descargue completamente la bobina y se tenga un campo magnético fluctuante, se logre mantener un campo uniforme con la menor pérdida de energía posible. Esto

incrementa la eficiencia de la cocina. La energía fluctuará en el circuito cerrado entre la bobina y el capacitor en paralelo.

Si bien es una ventaja energética el disminuir la pérdida energética durante la operación de la cocina, es también un riesgo mantener energía almacenada durante la operación del mismo. Como se explico antes, cuando se encuentra el sartén sobre la bobina de inducción, esta energía almacenada se disipa como calor y no existe problemas durante la operación de la cocina. El problema se presenta cuando no hay un sartén que actúe como elemento que consuma la energía. Sin el sartén y sin un sistema de seguridad de detección del sartén, lo que ocurre entre la bobina y el capacitor es que ambos van a seguir cargados y los dos actuarán como fuentes de energía, donde la misma oscilara hacia la bobina y de nuevo al capacitor. Esta energía se quedara encerrada entre estos dos elementos cuando el transistor esté desconectado y si no existe un elemento que consuma esta energía. Ahora, si se vuelve a activar el transistor solo se estará agregando más energía en este circuito cerrado que se forma. De tal manera que se alimenta con más energía cuando se activa el transistor y se queda encerrada cuando se desactiva. Esto sucederá hasta llegar a un punto donde el capacitor o la bobina se saturen y fallen. Esto puede provocar una falla total de todo el circuito de potencia afectando todos los componentes en este sistema. Para evitar que esto suceda y proteger a la cocina durante su operación se implementa un sistema de detección del sartén.

3.1.4. SELECCIÓN DEL TRANSISTOR

Para asegurar el pleno funcionamiento de la conmutación de la cocina se selecciona un IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) como transistor. Los IGBT permiten manejar altas potencias a altas frecuencias de conmutación. “Para su dimensionamiento se considera la corriente máxima y la tensión colector - emisor máximo ($V_{ce_{max}}$)”[Antonio, 2009].

$$I_{max} = I_{in} \times \sqrt{2} \quad (3.1.9)$$

$$I_{max} = 5,45 A \times \sqrt{2}$$

$$I_{max} = 7,71 A$$

Por seguridad se multiplica a la corriente máxima por un valor de 1,5.

$$I_c = I_{max} \times 1,5 \quad (3.1.10)$$

$$I_c = 7,71 A \times 1,5$$

$$I_c = 11,56 A$$

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

$$V_{ce_{max}} = V_{rectificador} + V_c \quad (3.1.11)$$

$$V_{ce_{max}} = 110 V \times \sqrt{2} + 330,53 V$$

$$V_{ce_{max}} = 486,10 V$$

Se selecciona el IGBT H20R1203, el cuál soporta 20 A y 1200 V de V_{ce} (Apéndice ??)

3.1.5. IMPLEMENTACIÓN DEL SNUBBER

El Snubber es un elemento protector de los transistores poniendo en serie un capacitor y una resistencia, en paralelo al transistor (Figura 3.1.2), ambos elementos deben ser capaces de soportar la potencia que circula por el colector y emisor del transistor. También estos tienen que ser capaces de soportar altas temperaturas, ya que estos elementos se empiezan a calentar durante el funcionamiento de la cocina.

“La función principal del snubber es eliminar el ruido en el transistor durante su conmutación por los picos de corriente” [Corporation, 2014].

CÁLCULO RESISTENCIA Y CAPACITOR DEL SNUBBER

Los cálculos estipulados a continuación han sido realizados “en base a la capacitancia e inductancia parásita encontradas en los transistores del circuito”

[Corporation, 2014]. Sin embargo, la selección del capacitor fue realizada de manera empírica al encontrar mejores resultados en su implementación.

DATOS:

$$C_P = 85 \mu H$$

$$L_P = 1,49 mF$$

CÁLCULOS:

■ Cálculo Resistencia

Para el cálculo de la resistencia del snubber se utiliza (3.1.12).

$$R_s = \sqrt{\frac{L_P}{C_P}} \quad (3.1.12)$$

$$R_s = \sqrt{\frac{1,49 mF}{85 \mu H}}$$

$$R_s = 4,2 \Omega$$

Por lo que se selecciona una resistencia térmica de valor comercial de $R_s = 4,7 \Omega$.

■ Cálculo Capacitor

Utilizando el valor de la resistencia calculado anteriormente y (3.1.13) se obtiene:

$$C_s = \frac{1}{2\Pi R_s} \quad (3.1.13)$$

$$C_s = \frac{1}{2\Pi \times 4,2 \Omega}$$

$$C_s = 37,89 mF$$

3.2. CIRCUITO DE DISPARO

3.2.1. CIRCUITO IR2110

El IR2210 es un driver de alta velocidad para la activación de los transistores. Este se alimenta con 5 V y con 17 V rectificadas, los 5 V se utilizan para el funcionamiento del componente y los 17 V son para la activación de la compuerta

del transistor. El IR2110 permite la activación simultánea de dos transistores, pero para este proyecto de tesis solo se utilizará la activación de baja del IR.

El circuito de conexión del IR2110 se muestra en la Figura 3.2.1.

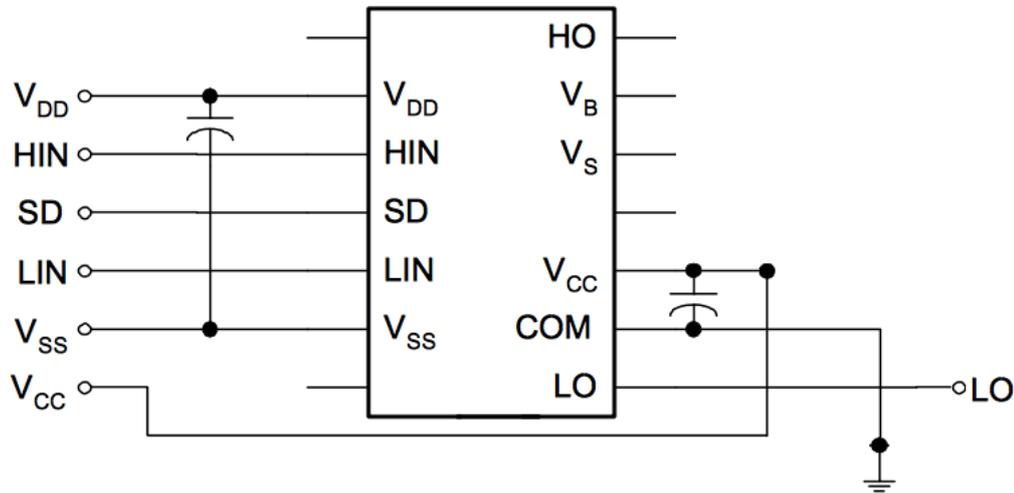


Figura 3.2.1: Circuito Conexión IR2110

Para que funcione el R2110 se debe alimentar con V_{CC} con 5 V y a V_{SS} con los 17 V, SD se debe conectar a tierra y L_{IN} es la entrada de la señal que proviene del microcontrolador. L_O es la señal de activación de 17 V que entra a la compuerta del IGBT.

3.2.2. CIRCUITO IGBT

Los IGBT's utilizados cuentan con una parte de potencia y otra de control. En la Figura 3.1.2 se muestra la conexión de estos elementos en la parte de potencia, pero en esta sección se hará énfasis en su alimentación que permite el disparo del transistor hacia su compuerta.

La señal enviada por el IR2110 de activación se transmite por algunos componentes electrónicos hasta llegar a la compuerta como se puede apreciar en la Figura 3.2.2.

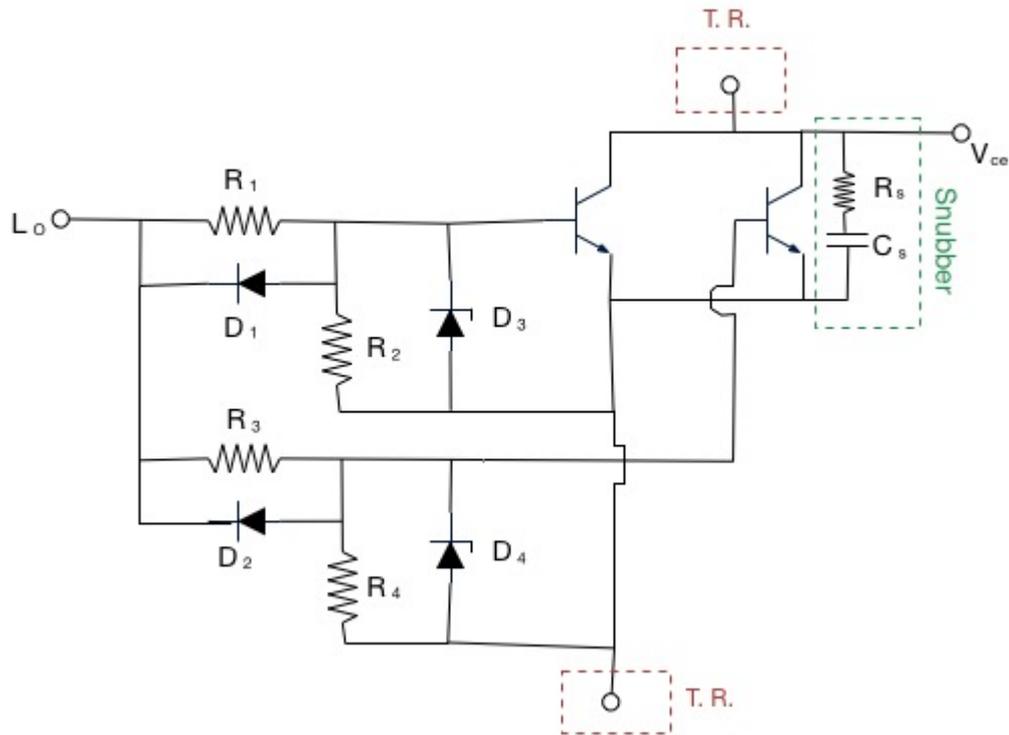


Figura 3.2.2: Circuito IGBT

3.3. CIRCUITO DE CONTROL

3.3.1. MICROCONTROLADOR ATTINY84

El desarrollo del sistema de control está basado en el microcontrolador ATTINY84 (Apéndice ??), el cuál se encarga de interpretar las señales eléctricas que provienen del sensor, circuitos electrónicos y en base a ellas tomar acciones para el correcto desempeño del sistema en general.

Las características más importantes por las cuales se eligió este microcontrolador son las siguientes:

- El número de pines disponibles que pueden ser utilizados como entradas y salidas son los suficientes para dar cobertura a los eventos que se presentan en el desarrollo del proyecto.
- Tiene una alta velocidad de operación.
- Buena capacidad de memoria.

ASIGNACIÓN DE LOS TERMINALES DEL MICROCONTROLADOR

En la Figura 3.3.1 se puede observar el arreglo de los pines del microcontrolador que se obtuvo del datasheet del mismo.

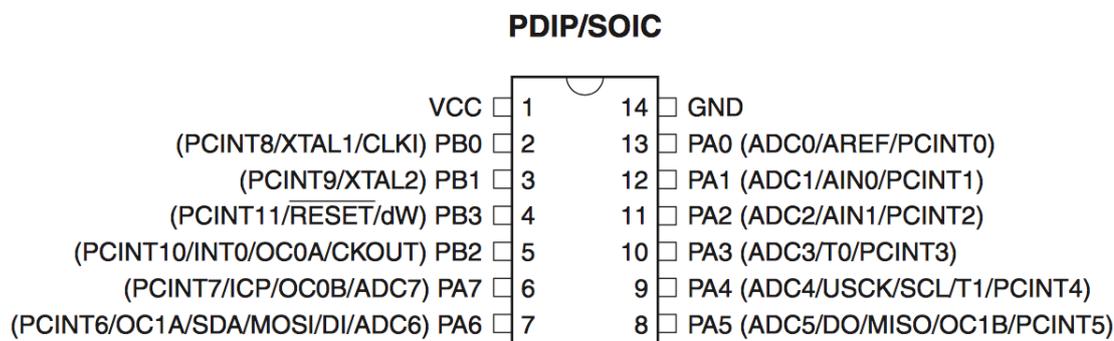


Figura 3.3.1: Microcontrolador ATTINY84

En la Tabla 3.1 se describe la función de cada uno de los pines del microcontrolador.

Tabla 3.1: Asignación de los Terminales del Microprocesador

Pin	Nombre	Estado	Función
2	PB0	Entrada	Conexión CRYSTAL
3	PB1	Entrada	Conexión CRYSTAL
4	PB3	Entrada	Reset
5	PB2	Entrada	Ent. de comp. de corriente
6	PA7	Salida	Señal PWM
7	PA6	Salida	Monitoreo del Proceso
8	PA5	Salida	Comp. de tensión colector emisor
9	PA4	Entrada	Ent. señal potenciómetro
10	PA3	Entrada	Ent. señal sensor corriente (no se utiliza)
11	PA2	Entrada	Señal de entrada V_{ce} (no se utiliza)
12	PA1	Salida	Activación LED
13	PA0		

3.3.2. CIRCUITO SENSOR DE CORRIENTE

El sensor de corriente incorporado al circuito es el PE-S1686NL (Apéndice ??) y se utiliza para la función de detección del sartén que se explicará en la sección 3.4.2 de este capítulo. Este sensor AC es óptimo para la utilización dentro del circuito ya que éste permite la lectura hasta una frecuencia de 200 kHz . El sensor funciona como un transformador para poder detectar la corriente emitida a la salida de la bobina. A la salida del sensor se conecta un divisor de tensión que consiste en tres resistencias de $4,7\ \Omega$, de manera que los 7 V que emite el

sensor como salida se reduzcan a menos de 3 V para que pueda entrar en el microcontrolador. La salida de señal se la toma en la tercera resistencia, donde se obtiene 2,33 V que es aceptable para la entrada en el microcontrolador.

A continuación del divisor de tensión se conecta un seguidor de tensión, el cual aísla las dos partes del circuito, después a un amplificador operacional, que transforma la señal emitida en una onda cuadrada, cabe recalcar que sólo se utiliza la forma positiva de onda, y finalmente al microcontrolador.

Todo esto se lo puede apreciar en la Figura 3.3.2.

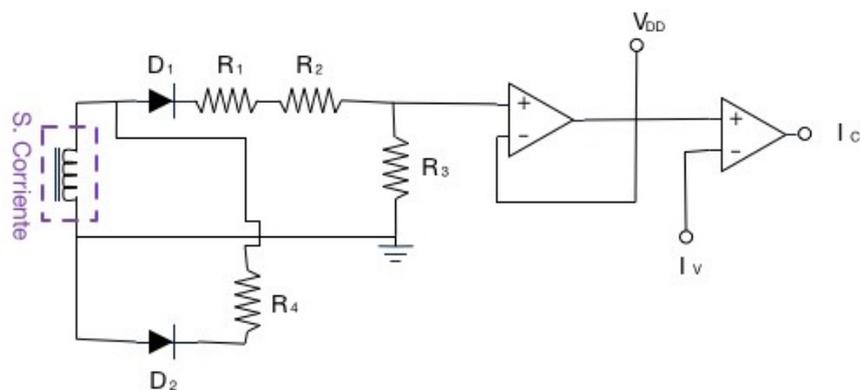


Figura 3.3.2: Circuito Sensor Corriente

3.4. CONTROL

3.4.1. PWM

“El método de control elegido es el PWM debido a que es un método sencillo para la activación del transistor” [Antonio, 2009]. La frecuencia que se decidió trabajar es 25000 Hz para superar la frecuencia audible de trabajo y tener un funcionamiento silencioso de la bobina de inducción.

La variación de temperaturas de la cocina se la realiza simplemente comparando el valor de entrada que proviene del potenciómetro con varios rangos preestablecidos en el microcontrolador. Se debe recordar que el potenciómetro envía una señal al microcontrolador entre 0 y 1023. “Estos valores son el resultado de la conversión de los valores analógicos del voltaje, entre 0 y 5 Volts, a un valor digital entero” [CEK, 2006]. Cuando el valor del potenciómetro entra en uno de estos rangos lo que varía es el tiempo de encendido y apagado de la bobina. En la Tabla 3.2 se especifican los 10 estados que se programaron para

la variación de temperatura de cocción de la cocina. Cuando el potenciómetro se encuentra en el cero absoluto este no enviará ninguna señal y no se enviará el PWM hacia el transistor.

Tabla 3.2: Estados de Temperatura de Cocción

Estado	Rango	T. On [s]	T. Off [s]
1	0 - 102,3	1	9
2	103,3 - 204,6	2	8
3	205,6 - 306,9	3	7
4	307,9 - 409,2	4	6
5	410,2 - 511,5	5	5
6	512,5 - 613,8	6	4
7	614,8 - 716,1	7	3
8	717,1 - 818,4	8	2
9	819,4 - 920,7	9	1
10	921,7 - 1023	10	0

3.4.2. DETECCIÓN DEL SARTÉN

Este punto es sumamente importante para asegurar el funcionamiento correcto de la cocina. Como se mencionó antes se debe asegurar que el sartén se encuentre sobre la bobina de inducción para evitar el daño del circuito y de los componentes de la cocina. Hay dos eventos en los cuales se debe reconocer la presencia o no del sartén: el primero es cuando el potenciómetro se encuentra en el cero absoluto y se gira para encender la cocina, es decir, al momento de encendido de la cocina. La segunda es cuando la cocina se encuentra en funcionamiento y se debe retirar el sartén de la cocina. A continuación se explicara detalladamente ambos eventos.

DETECCIÓN DEL SARTÉN AL INICIO DE OPERACIÓN

La detección al inicio de operación se basa en el principio de funcionamiento del Efecto Tanque explicado en la sección 3.1.3 de este Capítulo. El fenómeno principal que se utiliza para realizar el control es la corriente medida por el sensor de corriente colocada a la salida de la bobina de inducción. Este sensor tiene la característica de transformar la corriente medida en un factor de reducción de 50:1. Esto quiere decir que si se miden 15 A a la salida de la bobina, en realidad el valor que emite el sensor son 0,3 A. Después esta señal es enviada en forma de tensión por el divisor de tensión, los amplificadores operacionales y finalmente al microcontrolador, como se observa en la Figura 3.3.2 y se detalla en la sección 3.3.2.

Para proceder a la detección del sartén el microcontrolador envía un pulso de activación al transistor. Esto produce que se cargue la bobina y se genere un pico de corriente. Como se explicó en la sección 3.1.3, si existe el sartén sobre la hornilla la energía se disipará como calor y la corriente se estabilizará enseguida. Si no existe el sartén la energía permanecerá almacenada y la corriente seguirá oscilando por un periodo más largo de tiempo hasta que se descargue completamente. Se debe recordar que esto sucede solo por que se envía un pulso de activación hacia el transistor, si permanecería funcionando la bobina sería saturada. El efecto que se explica anteriormente se ve reflejado en las formas de onda que se observan en la Figura 3.4.1. La onda violeta es el V_{ce} , la verde es la corriente en la bobina, la celeste es la detección del pulso y finalmente la azul es la señal del PWM en el IGBT.

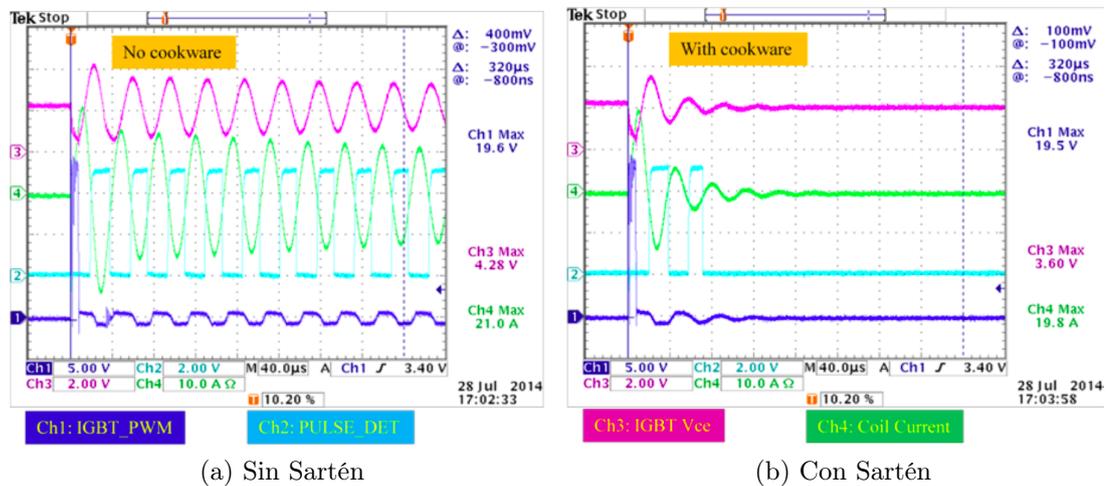


Figura 3.4.1: Formas de Onda Detección del Sartén
Fuente: [Leo Pan, 2014]

Como se aprecia en la Figura 3.4.1 la tensión y la corriente van a tener la misma forma de onda. Aquí se detalla el pulso emitido hacia el IGBT y las dos formas en las que la corriente se comporta con o sin el sartén. Esta señal de corriente emitida por el sartén, se transforma más adelante en un valor de tensión para que pueda ser leído por el microcontrolador, pasa por un amplificador operacional. Se compara la señal recibida con un valor preestablecido de 1 V, por lo que los picos mayores a este valor pasarán como una señal cuadrada analógica de pulsos, y si los picos de corriente son menores a 1 V no se envía señal.

La señal analógica de pulsos entra en el microcontrolador que, por medio de un contador, registra la cantidad de pulsos emitidos después de la señal de activación emitida hacia el IGBT. De esta manera si no se percibe ningún pulso quiere decir que no hay alimentación hacia la bobina, mientras que si percibe so-

lamente un pulso significa que el sartén se encuentra sobre la hornilla y se procede al funcionamiento de la cocina. Si cuenta más de 6 pulsos, el microcontrolador entiende que el sartén no se encuentra sobre la hornilla y no se enciende la misma.

Este procedimiento se repetirá cada 700 *ms* hasta que el microcontrolador detecte el sartén y se ponga en funcionamiento la hornilla de inducción. El código de programación de lo descrito anteriormente se encuentra en el Apéndice ??.

RETIRO DEL SARTÉN DURANTE EL FUNCIONAMIENTO

Para la detección del retiro del sartén durante el funcionamiento de la cocina se toma como referencia la tensión del colector emisor en el IGBT. Durante la operación de la hornilla de inducción el valor de tensión del colector emisor va a aumentar excediendo el límite si se retira el sartén de la hornilla, como se puede observar en la Figura. Para monitorear esta situación, el microcontrolador compara la tensión V_{ce} con un valor base V_{vc} y se actualiza su estado instantáneamente. Para esto se realiza una bandera en el código de programación cada 500 *ms*.

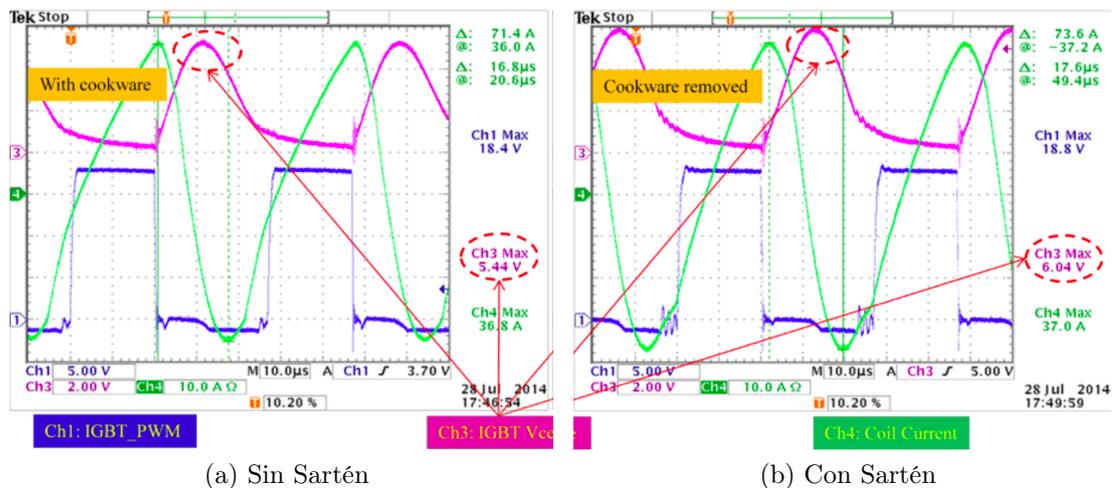


Figura 3.4.2: Detección del Retiro del Sartén Durante Operación

Fuente: [Leo Pan, 2014]

Al igual que en la detección del sartén al inicio de operación, la señal de tensión del V_{ce} es comparada por un amplificador operacional con el valor de tensión base. Este amplificador operacional emite una señal analógica cuadrada si el valor de V_{ce} es mayor que V_{vc} , no envía señal si es menor. El microcontrolador, por medio de un contador, registra el número de pulsos. Si el número de pulsos registrados es mayor a 1000 significa que no hay el sartén, si es menor a 800 significa que si se encuentra el sartén sobre la bobina de inducción y continúa en funcionamiento la cocina. El código de programación de lo detallado anteriormente se encuentra en el Apéndice ??.

3.5. BOBINA DE INDUCCIÓN

Por dificultad de obtener los elementos dentro del mercado ecuatoriano se optó por importar bobinas de inducción. Estas bobinas deben tener las mismas características para cada cocina debido al circuito que se implementó en el diseño. Las bobinas utilizadas son de 1000 W. La hornilla tiene un diámetro exterior de 16 cm y un diámetro interior de 4,2 cm.

El bobinado plano está conformado por 28 alambres de cobre electrolítico aislado, entorchados helicoidalmente de calibre de 0.5 mm. Debajo del bobinado se encuentra una base plástica donde se encuentran encapsulados 6 núcleos de ferrita que redireccionan el campo magnético de la parte inferior para que no afecten a los componentes ni al circuito de potencia. En la Figura 3.5.1 se pueden apreciar los detalles de la bobina de inducción a utilizarse.

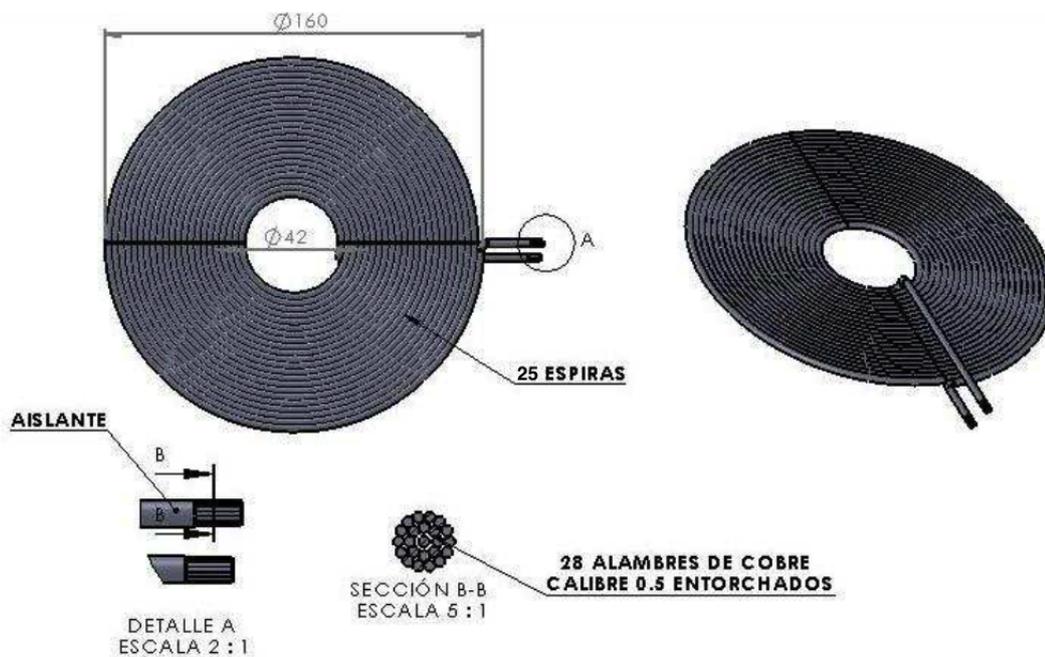


Figura 3.5.1: Detalle de la Bobina de Inducción

Capítulo 4

CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DEL PROTOTIPO

4.1. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

A continuación se detallarán los pasos realizados para la construcción de las placas electrónicas del prototipo.

- La tarjeta se la diseño con la ayuda de PROTEUS, un programa que permite a sus usuarios diseñar sus placas distribuyendo los elementos electrónicos a utilizarse, de manera que las pistas que los conecta no se entrecrucen.
- De esta manera se imprimieron las pistas de la tarjeta, en primera instancia en papel Bond blanco y una vez revisadas las pistas, su grosor y la calidad de la impresión se procedió a imprimirlas en papel couche como se muestra en la Figura 4.1.1 utilizando para el ruteado el lado más brillante del papel.

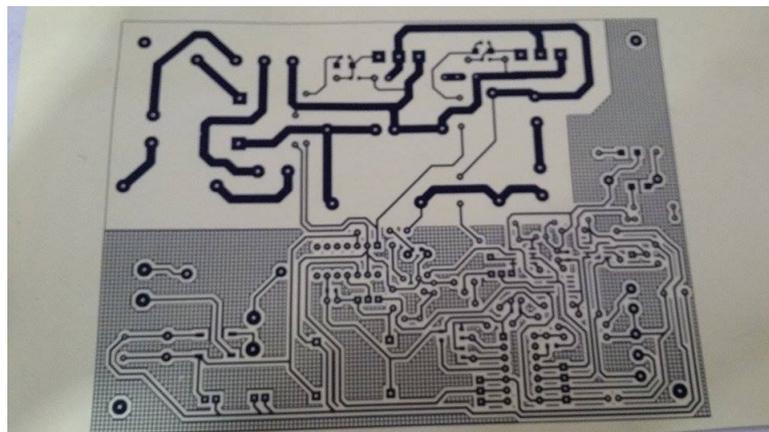


Figura 4.1.1: Impresión del Circuito en Papel Couche

- El lado brillante del papel couche se lo coloca sobre la baquelita, previamente cortada a la medida de la tarjeta utilizando una de las pruebas de

impresión realizadas en papel Bond para obtener las dimensiones exactas. Con la ayuda de una plancha común y a una temperatura media se adhieren las pistas a la baquelita como se muestra en la Figura 4.1.2.

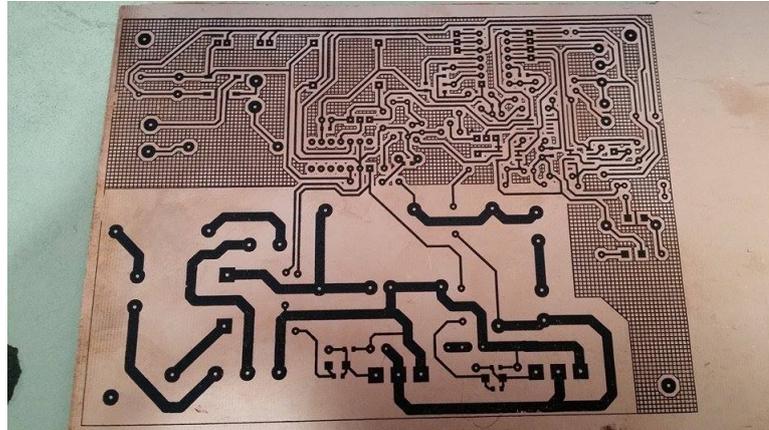


Figura 4.1.2: Adherencia de Pistas en la Baquelita

- Una vez copiadas las pistas a la baquelita, se las revisa en busca de algún defecto y en caso de existir alguno se lo remienda con marcador permanente de modo que la pista este completa.
- Se procede a introducir la baquelita impresa en un recipiente con ácido, con la finalidad de que el sobrante de cobre en la placa sea removido y solo el cobre que quede sea de las pistas conductoras. El resultado final de este proceso se lo puede observar en la Figura 4.1.3.

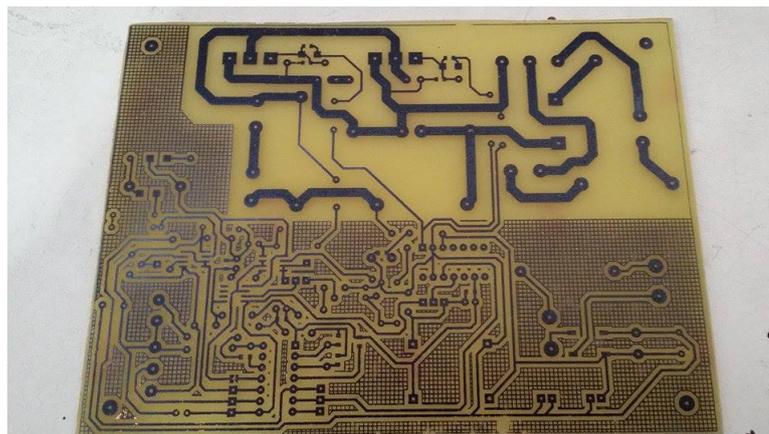


Figura 4.1.3: Pistas Conductoras en la Baquelita

- De la misma manera en que se imprimió la parte inferior de la placa, se imprime la parte superior en papel blanco hasta verificar que todos los elementos se encuentren en el sitio que les corresponde y posteriormente se lo imprime en papel couche como se muestra en la Figura 4.1.4.

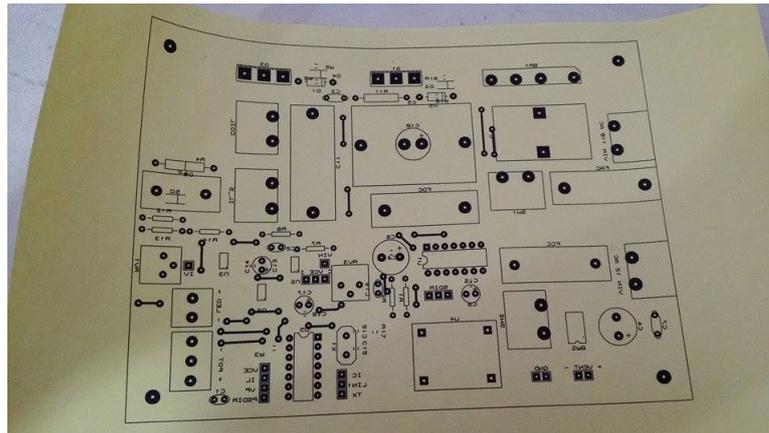


Figura 4.1.4: Impresión Parte Superior en Papel Couche

- Una vez impreso se coloca el papel couche sobre la cara en blanco de la baquelita y con la plancha a temperatura media se le aplica calor hasta que la tinta pase a la baquelita como se puede observar en la Figura 4.1.5.

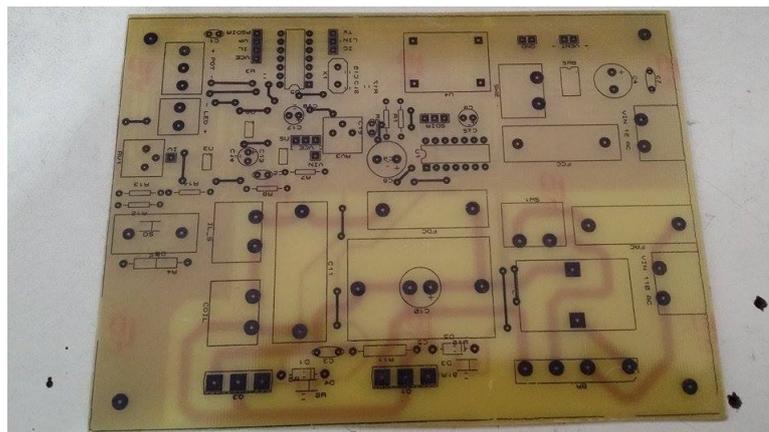
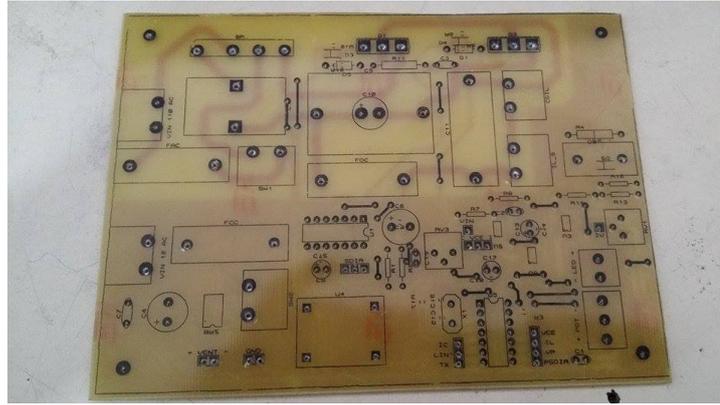
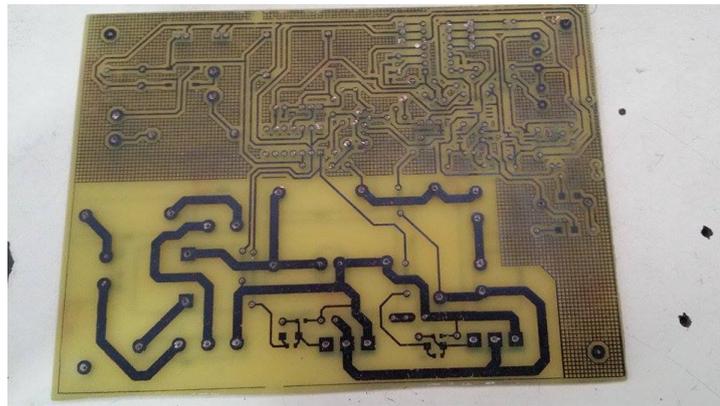


Figura 4.1.5: Parte Superior en la Baquelita

- Se procede a perforar los orificios por los cuales pasan los terminales de los diferentes elementos que se colocan en la parte superior de la placa con la ayuda de una broca pequeña y un taladro, de modo que la placa quede como se muestra en la Figura 4.1.6.



(a) Vista Superior



(b) Vista Inferior

Figura 4.1.6: Perforaciones de la Placa

- Una vez hechas las perforaciones, se procede a colocar los elementos SMD en la parte inferior de la placa; dichos elementos son de alta tecnología y ayudan a ahorrar espacio en la tarjeta sin la necesidad de implementar más puentes en la parte superior de la tarjeta como se puede ver en la Figura 4.1.7.

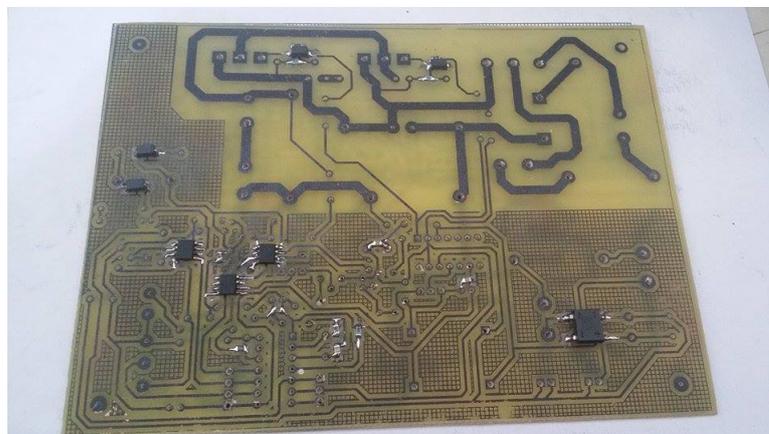
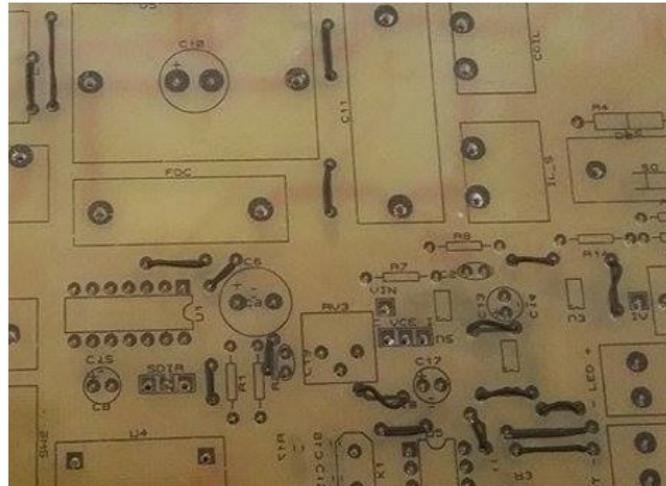


Figura 4.1.7: Incorporación Elementos SMD

- Se sueldan los puentes existentes en la parte superior, que por lo general son conductores de las señales de control, más no de las de potencia. Por este motivo se ocupa un cable de bajo calibre que facilite la colocación de los otros elementos como se puede apreciar en la Figura 4.1.8.



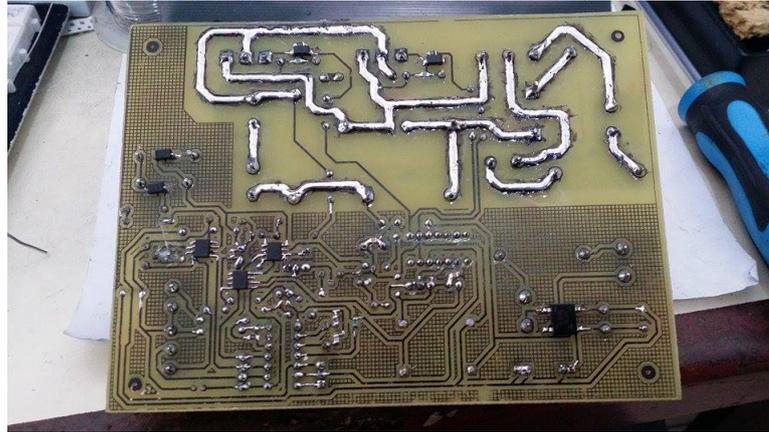


Figura 4.1.10: Refuerzo de Pistas de Potencia

4.2. ADAPTACIÓN DE LA COCINA

4.2.1. ESTADO INICIAL

La cocina en un principio, como se puede observar en la Figura 4.2.1 cuenta con cuatro quemadores a gas los cuales son encendidos por medio de perrillas que permiten el paso del gas. La perrilla central permite el paso de gas hacia el horno inferior que posee la misma.



Figura 4.2.1: Estado Inicial de la Cocina

El gas es distribuido por medio de una tubería desde la parte inferior de las hornillas hacia las mismas. En la Figura 4.2.2 se puede apreciar la tubería principal con sus tuberías secundarias que alimentan a los quemadores.

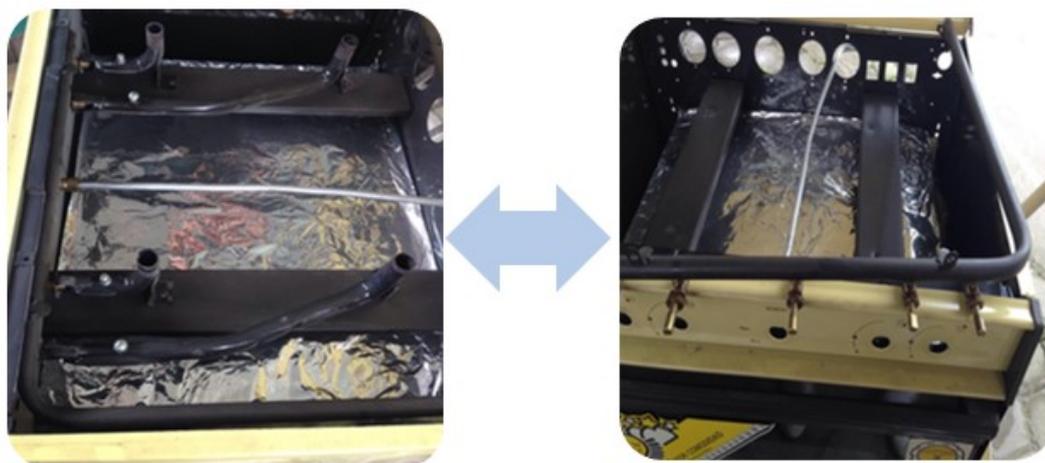


Figura 4.2.2: Tubería Distribuidora de Gas

El paso del gas es controlado por medio del movimiento de las perrillas que se encuentran adaptadas cada una a un shiglor (Figura 4.2.3), el cual permite el paso de más o menos gas dependiendo el movimiento de la perrilla.



Figura 4.2.3: Válvula Shiglor

4.2.2. ADAPTACIÓN

Para la adaptación de las hornillas a inducción se realizaron las siguientes modificaciones:

- Se cortó el tubo de distribución de gas utilizando una sierra manual (Figura 4.2.4), para que únicamente sea funcional para las tres primeras perrillas (hornillas del lado derecho y horno). En el lado izquierdo donde se ubican las otras dos hornillas se retirarán para ubicar las cocinas de inducción.



Figura 4.2.4: Corte Tubo de Distribución de Gas

- Se soldó la terminal del tubo para impedir la fuga de gas y a su vez aislar la alimentación de gas a las otras dos hornillas. En la Figura 4.2.5 se puede ver la adaptación final del tubo principal de distribución de gas.



Figura 4.2.5: Adaptación Final Tubo Distribuidor de Gas

- Se verificó que no existan fugas en la suelda alimentando la tubería con aire a presión.
- Se volvió a incorporar la alimentación a gas de la cocina con las modificaciones anteriormente indicadas (Figura 4.2.6).



Figura 4.2.6: Reincorporación del Tubo Adaptado

- Se realizaron las adaptaciones necesarias para los potenciómetros que funcionaran como las nuevas perrillas de las hornillas de inducción. Dichos potenciómetros permitirán la variación de potencia, aumentando la misma si se los gira en sentido horario y disminuyendo la potencia de la cocina si se los gira en sentido antihorario. Primero se adicionaron en la parte interior de la cocina unas platinas de aluminio, con perforaciones para los potenciómetro, las cuales se las sujetaron con remaches a la cocina. El procedimiento desarrollado se lo puede ver detallado en la Figura 4.2.7.

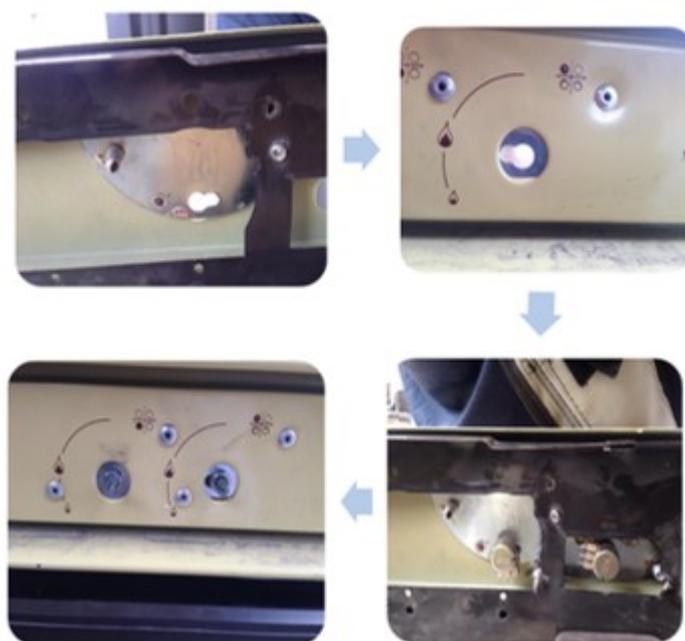


Figura 4.2.7: Adaptación de Potenciómetros en la Cocina

- Implementación de los ventiladores laterales los cuales permitirán el enfria-

miento constante de los disipadores de calor que portan los transistores y el puente rectificador de potencia (Figura 4.2.8).



Figura 4.2.8: Ventiladores Laterales

- Perforaciones laterales para circulación de aire por los ventiladores encargados del enfriamiento de las placas electrónicas (Figura 4.2.9).



Figura 4.2.9: Perforaciones Ventiladores Laterales

- Se implementaron además de los ventiladores laterales unos ventiladores debajo de las bobinas de inducción debido a que estas tienden a calentarse durante el funcionamiento de la cocina. En la Figura 4.2.10 se puede apreciar la incorporación de estos con las perforaciones para la circulación de aire hacia las bobinas.

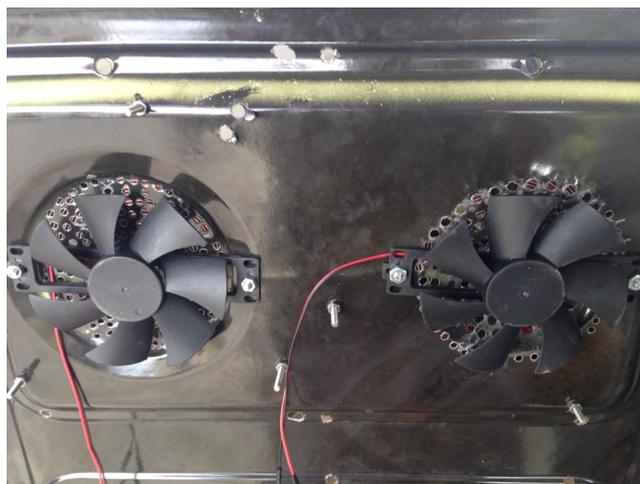


Figura 4.2.10: Ventiladores Inferiores Bobinas de Inducción

- Para la activación de los ventiladores inferiores de las bobinas de inducción se perforó un rectángulo en la parte frontal de la cocina, junto a las perillas, para incluir el interruptor de encendido de los ventiladores (Figura 4.2.11).



Figura 4.2.11: Interruptor de Encendido Ventiladores Bobinas

- Se adaptó una regleta para la alimentación individual de cada placa dentro del electrodoméstico (Figura 4.2.12).



Figura 4.2.12: Regleta de Alimentación

- Montaje de placas electrónicas en madera para su implementación en la parte inferior de las hornillas (Figura 4.2.13). Se escogió la madera como material debido a que si se utilizaba acrílico éste no podría soportar las altas temperaturas al momento de que el horno se encuentre en funcionamiento, ya que este se encuentra por debajo de las placas de la cocina de inducción.

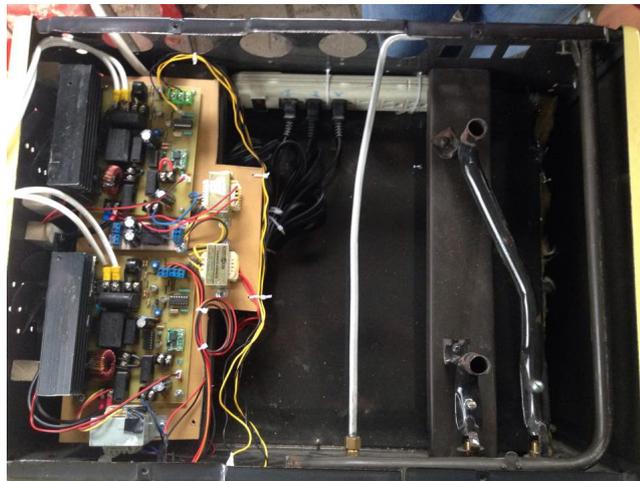


Figura 4.2.13: Montaje de Placas Electrónicas

- Montaje de bobinas en la tapa superior de la cocina (Figura 4.2.14).



Figura 4.2.14: Montaje Bobinas de Inducción

- Conexión de bobinas y ventiladores en las placas electrónicas. Montaje de la tapa superior en la cocina. En la Figura 4.2.15 se puede apreciar el conjunto gas-inducción que se encuentra dentro de la cocina con sus componentes.



Figura 4.2.15: Componentes Gas-Inducción

- En la Figura 4.2.16 se puede observar la reutilización de los vidrios templados. Estos van montados encima de las bobinas de inducción (Figura 4.2.14).

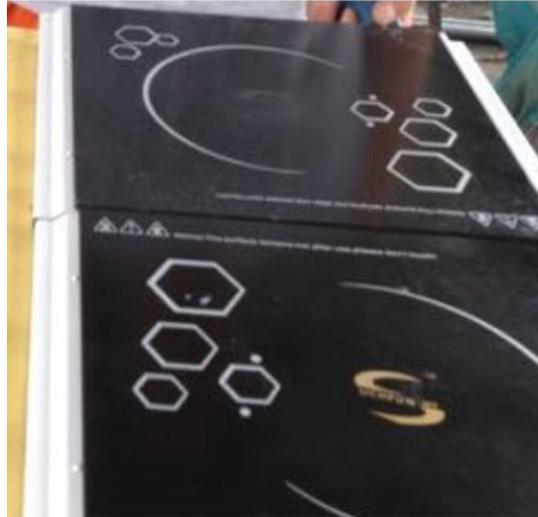


Figura 4.2.16: Montaje Vidrios Templados

- Sobre los orificios libres junto a los vidrios templados se colocaron los quemadores de gas y la rejilla de seguridad (Figura 4.2.17).



Figura 4.2.17: Quemadores de Gas y Rejilla de Seguridad

RESUMEN FOTOGRÁFICO DE LA ADAPTACIÓN

En resumen lo que se realizó es: Primero, montar las placas electrónicas y los tubos primarios y secundarios distribuidores de gas. Después se instalaron las bobinas de inducción, los ventiladores (Superiores y laterales) y se montó la tapa superior de la cocina. Tercero, se incorporaron los vidrios, quemadores y rejilla de seguridad sobre la tapa superior de la cocina. Finalmente se adicionaron las perillas en los shiflores y potenciómetros. Este resumen se aprecia en la Figura 4.2.18.

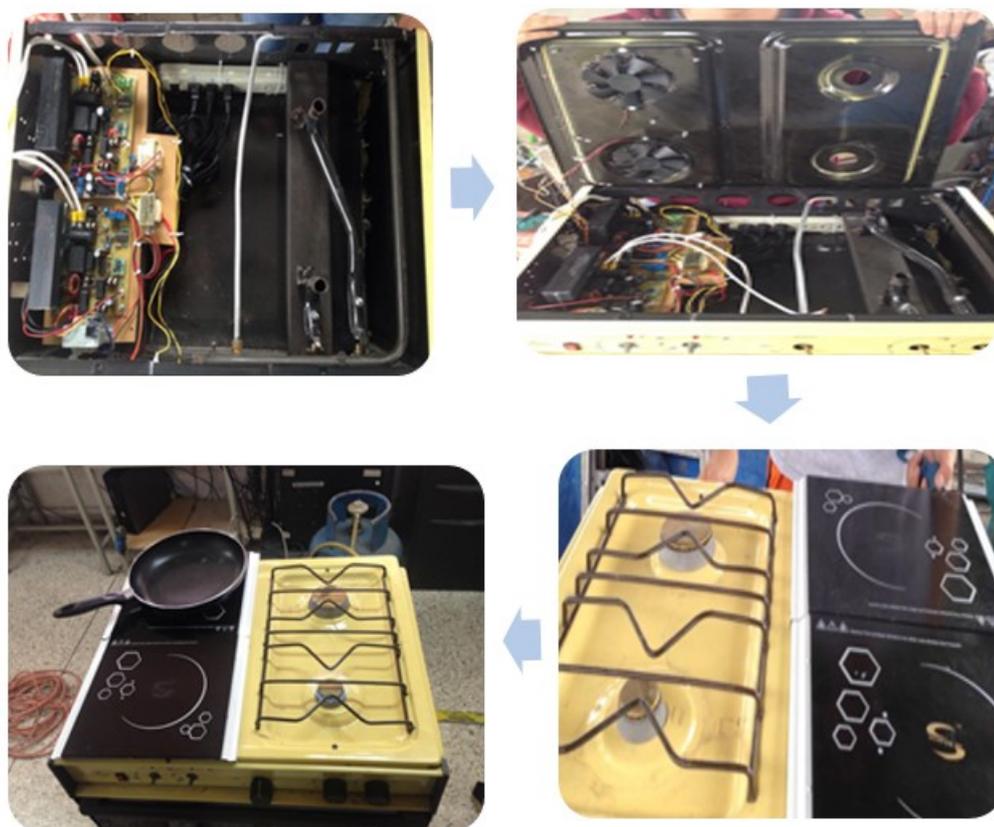


Figura 4.2.18: Resumen Fotográfico de Adaptación

Capítulo 5

PRUEBAS Y TOMA DE DATOS

5.1. INSTRUMENTOS Y ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

HORNILLA A GAS DEL PROTOTIPO



Figura 5.1.1: Hornillas a Gas del Prototipo

Características de la cocina a gas:

- Combustible utilizado: GLP (gas licuado de petróleo).
- Potencia máxima del quemador más grande: 1.65 kW.
- Presión suministrada: 29 mbar.

HORNILLA DE INDUCCIÓN DEL PROTOTIPO



Figura 5.1.2: Hornillas de Inducción del Prototipo

Características de la cocina de inducción:

- Potencia: 600 W
- Corriente: 5.45 A

GASÓMETRO

Este instrumento permitirá conocer el volumen de GLP que consume la hornilla de gas del prototipo.



Figura 5.1.3: Gasómetro

MULTÍMETRO

Este instrumento nos permitirá medir las características eléctricas como son tensión y corriente utilizados por la hornilla de inducción.



Figura 5.1.4: Multímetro
Fuente: [CEK, 2006]

TERMÓMETRO DIGITAL

Instrumento que permite conocer la temperatura de los elementos utilizados para las diferentes pruebas a realizarse.



Figura 5.1.5: Termómetro Digital
Fuente: [CEK, 2006]

CRONÓMETRO

Este instrumento nos permite tomar los tiempos de cocción en ambas hornillas del prototipo.



Figura 5.1.6: Cronómetro
Fuente: [CEK, 2006]

OSCILOSCOPIO

Este instrumento ha sido utilizado a lo largo de todo el proyecto ya que nos permite ver las formas de onda que arrojan los diferentes componentes electrónicos.



Figura 5.1.7: Osciloscopio
Fuente: [CEK, 2006]

5.2. MEDICIÓN DE POTENCIA DE ENTRADA DE LAS HORNILLAS DE INDUCCIÓN

La medición de la potencia de la hornilla a inducción se la realizó con los datos de corriente y tensión tomados del multímetro. De modo que los datos encontrados fueron los que se indican en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Tensión y Corriente Medidas de la Cocina de Inducción

Tensión [V]	Corriente [A]
115	5,68

5.3. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Lo que abarcó esta prueba fue la toma de las formas de ondas de las diferentes señales electrónicas, con la finalidad de verificar que todas tengan el comportamiento esperado y explicado previamente.

De este modo lo que se encontró fue lo siguiente:

- Señal de salida del microcontrolador y entrada al IR2110. Se puede apreciar en la Figura 5.3.1 que la señal que emite el microcontrolador y que receipta el IR2110 es un pulso de 5 V de amplitud.

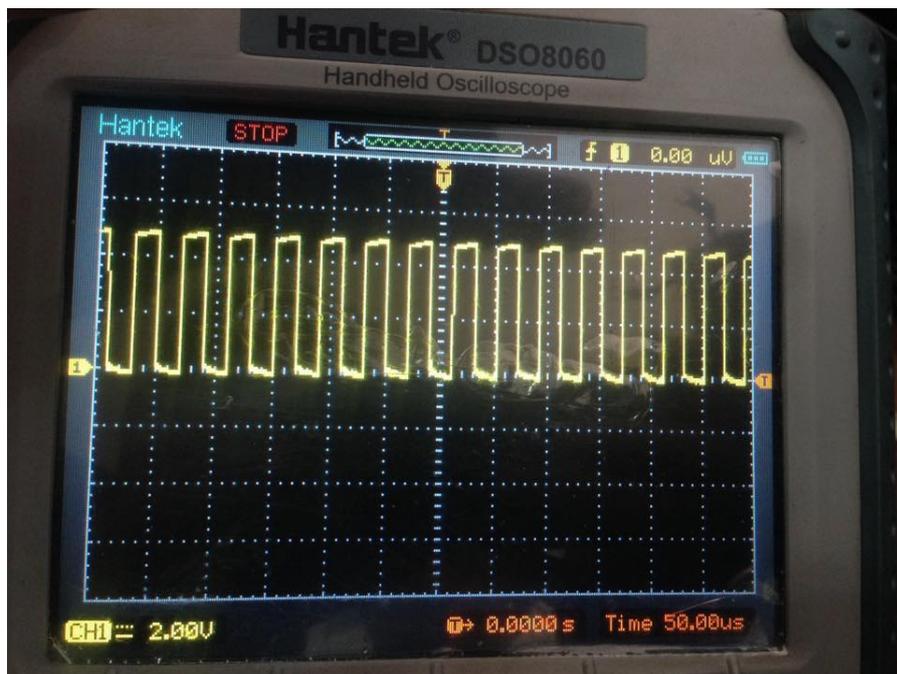


Figura 5.3.1: Señal de Salida del Microcontrolador

- Señal de salida del IR2110 y entrada a la compuerta de los IGBT, sigue siendo un pulso pero esta vez tiene una amplitud de 15 V como se puede apreciar en la Figura 5.3.2.

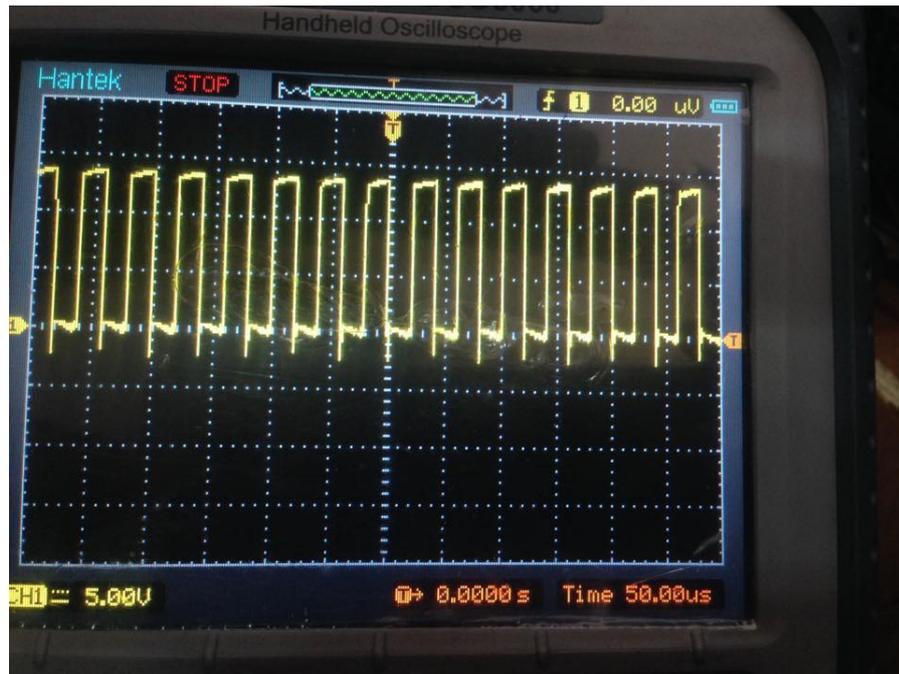


Figura 5.3.2: Señal de Entrada Compuerta IGBT

- En la Figura 5.3.3 se muestra el pulso de arranque en el IGBT que permite la detección del sartén sobre la hornilla al momento de encenderla.

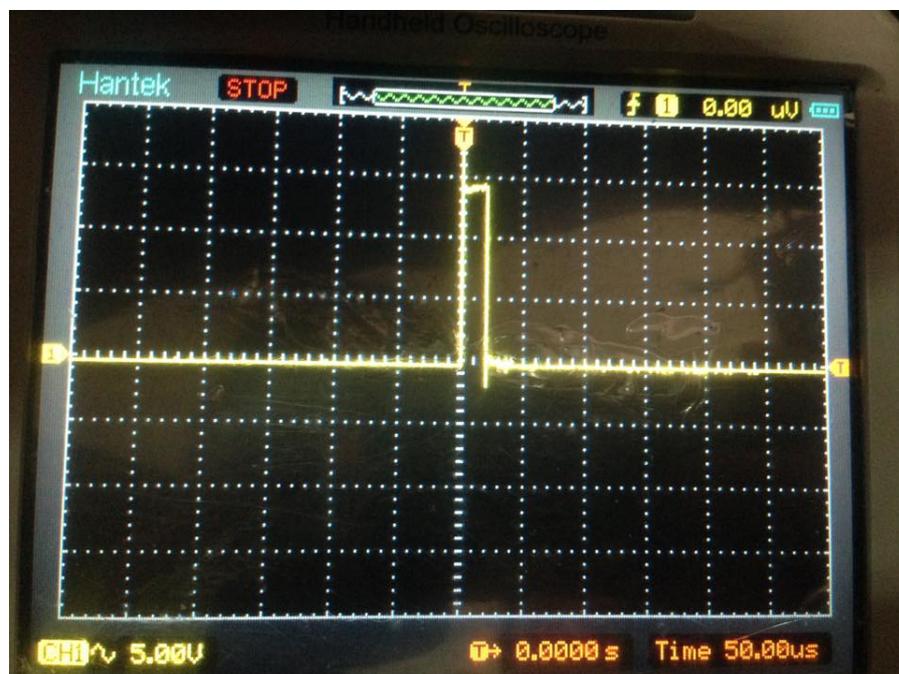
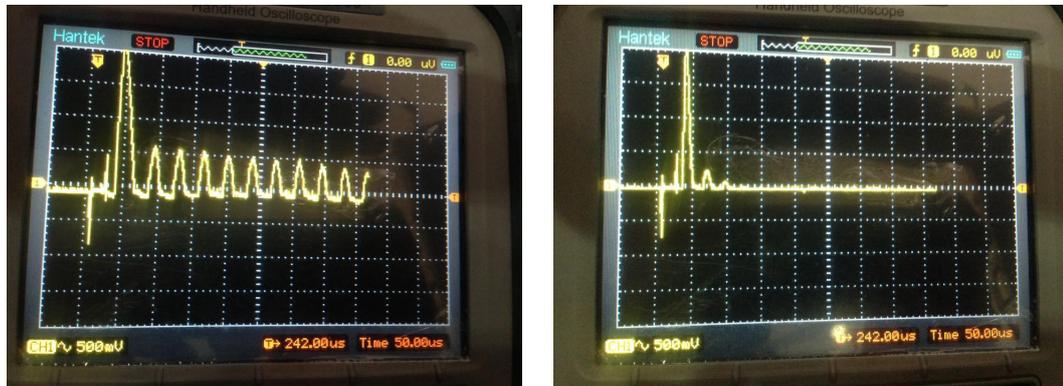


Figura 5.3.3: Pulso de Arranque IGBT

- En la Figura 5.3.4 se muestran dos tipos de señales, la primera es tomada de la corriente en la bobina el momento en que la perilla empieza a girar y no existe sartén sobre la hornilla. La segunda imagen muestra la señal de

la misma corriente cuando empieza a girar la perrilla de encendido con el sartén puesto sobre la hornilla. Como se puede observar, este es un fenómeno evidente que permitió realizar el sistema de seguridad para el encendido de la hornilla y que esta no se active si es que no existe sartén sobre ella.

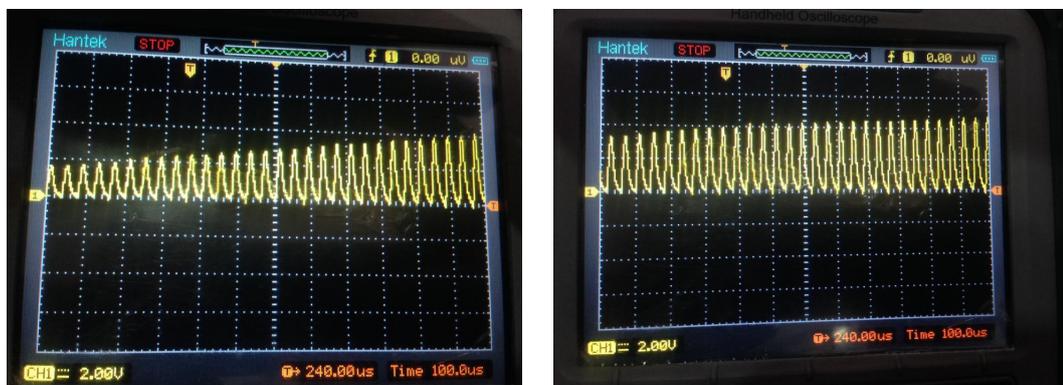


(a) Sin Sartén

(b) Con Sartén

Figura 5.3.4: Forma de Onda Corriente Inicio de Operación

- De igual manera, para hacer el sistema de seguridad para que la cocina se apague cuando esté en funcionamiento y detecte que el sartén es retirado, se tomó en cuenta un efecto que se evidencia en la tensión entre colector y emisor del IGBT y que se puede apreciar en la Figura 5.3.5. En la primera se muestra la imagen de la tensión colector emisor y en la segunda se observa la misma señal pero al haber sido retirado el sartén. Como se puede apreciar en la segunda imagen las señales de tensión crecen y se incrementan, de esta manera se programó el microcontrolador de modo que al percibir este efecto envíe la señal de apagado.



(a) Con sartén

(b) Sin sartén

Figura 5.3.5: Forma de Onda V_{ce}

- La Figura 5.3.6 muestra la señal de tensión en el colector emisor a 60 Hz sin embargo si hacemos una amplificación a dichas ondas se puede observar las conmutaciones a 25000 Hz .

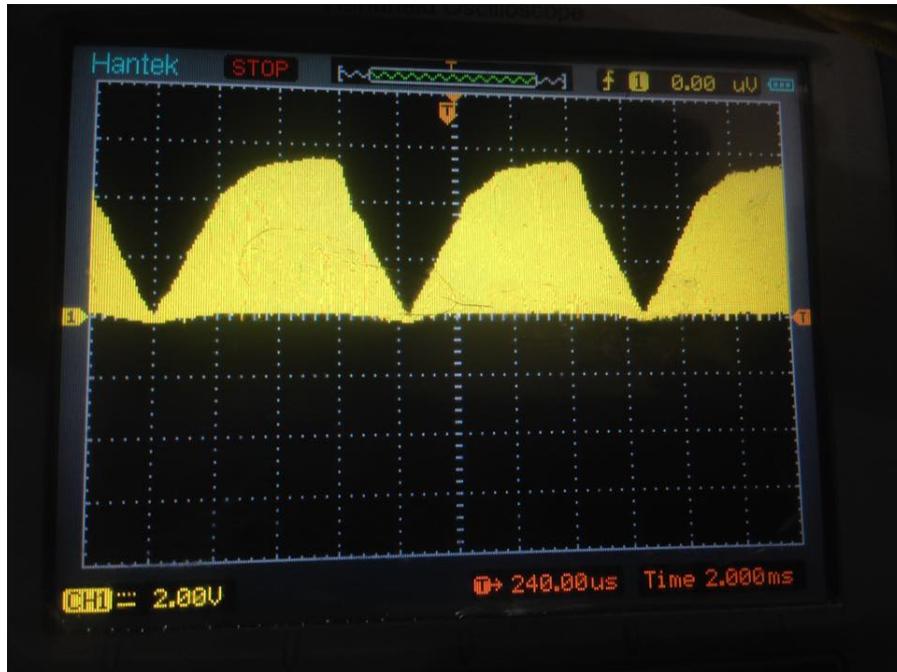
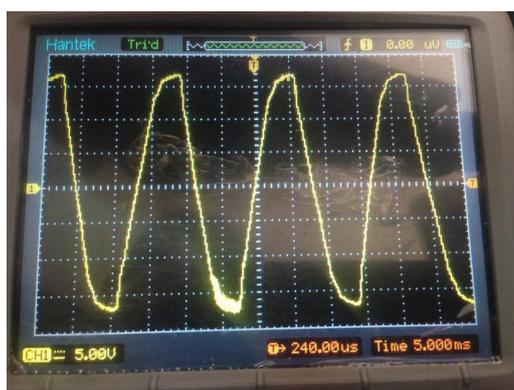
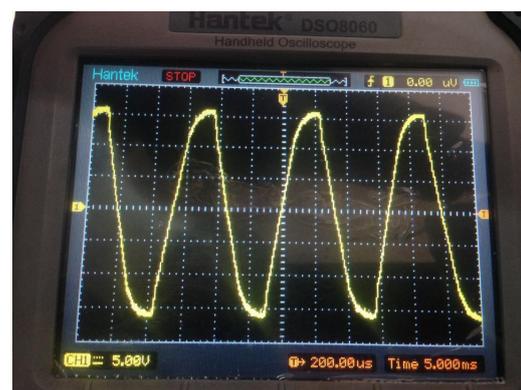


Figura 5.3.6: Tensión Colector Emisor 125 Hz

- En la Figura 5.3.7 se muestra la entrada de la fuente de 110 V . En el primer caso cuando la hornilla se encuentra apagada y en el segundo cuando la hornilla ya se enciende. Se puede observar que la tensión se reduce en el segundo caso ya que se empieza a alimentar a toda la placa.



(a) Hornilla Apagada

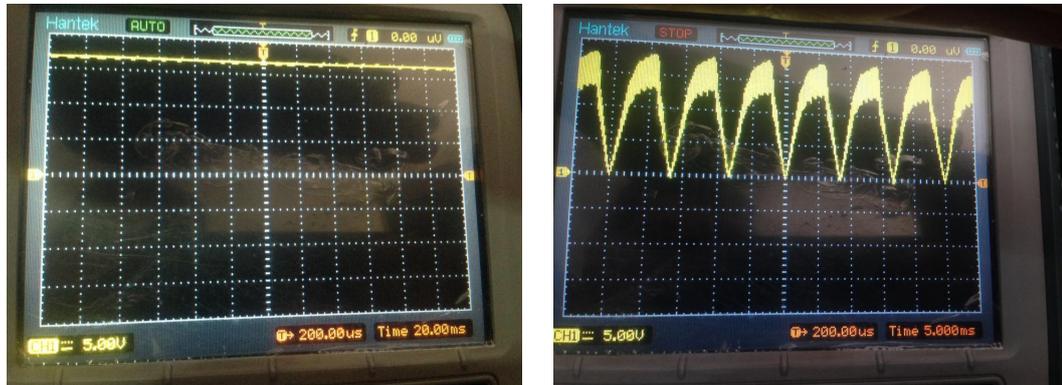


(b) Hornilla Encendida

Figura 5.3.7: Tensión de Entrada

- En la Figura 5.3.8 se puede apreciar tanto la tensión rectificadada mientras la hornilla se mantiene apagada como cuando la hornilla se encuentra encendida. Lo que se puede apreciar en la Figura 5.3.8a se debe a que el

capacitor se encuentra cargado completamente al encontrarse la hornilla apagada mientras que en la Figura 5.3.8b el capacitor se descarga. El suceso de que el capacitor se mantiene cargado se debe al efecto de tanque resonante previamente descrito. (Estas señales están reducidas $\times 10$).



(a) Hornilla Apagada

(b) Hornilla Encendida

Figura 5.3.8: Tensión Rectificada

- La Figura 5.3.9 que se muestra a continuación indica el efecto que causa la conmutación sobre la tensión rectificada.

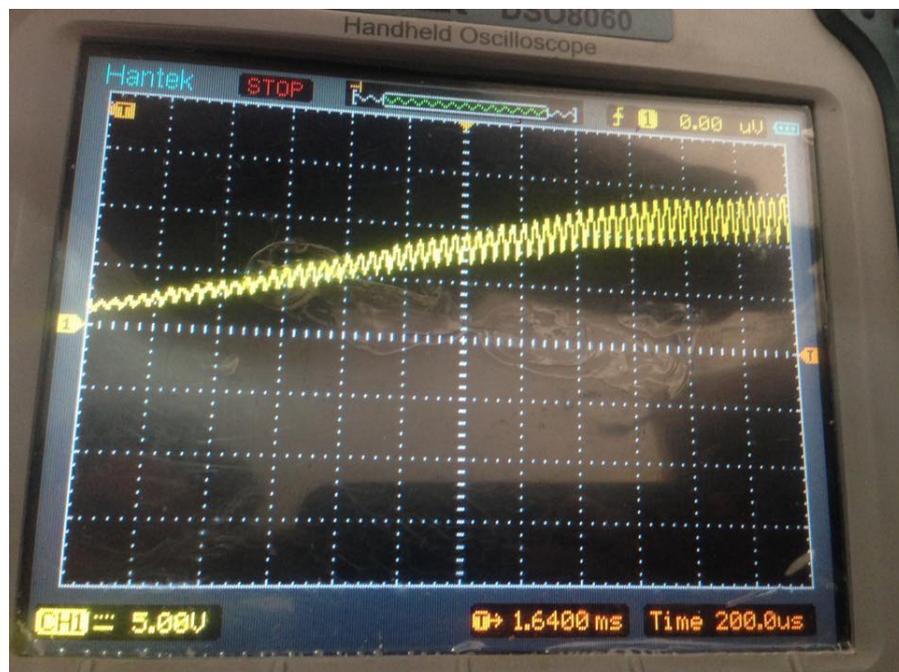


Figura 5.3.9: Efecto de Conmutación sobre la Tensión Rectificada

- La Figura 5.3.10 presenta la señal de la corriente en la bobina cuando se encuentra en pleno funcionamiento.

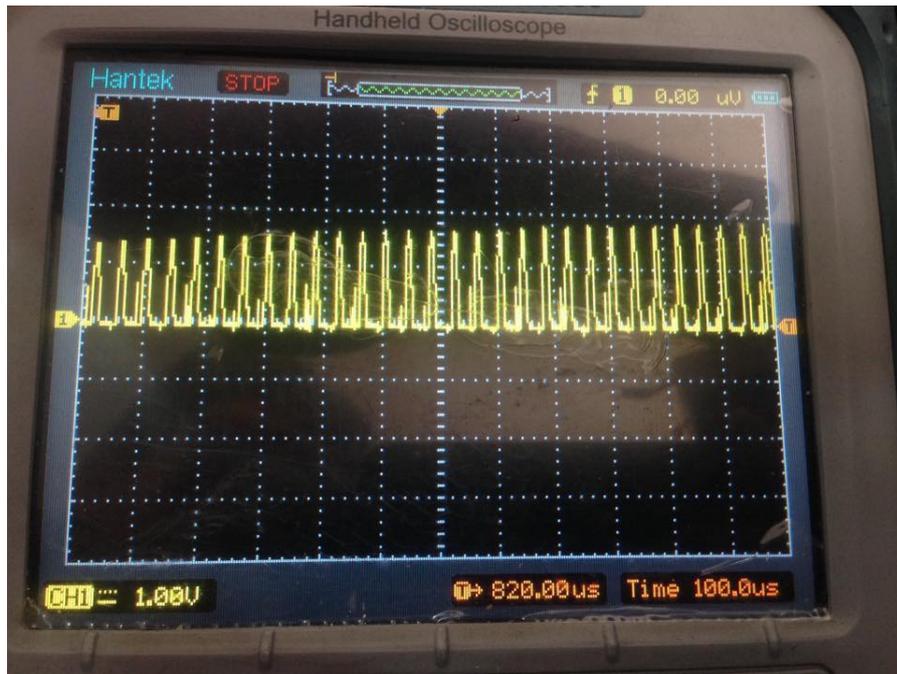


Figura 5.3.10: Corriente en Bobina durante Funcionamiento

- La Figura 5.3.11 permite apreciar de cierta manera el efecto de tanque resonante que se produce en la tensión de la bobina en funcionamiento, de modo que lo que se puede observar es que esta tensión sobrepasa los 200 V positivos y negativos, motivo por el cual no se puede visualizar la forma de onda completa.

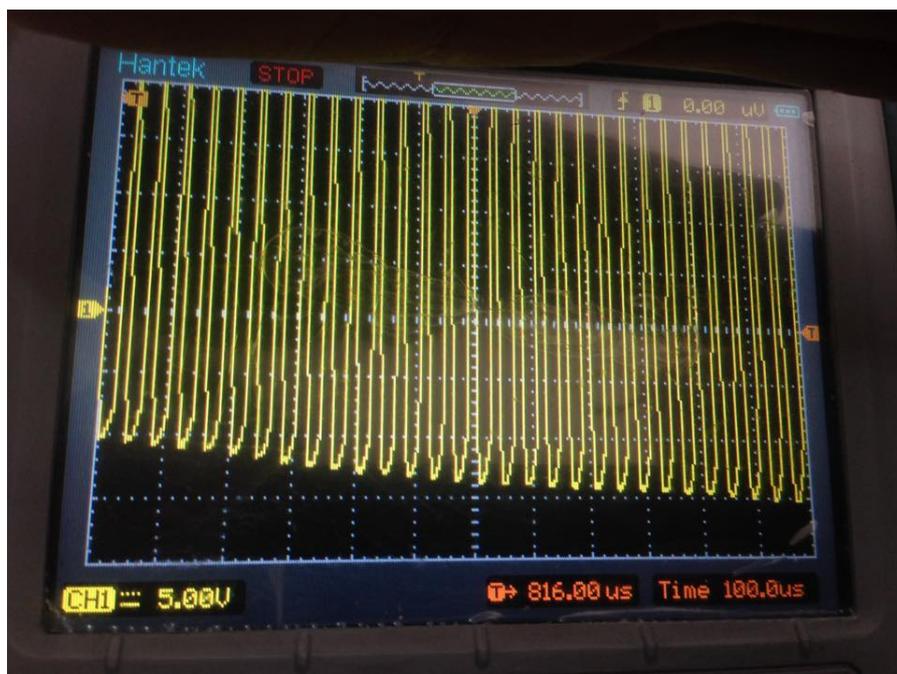


Figura 5.3.11: Efecto Tanque Resonante

5.4. PRUEBA DE EFICIENCIA DEL PROTOTIPO EN LAS HORNILLAS DE INDUCCIÓN

Para esta prueba lo que se realizó fue hervir un litro de agua desde temperatura ambiente hasta que esta alcance los 90 C utilizando los diferentes niveles a los que puede trabajar la hornilla de inducción y a su vez tomando el tiempo en que este proceso se llevará a cabo.

Vale la pena recalcar que los niveles de la cocina están dados por el tiempo en que se mantiene conmutando el IGBT mas no por la variación de su potencia.

Los datos obtenidos en esta prueba se muestran en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2: Prueba para Hervir un lt. de Agua

Nivel		Potencia	T. Inicial	T. Final	Tiempo
[seg ON	seg Off]	[kW]	[C]	[C]	[s]
2	8 (N_1)	0,654	15	90	8,80
4	6 (N_2)	0,654	17	90	8,60
6	4 (N_3)	0,654	18	90	8,46
8	2 (N_4)	0,654	20	90	8,40
10	0 (N_5)	0,654	23	90	8,30

Los datos obtenidos en la Tabla 5.2 nos permitirán calcular más adelante la energía consumida por las hornillas a inducción y su eficiencia al hervir un litro de agua en los diferentes niveles de la cocina.

5.5. PRUEBA COMPARATIVA ENTRE HORNILLA DE INDUCCIÓN Y GAS DEL PROTOTIPO

Esta prueba se la realizó haciendo hervir tres litros de agua tanto en la hornilla adaptada de inducción como en la hornilla más potente a gas del prototipo. Esta cantidad de agua fue tomada ya que es en promedio la necesaria para cocinar para una familia con cinco integrantes.

Se tomará el tiempo en el que demora cada hornilla en calentar la cantidad de agua antes mencionada desde los 15 hasta los 90 C.

Esta prueba lo que permitirá más adelante es realizar cálculos de consumo de energía, tiempo y eficiencia para comparar ambas hornillas. En la Tabla 5.3 se muestran los datos adquiridos durante la prueba.

Tabla 5.3: Tiempos para Hervir 3 lt. de Agua

Tipo de Hornilla	T. Inicial [C]	T. Final [C]	Tiempo [min]
Inducción	15	85	22,0
Gas	15	85	26,6

Capítulo 6

CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. CÁLCULOS PRUEBA DE CALENTAMIENTO DE UN LITRO DE AGUA

Los siguientes cálculos se realizan utilizando los datos de la Tabla 5.2.

- **Cálculo de la Potencia Real de las Hornillas de Inducción del Prototipo.**

Para el cálculo de la potencia real de la hornilla de inducción se utilizan los datos de la Tabla 5.1 y la ecuación 3.1.1.

$$P = V \times I$$

$$P = 115 V \times 5,68 A$$

$$P = 654 W$$

- **Cálculo de Energía Eléctrica Consumida por la Hornilla de Inducción para Hervir un lt de Agua a Diferentes Niveles.**

Para el cálculo de kW/h que se consumen durante cada nivel de cocción se utiliza la ecuación 6.1.1.

$$Q = P \times t \tag{6.1.1}$$

Donde:

Q = Consumo Energético en kW/h .

P = Potencia en W .

t = Tiempo de duración de la prueba en s .

$$Q_{N1} = 0,654 \text{ kW} \times 8,80 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0959 \text{ kW/h}$$

$$Q_{N2} = 0,654 \text{ kW} \times 8,60 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0937 \text{ kW/h}$$

$$Q_{N3} = 0,654 \text{ kW} \times 8,46 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0922 \text{ kW/h}$$

$$Q_{N4} = 0,654 \text{ kW} \times 8,40 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0916 \text{ kW/h}$$

$$Q_{N5} = 0,654 \text{ kW} \times 8,30 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0904 \text{ kW/h}$$

■ **Cálculo del Calor Necesario para Hervir un lt de Agua.**

Se utiliza la ecuación que es el calor requerido para calentar un lt de agua.

$$Q_o = m \times C_p \times \Delta T \quad (6.1.2)$$

Donde:

Q_o = Cantidad de calor en $kcal$.

m = masa de agua en kg .

C_p = Constante calorífica en $\frac{kcal}{kg C}$

ΔT = Diferencia de temperatura en C

$$Q_{oN1} = 1 \text{ kg} \times 1 \frac{kcal}{kg C} \times (90 - 15) C = 75 \text{ kcal}$$

$$Q_{oN2} = 1 \text{ kg} \times 1 \frac{kcal}{kg C} \times (90 - 17) C = 73 \text{ kcal}$$

$$Q_{oN3} = 1 \text{ kg} \times 1 \frac{kcal}{kg C} \times (90 - 18) C = 72 \text{ kcal}$$

$$Q_{oN4} = 1 \text{ kg} \times 1 \frac{kcal}{kg C} \times (90 - 20) C = 70 \text{ kcal}$$

$$Q_{oN5} = 1 \text{ kg} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg C}} \times (90 - 23) \text{ C} = 67 \text{ kcal}$$

■ **Cálculo de Energía Requerida para Hervir un lt de Agua.**

Para poder determinar cuántos kW/h se requieren para calentar un lt de agua en los diferentes niveles de la hornilla de inducción simplemente se debe realizar una transformación de unidades de $kcal$ a kW/h .

$$Q'_{oN1} = 75 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kW/h}}{860 \text{ kcal}} = 0,0872 \text{ kW/h}$$

$$Q'_{oN2} = 73 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kW/h}}{860 \text{ kcal}} = 0,0848 \text{ kW/h}$$

$$Q'_{oN3} = 72 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kW/h}}{860 \text{ kcal}} = 0,0837 \text{ kW/h}$$

$$Q'_{oN4} = 70 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kW/h}}{860 \text{ kcal}} = 0,0813 \text{ kW/h}$$

$$Q'_{oN5} = 67 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kW/h}}{860 \text{ kcal}} = 0,0779 \text{ kW/h}$$

■ **Cálculo de la Eficiencia de la Hornilla a Inducción para Calentar un lt de Agua a Diferentes Niveles.**

Para el cálculo de la eficiencia se necesita una relación entre la energía requerida sobre la energía suministrada por la hornilla para calentar un lt de agua, como se expresa en la ecuación 6.1.3.

$$\eta = \frac{Q_{\text{requerido}}}{Q_{\text{suministrado}}} \times 100 \quad (6.1.3)$$

$$\eta = \frac{Q'_o}{Q} \times 100$$

$$\eta_{N1} = \frac{Q'_{oN1}}{Q_{N1}} \times 100$$

$$\eta_{N1} = \frac{0,0872 \text{ kW/h}}{0,0959 \text{ kW/h}} \times 100 = 90,60 \%$$

$$\eta_{N2} = \frac{Q'_{oN2}}{Q_{N2}} \times 100$$

$$\eta_{N2} = \frac{0,0848 \text{ kW/h}}{0,0937 \text{ kW/h}} \times 100 = 90,46 \%$$

$$\eta_{N3} = \frac{Q'_{oN3}}{Q_{N3}} \times 100$$

$$\eta_{N3} = \frac{0,0837 \text{ kW/h}}{0,0922 \text{ kW/h}} \times 100 = 90,70 \%$$

$$\eta_{N4} = \frac{Q'_{oN4}}{Q_{N4}} \times 100$$

$$\eta_{N4} = \frac{0,0813 \text{ kW/h}}{0,0916 \text{ kW/h}} \times 100 = 88,79 \%$$

$$\eta_{N5} = \frac{Q'_{oN5}}{Q_{N5}} \times 100$$

$$\eta_{N5} = \frac{0,0779 \text{ kW/h}}{0,0904 \text{ kW/h}} \times 100 = 86,1 \%$$

En la Tabla 6.1 se muestran los resultados encontrados en la primera prueba realizada al hervir un litro de agua a diferentes niveles de la hornilla de inducción adaptada al prototipo.

Tabla 6.1: Resultados de la Prueba para Hervir un lt de Agua

Nivel		Calor Requerido	Energía Consumida	Eficiencia
[seg ON	seg Off]	[kW/h]	[kW/h]	[%]
2	8 (N_1)	0,0872	0,0959	90,60
4	6 (N_2)	0,0848	0,0937	90,46
6	4 (N_3)	0,0837	0,0922	90,70
8	2 (N_4)	0,0813	0,0916	88,79
10	0 (N_5)	0,0779	0,0904	86,10

Esta prueba permite determinar que la eficiencia no varía de manera significativa con la variación de los niveles establecidos cuando se gira la perrilla de las hornillas de inducción, lo cual da a notar también que no existen grandes pérdidas

al realizar esta acción.

En la Figura 6.1.1 se puede apreciar de mejor manera los resultados obtenidos.

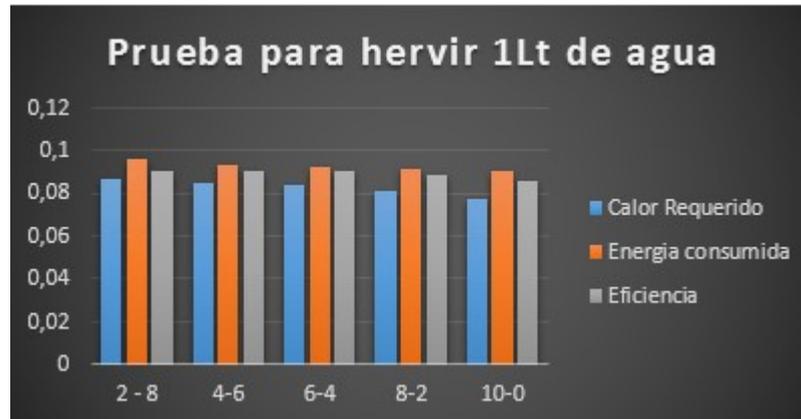


Figura 6.1.1: Gráfica de Resultados de la Prueba para Hervir 1 lt Agua

6.2. PRUEBA DE CALENTAMIENTO DE TRES LITROS DE AGUA

Para los siguientes cálculos se utilizan los datos de la Tabla 5.3.

- **Energía Eléctrica Consumida para Hervir 3 lt de Agua en la Hornilla de Inducción.**

Para realizar el cálculo se utiliza la ecuación 6.1.1.

$$Q_I = 0,654 \text{ kW} \times 22 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,296 \text{ kW/h}$$

- **Calor Necesario para Calentar 3 lt de Agua.**

Para el cálculo se utiliza la ecuación 6.1.2. El valor calculado será utilizado para obtener las eficiencias de la hornilla a gas y de inducción.

$$Q_{3lt} = 3 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times (90 - 15) \text{ } ^\circ\text{C} = 225 \text{ kcal}$$

$$Q_{3lt} = 225 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kW/h}}{860 \text{ kcal}} = 0,2616 \text{ kW/h}$$

- **Eficiencia para Calentar 3 lt de Agua hornilla de Inducción.**

Para el cálculo se utiliza la ecuación 6.1.3.

$$\eta_I = \frac{Q_{3lt}}{Q_I} \times 100$$

$$\eta_I = \frac{0,2616 \text{ kW/h}}{0,2959 \text{ kW/h}} \times 100 = 89 \%$$

- **Energía en kW/h Utilizados por la Hornilla a Gas para Calentar 3 lt de Agua.**

Dentro de este cálculo se considera que $1 \text{ kW/h} = 0.055 \text{ m}^3$ de GLP. Al realizar la prueba se obtuvo que el consumo en volumen de GLP es de 0.0297 m^3 . Por este motivo, para calcular el valor de la energía consumida se da por la equivalencia de unidades expresada anteriormente, como se muestra a continuación:

$$Q_H = 0,0297 \text{ m}^3 \times \frac{1 \text{ kW/h}}{0,055 \text{ m}^3 \text{ GLP}} = 0,540 \text{ kW/h}$$

- **Eficiencia de la Hornilla a Gas para Calentar los 3 lt de Agua.**

Para el cálculo se utiliza la ecuación 6.1.3.

$$\eta_I = \frac{Q_{3lt}}{Q_H} \times 100$$

$$\eta_I = \frac{0,2616 \text{ kW/h}}{0,540 \text{ kW/h}} \times 100 = 51 \%$$

En las siguientes Figuras se pueden observar los resultados de manera resumida en cuanto a la comparación de la hornilla a gas con la hornilla de inducción del prototipo, al calentar 3 litros de agua.

Tabla 6.2: Resultados para Hervir 3 lt de Agua

Tipo de Hornilla	Tiempo [min]	Consumo [kW/h]	Eficiencia [%]
Gas	26,6	0,5400	51
Inducción	22,0	0,2959	89



Figura 6.2.1: Gráfica de Tiempo para Hervir 3 lt de Agua

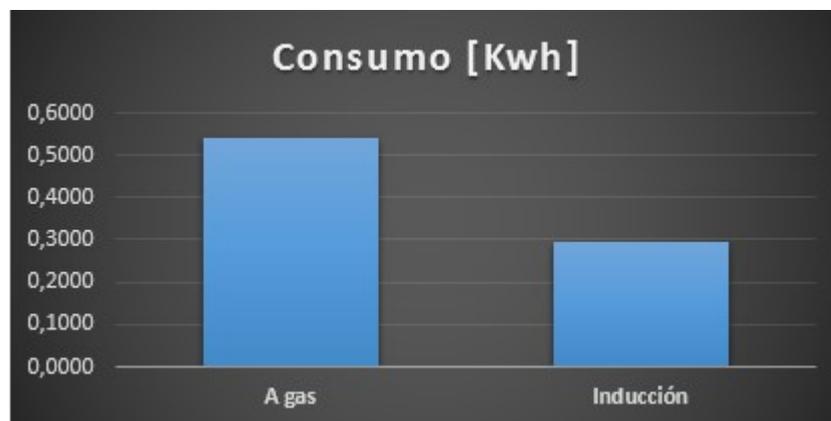


Figura 6.2.2: Gráfica Consumo Energético de Hornillas para Hervir 3 lt de Agua

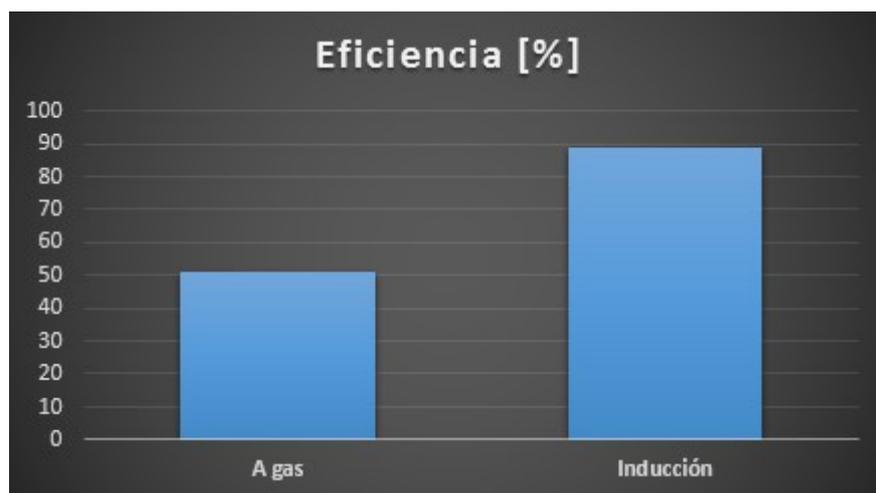


Figura 6.2.3: Gráfica de Comparación de Eficiencias de Hornillas

Lo que se pudo apreciar en estos resultados es que el tiempo y el consumo eléctrico en la hornilla de inducción son menores que los alcanzados por la hornilla a gas del prototipo motivo por el cual la eficiencia alcanzada por la hornilla de

inducción es mucho mayor que la hornilla de gas.

De esta forma lo que se puede deducir es que la hornilla de inducción calienta y cocina en un tiempo menor y con menor consumo energético que la hornilla a gas, utilizando ambas a su mayor potencia.

Capítulo 7

COSTOS DEL PROTOTIPO

A continuación se realizará un análisis de los gastos totales del proyecto incluyendo la parte electrónica con todos los componentes empleados en la cocina de inducción y la parte de adaptación. De igual manera se tomará en cuenta la mano de obra empleada en el desarrollo de la tesis.

Al final se realizará una comparación del costo total del proyecto con cocinas comerciales de inducción y se determinará la factibilidad económica del mismo.

7.1. COSTOS ELECTRÓNICOS

7.1.1. COCINA DE INDUCCIÓN

En esta sección se desglosarán los costos de los componentes utilizados agrupándolos por elementos similares. Se tiene que considerar que los costos que se van a manejar a continuación en las siguientes tablas son solo de una cocina de inducción. Las dos cocinas con sus dos hornillas son idénticas en su diseño y fabricación, por lo que el costo final que se obtenga se lo debe duplicar para obtener el precio real de la parte electrónica del proyecto.

Tabla 7.1: Costos de Capacitores

Capacitores				
Cantidad	Valor [F]	Detalle	P. Unitario [\$]	P. Total [\$]
4	2,2 n	TH	0,06	0,24
2	1000 μ	TH	0,77	1,54
1	5 μ	POTENCIA	7,00	7,00
5	100 n	SMD	0,08	0,40
3	100 μ	SMD	0,10	0,30
1	0,3 μ	POTENCIA	7,00	7,00
2	22 p	SMD	0,06	0,12
Sub Total:				16,60

En la Tabla 7.1 se muestran dos elementos que sobresalen de los demás elementos. Estos son capacitores de potencia, los cuales debieron reemplazar a los capacitores electrolíticos que se estaban utilizando en un inicio, debido que al momento de realizar las pruebas estos elementos empezaban a calentarse demasiado rápido. Estos capacitores de potencia empleados logran soportar los picos de corriente que se producen al activarse los IGBT's. A pesar de su alto costo comparado con los demás elementos listados en la Tabla 7.1 se optó por utilizarlos como medida de seguridad.

Tabla 7.2: Costos de Resistencias

Resistencias				
Cantidad	Valor [Ω]	Detalle	P. Unitario [\$]	P. Total [\$]
2	220 k	TH	0,02	0,04
2	3,3 k	TH	0,02	0,04
1	470	TH	0,02	0,02
4	4,7	TH	0,02	0,08
1	4,7	TH	0,50	0,50
3	10 k	SMD	0,03	0,09
2	47	SMD	0,03	0,06
Sub Total:				0,83

Tabla 7.3: Costos Circuitos Integrados

Circuitos Integrados				
Cantidad	Especificación	Detalle	P. Unitario [\$]	P. Total [\$]
1	IR2110	TH	6,75	6,75
3	MCP6002	SMD	1,00	3,00
1	MINIBUCK		3,00	3,00
1	ATTINY84		2,25	2,25
Sub Total:				15,00

En la Tabla 7.3 se tienen varios componentes con su especificación. Solo a manera de aclaración se detallarán que son cada uno de los elementos especificados en esta tabla. El MCP6002 son amplificadores operacionales que se utilizaron al momento del control de la cocina para detectar si está o no la sartén encima de la bobina de inducción. El Minibuck sirve para transformar los 12 V, que llegan después del transformador de 110 a 12 V, para alimentar el circuito de control con 5 V. Finalmente el ATTINY84 es el microprocesador empleado donde se carga el programa a ejecutarse para que la cocina funcione.

Tabla 7.4: Costos de Transistores

Transistores			
Cantidad	Especificación	P. Unitario [\$]	P. Total [\$]
2	H20R1203	15,00	30,00
Sub Total:			30,00

Tabla 7.5: Costos de Diodos

Diodos				
Cantidad	Especificación	Detalle	P. Unitario [\$]	P. Total [\$]
2	Diodo Zenner 15 V	TH	0,10	0,20
2	SS14	SMD	1,40	2,80
2	1N4007	SMD	0,07	0,14
Sub Total:				3,14

Tabla 7.6: Costos Componentes Misceláneos

Misceláneo				
Cantidad	Especificación	Detalle	P. U. [\$]	P. Tot. [\$]
7	TBLOCK	I3	0,25	1,75
1	TBLOCK	I2	0,20	0,20
13	Espadín	0,50 \$ × 25		0,25
1	GSIB1560	Puente de Diodos	1,00	1,00
3	Porta Fusibles		0,40	1,20
1	CRYSTAL		0,50	0,50
1	Bob. Inducción		50,00	50,00
1	Disipador	Aluminio	2,50	2,50
1	LED		0,05	0,05
1	Potenciómetro	10 <i>K</i>	0,30	0,30
1	Transformador	120 a 12 <i>V</i>	6,00	6,00
1	Cable Enchufe		2,00	2,00
1	PCB	10 × 20 <i>cm</i>	30,00	30,00
1	PE-S1686NL	Sens. de Corriente	6,00	6,00
3	Fusibles	5 y 0,5 <i>A</i>	0,30	0,90
1	D15XB60	P. de Diodos	3,00	3,00
1	Ventilador		7,00	7,00
2	Potenciómetro	10 <i>K</i> (precisión)	0,24	0,48
Sub Total:				113,13

Uno de los elementos mencionados en la Tabla 7.6 es la Bobina de Inducción, como se puede apreciar esta consta de uno de los costos más altos existentes en dicha tabla, esto se debe a que este elemento no fue fabricado por los desarrolladores de esta tesis por varias complicaciones que se encontraron al intentar conseguir los componentes necesarios para su fabricación.

Parte de estas complicaciones que se encontraron fue la obtención del cable para el bobinado, ya que este es un cable especial que soporta grandes cantidades de corriente y que posee sus hilos esmaltados de modo que estos no generen conducción y soporten altas temperaturas; este cable únicamente se importa de otros países y en grandes cantidades.

La base que se necesita para que se asiente el bobinado y las ferritas es de plástico, por lo cual en caso de fabricación se necesitaría mandar a construir mediante prototipado 3D lo cual hubiera aumentado significativamente los costos del proyecto.

Por estos dos motivos se tomó la decisión de importar la bobina completa a un costo de \$35 en el mercado estadounidense, que después de pasar por todos

los aranceles y trámites de la aduana el precio final fue de \$50.

En la misma tabla el elemento PCB se refiere a toda la parte de la construcción y diseño de la tarjeta. Dentro de este precio ya se incluye el diseño por medio de PROTEUS, impresión y quemado de las pistas en la tarjeta. También se toma en cuenta la perforación para los elementos TH y la soldadura de los mismos en la tarjeta.

La diferencia entre ambos puentes de diodos mostrados en la Tabla 7.6 es que el primero (GSIB1560) se lo utiliza para el circuito de control, mientras que el segundo (D15XB60) se lo utiliza para el circuito de potencia para rectificar la tensión de la fuente. Por esta razón es que se ve la diferencia de precios entre ambos componentes, ya que el segundo requiere ser más robusto.

COSTOS PLACA VENTILADORES DE BOBINAS DE INDUCCIÓN

Se especifica unos costos a parte de las placas electrónicas de las cocinas de inducción ya que se realizó una placa aparte para el encendido de los ventiladores que se encuentran debajo de las bobinas de inducción. De todas formas al ser parte de los costos electrónicos se los incluirá al final para obtener el precio final de la cocina de inducción. Los elementos utilizados en esta placa se los encuentra en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7: Costos Placa Ventiladores Bobinas de Inducción

Placa Ventiladores				
Cantidad	Especificación	Detalle	P. Unitario [\$]	P. Total [\$]
2	Ventilador		7,00	14,00
1	Transformador	120 a 12 V	6,00	6,00
1	PCB	9 × 4 cm	6,00	6,00
2	Porta Fusibles		0,40	0,80
2	Fusible		0,30	0,60
2	Capacitor	1000 μF	0,77	1,54
2	Capacitor	0,1 μF	0,06	0,12
1	TBLOCK	I3	0,25	0,25
2	TBLOCK	I2	0,20	0,40
2	Puente Diodos		1,00	2,00
Sub Total:				31,71

7.1.2. RESUMEN DE COSTOS ELECTRÓNICOS

A continuación en la Tabla 7.8 se mostrarán los sub totales de todos los componentes eléctricos utilizados en la elaboración de la cocina para obtener el precio final.

Tabla 7.8: Resumen de Costos Finales Electrónicos

Resumen Costos Electrónicos	
Nombre	Sub Totales [\$]
Capacitores	16,60
Resistencias	0,83
Circuitos Integrados	15,00
Transistores	30,00
Diodos	3,14
Misceláneo	113,13
Total:	178,70
Costo Total 2 Placas	357,40
Placa Ventiladores	31,71
COSTO FINAL:	389,11

Como se puede apreciar los valores de la Tabla 7.8 son adecuados, tomando en cuenta que todos los componentes utilizados en la construcción de la cocina no se los fabrican nacionalmente. Se debe recordar que este precio es para una sola cocina con una sola hornilla, en el caso de este proyecto de titulación se necesitan dos, por lo que se debe duplicar el precio final de la cocina. El precio total de ambas cocinas es de \$ 357,40. A este precio se le debe agregar el costo por la placa de los ventiladores de las bobinas de inducción dando un total de \$ 389,11. Este último es considerado como el costo final de toda la parte electrónica del proyecto de tesis. Esto no incluye la mano de obra empleada, ni adaptación mecánica realizada a la cocina de gas para la obtención de la cocina híbrida. Estos precios se analizarán más adelante en los capítulos 7.2 y 7.3.

7.2. COSTOS ADAPTACIÓN MECÁNICA

En la Tabla 7.9 se muestran los costos de adaptación tomando en cuenta todos los elementos utilizados para la adaptación del prototipo, vale la pena recalcar que no se han tomado en cuenta costos de herramientas ya que estas han sido consideradas como propias.

Tabla 7.9: Costos de Adaptación

Costos de Adaptación			
Cantidad	Detalle	P. U. [\$]	P. Tot. [\$]
8	Perno 1/8" × 2"	0,04	0,32
16	Tuerca 1/8" × 2"	0,03	0,48
10	Pernos perforantes de madera 1/8" × 1/2"	0,02	0,20
10	Perno 1/8" × 1 1/2"	0,03	0,30
22	Tuerca 1/8" × 1 1/2"	0,02	0,44
2	Broca para metal 1/4"	2,64	5,28
2	Broca para metal 3/16"	2,54	5,08
2	Broca para metal 5/16"	2,86	5,72
1	Tabla triplex 30 × 20 cm	5,00	5
Total:			22,82

7.3. COSTOS MANO DE OBRA

En la Tabla 7.10 se puede apreciar los costos de ingeniería contemplados en el presente proyecto, considerando que únicamente se han tomado en cuenta las horas de trabajo una vez que el prototipo alcanzo la perfección, esto quiere decir que no se ha contado las horas laboradas en intentos fallidos e intentos de investigación previas a la obtención final del prototipo; sin embargo lo que si se ha tomado en cuenta para esta tabla es el tiempo invertido en la culminación de ambas hornillas.

En cuanto a los costos de mano de obra mostrados en la tabla vale la pena recalcar que se ha tomado en cuenta el tiempo de adaptación total del prototipo, con tiempos de perforado, suelda, corte, puesta a punto entre otras actividades que fueron necesarias para dicha adaptación.

Tabla 7.10: Costos de Ingeniería y Mano de Obra

Costos de Ingeniería y Mano de Obra			
Actividad	Tiempo [horas]	Costo / hora [\$]	Total [\$]
Diseño Hardware	150	12	1800
Diseño Software	150	12	1800
Adaptación	8	6	48
Pruebas Prototipo	12	12	144
Total:			3792

7.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO DE TESIS

Una vez que se han detallado todos los costos involucrados en el proyecto en las secciones anteriores se determina el costo total del proyecto. Este valor se expresa en la Tabla 7.11.

Tabla 7.11: Resumen Costo Total del Proyecto

Resumen Costo Total del Proyecto	
Nombre	Totales[\$]
Costos Finales Electrónicos	389,11
Costos de Adaptación	22,82
Costos de Ing. y Mano de Obra	3792,00
<i>Costo Final:</i>	<i>4203,33</i>

Se debe recordar que el proyecto realizado, a pesar de su alto costo, es un prototipo. Al implementar un costo tan elevado para una estufa de inducción de dos hornillas con su adaptación mecánica, puede que no sea un proyecto viable a nivel competitivo con el mercado. Al entrar el proyecto en producción en línea el costo se reduciría en 40 %.

El propósito de este proyecto, más que su factibilidad económica, es la realización de la hibridación de la cocina y que sea funcional, sin perjudicar el sistema original de la cocina a gas.

Capítulo 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

Después de los diferentes intentos y pruebas realizadas previas a la obtención del diseño final, se corroboró la importancia de la selección de un transistor adecuado para la aplicación, ya que pese a los cálculos realizados de tensión y corriente, el transistor debe soportar características propias de las aplicaciones de calentamiento inductivo como trabajar a altas frecuencias y sobre todo trabajar con sobre picos de corriente, además debe tener la capacidad de disipar rápidamente el calor de modo que se pueda trabajar a altas potencias y con las características ya mencionadas.

Mediante las pruebas realizadas a las hornillas de inducción del prototipo se logró determinar los parámetros eléctricos de funcionamiento, dándose a conocer que la potencia de trabajo de dichas hornillas es de 654 vatios mientras la tensión promedio de alimentación sea 115 voltios.

Una vez realizadas las pruebas y estudios a la aplicación de calentamiento inductivo se determinó que el inversor cuasi resonante es uno de los más apropiados para esta aplicación ya que su estructura es una de las más simples y fáciles de implementar, además utiliza únicamente un conmutador que para el presente trabajo ha sido seleccionado como un IGBT; sin embargo vale la pena recalcar que lo complejo de este inversor es su control ya que se tiene la necesidad de realimentar tensión y corriente de modo que esta última no cause daños en los IGBT.

Con las pruebas realizadas a las hornillas de inducción diseñadas se dio a conocer que estas cumplen con todos los parámetros previamente establecidos, brindando una alta eficiencia, niveles de variación de calentamiento, manteniendo robustez y una alta fiabilidad en su funcionamiento.

Al realizar el análisis comparativo entre la hornilla de inducción y la hornilla a gas se obtuvo como resultado que la de inducción tiene una eficiencia mayor que la de gas con un 89 %, lo que significa que las hornillas de inducción diseñadas y adaptadas tienen un menor consumo energético y además cocinan los alimentos en menor tiempo.

Basados en la comparación de precios realizada, el proyecto no es viable si se mantienen los aranceles a las importaciones de elementos electrónicos y mientras las fronteras comerciales se mantengan abiertas a países como China que sin impuestos ha introducido en el mercado cocinas de una sola hornilla de inducción a precios extremadamente bajos que impedirían incluso algún intento de competencia propia de empresas ecuatorianas. Sin embargo el proyecto puede llegar a ser viable en algún momento gracias a la factibilidad técnica que este ha demostrado en el presente trabajo.

Por el momento sigue resultando de cierta manera más económico la utilización de las hornillas a gas debido al subsidio que mantiene el estado, sin embargo cuando este sea retirado, necesariamente se tendrá que ver a la cocina de inducción como la más económica si se da cumplimiento a la propuesta de brindar un subsidio a la energía eléctrica.

8.2. RECOMENDACIONES

Un aspecto que se debe tener en cuenta es verificar el aislamiento de todos los pernos y tornillos utilizados en el montaje, de modo que estos no puedan causar ninguna clase de daño y no tengan contacto con los elementos para evitar cortos circuitos en la tarjeta electrónica de las hornillas de inducción ya que gran parte de la cocina a gas está hecha de metal conductor.

En el montaje de los vidrios templados, es importante que las bobinas de inducción se encuentren lo más pegadas posible a este, de modo de que la generación del campo magnético sea correcta para la utilización de estas hornillas.

Para que este proyecto sea lo más viable posible, es necesario que los elemen-

tos utilizados para las tarjetas electrónicas sean lo más económico posible, sin embargo no se debe perder de vista la calidad de los mismo ya que si esta es reducida puede reducirse la confiabilidad en la seguridad que debe brindarse al usuario.

Debe tomarse en cuenta el ancho de las pistas al momento de ser diseñadas e impresas, ya que de no tener el ancho suficiente estas pueden llegar a sobrecalentarse por el paso de corrientes altas y causar graves daños al circuito de potencia.

Es un aspecto muy importante a tener en cuenta la disipación de calor en los transistores (IGBT) y en el puente de diodos rectificador de modo q estos no sufran ningún daño en funcionamiento.

Debido a la gran cantidad de corriente que circula por la bobina de inducción también es necesario el enfriamiento de las mismas por medio de ventiladores.

Referencias

- [CEK, 2006] (2006). *Curso Fácil de Electrónica Básica*. CEKIT S.A, Colombia.
- [Antonio, 2009] Antonio, C. C. E. (2009). Diseño y construcción de un prototipo de una cocina de inducción electromagnética.
- [Callebaut, 2014] Callebaut, J. (2014). Application note induction heating. *Leonardo Energy*, pages 3–5,7.
- [Corporation, 2000] Corporation, F. S. (2000). Induction heating system topology review. *www.fairchildsemi.com*.
- [Corporation, 2014] Corporation, F. S. (2014). Diseño del snubber del resistor/capacitor para interruptores. *Digi-Key*.
- [Franco, 2013] Franco, A. T. (2013). Cocina de inducción versus cocina a gas (glp). *Revista Técnica del Colegio Regional de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Litoral*, pages 9–11.
- [Gomez, 1999] Gomez, V. E. (1999). *Influencia de los componentes parásitos en el análisis y diseño de inversores resonantes paralelo para aplicaciones de calentamiento por inducción*. PhD thesis, Universidad de Valencia.
- [Hebert Sira-Ramírez, 2005] Hebert Sira-Ramírez, Richard Márquez, F. R.-E. O. L.-S. (2005). *Control de sistemas no lineales: linealización aproximada, extendida, exacta*. Pearson Prentice Hall, Madrid.
- [INEC, 2010] INEC (2010). Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el ecuador. *www.inec.gob.ec*.
- [John N. Hincapié, 2013] John N. Hincapié, Adriana Trejos, M. E. M. A. E. (2013). Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico: revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18):237–262.
- [Leo Pan, 2014] Leo Pan, Dennis Lui, T. L. (2014). Designing an induction cooker using the s08pt family. *Freescale Semiconductor, Inc*.

- [Rubio, 2010] Rubio, G. C. (2010). *Electrónica Aplicada*. McGraw-Hill, Aravaca, Madrid, 1 edition.