

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESTUDIO TÉCNICO-COMPARATIVO PARA LA INTRODUCCIÓN
DE COCINAS ELÉCTRICAS DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA EN EL
ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

JUAN FERNANDO SALAZAR MASSON

juanmass10@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. Adrian Peña Idrovo

vrector@epn.edu.ec

Quito, Mayo 2010

DECLARACIÓN

Yo, Juan Fernando Salazar Masson, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y la normatividad institucional vigente.

Juan Salazar Masson

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por Juan Fernando Salazar Masson, bajo mi supervisión.

Ing. Adrian Peña Idrovo

Director del Proyecto

AGRADECIMIENTO

A mi familia,

A mis amigos,

A todo el personal de la Facultad de Ingeniería Mecánica,

A los funcionarios del MEER, y a todas aquellas personas que hicieron posible la consecución de esta meta en mi vida.

DEDICATORIA

A mi madre,

A mi padre,

A mis hermanos,

Y a mi querido sobrino.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
1 GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	5
1.3 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.4 ALCANCES	8
1.5 JUSTIFICACIÓN	8
CAPÍTULO II	11
2 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
2.1 INTRODUCCIÓN AL MAGNETISMO.....	11
2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA	11
2.1.2 DEFINICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO	12
2.1.2.1 PROPIEDADES DE LA FUERZA MAGNÉTICA.....	13
2.1.3 LEY DE BIOT - SAVART	14
2.1.4 LEY DE AMPÈRE.....	16
2.1.5 GENERALIZACIÓN DE LA LEY DE AMPÈRE.....	16
2.1.6 FLUJO MAGNÉTICO	17
2.1.7 LEY DE GAUSS DEL MAGNETISMO.....	17
2.1.8 MAGNETISMO EN LA MATERIA.....	18
2.1.8.1 MAGNETIZACIÓN.....	19
2.1.8.2 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO	19
2.1.8.3 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y PERMEABILIDAD	20
2.1.8.4 FERROMAGNETISMO	21
2.1.8.4.1 CURVA DE HISTÉRESIS.....	22
2.1.8.5 PARAMAGNETISMO	24
2.1.8.6 LEY DE CURIE.....	24
2.1.8.6.1 TEMPERATURA DE CURIE	25

2.1.8.7 DIAMAGNETISMO	25
2.1.9 INDUCCIÓN MAGNÉTICA.....	26
2.1.9.1 LEY DE FARADAY	26
2.1.9.2 LEY DE LENZ.....	27
2.1.9.3 CORRIENTES DE EDDY	28
2.1.10 LAS ECUACIONES DE MAXWELL.....	28
2.2 COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	29
2.2.1 COMPONENTES PASIVOS.....	29
2.2.1.1 RESISTENCIAS	30
2.2.1.2 CONDENSADORES	31
2.2.1.3 BOBINAS	33
2.2.2 COMPONENTES ACTIVOS.....	34
2.2.2.1 DIODOS	34
2.2.2.2 TRANSISTOR	37
2.2.2.3 CIRCUITOS INTEGRADOS	43
CAPÍTULO III	45
3 ESTUDIO TÉCNICO	45
3.1 CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	45
3.1.1 PROPIEDADES DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	47
3.1.2 APLICACIONES DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN.....	48
3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN.....	49
3.1.4 EFECTO PIEL, PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN	50
3.1.5 RESISTENCIA EQUIVALENTE.....	52
3.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES DE LA COCINA DE INDUCCIÓN.....	53
3.2.1 CIRCUITO DE POTENCIA.....	55
3.2.2 CIRCUITO DE CONTROL.....	55
3.2.3 BOBINA.....	56
3.2.4 PLACA VITROCERÁMICA	57
3.2.5 DISIPADOR DE CALOR	57
3.2.6 VENTILADOR.....	58
3.2.7 BASTIDOR SUPERIOR Y PANEL DE CONTROL.....	59
3.2.8 BASTIDOR INFERIOR.....	59
3.3 CALENTAMIENTO ELÉCTRICO ÓHMICO.....	60

3.3.1	EFFECTO JOULE	60
3.3.2	CAUSAS DEL FENÓMENO	60
3.4	CALENTAMIENTO MEDIANTE COMBUSTIÓN DE GLP	62
3.4.1	DESCRIPCIÓN DEL GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)	62
3.4.2	COMBUSTION	62
3.4.3	ESTEQUIMETRIA DE LA COMBUSTIÓN.....	63
3.4.3.1	COMBUSTION COMPLETA.....	64
3.4.3.2	COMBUSTION INCOMPLETA	64
3.4.3.3	COMBUSTION ESTEQUIOMETRICA.....	64
3.4.3.4	EXCESO DE AIRE	65
3.4.4	PODER CALORÍFICO.....	65
3.4.4.1	PODER CALORIFICO INFERIOR (PCI)	66
3.4.4.2	PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS).....	66
3.4.4.3	RENDIMIENTO DE LA COMBUSTIÓN	66
3.4.5	QUEMADORES.....	67
3.4.5.1	QUEMADORES ATMOSFERICOS	68
CAPITULO IV		69
4	ESTUDIO COMPARATIVO	69
4.1	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y APARATOS UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN.....	69
4.2	EXPERIMENTACIÓN BAJO LA NORMA TÉCNICA ASTM F1521-03	71
4.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA.....	71
4.2.2	OBJETIVO.....	72
4.2.3	PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN	72
4.2.4	RESULTADOS	73
4.2.4.1	POTENCIA DE ENTRADA	73
4.2.4.2	RESPUESTA AL CALENTAMIENTO	77
4.2.4.3	UNIFORMIDAD DE TEMPERATURA	83
4.2.4.4	EFICIENCIA DE COCCIÓN Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN....	91
4.2.5	COMPORTAMIENTO DE LAS COCINAS.....	98
4.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA TIPO DE COCINA.....	103
4.4	SOFTWARE “EFICIENCIA”	105
4.4.1	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	105

4.4.2	FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE.....	106
4.4.3	EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO	111
CAPÍTULO V		115
5	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	115
5.1	CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO (CIRCUITOS)	115
5.1.1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	116
5.1.2	CIRCUITO DE CONTROL.....	116
5.1.2.1	ACONDICIONAMIENTO DE SENSOR DE TEMPERATURA	117
5.1.3	CIRCUITO DE POTENCIA.....	117
5.2	CONSTRUCCIÓN	120
CAPÍTULO VI.....		124
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
6.1	CONCLUSIONES.....	124
6.2	RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA		127
ANEXOS		130
ANEXO A: CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO		
ANEXO B: NORMA ASTM-F1521-03		
ANEXO C: MANUAL DE OPERACIÓN DE LA COCINA ESTUDIADA		
ANEXO D: CÓDIGO DEL SOFTWARE EFICIENCIA		
ANEXO E: “SUSTITUCIÓN MASIVA DE COCINAS DE GLP EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE LAS FRONTERAS NORTE Y SUR, CON LA UTILIZACIÓN DE COCINAS ELÉCTRICAS DE INDUCCIÓN”		

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 DEMANDA DOMÉSTICA 2006.....	2
FIGURA 1.2 DEMANDA DOMÉSTICA 2020.....	2
FIGURA 1.3 USO DECLARADO Y REAL DE GLP	6
FIGURA 1.4 ADICIONES DE CAPACIDAD HIDROELÉCTRICA EN ECUADOR..	9
FIGURA 2.1 LEY DE LA MANO DERECHA.....	14
FIGURA 2.2 LEY DE BIOT-SAVART	15
FIGURA 2.3 FLUJO MAGNÉTICO.....	17
FIGURA 2.4 FLUJO MAGNÉTICO A TRAVÉS DE UNA SUPERFICIE.	18
FIGURA 2.5 DOMINIOS MAGNÉTICOS DESORIENTADOS.....	21
FIGURA 2.6 DOMINIOS MAGNÉTICOS ORIENTADOS	22
FIGURA 2.7 CICLO DE HISTÉRESIS.....	23
FIGURA 2.8 CURVA DE HISTÉRESIS, FERROMAGNÉTICO DURO	23
FIGURA 2.9 CURVA DE HISTÉRESIS, FERROMAGNÉTICO SUAVE	24
FIGURA 2.10 EXPERIMENTO LEY DE FARADAY	26
FIGURA 2.11 CODIFICACIÓN DE RESISTENCIAS.....	30
FIGURA 2.12 CARACTERÍSTICAS DE UN CONDENSADOR	31
FIGURA 2.13 PARTES DE UN CONDENSADOR ELECTROLÍTICO.....	32
FIGURA 2.14 CODIFICACIÓN DE CONDENSADORES.....	33
FIGURA 2.15 POLARIZACIÓN INVERSA EN UN DIODO.....	35
FIGURA 2.16 POLARIZACIÓN DIRECTA EN UN DIODO.....	35
FIGURA 2.17 TIPOS DE DIODOS.....	36
FIGURA 2.18 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSISTORES.....	37
FIGURA 2.19 JUNTA PNP Y NPN EN TRANSISTORES BIPOLARES	38
FIGURA 2.20 FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSISTOR	38
FIGURA 2.21 TRANSISTORES JFET	39
FIGURA 2.22 CIRCULACIÓN DE CORRIENTE EN UN TRANSISTOR JFET.....	40
FIGURA 2.23 TRANSISTOR MOSFET	41
FIGURA 2.24 TRANSISTOR IGBT	41
FIGURA 3.1 FENÓMENO DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	46
FIGURA 3.2 CIRCUITO SIMPLIFICADO DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	47

FIGURA 3.3 DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE Y POTENCIA EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD.....	51
FIGURA 3.4 PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA VARIOS MATERIALES	52
FIGURA 3.5 PARTES DE LA COCINA DE INDUCCIÓN.	54
FIGURA 3.6 CIRCUITO DE POTENCIA.	55
FIGURA 3.7 CIRCUITO DE CONTROL.	56
FIGURA 3.8 ESQUEMA DE LA BOBINA.	56
FIGURA 3.9 BOBINA (VISTA INFERIOR)	57
FIGURA 3.10 PLACA VITROCERÁMICA.	57
FIGURA 3.11 DISIPADOR (VISTA SUPERIOR)	58
FIGURA 3.12 DISIPADOR (VISTA INFERIOR)	58
FIGURA 3.13 VENTILADOR.....	59
FIGURA 3.14 PANEL DE CONTROL.....	59
FIGURA 3.15 BASTIDOR INFERIOR.	60
FIGURA 3.16 TRIÁNGULO DE LA COMBUSTIÓN	63
FIGURA 3.17 QUEMADOR ATMOSFÉRICO.....	67
FIGURA 3.18 QUEMADOR ATMOSFÉRICO DE COCINA.....	68
FIGURA 4.1 UBICACIÓN DE LAS TERMOCUPLAS.....	78
FIGURA 4.2 EVOLUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÁXIMA, INDUCCIÓN.....	79
FIGURA 4.3 EVOLUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÍNIMA, INDUCCIÓN.....	79
FIGURA 4.4 EVOLUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÁXIMA, RESISTENCIA.	80
FIGURA 4.5 EVOLUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÍNIMA, RESISTENCIA.	80
FIGURA 4.6 EVOLUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÁXIMA, GAS.....	81
FIGURA 4.7 EVOLUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÍNIMA, GAS.....	81
FIGURA 4.8 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA.	84
FIGURA 4.9 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÁXIMA, INDUCCIÓN.....	85
FIGURA 4.10 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÍNIMA, INDUCCIÓN.....	85

FIGURA 4.11 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÁXIMA, RESISTENCIA.	86
FIGURA 4.12 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÍNIMA, RESISTENCIA.	86
FIGURA 4.13 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÁXIMA GAS	87
FIGURA 4.14 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA, POTENCIA MÍNIMA GAS.	87
FIGURA 4.15 EFICIENCIA DE LAS COCINAS.....	97
FIGURA 4.16 CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LAS COCIANS.....	97
FIGURA 4.17 COMPARACIÓN CONSUMO TOTAL.....	102
FIGURA 4.18 COMPARACIÓN COSTO TOTAL.....	102
FIGURA 4.19 CARÁTULA SOFTWARE EFICIENCIA.	106
FIGURA 4.20 VENTANA DATOS INICIALES.	107
FIGURA 4.21 VENTANA CRONÓMETRO.....	108
FIGURA 4.22 INTRODUCCIÓN DE DATOS FINALES.....	109
FIGURA 4.23 VENTANA RESULTADOS.....	110
FIGURA 4.24 VENTANA GRÁFICOS.	110
FIGURA 4.25 SELECCIÓN DEL TIPO DE COCINA.....	111
FIGURA 4.26 INTRODUCCIÓN DE PROPIEDADES INICIALES.....	112
FIGURA 4.27 CRONÓMETRO E INTRODUCCIÓN DE DATOS FINALES.	113
FIGURA 4.28 RESULTADOS OBTENIDOS.....	113
FIGURA 4.29 GRÁFICA DE RESULTADOS.....	114
FIGURA 5.1 COMPONENTES DE UNA COCINA DE INDUCCIÓN	115
FIGURA 5.2 CONVERTIDOR RESONANTE PARALELO	117
FIGURA 5.3 PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA VARIOS MATERIALES	119
FIGURA 5.4 CIRCUITO DE CONTROL.....	121
FIGURA 5.5 CIRCUITO DE POTENCIA Y FUENTE.....	121
FIGURA 5.6 CABLE DE PODER Y FUSIBLE.	122
FIGURA 5.7 VENTILADOR.....	122
FIGURA 5.8 RECTIFICADOR, IGBT Y DISIPADOR.....	123
FIGURA 5.9 PROTOTIPO ENSAMBLADO, FUENTE PROPIA.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 COCCIÓN DE ALIMENTOS	5
TABLA 2.1 TEMPERATURA DE CURIE PARA VARIAS SUSTANCIAS	25
TABLA 3.1 PROPIEDADES DEL PROPANO Y DEL BUTANO.	62
TABLA 4.1 POTENCIA DE ENTRADA INDUCCIÓN Y RESISTENCIA.	74
TABLA 4.2 POTENCIA DE ENTRADA GAS.	74
TABLA 4.3 RESULTADOS POTENCIA DE ENTRADA.	76
TABLA 4.4 RESULTADOS RESPUESTA AL CALENTAMIENTO.	82
TABLA 4.5 TIEMPO DE ESTABILISACIÓN.	82
TABLA 4.6 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS PARA POTENCIA MÁXIMA.	88
TABLA 4.7 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS PARA POTENCIA MÍNIMA.	89
TABLA 4.8 RESULTADOS RESPUESTA AL CALENTAMIENTO.	90
TABLA 4.9 MASA Y CP DE ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA.	92
TABLA 4.10 DATOS OBTENIDOS COCINAS DE INDUCCIÓN.	92
TABLA 4.11 DATOS OBTENIDOS COCINA DE RESISTENCIA.	92
TABLA 4.12 DATOS OBTENIDOS COCINA A GAS.	93
TABLA 4.13 EFICIENCIA DE COCCIÓN INDUCCIÓN.	96
TABLA 4.14 EFICIENCIA DE COCCIÓN RESISTENCIA.	96
TABLA 4.15 EFICIENCIA DE COCCIÓN GAS.	96
TABLA 4.16 DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTACIÓN REAL.	100
TABLA 4.17 RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN REAL.	101

RESUMEN

Actualmente en el país la principal fuente de energía para la cocción de alimentos es el gas licuado de petróleo (GLP), lo que constituye un consumo energético importante en la sociedad ecuatoriana, en tal virtud se deben buscar alternativas de eficiencia energética para sustituir parcial o totalmente la utilización de GLP subsidiado.

Hoy en día se están desarrollando tecnologías de cocción eléctrica de alta eficiencia, es así que se tiene las cocinas de inducción magnética, las cuales han sido probadas en varios países de Europa y de Asia con resultados satisfactorios.

En el presente proyecto de titulación se realiza un estudio Técnico-Comparativo entre las cocinas de inducción magnética, cocinas de resistencia eléctrica y cocinas a gas, con lo que se pretende determinar la viabilidad de introducir el uso de cocinas eléctricas de inducción para la cocción de alimentos en el Ecuador.

En el primer capítulo se presentan las generalidades correspondientes a este proyecto, estas son: los antecedentes, la descripción del problema, los objetivos generales y objetivos específicos, así como también la justificación y los alcances del proyecto.

En el segundo capítulo se desarrolla la teoría necesaria para comprender el funcionamiento y aspectos técnicos de las cocinas arriba mencionadas, se presentan los principios básicos y leyes que rigen al magnetismo, se describe el comportamiento de los diferentes tipos de materiales (ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos) cuando interactúan con un campo magnético. También se presentan los principios de la inducción magnética en donde se explica la relación que existe entre los campos magnéticos y las corrientes que se inducen en conductores. Finalmente se describen los principales componentes

eléctricos y electrónicos presentes en las cocinas de inducción, tales como diodos, transistores, capacitores, bobinas, entre otros.

En el tercer capítulo se desarrolla el estudio técnico de los tres tipos de cocinas. Se presentan las propiedades y características de cada tecnología. En cuanto a la Inducción se presenta una descripción detallada de una cocina importada.

En el cuarto capítulo se realiza el estudio comparativo aplicando la norma técnica ASTM F1521-03 "Standard Test Methods for Performance of Range Tops". Según como lo establece la norma se determina:

- i. Potencia de entrada
- ii. Respuesta al calentamiento y uniformidad de temperatura
- iii. Eficiencia de cocción y capacidad de producción

También se realiza una experimentación cuantitativa para simular el comportamiento energético de las cocinas. Asumiendo condiciones de cocción de alimentos normales y cotidianas en nuestro país.

Finalmente en éste capítulo, después de la experimentación pertinente se determinan las ventajas y desventajas de cada tipo de cocina.

En el capítulo cinco se construye el prototipo con la ayuda de expertos en electrónica de potencia. Se determina los circuitos electrónicos que cumplan con los parámetros necesarios para el funcionamiento de la cocina de inducción.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas al finalizar este proyecto.

PRESENTACIÓN

El consumo de GLP representa gran cantidad de dinero para el Estado ecuatoriano, y cabe resaltar que dicho subsidio no está dirigido al sector que realmente lo necesita, existiendo grandes pérdidas para el Estado ya sea por contrabando o por la mala utilización que se da a este combustible.

Con la nueva generación hidroeléctrica a instalarse a futuro como: Mazar, Coca Codo Sinclair y Toachi Pilatón; es imperioso el análisis de nuevas alternativas que permitan sustituir en gran medida la utilización del GLP, por ello, se plantea cubrir esta necesidad con innovaciones tecnológicas posibles, permitiendo a los consumidores acceder a energía de bajo costo.

La utilización de nuevas tecnologías deben estar enmarcadas en el ámbito de la eficiencia y el ahorro energético, por ello el presente proyecto tiene como fin mostrar un estudio técnico comparativo entre tres diferentes tipos de cocinas como son las cocinas de inducción magnética, cocinas de resistencia eléctrica y cocinas a gas.

Mediante el análisis y la experimentación realizada a las cocinas se determinaron las ventajas y desventajas que presentan cada una, obteniendo mayores beneficios al utilizar las cocinas de inducción magnética, como: mayor eficiencia energética, menor tiempo de cocción, seguridad, entre otras.

Se ha construido un prototipo de una cocina de inducción, con el que se demuestra la posibilidad tecnológica para fabricar este tipo de cocinas en el país, y no solamente ser importadores de las mismas.

Para terminar se hacen las conclusiones y se dan las recomendaciones necesarias para seguir profundizando en este campo tecnológico

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El Crecimiento social y económico que está experimentando el país, el avance de la tecnología, la industria y por ende la evolución continua de los estilos de vida de la población, hacen necesaria la planificación permanente del sector energético, para garantizar el abastecimiento de energía en el corto, mediano y largo plazo, para satisfacer la demanda de las presentes y futuras generaciones. El Gobierno por medio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable se encuentra desarrollando continuamente estrategias y políticas que aseguren un cambio positivo dentro de la Matriz Energética del Ecuador.

La Matriz energética (ME) es un sistema actualizado de información que muestra la situación energética del Ecuador, resultante de las acciones o inacciones sobre el sector. La ME que se ha desarrollado proyecta la situación energética futura hasta el año 2020 mediante varios escenarios, por lo que constituye una herramienta fundamental para tomar decisiones oportunas que basados en el desarrollo de proyectos viables, consideren la perspectiva técnica, económica, social y ambiental [8]

La Matriz Energética cuantifica la demanda, la oferta, la transformación y el inventario de los recursos energéticos en el país, analizando fuentes de energía como el petróleo, hidroenergía, energía eólica, gas natural, biomasa, geotérmica, entre otras, en los diferentes sectores de la sociedad. Según la matriz, la demanda doméstica de energéticos para el año 2006 y una estimación para el año 2020 son las presentadas en las figuras 1.1 y 1.2.

SITUACIÓN ACTUAL

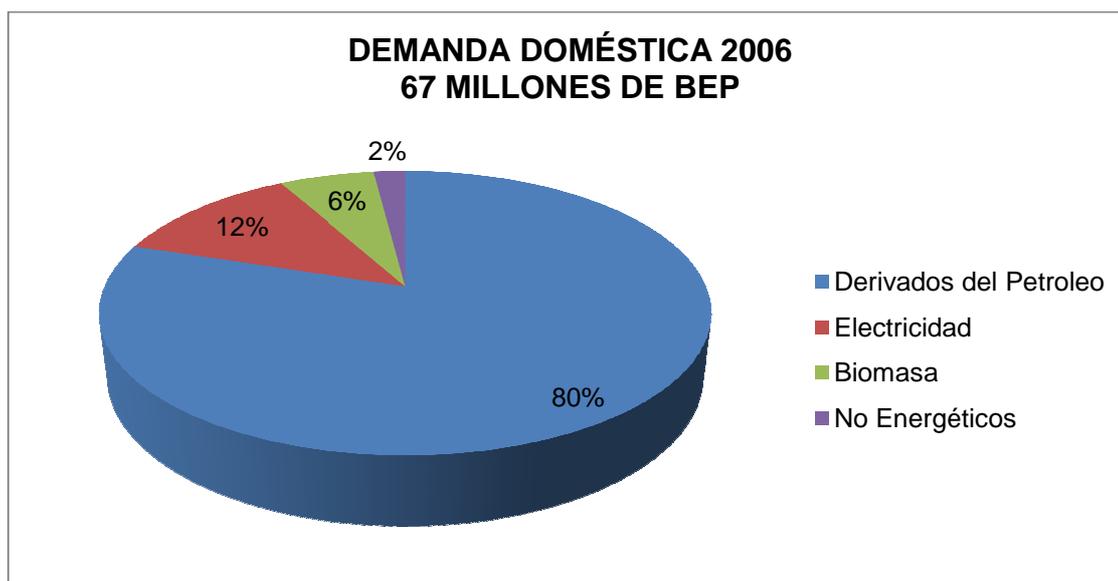


Figura 1.1 Demanda Doméstica 2006, Tomado de [8]

De la Figura 1.1 para el 2006, de los 67 millones de BEP de la demanda doméstica; el 12%, es decir, 8 millones aproximadamente provienen de la electricidad.

SITUACIÓN FUTURA:

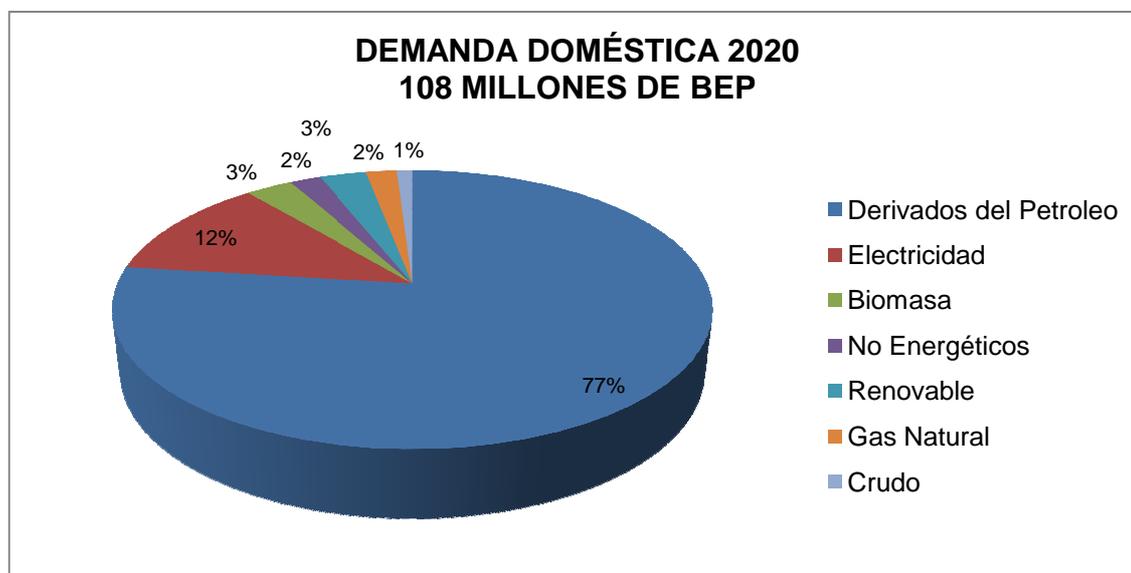


Figura 1.2 Demanda Doméstica 2020 (Escenario de intervención), Tomado de [8]

La Figura 1.2 muestra la demanda doméstica para el año 2020, pero en un escenario de intervención, es decir al implementar políticas para mejorar la

eficiencia y el uso racional de la energía. Como se puede ver; de los 108 millones de BEP, el aporte de la energía eléctrica es del 12% lo que equivale a 13 millones aproximadamente.

Mediante las políticas tendientes al uso racional y eficiente de la energía, la demanda doméstica se reduciría en un 14% frente al escenario de no intervención. Esta reducción equivalente a 18 millones de BEP contribuirá significativamente a la disminución de los impactos nocivos al medio ambiente.

Una de las políticas que se están implementando para el cumplimiento de esta meta, es el incremento de la participación de la energía eléctrica para la cocción de alimentos, es por esto que las cocinas de inducción son las más idóneas para la consecución de estos objetivos, como se verá más adelante, por su alta eficiencia y rapidez al cocinar. [8]

La aparición de los modernos dispositivos electrónicos semiconductores de potencia (*BJTs*, *MOSFETs* e *IGBTs*) permitió el abaratamiento de los sistemas de calentamiento por inducción y la consiguiente introducción en el mercado de consumo. Su aplicación a cocinas de inducción tiene antecedentes en la década de los 70, con desarrollos y patentes en Estados Unidos y Japón. La introducción en Europa se produjo en la década de los 80. [10]

Debido al enorme mercado de la cocción doméstica, la cocción por inducción ha despertado un gran interés como producto sustitutivo de las cocinas de superficie vitrocerámica o de resistencia. Por este motivo, algunos grupos de investigación trabajan en coordinación con compañías de electrodomésticos para la consecución de sistemas más fiables, más económicos, con menores restricciones de uso e instalación y con mayores prestaciones.

Actualmente todos los grupos importantes de electrodomésticos poseen en sus catálogos cocinas de inducción domésticas, bien con desarrollos propios, bien a través de mercados de transferencia de tecnología. La mayor oferta ha traído consigo la competencia y con ésta una reducción precios y una mayor información al consumidor, teniendo como consecuencia un incremento de la participación en el mercado.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Estado ecuatoriano mantiene control sobre los precios de los combustibles en el país, pero el incremento de los precios del petróleo en los últimos años no ha ido acompañado de revisiones en los precios de sus derivados en el mercado local, creándose así un subsidio superior a los USD 2 mil millones en 2007.

En el país, al no realizarse inversiones para ampliar la capacidad de refinación, se vio en la absurda situación de vender petróleo crudo al exterior y a su vez importar cada vez más combustibles para satisfacer la demanda interna, en el 2007 el 48% de la demanda nacional de hidrocarburos fue cubierta con importaciones.

Además de esto, se instituyó una perniciosa estructura de precios de los combustibles, estableciendo precios artificiales que no consideran el valor del petróleo en el mercado mundial, creándose así tanto un subsidio directo como indirecto. El primero, al importar combustibles a precios internacionales para venderlos a precios significativamente menores en el país. El segundo, al inyectar a las refinerías del país petróleo crudo a un valor inferior al de referencia internacional, generando un costo de oportunidad al no venderlo en el exterior.

Esa estructura ha provocado que el país presente precios de combustibles mucho más bajos que los registrados en otros países. Así para el año 2007, mientras el precio de los principales combustibles consumidos en el Ecuador (diesel, gasolina extra y súper, GLP) promedió un valor de \$1.18 por galón, en el resto de países de la región, promediaron un valor de \$2.48 por galón, una diferencia del 111%. [9]

Al analizar la situación por cada uno de los combustibles, se observa que el precio promedio del GLP en la región fue 583% superior al registrado en el país, 141% el del diesel, 96% mayor en el caso de la gasolina extra y finalmente, la gasolina súper registra un precio 48% superior al precio ecuatoriano.

El diferencial de precios de los combustibles, entre el valor internacional y el valor interno, es asumido por el Estado. En el mercado mundial el alto incremento

del precio del petróleo, que ha duplicado su valor en los últimos cuatro años, ha implicado que se encarezca significativamente el costo de los hidrocarburos, con el consiguiente incremento en el monto de los subsidios.

Así, mientras el Estado destinaba USD 275 millones para subvencionar la importación de derivados en el año 2004, esta operación alcanzó los USD 1.272 millones en 2007, un incremento del 363%; recursos estatales que por este mecanismo son transferidos al consumidor final, que ahorra al no comprar combustibles a precios internacionales. [9]

En lo que respecta al consumo del GLP, los datos y valores que se utilizan a continuación se los obtuvo de la V Ronda de la Encuesta de Condiciones de Vida 2005-2006 (ECV5). La ECV5 es una encuesta multipropósito con una cobertura nacional de 3'264.866 hogares que cubre a un total de 13'279.027 personas.

Según la ECV5, para la cocción de alimentos las familias ecuatorianas en gran mayoría (91%) utilizan el GLP, un número importante utiliza leña o carbón (8,6%), en tanto que las familias que cocinan con electricidad es casi nulo (0.4%). (Ver tabla 1.1)

	Familias (miles)	
GLP	2'890	91%
Leña/carbón	273	8,6%
Electricidad	10,3	0,4%
Otro	3,5	0,1%
Total	3'177	100%

Tabla 1.1 Cocción de alimentos, Tomado de [9]

1.2.1 IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

La creciente demanda por el GLP, además del constante incremento en su costo de importación, ha contribuido a que el monto que el Gobierno destina para

subsidiar la importación de gas, alcance según el Banco Central los USD 531 millones en el 2007. [8]

Tomando en cuenta los incentivos económicos que puede percibir una persona al utilizar el gas subsidiado, se puede inferir a qué actividades se dirigen los cilindros desviados. Por ejemplo, una persona que calienta su piscina con diesel (producto también subsidiado), gastaría mensualmente USD 500. Esta misma persona gastaría USD 27 si la calienta usando aproximadamente 17 cilindros de 15 kilogramos, lo que significa un ahorro de USD 473, subsidio que el Estado ecuatoriano estaría entregando a una persona con poder adquisitivo. La Figura 1.3 muestra las estimaciones que ha hecho el Ministerio de Minas y Petróleos con respecto a la utilización del GLP tanto de forma declarada, como en forma real.

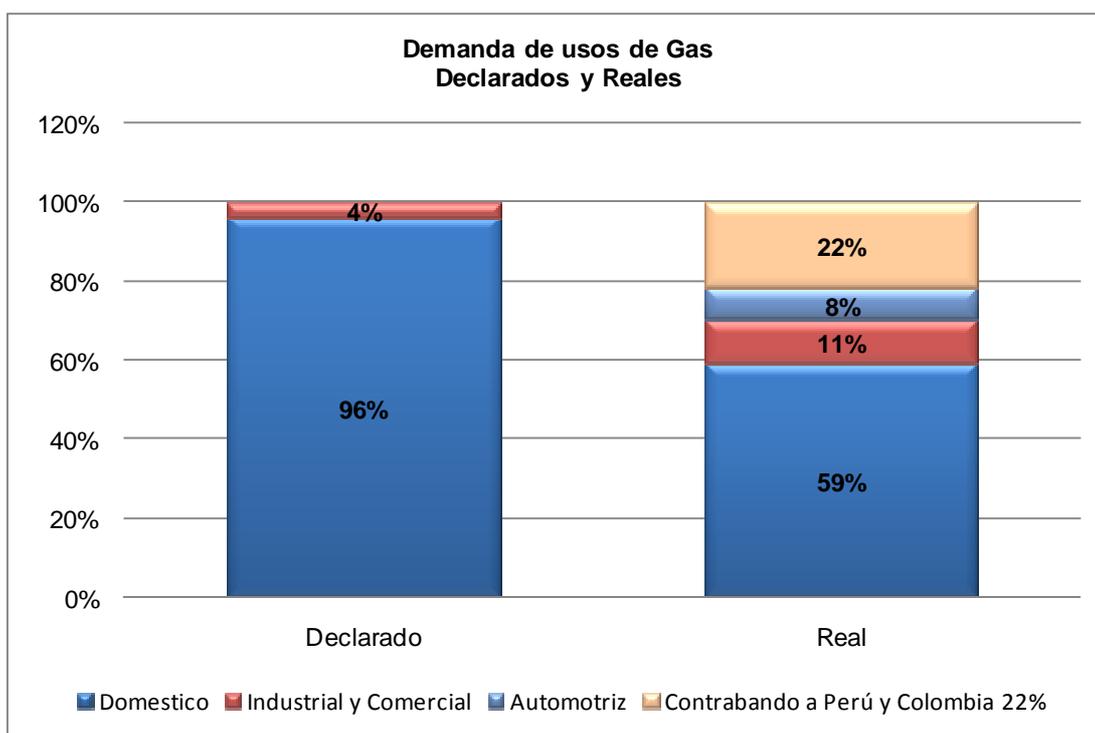


Figura 1.3 Uso declarado y real de GLP, Tomado de [10]

El contrabando por la frontera, tiene su origen en la diferencia de precios que existe en el Ecuador con respecto a Colombia y Perú. Así, un cilindro comprado en el país a USD 1.60, puede ser contrabandeado a Colombia a USD

7, mientras que en Perú su precio alcanza los USD 15. Un negocio que puede generar rentabilidades del 346% y del 838% respectivamente. [9]

Por lo tanto, el subsidio al gas financia, por los menos en parte (alrededor de USD 177 millones para el año 2007), a poblaciones vecinas de Perú y Colombia y a industriales, taxistas y personas de clase alta que tienen piscinas y jacuzzis. La enorme suma de recursos que el Estado destina a este injusto subsidio tendría un mejor fin si se lo direccionara al financiamiento de programas sociales.

Con esto el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable considera prioritario implementar de manera inmediata la sustitución de cocinas de GLP por cocinas eléctricas de inducción, que busca disminuir el consumo de GLP.

Lo principal del proyecto es que el costo del subsidio energético disminuya cuando se utilicen tecnologías basadas en energías renovables o eficiencia energética, en este caso para la preparación de los alimentos, empleando la energía eléctrica que proviene de los nuevos proyectos hidroeléctricos que el gobierno nacional está impulsando.

1.3 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio Técnico-Comparativo para la introducción de cocinas de inducción magnética en el Ecuador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la viabilidad de introducir el uso de cocinas eléctricas de inducción para la cocción de alimentos en el Ecuador, para sustituir el consumo de GLP.
- Construir un prototipo de una cocina de inducción magnética básica.

1.4 ALCANCES

Se estudiará una cocina de inducción magnética importada, de dicho estudio se determinarán los parámetros principales de funcionamiento y las implicaciones tecnológicas que presentan las cocinas de inducción magnética. Los parámetros más importantes que se determinarán son: el material de las bobinas y de la placa vitrocerámica, así como las temperaturas máximas a las que estos elementos trabajan. En cuanto al sistema eléctrico, el parámetro principal es la frecuencia de la corriente, debido a que de ésta depende la temperatura de trabajo.

- Se realizará un estudio comparativo bajo la norma técnica ASTM F1521-03 “Standard Test Methods for Performance of Range Tops”. Se determinará el consumo de energía, uniformidad de temperatura y la eficiencia energética de cada tipo de cocina. Para realizar lo antes mencionado, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable implementará un laboratorio con las cocinas arriba descritas y con los equipos necesarios para los ensayos.
- Se determinarán las características principales de la tecnología de cocción por inducción magnética.

Se determinarán las ventajas y desventajas de cada tipo de cocina, ventajas tanto a nivel operativo, logístico, económico entre otras.

1.5 JUSTIFICACIÓN [8]

Los proyectos hidroeléctricos en marcha (Mazar, Sopladora, Toachi Pilatón, Ocaña, Coca Codo Sinclair, entre otros) aportarán alrededor de 26 000 Gwh/año, duplicando la actual capacidad hidroeléctrica del país y abriendo la posibilidad de convertir al Ecuador en un país exportador de electricidad, por esto en un futuro cercano se dispondrá de mayor cantidad de energía eléctrica y barata. De acuerdo con lo antes indicado la realización de este proyecto se justifica para aprovechar esta disponibilidad energética y para disminuir la utilización de

cocinas a gas y por ende el dinero que el estado dispone para subsidios de este combustible.

En el siguiente gráfico se ve las adiciones de la capacidad hidroeléctrica en el país:

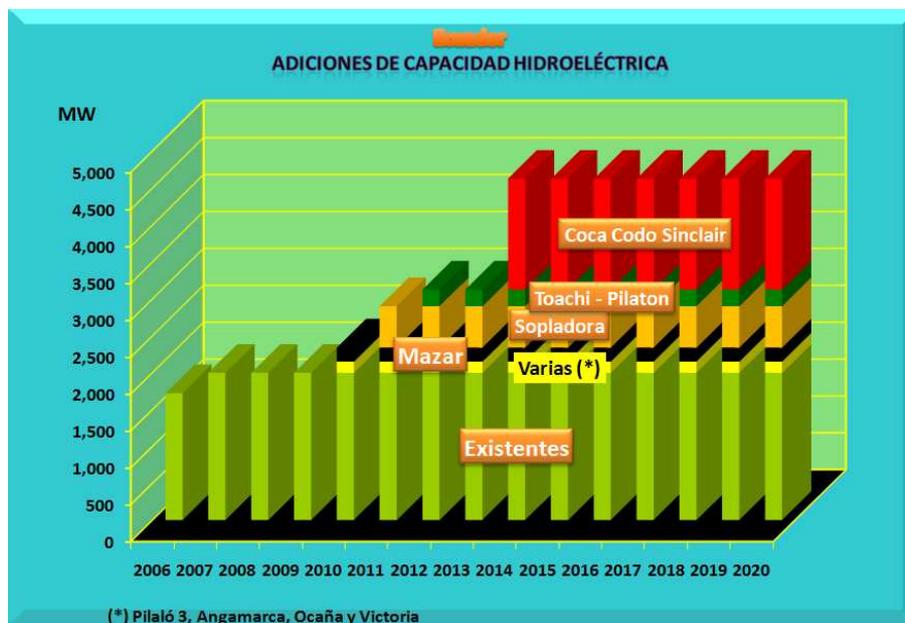


Figura 1.4 Adiciones de capacidad hidroeléctrica en el Ecuador, Tomado de [8]

“La diversificación de la Matriz Energética, la inclusión de generación hidroeléctrica, así como la térmica con combustibles limpios como pueden ser el gas natural llevaría a tener precios de la energía entre 3 y 4 centavos lo que sin duda se consideraría energía barata inclusive con la posibilidad de realizar exportaciones de energía eléctrica o realizar la sustitución de combustibles en otros sectores como el transporte, industria y en el mismo sector residencial dejando de utilizar el GLP combustible importado y que resulta al país una erogación de 500 millones por año.” [8]

Dentro de las políticas energéticas que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable plantea para el cambio de la Matriz Energética actual, se propone incrementar la participación de la energía eléctrica para la cocción de alimentos en el sector residencial hasta alcanzar un 8% en el año 2020, por esto es necesario realizar un estudio Técnico-Comparativo que determine la viabilidad

de introducir cocinas de inducción magnética en el mercado ecuatoriano, las cuales están destinadas a cumplir esta política.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTO TEÓRICO

El Capítulo establece los principios básicos y leyes que rigen al magnetismo, se describe el comportamiento de los diferentes tipos de materiales (ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos) cuando interactúan con un campo magnético. También se presentan los principios de la inducción magnética explicando la relación que existe entre los campos magnéticos y las corrientes que se inducen en conductores. Finalmente se describen los componentes eléctricos y electrónicos presentes en las cocinas de inducción, tales como diodos, transistores, capacitores, bobinas, entre otros.

2.1 INTRODUCCIÓN AL MAGNETISMO

2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA [13]

El estudio del magnetismo se remonta a la antigüedad en Grecia en el año 800 AC. La leyenda cuenta que el nombre de Magnetismo viene gracias a un pastor llamado “Magnes”, quien mientras pastaba a su rebaño quedó fuertemente adherido con una roca por medio de los clavos de sus zapatos y por la punta de su bastón, la ciudad fue nombrada como Magnesia, y posteriormente a las piedras que atraían el metal se las llamó Magnetita (Fe_3O_4). En 1269 utilizando un imán natural, Pierre de Maricour elaboró un mapa de las direcciones que tomaban las agujas colocadas en su superficie, y se dio cuenta que todas las líneas pasaban por dos puntos diametralmente opuestos, a los cuales llamó Polos, posteriormente por experimentación se comprobó que cualquier imán y sin importar su forma poseen dos polos, llamados norte y sur, los cuales de manera análoga actúan como cargas eléctricas, es decir polos iguales se repelen y polos opuestos se atraen.

En 1600 Willian Gilbert, utilizando el hecho de que una aguja magnética o brújula, se posicionaba preferentemente según su posición geográfica, se llegó a la conclusión que la tierra era un imán gigantesco. En 1750 John Michell, mediante la balanza de torsión demostró que los polos ejercen fuerzas de

atracción y repulsión entre si y que son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa, similar a las cargas eléctricas, pero con una importante diferencia: Las cargas eléctricas se pueden aislar (se puede tener un protón o un electrón separadamente) pero los polos no se pueden separar jamás; un imán independientemente de su forma o de las divisiones que se realicen sobre él siempre tendrá un polo norte y un polo sur.

La relación entre la electricidad y el magnetismo fue descubierta por el científico danés Hans Christian Orsted (1777-1851), quien se dio cuenta que cuando una corriente circulaba por un conductor, esta hacia desviar una aguja que se encontraba cerca.

André Ampère (1775-1836) obtuvo las leyes cuantitativas que relacionan los campos magnéticos producidos por corrientes en conductores. Ampere fue también quien plantó las bases de la teoría Magnética moderna, al sugerir que pequeñas corrientes a nivel molecular eran las causantes de los efectos magnéticos en las sustancias.

En la segunda década del siglo XIX, estudios realizados por Faraday y Por Joseph Henry demostraron que la electricidad y el magnetismo estaban fuertemente relacionados, independientemente el uno del otro se dieron cuenta que al mover un imán en las cercanías de un circuito eléctrico, se producía una corriente eléctrica en este último, o variando la corriente en un circuito produce una corriente en otro circuito cercano, estas observaciones llevaron a la conclusión de que el cambio en el campo magnético produce cambios en el campo eléctrico. Años mas tarde, los estudios realizados por Maxwell, demostraron que un campo eléctrico variable da lugar a un campo magnético.

2.1.2 DEFINICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO [12]

Análogamente al campo gravitacional y al campo eléctrico se define el campo magnético. El vector de campo magnético B (llamado también inducción magnética o densidad de flujo magnético) en un punto dado del espacio es la

fuerza ejercida sobre un objeto de prueba. El objeto de prueba es una partícula cargada eléctricamente que se mueve con velocidad v

2.1.2.1 PROPIEDADES DE LA FUERZA MAGNÉTICA. [12]

- a) La fuerza magnética es proporcional a la carga q y la velocidad \mathbf{v} de la partícula
- b) La magnitud y la dirección de la fuerza magnética depende de la velocidad de la partícula y de la magnitud y dirección del campo magnético.
- c) Cuando una partícula se mueve en dirección paralela al vector campo magnético, la fuerza magnética \mathbf{F} sobre la carga es cero.
- d) Cuando la velocidad hace un ángulo Θ con el campo magnético, la fuerza magnética actúa en una dirección perpendicular tanto a \mathbf{v} como a \mathbf{B} ; es decir, \mathbf{F} es perpendicular al plano formado por \mathbf{v} y \mathbf{B}
- e) La fuerza magnética sobre una carga positiva tiene sentido opuesto a la fuerza que actúa sobre una carga negativa que se mueve en misma dirección

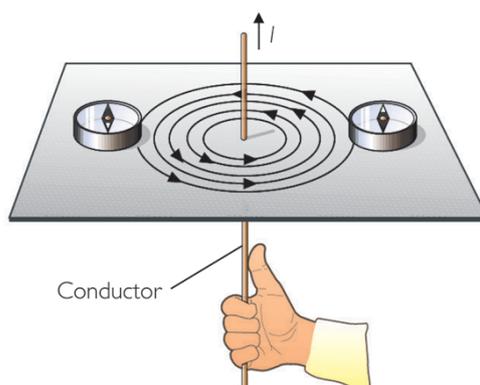
Si el vector velocidad hace un ángulo Θ con el campo magnético, la magnitud de la fuerza magnética es proporcional al $\text{Sen}\Theta$

De las propiedades descritas se puede escribir la siguiente fórmula para la fuerza magnética:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.1)$$

La dirección de \mathbf{B} es congruente con la regla de la mano derecha: (Fig 2.1)

Figura 2.1 Ley de la mano derecha



Fuente: <http://ec.kalipedia.com>

La unidad del campo magnético en el SI es el Weber por metro cuadrado (Wb/m^2), también llamado Tesla (T). Se puede interpretar y relacionar con las unidades fundamentales a la unidad del campo magnético de la siguiente forma: Una carga de 1 Coulomb que se mueve a través de un campo magnético de una Tesla con una velocidad de 1 m/s perpendicular al campo, experimenta una fuerza de 1 Newton.

$$|B| = T = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{C}\cdot\text{m}/\text{s}} = \frac{\text{N}}{\text{A}\cdot\text{m}} \quad (2.2)$$

Cuando se utiliza sistema cgs, para el campo magnético, la unidad es el Gauss (G), que está relacionado con la Tesla a través de la conversión

$$1T = 10^4 G \quad (2.3)$$

2.1.3 LEY DE BIOT - SAVART

De resultados experimentales, Jean Baptiste Biot y Felix Savart obtuvieron una expresión de la que se obtiene el campo magnético en un punto dado del espacio en términos de la corriente que produce el campo.

La ley de Biot – Savart establece que si un alambre conduce una corriente constante I , el Campo magnético dB en un punto P debido a un elemento ds tiene las siguientes propiedades: (Fig 2.2)

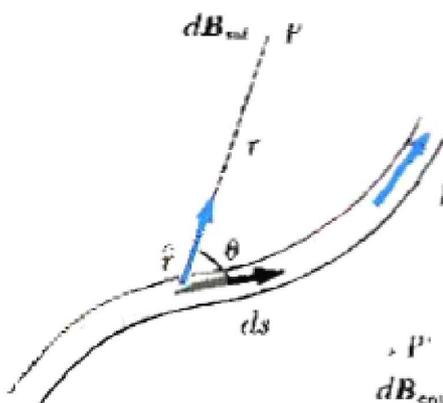


Figura 2.2 Ley de Biot-Savart, Tomado de [12]

- El vector $d\mathbf{B}$ es perpendicular tanto a $d\mathbf{s}$ (que tiene la misma dirección de la corriente) como al vector unitario \hat{r} dirigido desde el elemento hasta el punto P.
- La magnitud $d\mathbf{B}$ es inversamente proporcional a r^2 , donde r es la distancia desde el elemento hasta P.
- La magnitud $d\mathbf{B}$ es proporcional a la corriente y la longitud ds del elemento
- la magnitud de $d\mathbf{B}$ es proporcional al $\sin \Theta$, donde Θ es el ángulo entre el vector $d\mathbf{s}$ y \hat{r}

De las propiedades anteriores se puede escribir la ley de Biot – Savart en la siguiente forma:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.4)$$

Donde μ_0 se define como la permeabilidad magnética en el espacio libre:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m} \quad (2.5)$$

Hay que recalcar que para determinar el campo magnético \mathbf{B} en algún punto debido a un conductor de tamaño finito, se deben sumar las contribuciones

de todos los elementos de corriente que constituyen el conductor. Es decir se debe encontrar \mathbf{B} por la integración de la ecuación 2.4

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{ds \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.6)$$

2.1.4 LEY DE AMPÈRE

La ley de Ampère establece que la integral de línea e $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual a $\mu_0 I$, donde I es la corriente estable total que pasa a través de cualquier superficie limitada por la trayectoria cerrada.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I \quad (2.7)$$

2.1.5 GENERALIZACIÓN DE LA LEY DE AMPÈRE

La ley de Ampère es válida sólo para corrientes estables, y se utiliza sólo para el cálculo de campos magnéticos de configuraciones de corriente con un alto grado de simetría.

Maxwell al reconocer estas limitaciones modificó la ley de Ampère para incluir todos los casos posibles. Resolvió este problema al postular un término adicional al lado derecho de la ecuación, llamado corriente de desplazamiento I_d , definido como:

$$I_d = \epsilon_0 \frac{d\phi_e}{dt} \quad (2.8)$$

Donde ϵ_0 = Permeabilidad eléctrica

ϕ_e = Flujo del campo eléctrico.

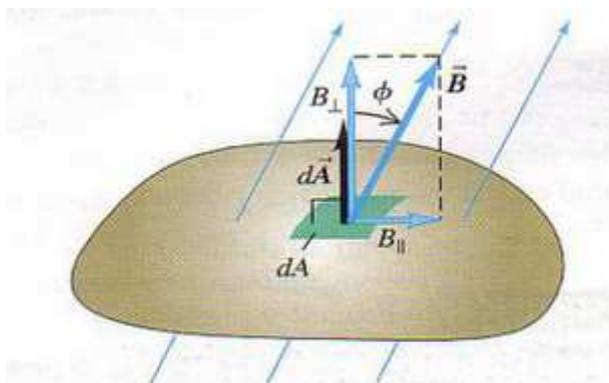
La ley de Ampère puede expresarse en una forma general (denominada ley de Ampère – Maxwell) como:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0(I + I_d) = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_e}{dt} \quad (2.9)$$

2.1.6 FLUJO MAGNÉTICO

Para describir al flujo magnético se considera un elemento de área $d\mathbf{A}$ sobre una superficie de forma arbitraria como se muestra en la figura 2.3. Si el campo magnético de este elemento es \mathbf{B} , entonces el flujo magnético a través del mismo es $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$, donde $d\mathbf{A}$ es el vector perpendicular a la superficie cuya magnitud es igual a dA .

Figura 2.3 Flujo Magnético



Fuente: <http://radalaino1820.blogspot.com>

Por lo tanto, el flujo magnético total Φ_m a través de toda la superficie está dado por:

$$\Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (2.10)$$

2.1.7 LEY DE GAUSS DEL MAGNETISMO

Para cualquier superficie cerrada, (figura 2.4), el número de líneas de flujo magnético que entran es igual al número de líneas de flujo magnético que salen de la misma, así se tiene que el flujo magnético neto es cero. Fig 2.4

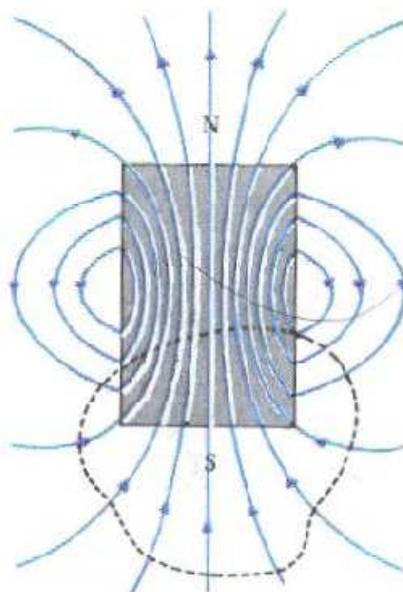


Figura 2.4 Flujo magnético a través de una superficie cerrada, [12].

La ley de Gauss en el magnetismo establece que el flujo magnético neto a través de cualquier superficie cerrada siempre es cero:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \mathbf{0} \quad (2.11)$$

Esta proposición se basa en el hecho experimental de que no han sido detectados polos magnéticos aislados (o monopolos).

2.1.8 MAGNETISMO EN LA MATERIA [13]

Los momentos magnéticos en las sustancias magnetizadas están asociados con corrientes atómicas internas. Estas corrientes pueden verse como electrones orbitando alrededor del núcleo y como los protones uno sobre el otro en el interior del núcleo.

Todas las sustancias contienen electrones, pero no todas son magnéticas. Esto se debe a que en la mayoría de las sustancias, el momento magnético de un electrón en un átomo se cancela por el momento de otro electrón en el átomo orbitando en dirección opuesta. El resultado neto es que el efecto magnético

producido por el movimiento orbital de los electrones es cero o prácticamente nulo.

El momento magnético total de un electrón se debe a la combinación de su movimiento orbital y su propiedad intrínseca llamada espín. Las fuerzas mutuas entre estos dipolos magnéticos y sus interacciones con un campo magnético externo son fundamentalmente importantes en el entendimiento del comportamiento de los materiales magnéticos. Se describen tres categorías de materiales, Paramagnéticos, ferromagnéticos y diamagnéticos.

Los materiales paramagnéticos y ferromagnéticos son aquellos que tienen átomos con momentos magnéticos dipolares permanentes. Los materiales diamagnéticos son aquellos cuyos átomos no tienen momentos magnéticos bipolares permanentes.

2.1.8.1 MAGNETIZACIÓN

El estado magnético de una sustancia se describe mediante una cantidad llamada vector magnetización, \mathbf{M} . el campo magnético total en una sustancia depende tanto del campo magnético (externo) aplicado como de la magnetización de la sustancia.

Si se tiene una región en donde el campo magnético producido por un conductor que lleva corriente es \mathbf{B}_o , y si en esa región se introduce una sustancia magnética que produce un campo magnético \mathbf{B}_m , entonces el campo magnético total \mathbf{B} en la sustancia será:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_o + \mathbf{B}_m \quad (2.12)$$

2.1.8.2 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO

La intensidad de campo magnético (\mathbf{H}) es una cantidad vectorial, se define mediante la relación:

$$\mathbf{H} = (\mathbf{B} / \mu_0) - \mathbf{M} \quad (2.13)$$

De donde B:

$$B = \mu_0(H + M) \quad (2.14)$$

Al comparar con la ecuación 2.12 se observa que una porción del campo magnético total (\mathbf{B}) es la contribución de la corriente que circula por el elemento conductor ($\mu_0\mathbf{H}$) y otra parte debido a la magnetización de la sustancia ($\mu_0\mathbf{M}$)

2.1.8.3 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

Para sustancias paramagnéticas y diamagnéticas, la magnetización \mathbf{M} es proporcional a la intensidad del campo magnética \mathbf{H} . En estas sustancias lineales se puede escribir:

$$M = \chi H \quad (2.15)$$

Donde χ es un factor adimensional llamado susceptibilidad magnética. Si una muestra es paramagnética, χ es positiva, por lo cual \mathbf{M} está en la misma dirección que \mathbf{H} . si la sustancia es diamagnética, χ es negativa, y \mathbf{M} es opuesto a \mathbf{H} . se debe recalcar que esta relación lineal no es aplicable a las sustancias ferromagnéticas que a continuación se explicará.

Reemplazando la ecuación 2.15 en la ecuación 2.14, se tiene la ecuación:

$$B = \mu_0(1 + \chi)H \quad (2.16)$$

$$B = k_m H \quad (2.17)$$

Donde $k_m = \mu_0(1 + \chi)$ es la permeabilidad magnética de la sustancia.

Las sustancias pueden clasificarse en términos de comparación de k_m con μ_0 , la permeabilidad en vacío. Cuando la permeabilidad del material es mayor que la permeabilidad en el vacío, el material es Paramagnético. Cuando la permeabilidad del material es menor que la permeabilidad en el vacío, el material

es Diamagnético y si la permeabilidad del material es mucho mayor que la permeabilidad en el vacío, se dice que el material es Ferromagnético.

Paramagnéticos $k_m > \mu_0$

Diamagnéticos $k_m < \mu_0$

Ferromagnéticos $k_m \gg \mu_0$

2.1.8.4 FERROMAGNETISMO

Materiales Como el hierro, cobalto, níquel, gadolinio y disprosio son materiales fuertemente magnéticos y son llamados materiales ferromagnéticos. Dichos materiales contienen momentos magnéticos atómicos que tienden a alinearse paralelamente unos de otros en presencia de un fuerte campo magnético externo. Con los momentos alineados la sustancia permanecerá magnetizada después de quitar el campo magnético externo.

Todos los materiales ferromagnéticos contienen regiones microscópicas, las cuales se llaman dominios, donde todos los momentos están alineados. En una muestra no magnetizada los dominios están orientados al azar de tal manera que el campo magnético total es cero como se indica en la figura 2.5



Figura 2.5 Dominios Magnéticos Desorientados, Tomado de [12]

Cuando el material se coloca en un campo magnético externo, los dominios tienden a alinearse con el campo girando ligeramente, cuyo resultado es una muestra magnetizada, figura 2.6

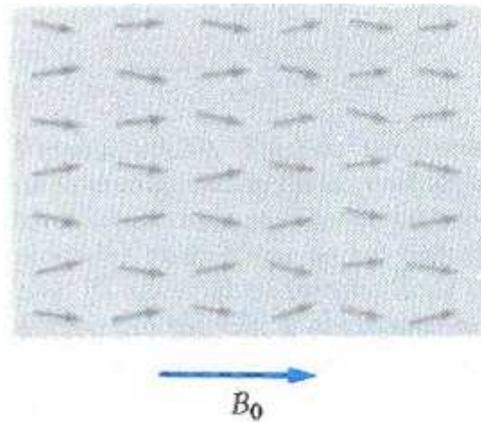


Figura 2.6 Dominios Magnéticos Orientados, Tomado de [12]

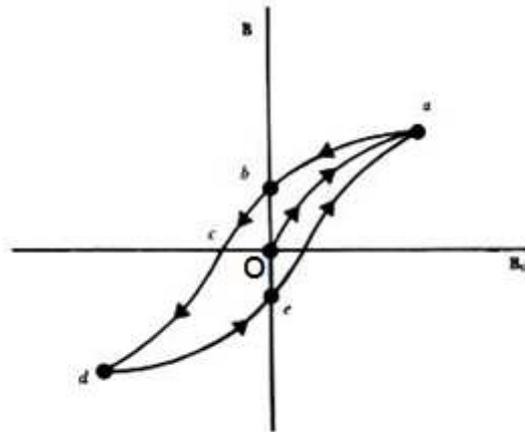
2.1.8.4.1 CURVA DE HISTÉRESIS

La curva de histéresis se representa en un plano cartesiano, con H en las abscisas, que es la intensidad de campo magnético a la que se somete la sustancia, y con B en las ordenadas, que es el campo magnético presente en la sustancia.

El ciclo de histéresis para un material ferromagnético empieza en el punto O de la figura 2.7, donde los dominios están orientados aleatoriamente, correspondiendo a $B_m = 0$. Cuando el campo magnético externo aumenta, los dominios empiezan a alinearse paulatinamente hasta llegar al punto a donde el material se halla saturado magnéticamente, es decir, todos los dominios están en la misma dirección, después el campo externo se reduce poco a poco hasta llegar a cero en el punto b , en este punto el material tiene una magnetización remanente, ya que aunque ha desaparecido el campo magnético externo, ciertos dipolos han quedado orientados, produciendo un campo magnético neto en la sustancia. Luego en el punto b se invierte la dirección del campo magnético externo y se va incrementando paulatinamente su valor hasta que se llega al punto c , en este punto el magnetismo remanente ha sido eliminado por el campo magnético externo. Continuando en la misma dirección de intensidad de campo, se llega hasta el punto d , punto de saturación magnética de la sustancia, pero en la dirección contraria al punto a . Una secuencia similar de eventos ocurre cuando el campo externo se reduce hasta cero, para posteriormente aumentarla en

dirección positiva, en este caso se sigue la trayectoria def, terminando el ciclo de histéresis

Figura 2.7 Ciclo de Histéresis



Fuente: <https://intranet.matematicas.uady.mx>

El área encerrada por la curva de histéresis es la energía necesaria para llevar el material a través del ciclo de histéresis, si el área es grande se dice que el material es ferromagnético duro (fig. 2.8), y si el área es pequeña se dice que el material es ferromagnético suave (fig. 2.9). Por esta razón en aparatos en donde el campo magnético es alterno se utilizan materiales magnéticamente suaves, para reducir las pérdidas por histéresis.

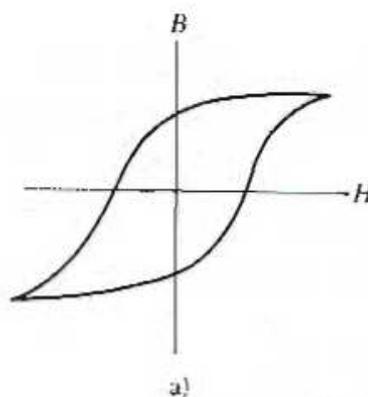


Figura 2.8 Curva de histéresis, para material ferromagnético duro, Tomado de [12]

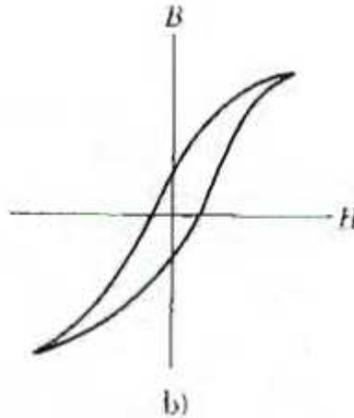


Figura 2.9 Curva de histéresis, para material ferromagnético suave, Tomado de [12]

2.1.8.5 PARAMAGNETISMO

Las sustancias paramagnéticas tienen un valor pequeño y positivo de susceptibilidad magnética ($0 < \chi < 1$), lo que se debe a la presencia de átomos o iones con momentos magnéticos permanentes. Estos dipolos sólo interactúan fuertemente entre ellos y están orientados en forma aleatoria en ausencia de un campo magnético externo. Cuando la sustancia se somete a un campo magnético externo, sus dipolos atómicos tienden a alinearse con el campo. Sin embargo, este proceso de alineamiento debe competir con los efectos de movimiento debido a la temperatura, que tiende a desorientar a los dipolos.

2.1.8.6 LEY DE CURIE

Mediante experimentación Pierre Curie (1859-1906), determinó que la magnetización (M) en una sustancia paramagnética es proporcional al campo aplicado (B) e inversamente proporcional a la temperatura absoluta (T). Es decir:

$$M = C \frac{B}{T} \quad (2.18)$$

Donde C es la constante de Curie.

2.1.8.6.1 TEMPERATURA DE CURIE [7]

Cuando una sustancia ferromagnética llega o excede una temperatura crítica, llamada temperatura de Curie, la sustancia pierde su magnetización espontánea y se convierte en una sustancia paramagnética. Por debajo de esta temperatura los momentos magnéticos están alineados y la sustancia es ferromagnética, Al incrementar y sobrepasar la temperatura de Curie, la energía térmica produce el desorden en las orientaciones de los dipolos, por lo cual la sustancia se convierte en paramagnética, por ejemplo la temperatura de Curie para el hierro es 1043 K.

La tabla 2.1 indica la temperatura de Curie para algunos materiales.

Sustancia	T _c (K)
Hierro	1043
Cobalto	1394
Níquel	631
Gadolinio	317
Fe ₂ O ₅	893

Tabla 2.1 Temperatura de Curie para varias sustancias, Tomado de [14]

Temperatura que se debe considerar en el diseño de equipos de calentamiento por inducción; para cocinas de inducción éste es un parámetro que no afecta, ya que la temperatura alcanzada por el elemento calentado no supera la temperatura de Curie, en aplicaciones como hornos de inducción donde el hierro alcanza temperaturas mayores hasta la fusión es importante considerar este parámetro.

2.1.8.7 DIAMAGNETISMO

Las sustancias diamagnéticas son aquellas cuyos átomos no tienen momentos bipolares magnéticos permanentes. Cuando se aplica un campo magnético exterior a una sustancia de este tipo como el bismuto o la plata, un momento bipolar débil es inducido en la dirección opuesta al campo aplicado.

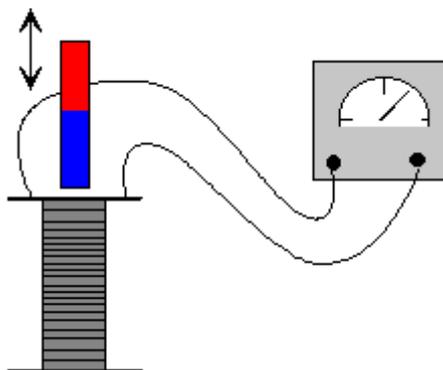
Aunque el efecto diamagnético está presente en toda la materia, éste es más débil que el paramagnetismo y el ferromagnetismo.

2.1.9 INDUCCIÓN MAGNÉTICA [12]

2.1.9.1 LEY DE FARADAY

Alejando o acercando un imán permanente hacia una espira conectada a un galvanómetro, como se muestra en la figura 2.10, se tiene: Cuando se mueve en una dirección al imán, la aguja del galvanómetro también lo hace, si se invierte el movimiento del imán la aguja se mueve en la otra dirección.

Figura 2.10 Experimento Ley de Faraday



Fuente: <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es>

Se puede concluir que siempre que exista un movimiento relativo entre el imán y el circuito de la espira se generará una corriente en la espira, esta corriente se denominó corriente inducida la cual es producida por una fem inducida.

Faraday llegó a la conclusión de que una corriente eléctrica puede producirse por cambios en el campo magnético. No se puede producir una corriente por un campo magnético estable. Basándose en todo esto Faraday postuló la siguiente ley de inducción:

“La fem inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez de cambio magnético a través del circuito” ¹

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (2.19)$$

El signo negativo es una consecuencia de la ley de Lenz que se indica a continuación.

Si el circuito consta de una bobina de N espiras, todas de la misma área, y si el flujo pasa a través de todas las espiras, la fem inducida está dada por (2.20)

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_m}{dt} \quad (2.20)$$

Sabiendo que el flujo magnético es: $\phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$ entonces se tendrá una fem inducida en el circuito de varias formas:

1. Variando la magnitud de \mathbf{B} con respecto al tiempo
2. Variando el área del circuito con respecto al tiempo
3. Cambiando el ángulo entre \mathbf{B} y la normal al plano con respecto al tiempo
4. O cualquier combinación de éstas.

2.1.9.2 LEY DE LENZ [7]

La dirección de la fem inducida y la corriente inducida se determina mediante la ley de Lenz, la cual dice que la polaridad de la fem inducida es tal que ésta tiende a producir una corriente que crea un flujo magnético que se opone al cambio en el flujo magnético a través del circuito. Esta ley es una consecuencia del principio de la conservación de la energía.

¹ SERWAY, Raymond; Electricidad y Magnetismo; Mc Graw hill; Tercera Edición USA; 1995. Página 246

2.1.9.3 CORRIENTES DE EDDY

Cuando se tiene un campo magnético variable, se induce una fem y una corriente en un circuito, en la misma forma, corrientes circundantes, llamadas corrientes de EDDY (parásitas), se originan en las piezas voluminosas de metal que están sometidas a campo magnético variable.

2.1.10 LAS ECUACIONES DE MAXWELL

La contribución de James Clerk Maxwell fue reunir en estas ecuaciones los resultados experimentales de varios años, debidos a: Coulomb, Gauss, Ampere, Faraday y otros; introduciendo los conceptos de campo y corriente de desplazamiento, y unificando los campos eléctricos y magnéticos en un solo concepto: el campo electromagnético. Las ecuaciones son:

$$\oint E \cdot dA = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2.21)$$

$$\oint B \cdot dA = 0 \quad (2.22)$$

$$\epsilon = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (2.23)$$

$$\oint B \cdot ds = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_e}{dt} \quad (2.24)$$

La ecuación 2.21, conocida como la ley de Gauss, establece que el flujo eléctrico total a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga neta (Q) dentro de esta superficie dividida entre la constante ϵ_0 . Esta ley relaciona el

campo eléctrico con la distribución de carga, donde las líneas de campo eléctrico se originan en las cargas positivas y terminan en las cargas negativas.

La ecuación 2.22, conocida como la ley de Gauss del magnetismo, establece que el flujo magnético total a través de una superficie cerrada es cero, es decir que las líneas de campo magnético no pueden empezar o terminar en ningún punto.

La ecuación 2.23, es la ley de inducción de Faraday, la cual describe la relación entre un campo eléctrico y un flujo magnético variable. La ley dice que la integral de línea del campo eléctrico alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual a la razón de variación del flujo magnético a través de cualquier área superficial limitada por esa trayectoria.

La ecuación 2.24, es la forma generalizada de la ley de Ampère, la cual describe la relación entre los campos eléctricos y magnéticos y las corrientes eléctricas. La ley enuncia que la integral de línea del campo magnético alrededor de cualquier trayectoria cerrada se determina mediante la suma de la corriente de conducción total a través de la trayectoria y la razón de la variación del flujo eléctrico a través de cualquier superficie limitada por esa trayectoria.

2.2 COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS [11]

Los componentes eléctricos y electrónicos se clasifican en dos grandes grupos, los componentes Pasivos y los componentes activos.

2.2.1 COMPONENTES PASIVOS

Son aquellos que no intervienen en la contribución de energía o en amplificación para un circuito o sistema eléctrico, estos componentes no realizan acciones de control, y necesitan una señal eléctrica para realizar su función

- Resistencias
- Condensadores

- Bobinas
- Conductores
- Interruptores
- Conectores, entre otros

2.2.1.1 RESISTENCIAS

Las resistencias son construidas principalmente de carbono o de aleaciones metálicas y pueden tener valores fijos o variables.

La Figura 2.11 presenta la codificación mediante colores para determinar el valor óhmico de las resistencias fijas

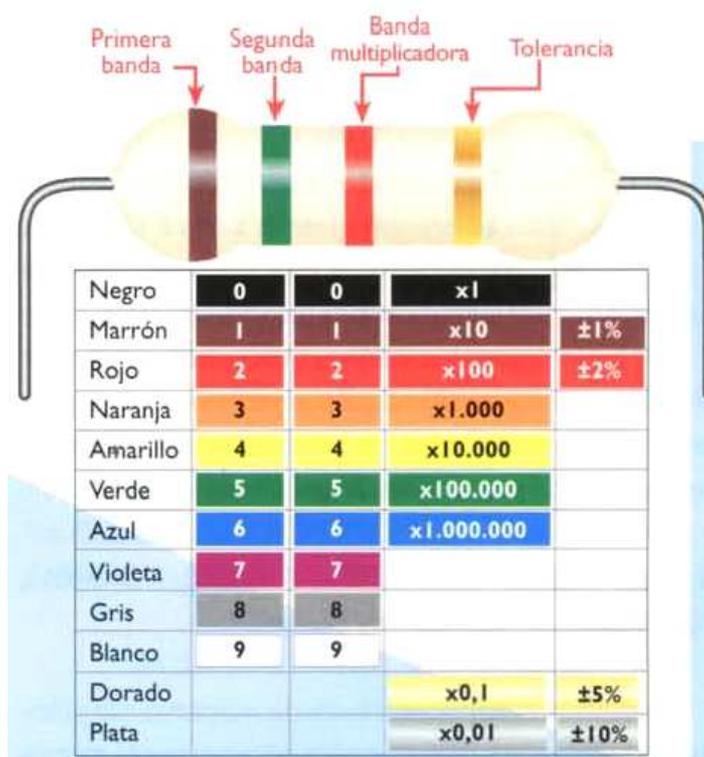


Figura 2.11 Codificación de resistencias, Tomado de [11]

Las resistencias presentan:

- Valor óhmico de la resistencia, que determina la caída de voltaje.

- Potencia, las resistencias vienen normalizadas de acuerdo a la potencia máxima que pueden disipar en forma de calor
- Tolerancia.

2.2.1.2 CONDENSADORES

Los condensadores (capacitores) están conformados principalmente por dos placas conductoras separados por un material aislante llamado dieléctrico, el cual puede ser papel, cerámica, mica, aire, entre otros (Fig 2.12).

EL valor de un condensador expresa la habilidad que tiene éste para almacenar cargas eléctricas, que se denomina capacidad y sus unidades son los Faradios (f), aunque en la práctica se utilizan valores menores, como el micro y pico faradio.

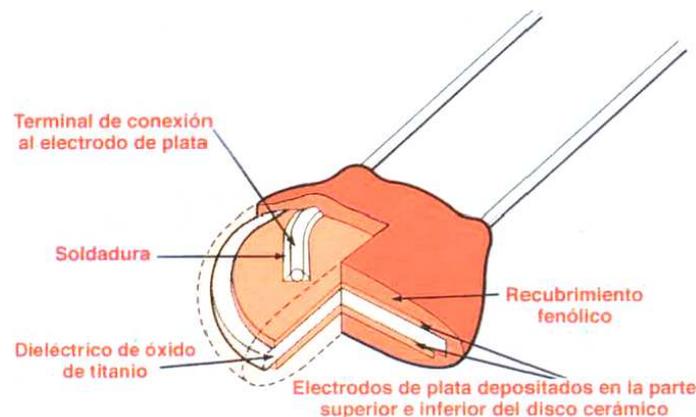


Figura 2.12 Características de un condensador, Tomado de [11]

Los condensadores electrolíticos están diseñados para tener una capacidad más elevada. El material utilizado como dieléctrico es una sustancia electrolítica y pueden ser de aluminio o de tantalio (figura 2.13)

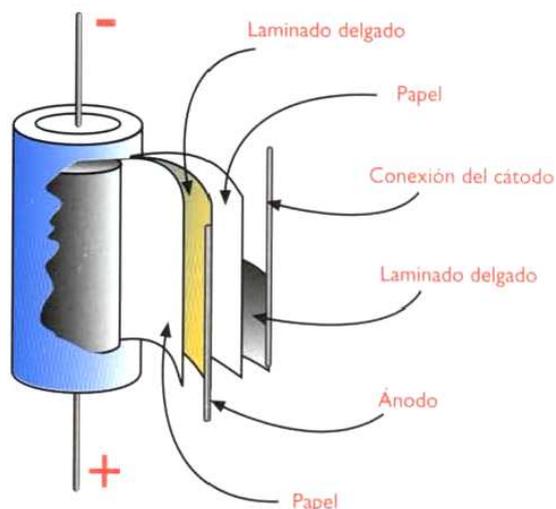


Figura 2.13 Partes de un condensador electrolítico, Tomado de [11]

Criterios de selección:

- **Capacidad:** Es la posibilidad de almacenar carga, al aplicar un voltaje determinado
- **Tolerancia**
- **Voltaje de operación:** es el voltaje máximo que puede soportar un condensador sin destruirse.
- **Coeficiente de temperatura:** expresa la variación de la capacidad de un condensador con la variación de la temperatura, pudiendo ser positivo o negativo.
- **Uso que se le va a dar:** no todos los condensadores reaccionan de igual forma dependiendo de la señal de entrada.

De acuerdo a las normas estándar de Japón (JIS), los condensadores se los identifica de la siguiente manera (Fig 2.14):

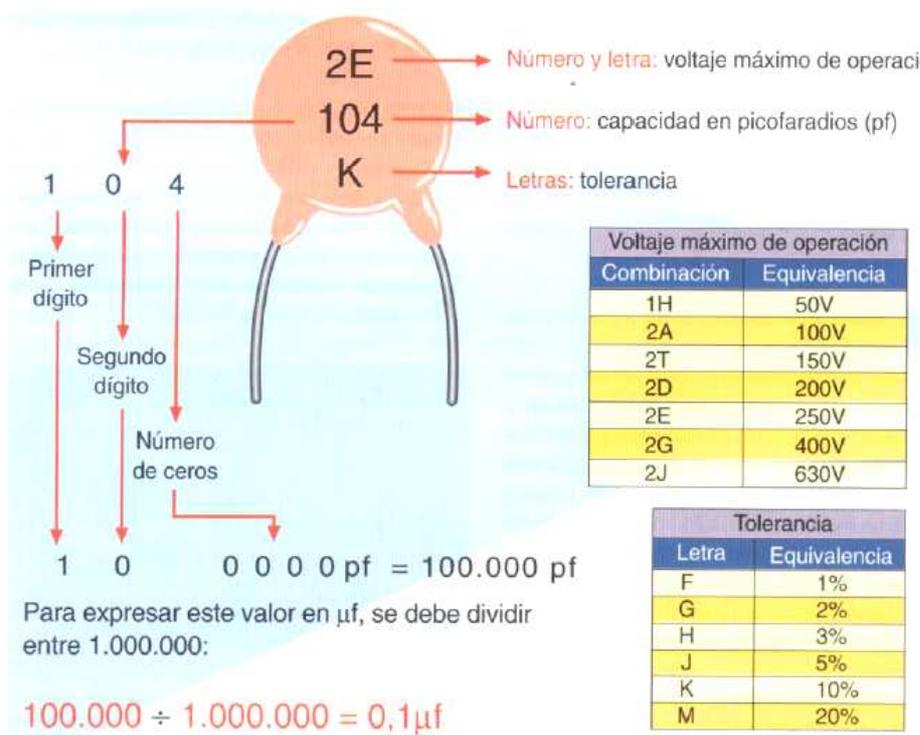


Figura 2.14 Codificación de Condensadores, Tomado de [11]

2.2.1.3 BOBINAS

Las bobinas se basan en el principio de la autoinductancia para su funcionamiento, tienen la propiedad de almacenar temporalmente energía eléctrica en forma de corriente y oponerse a la misma.

Autoinductancia: cuando se somete a un campo magnético a un conductor (en este caso la bobina) se induce un voltaje en los extremos, que a su vez produce una corriente; esta corriente de acuerdo a la ley de Lenz es la que se opone a los cambios de la corriente que produce el campo magnético.

Criterios de selección para las bobinas:

- **Número de vueltas de Bobina:** la inductancia aumenta en forma proporcional al cuadrado del número de espiras.
- **Área (diámetro) de cada vuelta:** el diámetro de la bobina es directamente proporcional a la inductancia.
- **Permeabilidad del núcleo:** La inductancia de una bobina depende de la facilidad con que el núcleo puede ser atravesado por un campo magnético.

- **Longitud:** manteniendo el número de espiras constantes, pero al aumentar la longitud de una bobina, la inductancia disminuye, es decir la longitud de la bobina afecta inversamente a la inductancia.

La unidad de la inductancia es el henrio (L).

2.2.2 COMPONENTES ACTIVOS

Son aquellos que sirven para controlar voltajes, corrientes y que pueden crear una acción de amplificación o de conmutación. Entre éstos se tienen:

- Diodos
- Transistores
- Circuitos integrados
- Tiristores
- Transductores, entre otros

2.2.2.1 DIODOS

EL diodo es el elemento semiconductor más importante, se puede decir que el diodo es como una compuerta de la corriente eléctrica que deja pasar el flujo de electrones en un solo sentido, es decir dependiendo de la dirección de la corriente, el diodo se puede comportar como aislante o como conductor.

Si el terminal positivo de la fuente se conecta al cátodo del diodo se dice que está polarizado indirectamente, en esta situación el diodo se comporta como aislante, ya que el terminal positivo de la fuente atrae los electrones del cátodo, y el terminal negativo atrae los protones del ánodo, aumentando la zona de agotamiento y por ende impidiendo el flujo de electrones (Fig 2.15).

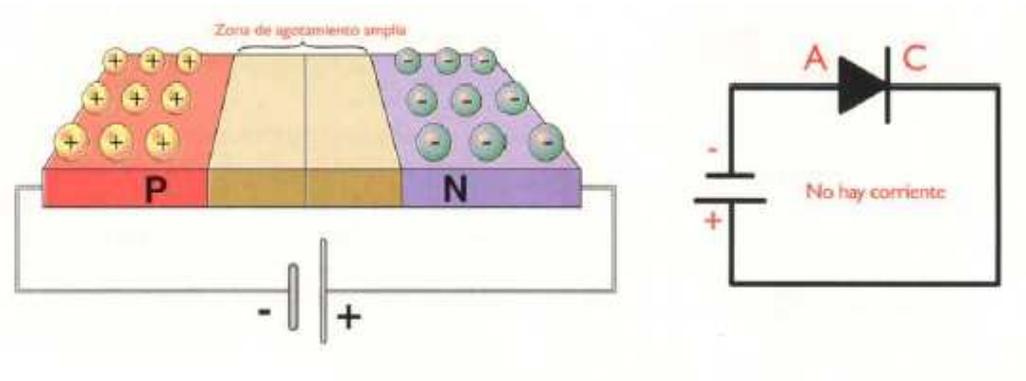


Figura 2.15 Polarización Inversa en un diodo, Tomado de [11]

Si el terminal positivo de la fuente se conecta al ánodo del diodo se dice que está polarizado directamente, en esta situación el diodo se comporta como conductor, ya que el terminal positivo de la fuente repele los protones del ánodo y lo mismo hace el terminal negativo con los electrones del cátodo, disminuyendo la zona de agotamiento y por ende permitiendo el paso de los electrones (fig. 2.16)

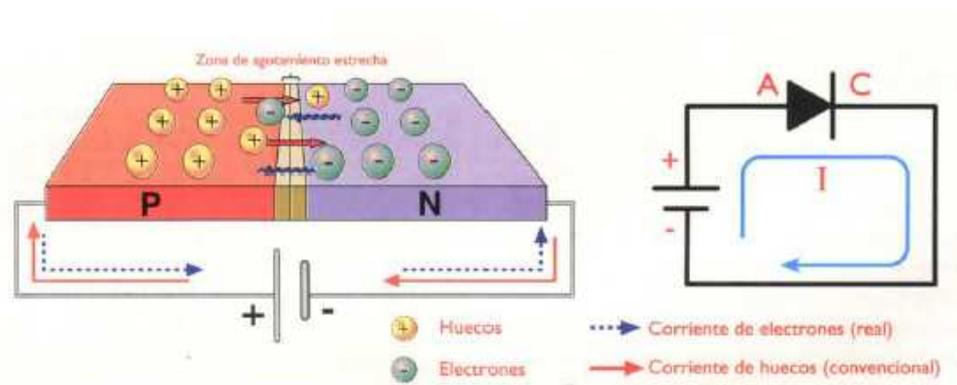
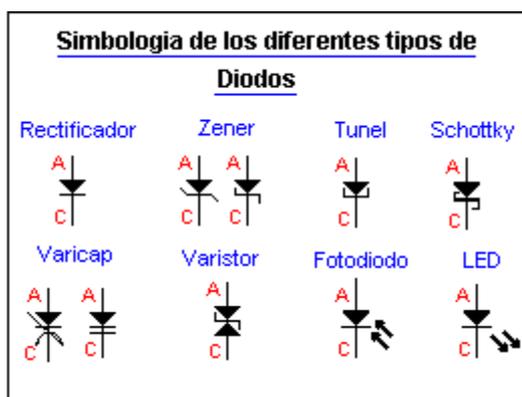


Figura 2.16 Polarización directa en un diodo, Tomado de [11]

Según su fabricación, utilización y características eléctricas los diodos se pueden clasificar en dos grupos, el primero lo comprenden los más utilizados que son: Diodos rectificadores, LED y los diodos Zenner; el segundo grupo lo conforman los diodos no tan comunes, como son los Diodos Láser, túnel, Schottky, PIM, Gumm y los fotodiodos (fig. 2.17)

Figura 2.17 Tipos de Diodos



Fuente: <http://img30.picoodle.com>

2.2.2.1.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN

- **Corriente Máxima (IF):** Es la corriente máxima que puede conducir en polaridad directa sin destruirse por sobrecalentamiento
- **Voltaje de conducción directa (VF):** Es el valor de la caída de voltaje en un diodo polarizado directamente, como resultado de la corriente que circula.
- **Voltaje de ruptura o de avalancha (VBR):** Es el voltaje que hace que el diodo conduzca cuando está polarizado inversamente, voltaje que incluso destruye al diodo.
- **Corriente inversa de fuga (IR):** Es la corriente que circula a través de un diodo polarizado indirectamente, idealmente es cero pero en la realidad puede ser del orden de los microamperios
- **Tiempo de recuperación inverso (TRR):** Expresa el tiempo que tarda la unión PN en desalojar la carga eléctrica que acumula, cuando se haya polarizado inversamente.

Existen tres sistemas de nomenclatura: el americano, europeo y 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. En el sistema europeo se utilizan dos letras como por ejemplo BY254, donde B indica el material y el tipo. En el sistema japonés se asigna una I para identificar que es un diodo, seguido de una S y un número que determina las

características del diodo, por ejemplo IS922. Reglas que no siempre se cumplen por los fabricantes.

2.2.2.2 TRANSISTOR

El transistor es un elemento electrónico que está conformado por tres terminales, en donde, la resistencia de dos de ellos (colector y emisor) depende del nivel de corriente o voltaje aplicado al tercero (base)

Existen dos grupos de transistores, los transistores bipolares, y los de efecto de campo o FET (fig. 2.18).

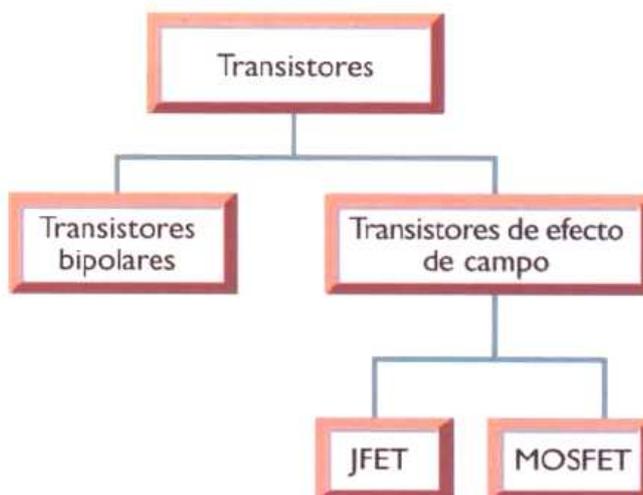


Figura 2.18 Clasificación de los transistores, Tomado de [11]

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 (fig. 2.19).

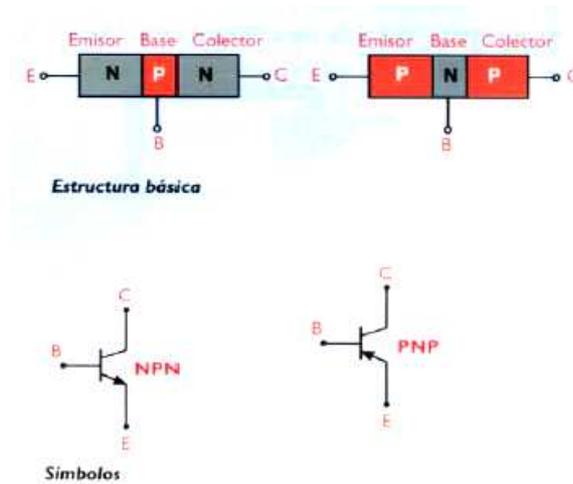


Figura 2.19 Junta PNP y NPN en Transistores Bipolares, Tomado de [11]

Cuando se suministra un voltaje fijo de CC a los terminales de un transistor como se indica en la fig. 10.6, se producen tres corrientes, la de base (I_B), la de colector (I_C) y la del Emisor (I_E) (Fig 2.20)

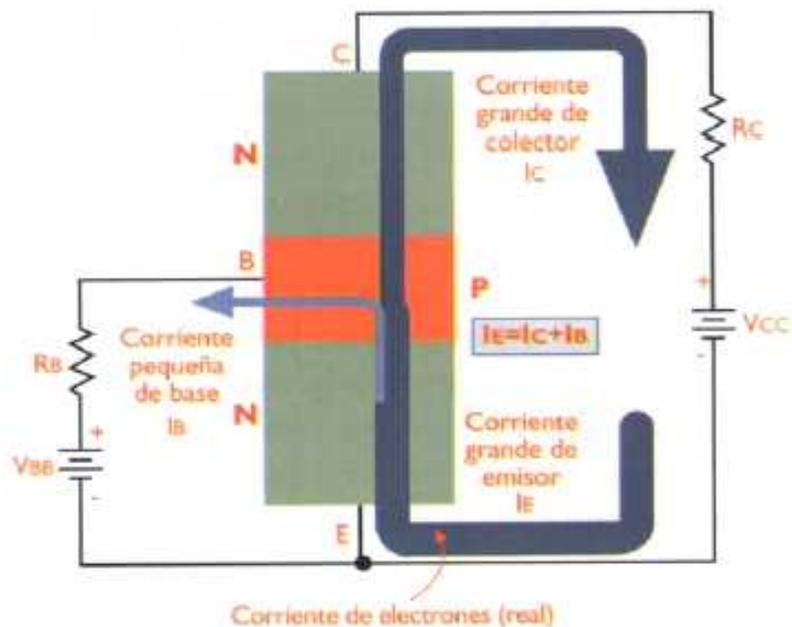


Figura 2.20 Funcionamiento de un Transistor, Tomado de [11]

Los transistores de efecto de campo se dividen en dos grupos, los FET de juntura o JFET y los MOSFET o FET de semiconductor de óxido metálico. En este tipo de transistores existen tres terminales denominados: Fuente (S) Drenador o sumidero (D) y Compuerta (G)

Los transistores JFET se fabrican con una base o sustrato de material semiconductor, que puede ser de tipo P o N, dentro del cual se forma una región de material con polaridad opuesta en forma de U llamada, ligeramente dopado. El sustrato actúa como compuerta (gate G), uno de los extremos del canal como fuente (source S) y el otro como drenador (drain D), por tanto, entre la compuerta y el canal se forma una juntura o unión PN (Fig 2.21)

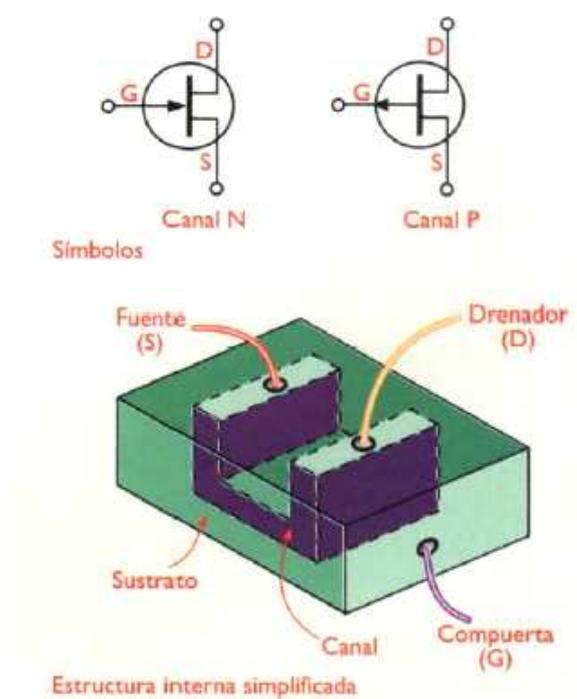


Figura 2.21 Transistores JFET, Tomado de [11]

El efecto neto de la polarización de un transistor JFET es la creación entre drenador y fuente, de una corriente de drenaje (I_D), la cual circula a lo largo del canal y depende del voltaje aplicado a la compuerta, por lo tanto el canal actúa como una resistencia variable. (Fig 2.22)

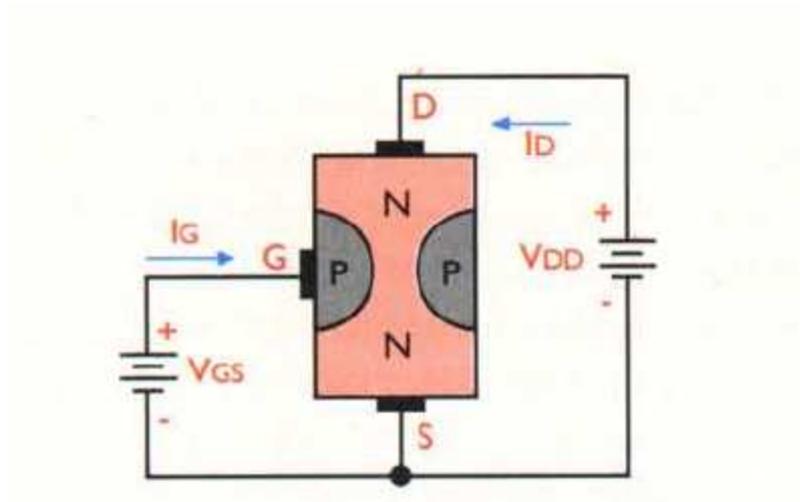


Figura 2.22 Circulación de corriente en un transistor JFET, Tomado de [11]

La capacidad de amplificación de un FET se mide observando el efecto del voltaje V_{GS} sobre la I_D para un determinado valor de V_{DS} . La relación incremental entre ambas cantidades se denomina Transconductancia y se designa por el símbolo g_m o g_{fs} .

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \quad (2.25)$$

En un MOSFET el canal se forma dentro del sustrato, pero a diferencia de un JFET, este último está conectado eléctricamente a la fuente y no a la compuerta. Aunque la compuerta y el canal ya no forman una unión PN, la compuerta sigue siendo el Terminal que controla la conductividad del canal (Fig 2.23).

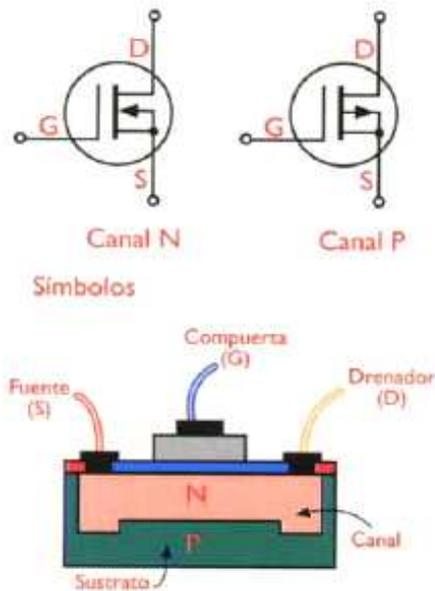


Figura 2.23 Transistor Mosfet, Tomado de [11]

Los transistores IGBT, (Transistor bipolar de compuerta aislada) son la combinación de un transistor bipolar y un FET, ya que en la entrada se comportan como un FET de compuerta aislada y en la salida como un transistor bipolar de potencia. Esta combinación les brinda buenas características como interruptores de potencia, reemplazando otros semiconductores como los MOSFET de potencia y los tiristores o elementos electromecánicos, tales como los relés, o los contactores, los cuales sufren desgaste mecánico.

Los IGBT son muy similares en su estructura física a los MOSFET de potencia, pero se asemejan más a los transistores bipolares en su operación eléctrica y al igual que éstos los IGBT pueden ser PNP o NPN. (fig. 2.24)

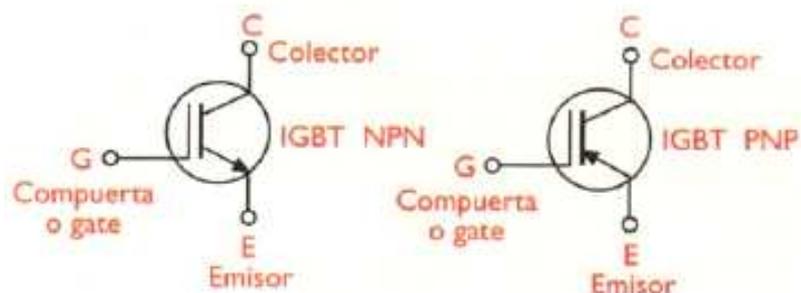


Figura 2.24 Transistor IGBT, Tomado de [11]

2.2.2.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Además del tipo, bipolares, FET, IGBT, etc. y del material con el que se fabrican (Germanio o silicio), los transistores bipolares se diseñan con diferentes características dependiendo de su uso, las principales son:

- **Voltaje colector- emisor (VCEO):** es el voltaje máximo que se puede aplicar entre colector y emisor con la base abierta (desconectada), sin que el dispositivo se averíe.
- **Voltaje colector Base (VCBO):** es el máximo voltaje que se puede aplicar entre colector y base con el emisor desconectado.
- **Corriente de Colector (IC):** es la máxima corriente en amperios que puede circular por el colector del transistor.
- **Potencia disipada (PD):** es la máxima potencia en vatios que puede manejar el transistor.
- **Ganancia de corriente (hfe):** es las veces que se amplifica la corriente de base, también llamada beta (B)
- **Frecuencia de trabajo o de corte: (fr):** es la máxima frecuencia de la señal con la cual puede trabajar el transistor como amplificador
- **Encapsulado:** es la forma, material y tamaño del empaque físico exterior.

El sistema americano asigna para los transistores el número 2 seguido por la letra N y luego un número entre 100 y 9999, aunque en algunos casos también asigna al final las letras A, B o C, que determina si la ganancia es pequeña, media o alta respectivamente, Ejemplo: 2N2222A

El sistema europeo utiliza primero las letras A o B, si el material es de germanio o silicio, luego otra letra (C, D, F, L, y U) según la potencia y la frecuencia, después otra letra (W, X, Y y Z) según el uso, y por último, varios números entre 100 y 9999. Ejemplo BC108

En el sistema japonés, se identifica con el número 2, luego la letra S, luego otra letra (A, B, C y D) según el tipo y la frecuencia de trabajo y por último, varios números entre 10 y 9999. Por ejemplo 2SA1187.

2.2.2.3 CIRCUITOS INTEGRADOS

Los circuitos Integrados, son circuitos electrónicos completos, en los cuales todos los componentes, incluyendo transistores, diodos, resistencias, condensadores, y conductores, se organizan sobre un chip o pastilla semiconductora de silicio pequeña.

Los circuitos integrados son de varios tipos dependiendo de su función específica, su grado de complejidad, el tipo de señales que manejan, la tecnología de fabricación, y otros criterios, dependiendo del número de componentes integrados los circuitos pueden ser de pequeña escala (SSI), mediana escala (MSI), escala alta (LSI) y escala muy alta (VLSI)

Dependiendo de la señal de entrada los circuitos pueden ser análogos o lineales, digitales y mixtos, los circuitos análogos trabajan con señales que pueden tomar un número infinito de valores entre un máximo y un mínimo. Los circuitos digitales trabajan con señales binarias, que toman solo dos valores posibles 1 o 0, (on off), entre este tipo de chips tenemos las compuertas, los multivibradores, los codificadores, los contadores, los registros, los micro controladores, los microprocesadores, etc.

Dependiendo del método de fabricación los circuitos se pueden dividir en monolíticos e híbridos, los monolíticos se caracterizan por tener todos sus componentes asociados e interconectados entre sí de forma totalmente inseparable. Los circuitos híbridos por su parte se caracterizan porque combinan en una misma cápsula componentes integrados con componentes discretos, pero cada uno de ellos mantiene su identidad, es decir, es separable del resto.

Los circuitos integrados se identifican por medio de una referencia conformada generalmente por letras y números la cual va impresa en la cápsula, además de la marca del fabricante y otros datos, como la fecha de fabricación, el número de lote de producción, entre otros. Ejemplos: LM555, CD4047B, ICL7106

En la actualidad existe un sinnúmero de referencias de circuitos integrados, que solamente por medio de los manuales de cada fabricante se puede conocer la función de un determinado circuito integrado.

CAPÍTULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO

En este capítulo se desarrolla el estudio técnico de los tres tipos de cocinas: cocinas de inducción, cocinas de resistencia eléctrica y cocinas a gas. Se presentan las propiedades y características de cada tecnología. En cuanto a la tecnología de Inducción se presenta una descripción detallada de una cocina.

3.1 CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

EL Calentamiento por inducción se basa en las leyes de la inducción magnética (Ley de Faraday y ley de Ampere) en combinación con el efecto joule. Al pasar cierto tipo de corriente por un dispositivo llamado inductor, que generalmente es el arrollamiento bobinado de un conductor, se genera un campo magnético, como lo establece la ley de Ampere. [15]

$$NI = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = Hl \quad (3.1)$$

Donde: N es el número de espiras del inductor

I es la corriente que lo atraviesa

H es el campo magnético

L es la longitud del circuito

Si la corriente que pasa por el inductor es variante en el tiempo, el campo magnético producido también lo será, con lo cual se obtendrá un flujo magnético alterno. Según como establece la ley de Faraday, en toda sustancia conductora que se encuentre dentro de un campo magnético variable, se producirá una fuerza electromotriz cuyo valor es:

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_m}{dt} \quad (3.2)$$

Donde: \mathcal{E} , fem inducida

N , número de espiras del inductor

ϕ_m , flujo de campo magnético

Finalmente el calentamiento de la pieza se produce al generarse dentro de éstas corrientes inducidas de Foucault o de Eddy, las cuales disipan energía en forma de calor según como lo establece la ley de Joule. (Fig 3.1)

$$P = I^2 R_{eq} \quad (3.3)$$

Donde P , potencia disipada

I , corriente de Foucault o de Eddy

R_{eq} , resistencia equivalente de la pieza a calentar.

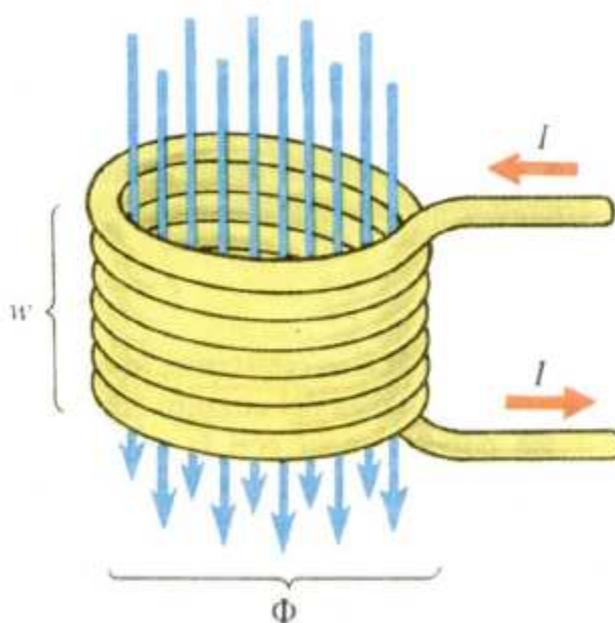


Figura 3.1 Fenómeno del calentamiento por inducción, Tomado de [17]

En vista de que la resistencia del material a calentar es pequeña, para que se disipe potencia en forma de calor, es necesario que la corriente inducida sea alta, según lo establece el efecto joule.

La disipación de calor mediante el efecto joule se da en el interior de la sustancia que se va a calentar, donde se han inducido las corrientes, es por esto que el calentamiento por inducción magnética es un método de calentamiento de materiales conductores en el que no hay transferencia de calor desde una fuente externa, de modo que no hay pérdidas de energía por procesos de transferencia de calor como conducción, radiación o convección. Es decir, desde el inductor se transfiere energía “electromagnética” que se convierte en energía “calórica” directamente en el material a calentar. [25]

La transferencia de energía desde el inductor a la pieza es similar a un transformador, en donde el primario es el inductor y el secundario es la superficie de la pieza, pero solo de una espira (Fig 3.2)

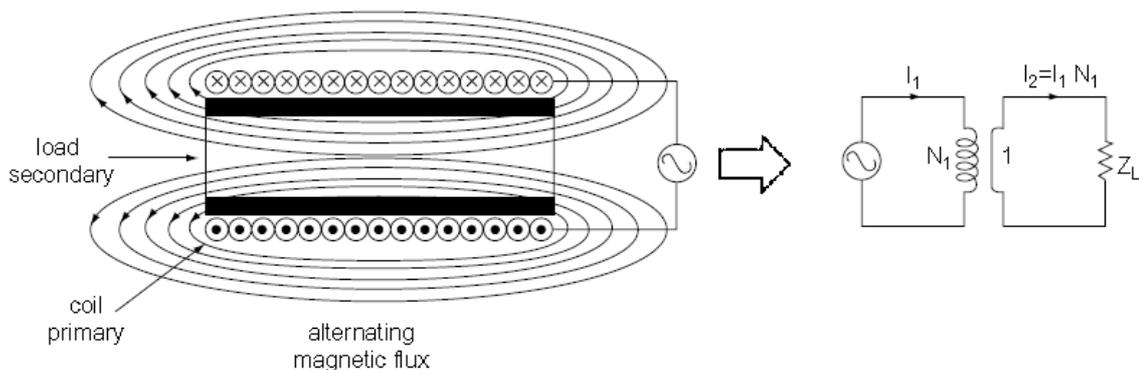


Figura 3.2 Circuito simplificado del calentamiento por inducción, Tomado de [25]

En el calentamiento del material no hay piezas en contacto directo con el elemento a calentar, tampoco hay gases de combustión, ni cualquier otro elemento que limite la posición o forma del material a calentar.

3.1.1 PROPIEDADES DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN MAGNÉTICA [15]

El control del proceso de calentamiento se tiene a través de dispositivos electrónicos, por lo que es fácil determinar la cantidad de calor que se entrega a la pieza y se puede controlar las temperaturas o la evolución de temperaturas en función del tiempo.

La bobina inductora no necesariamente debe tener forma de solenoide ya que cualquier conductor por el cual circule una corriente alterna producirá un campo magnético variable necesario para inducir corrientes y calentar las piezas situadas en su proximidad. Se puede decir que no existen limitaciones en las dimensiones y forma del material a calentar. Lo que supone otra ventaja ya que aparte de calentar elementos de cualquier forma y dimensiones, se puede calentar la sección deseada e incluso se puede calentar diferentes zonas de la pieza con la misma o diferente temperatura mediante el diseño de la geometría del inductor o la asociación de ellos.

En el calentamiento por inducción no existe un flujo de calor desde la fuente hacia el elemento, como sería en el caso del calentamiento mediante llama o mediante un elemento calefactor como una resistencia eléctrica o un radiador, es por esto que mediante la inducción el cuerpo a calentar se puede llevar a una temperatura mayor que la temperatura de la fuente, de este modo se pueden conseguir, prácticamente sin limitaciones, grandes densidades de potencia en el material a calentar.

Gracias al efecto piel, que se indicará más adelante, se puede utilizar la energía transmitida para calentar solo la superficie del material, lo que supone, frente a otros procesos de calentamiento, un ahorro sustancial de energía.

3.1.2 APLICACIONES DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN [17]

La aplicación del calentamiento por inducción es muy amplia, principalmente en la industria de transformaciones metálica, aunque actualmente mediante el desarrollo de circuitos electrónicos de control más eficientes el calentamiento por inducción se aplica también para la cocción de alimento. Se tiene en:

- Tratamientos térmicos.
- Forja
- Fusión
- Soldadura
- Cocinas de Inducción

- Sellado de Envases
- Curado de adhesivos y pastas sellantes (bonding)
- Fabricación de Semiconductores
- Sobrecalentamiento de gases ionizados

3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN. [15]

La eficiencia energética y térmica del proceso de calentamiento por inducción dependen principalmente de dos características:

- El efecto piel que caracteriza la distribución de las corrientes inducidas en la pieza. Al aumentar la penetración del campo magnético, disminuye su intensidad, y por ende las corrientes inducidas.
- La potencia disipada en la pieza caracteriza el rendimiento del fenómeno eléctrico.

Los parámetros más importantes que intervienen en el proceso de calentamiento por inducción son:

- La frecuencia de la corriente
- La naturaleza del material a calentar y su estado
- 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.

La energía disipada y la distribución de corrientes en la pieza pueden determinarse utilizando las ecuaciones de Maxwell, ya que combinan y sintetizan la relación entre la electricidad y el magnetismo.

Se puede dar solución analítica a las ecuaciones con aproximaciones, aunque en la mayoría de casos es conveniente obtener soluciones numéricas.

3.1.4 EFECTO PIEL, PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN

El espesor del elemento a calentar influye en la distribución de la corriente inducida, esta distribución no es uniforme a lo largo del espesor, ya que a medida que la profundidad aumenta la densidad de corriente es menor. El efecto se puede resumir de la siguiente manera:

“Cuanto más grande sea la frecuencia de las corrientes en un conductor, la concentración de éstas será mayor en la superficie”.²

Para un cilindro de radio lo suficientemente grande se puede calcular P , potencia total disipada y J , densidad de corriente que atraviesa la pieza, mediante las siguientes ecuaciones:

$$P = \int_0^{\infty} P_0 e^{-\frac{2x}{\delta}} dx = P_0 \frac{\delta}{2} \quad (3.4)$$

$$J = \int_0^{\infty} J_0 e^{-\frac{x}{\delta}} dx = j_0 \delta \quad (3.5)$$

Donde P_0 , Potencia disipada en la superficie

J_0 , Densidad de corriente en la superficie

δ , Profundidad estándar de penetración

Si en las ecuaciones anteriores se reemplaza $x = \delta$ se tiene que:

$$P(\delta) = P_0 \frac{1}{2e} \approx 0.13 P_0 \quad (3.6)$$

² GÓMEZ, Esteve; Tesis doctoral “Influencia de los componentes parásitos en el análisis y diseño de inversores resonantes paralelo para aplicaciones de calentamiento por inducción”; Universidad de Valencia; 1999. Página 8.

$$J(\delta) = J_0 \frac{1}{e} \approx 0.37 J_0 \quad (3.7)$$

Por lo tanto, en la capa de espesor δ se tiene 87% de la potencia total disipada debida a un 63% de la densidad total de la corriente. Por lo tanto, se puede afirmar que el efecto calórico se encuentra en esta zona.

La Figura 3.3 representa la distribución de la corriente y la potencia disipada desde la superficie hacia el interior del elemento a calentar.

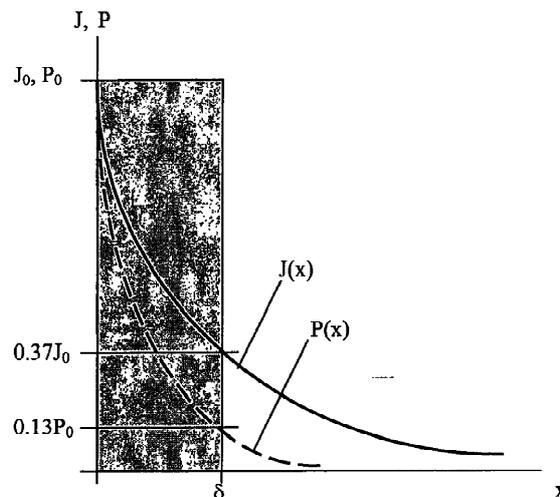


Figura 3.3 Distribución de la corriente y potencia en función de la profundidad, Tomado de [15]

La profundidad estándar de penetración puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0 \mu_r}} \quad (3.8)$$

Donde: ρ , Resistividad del material.

μ_0 , Permeabilidad magnética del vacío $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$.

μ_r , Permeabilidad magnética relativa del material.

f , Frecuencia de trabajo.

La profundidad de penetración aumenta cuando la resistividad eléctrica del material es mayor, y disminuye cuando la frecuencia es alta o cuando aumenta la permeabilidad relativa del material a calentar.

En la figura 3.4 se puede ver la profundidad de penetración para varios materiales, en función de la frecuencia de trabajo.

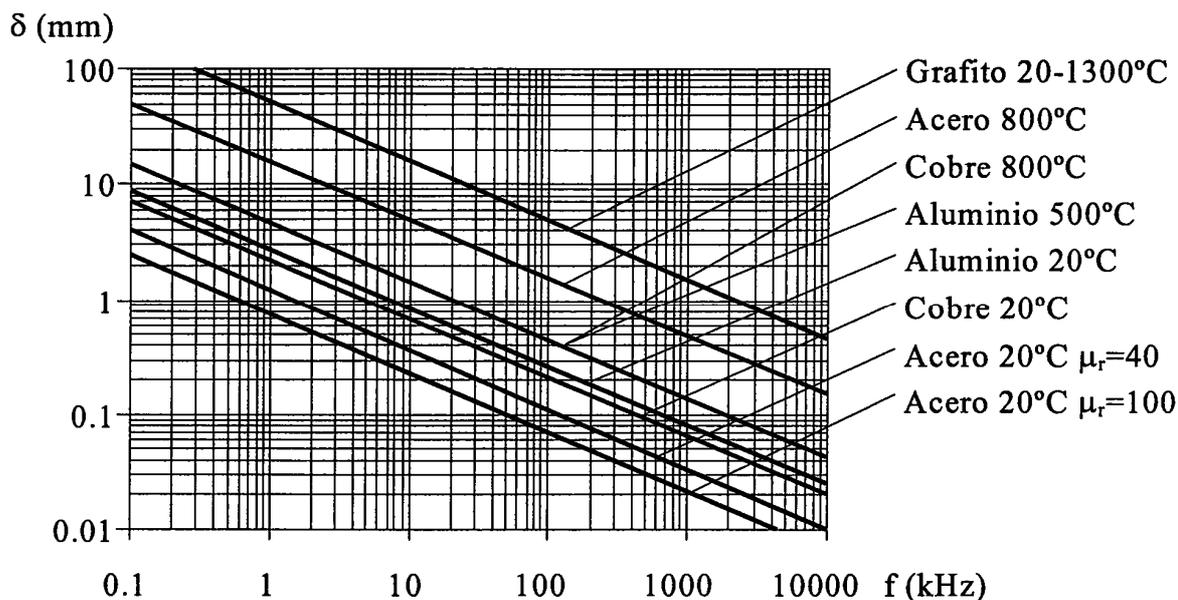


Figura 3.4 Profundidad de penetración en función de la frecuencia para varios materiales, Tomado de [15]

Por lo tanto, la elección adecuada de la frecuencia de trabajo es fundamental para el funcionamiento de los equipos de calentamiento por inducción.

3.1.5 RESISTENCIA EQUIVALENTE [7]

La determinación de este parámetro es importante para poder cuantificar la potencia disipada en una unidad de calentamiento por inducción, como se explicó anteriormente, el calentamiento se da por el efecto Joule (Ecuación 3.3), en donde análogamente a un transformador el circuito secundario es la pieza a calentar, pero en este caso solo cuenta con una espira por donde circula la corriente inducida, la cual posee una resistencia equivalente que se puede determinar de la siguiente forma:

$$R_{eq} = R_S K_R S \frac{N^2}{l^2} \quad (3.9)$$

Donde:

R_S , Resistencia superficial del material a calentar dado por:

$$R_S = \frac{1}{\sigma \delta} = \frac{\rho}{\delta} \quad (3.10)$$

El valor de K_R viene dado por:

$$K_R = 1 - e^{-\frac{2r}{\delta}} \quad (3.11)$$

Y;

S, Superficie calentada de la pieza

N, Número de espiras

l, Longitud total del inductor.

Para piezas con geometría cilíndrica la expresión de la resistencia equivalente puede escribirse como:

$$R_{eq} = K_R N^2 \rho \frac{2\pi r}{l\delta} \quad (3.12)$$

3.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES DE LA COCINA DE INDUCCIÓN.

Para un mejor conocimiento del diseño y funcionamiento de las cocinas de inducción, dentro del proyecto se analizó una cocina de inducción importada cuyas especificaciones son las siguientes:

Marca: POVOS

Modelo: PC20N-PK

Potencia nominal: 1000W

Voltaje de entrada: 110V

Frecuencia de entrada: 60Hz

La cocina es de procedencia China, de la compañía Shanghai POVOS Enterprise (Group) Co. Ltd. Se encuentra en el mercado ecuatoriano, y se la puede adquirir a un Precio de 49.50 USD, su manual se tiene en el Anexo C

PARTES DE LA COCINA DE INDUCCIÓN:

A continuación se describen cada una de las partes de la cocina de inducción, las mismas que son (Fig 3.5):

- Circuito de Potencia
- Circuito de Control
- Bobina
- Placa vitrocerámica
- Disipador de Calor
- Ventilador
- Panel de control
- Bastidor inferior



Figura 3.5 Partes de la cocina de inducción, Fuente propia

3.2.1 CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito de potencia es el encargado de convertir la corriente de entrada de 60 Hz en corriente de frecuencia alta de 24KHz; lo hace por medio de un circuito resonante paralelo, un rectificador y un transistor IGBT como se muestra en la figura 3.6:

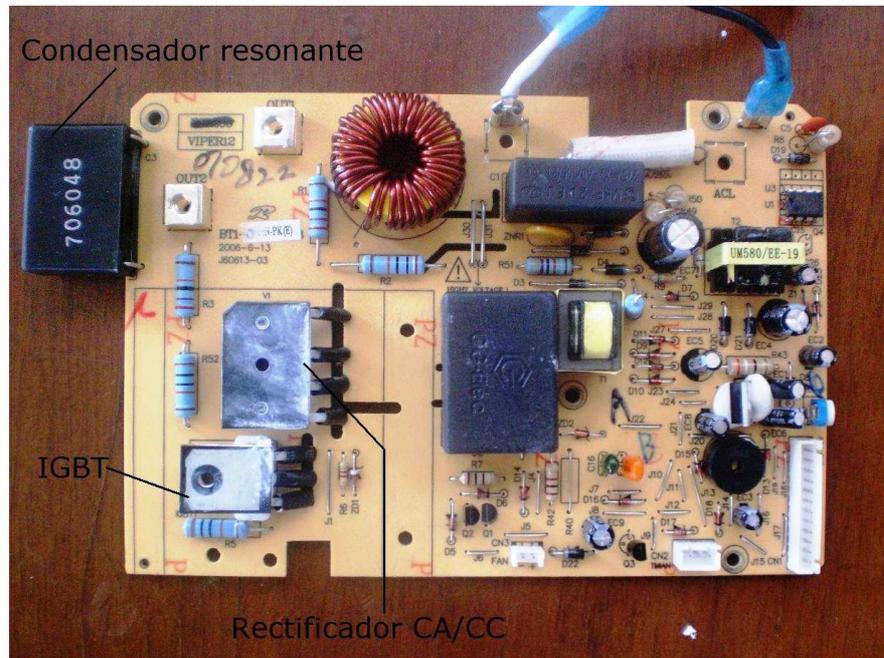


Figura 3.6 Circuito de Potencia, Fuente propia

3.2.2 CIRCUITO DE CONTROL

Es el circuito mediante el cual el usuario puede controlar las opciones del artefacto, como son encendido y apagado, el nivel de potencia o las temperaturas alcanzadas, las opciones preestablecidas de cocción y el Tiempo (Fig 3.7).

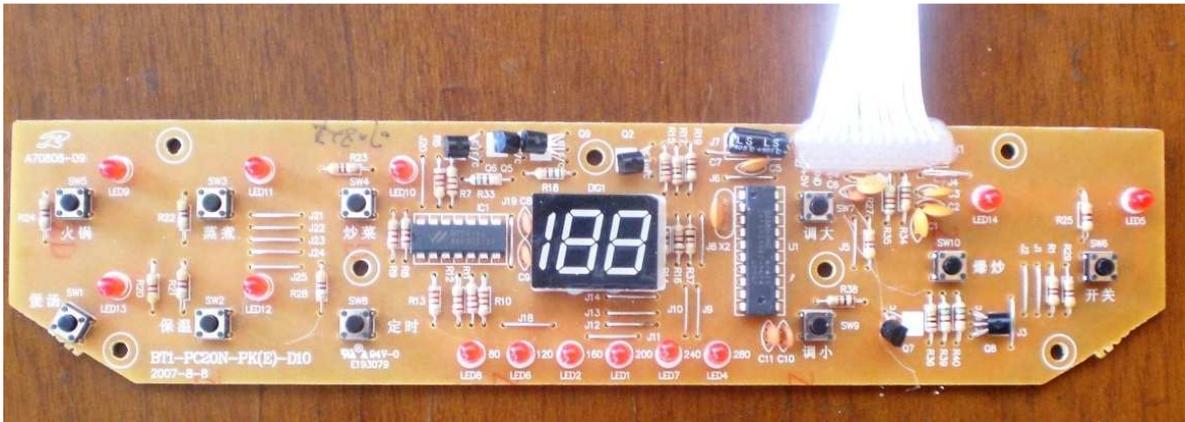


Figura 3.7 Circuito de Control, Fuente propia

3.2.3 BOBINA

Es una Bobina Plana, multifilar, conformada por 28 alambres de cobre electrolítico aislado, entorchados helicoidalmente de calibre 0.5 mm.

La bobina está conformada por 22 espiras, con un diámetro externo de 16 cm y un diámetro interno de 4.2 cm. Va dispuesta sobre una base de plástico, la cual tiene 6 núcleos de ferrita, que redireccionan el campo magnético en la parte inferior, para que éste no afecte el funcionamiento del circuito de potencia (Fig 3.8 y Fig 3.9)

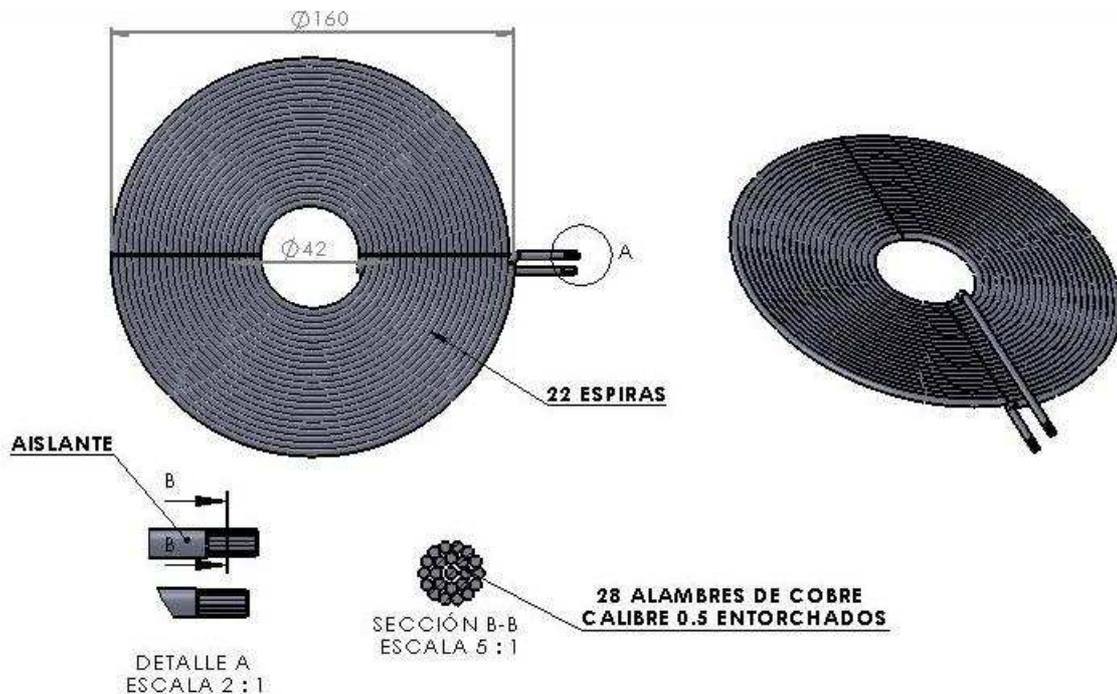


Figura 3.8 Esquema de la bobina, Fuente propia



Figura 3.9 Bobina (Vista Inferior) , Fuente propia

3.2.4 PLACA VITROCERÁMICA

Esta placa es la encargada de no permitir la transferencia de calor desde la olla hacia la cocina, con lo que se minimizan las pérdidas por conducción hacia el bastidor, también mediante este aislamiento térmico se protege tanto a la bobina como a los circuitos (Fig 3.10)



Figura 3.10 Placa Vitrocerámica, Fuente propia

Esta placa tiene un coeficiente de dilatación térmica mínima, entre los $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ es prácticamente cero.

3.2.5 DISIPADOR DE CALOR

La superficie extendida de aluminio, se utiliza para aumentar la transferencia de calor desde los componentes electrónicos de potencia (IGBT y Rectificador) hacia el medio ambiente; es un disipador de sección transversal uniforme. [1] En la parte superior cuenta con 15 aletas, mientras que en la parte inferior cuenta únicamente con 6. La unión entre los

elementos electrónicos y el disipador se hace por medio de pasta térmica, la cual disminuye la resistencia térmica de contacto (Fig 3.11 y Fig 3.12)

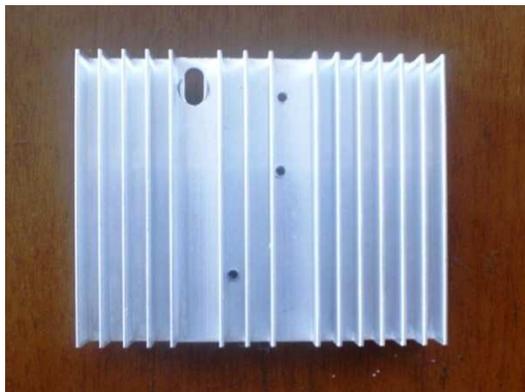


Figura 3.11 Disipador (Vista superior) , Fuente propia

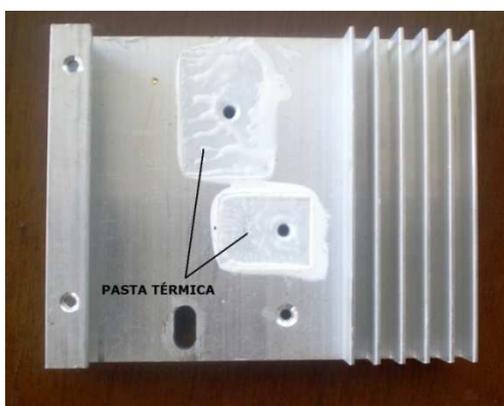


Figura 3.12 Disipador (Vista inferior) , Fuente propia

3.2.6 VENTILADOR

Es un ventilador axial de álabes helicoidales, la función que tiene es aumentar el coeficiente de transferencia de calor por convección sobre el disipador y en la bobina, para mantener la temperatura bajo condiciones de funcionamiento normales (Fig 3.13)



Figura 3.13 Ventilador, Fuente propia

3.2.7 BASTIDOR SUPERIOR Y PANEL DE CONTROL

El bastidor superior es el encargado de soportar la placa vitrocerámica y todos los elementos antes descritos. El panel de control va situado directamente en la parte superior del circuito de control, y en este se presenta la interfaz gráfica para controlar el funcionamiento de la cocina (Fig 3.14)



Figura 3.14 Panel de Control, Fuente propia

3.2.8 BASTIDOR INFERIOR

Al igual que el bastidor superior, éste también se encarga de albergar todos los elementos antes mencionados (Fig 3.15)



Figura 3.15 Bastidor inferior, Fuente propia

3.3 CALENTAMIENTO ELÉCTRICO ÓHMICO

3.3.1 EFECTO JOULE

El calentamiento en este tipo de cocinas se da mediante la circulación de corriente eléctrica a través de un elemento resistivo. Este fenómeno se conoce como Efecto Joule..

Este efecto se lo enuncia de la siguiente manera: “Si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo”³

3.3.2 CAUSAS DEL FENÓMENO

Los sólidos tienen generalmente una estructura cristalina, ocupando los átomos o moléculas los vértices de las celdas unitarias, y a veces también el centro de la celda o de sus caras. Cuando el cristal es sometido a una diferencia de potencial, los electrones son impulsados por el campo eléctrico a través del sólido debiendo en su recorrido atravesar la intrincada red de átomos que lo

³ SERWAY, Raymond; Electricidad y Magnetismo; Mc Graw hill; Tercera Edición USA; 1995.

forma. En su camino, los electrones chocan con estos átomos perdiendo parte de su energía cinética, en forma de calor.

Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". Matemáticamente se expresa como [12]

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (3.13)$$

Microscópicamente el efecto Joule se calcula a través de la integral de volumen del campo eléctrico \vec{E} por la densidad de corriente \vec{J} :

$$P = \iiint_V \vec{J} \cdot \vec{E} dV \quad (3.14)$$

Donde V es la diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

La resistencia es el componente que transforma la energía eléctrica en energía calorífica, (por ejemplo un hornillo eléctrico, una estufa eléctrica, una plancha etc.).

Mediante la ley de Joule se puede determinar la cantidad de calor que es capaz de entregar una resistencia, esta cantidad dependerá de la intensidad de corriente que por ella circule y de la cantidad de tiempo que esté conectada, luego se puede enunciar la ley de Joule diciendo que la cantidad de calor desprendido por una resistencia es directamente proporcional a la intensidad de corriente a la diferencia de potencial y al tiempo.

3.4 CALENTAMIENTO MEDIANTE COMBUSTIÓN DE GLP

3.4.1 DESCRIPCIÓN DEL GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos de petróleo los cuales son gaseosos a la temperatura y presión ambientales, que pueden licuarse aplicándole una presión moderada para facilitar su transporte y almacenaje. El GLP comercial contiene una mezcla de gases principalmente propano y butano. Adicionalmente, ambos productos pueden contener algunos componentes livianos (etanos) y pesados (pentanos). La siguiente tabla indica las propiedades independientes para el propano y el butano.

	Propano	Butano
Densidad a 15°C como líquido (kg/m ³)	500 - 510	570 - 580
Densidad a 15°C & 1 bar como vapor (kg/m ³)	1.86	2.46
Relación volumétrica de gas a líquido a 15 grados C y 1016 mbar	274	233
Punto de Ebullición grados C	- 45	- 2
Presión de vapor a 20 deg C, barg	9	2.5
Presión de vapor a 50 deg C, barg	19.6	7
Relación gas/aire normal requerida para combustión	1:24	1:30
Valor calorífico bruto (MJ/kg) @ a 0 °C & 1 bar	49.83	49.41
Valor calorífico bruto (MJ/m ³) @ a 0 °C & 1 bar (gas)	97.98	128.5
Formula Química	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀

Tabla 3.1 Propiedades del Propano y del Butano, [6].

3.4.2 COMBUSTION [4]

Para que la combustión tenga lugar deben coexistir tres factores:

- Combustible
- Comburente
- Energía de activación

Estos tres factores se representan en el denominado triángulo de combustión (Fig 3.16).

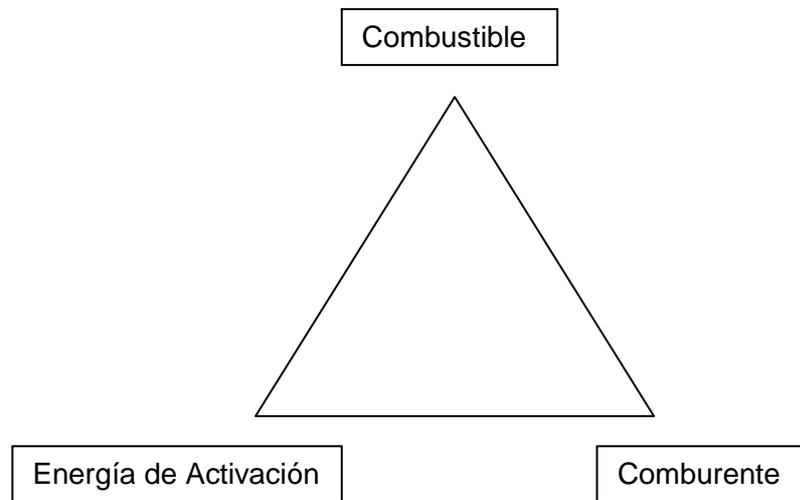


Figura 3.16 Triángulo de la combustión, Tomado de [6]

El aire se utiliza como comburente, compuesto aproximadamente por 21% Oxígeno (O₂) y 79% Nitrógeno (N₂); La energía de activación es el elemento desencadenante de la reacción de combustión; en los quemadores habitualmente suele obtenerse mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, llamas piloto o fósforos. El combustible está compuesto básicamente por Carbono (C) e Hidrógeno (H); además de estos componentes principales tienen otros como Azufre (S), Humedad (H₂O), Cenizas, etc.

En la práctica los combustibles derivados del petróleo pueden definirse de la forma C_xH_y, dando lugar a siguiente reacción química básica:



3.4.3 ESTEQUIOMETRIA DE LA COMBUSTIÓN

La estequiometria de la combustión se ocupa de las relaciones másicas y volumétricas entre reactivos y productos. Los aspectos a determinar son principalmente:

- Aire necesario para la combustión

- Productos de la combustión y su composición

Para predecir estas cantidades es preciso referirse a un proceso ideal que dependa de unos pocos parámetros, básicamente la naturaleza del combustible. Para definir este proceso ideal se consideran los tipos de combustión que pueden darse:

3.4.3.1 COMBUSTION COMPLETA

Conduce a la oxidación total de todos los elementos que constituyen el combustible. En el caso de hidrocarburos:

Carbono \rightarrow CO₂

Hidrogeno \rightarrow H₂O

Azufre \rightarrow SO₂

Nitrógeno \rightarrow N₂

Oxígeno \rightarrow Participará como oxidante

El Nitrógeno se considera como masa inerte, si bien a temperaturas altas de combustión puede distorsionarse formando óxidos de nitrógeno.

3.4.3.2 COMBUSTION INCOMPLETA

Los componentes del combustible no se oxidan totalmente por lo que aparecen los denominados inquemados, los más importantes son CO y H₂; otros posibles inquemados son carbono, restos de combustible, etc.

3.4.3.3 COMBUSTION ESTEQUIOMETRICA

Es la Combustión Completa realizada con la cantidad estricta de oxígeno; es decir, el aire empleado en la combustión es el mínimo necesario para contener la cantidad de oxígeno correspondiente a la oxidación completa de todos los componentes del combustible. La expresión de esta combustión es:



3.4.3.4 EXCESO DE AIRE

La mayor parte de las combustiones no transcurren en condiciones ideales (completa y estequiométrica), el principal aspecto a considerar será la posibilidad de que la combustión transcurra con exceso o defecto de aire, para caracterizar la proporción de oxígeno se define el parámetro “coeficiente de exceso de aire”:

n = volumen aire por unidad de combustible / Poder Combustivo

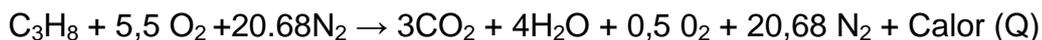
$n = 1$: Combustión Estequiométrica

$n < 1$: Defecto de aire, se dice que la mezcla es rica

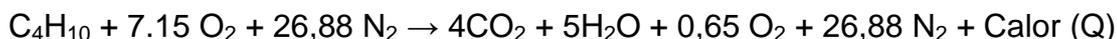
$n > 1$: Exceso de aire, se dice que la mezcla es pobre

La Combustión estequiométrica (ideal) que se da en las cocinas a gas es la siguiente:

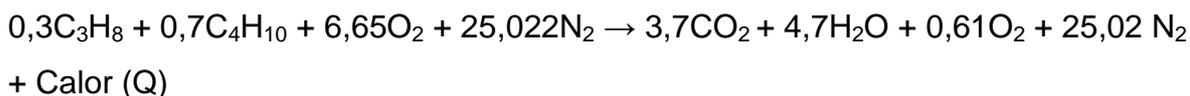
Combustión de Propano [24]



Combustión de Butano [24]



Combustión de GLP [24]



Pudiendo ser rica o pobre de acuerdo a la cantidad de aire que reaccione.

3.4.4 PODER CALORÍFICO [6]

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica y temperatura de 25 °C de los componentes de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible. Habitualmente se expresa en las siguientes unidades

- Combustibles sólidos: kWh/kg.
- Combustibles líquidos: kWh/kg ó kWh/l.
- Combustibles gaseosos: kWh/kg ó kWh/Nm³.

3.4.4.1 PODER CALORIFICO INFERIOR (PCI)

Es la cantidad de calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor.

3.4.4.2 PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS)

En los productos de la combustión el agua aparece en forma líquida, por lo que se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes del combustible.

3.4.4.3 RENDIMIENTO DE LA COMBUSTIÓN

El calor que puede obtenerse en una combustión es el correspondiente al poder calorífico superior o inferior. Al realizar la combustión una parte del calor producido se pierde, asociado a los productos de la combustión; estas pérdidas se pueden agrupar en dos tipos:

Perdidas por inquemados (Q_i) que corresponden a los productos de la combustión que no han sido totalmente oxidados. Se presentan en el caso de combustiones incompletas.

Entalpías de los productos de combustión (Q_{hs}) que corresponde al calor utilizado en calentar los humos hasta la temperatura a la cual escapan por la chimenea, que a partir de ese punto la energía que llevan no se recupera.

Estas pérdidas son mayores cuanto más altas sean las temperaturas de los gases. También aumentan con el exceso de aire. El rendimiento de combustión se expresa por:

$$\eta_c = \frac{PCI - Q_i - Q_{hs}}{PCI} \quad (3.15)$$

Para obtener el rendimiento máximo de combustión posible, deben ajustarse de modo que se logre la combustión completa con el menor exceso de aire posible.

3.4.5 QUEMADORES [5]

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben contener los tres vértices del triángulo de combustión, es decir que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación.

En este apartado se describen los quemadores para combustibles líquidos y gaseosos, ya que los combustibles sólidos se queman sobre parrilla, o requieren un tratamiento previo del combustible, unido a quemadores de diseños especiales.

Por la forma en que dispone el aire de combustión se distinguen dos tipos de quemadores:

- Quemadores atmosféricos.
- Quemadores a presión.

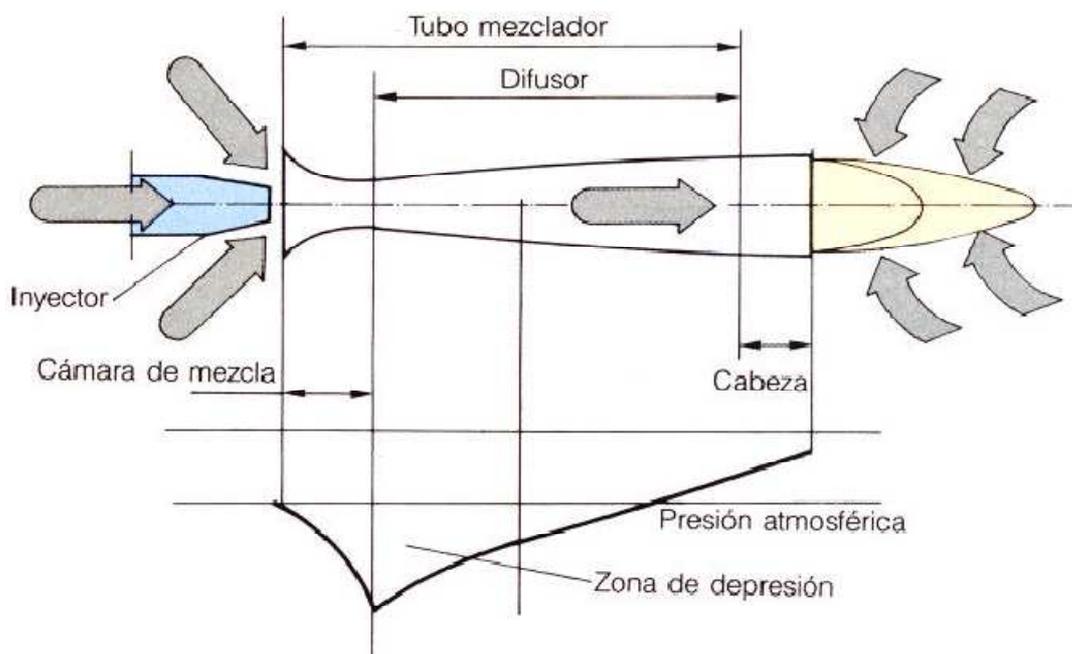


Figura 3.17 Quemador Atmosférico, Tomado de [5]

3.4.5.1 QUEMADORES ATMOSFERICOS

Únicamente se emplean para combustibles gaseosos; una parte del aire necesario para la combustión (aire primario) se induce en el propio quemador por el efecto Venturi; el aire restante, aire secundario se obtiene por difusión del aire ambiente alrededor de la llama. En este tipo de quemadores se tiene una combustión con alto índice de exceso de aire.

La ventaja principal de este sistema es su simplicidad y costo bajo. Se pueden fabricar para potencias unitarias altas (1.200 kW), los empleados habitualmente en climatización no superan los 300 kW. (Fig 3.17 y Fig 3.18)

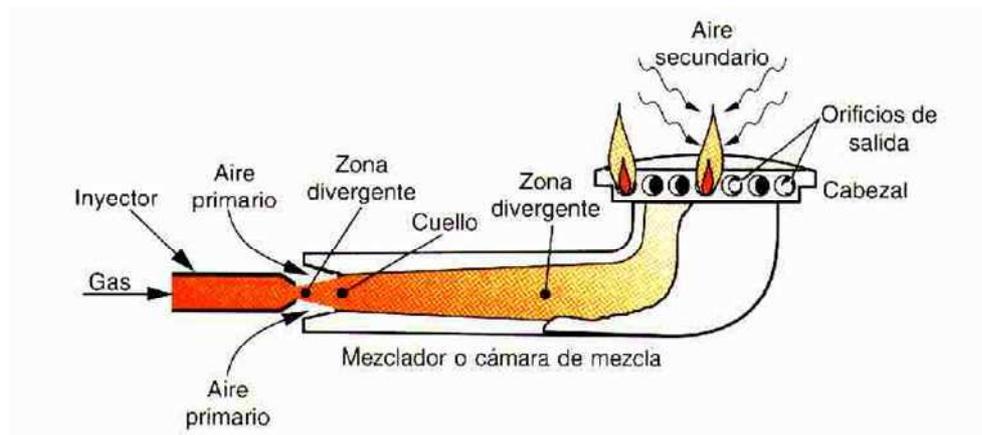


Figura 3.18 Quemador atmosférico de Cocina, Tomado de [26]

CAPITULO IV

4 ESTUDIO COMPARATIVO

Este capítulo presenta la experimentación realizada en los tres tipos de cocinas. Primeramente se presentan los resultados obtenidos al aplicar la norma ASTM F1521-03 “Standard Test Methods for Performance of Range Tops”.

Una segunda parte presenta los resultados obtenidos al cocinar cantidades iguales de alimentos en cada tipo de cocina, ésta experimentación obedece a la simulación del comportamiento real que tendría cada cocina al ser utilizada por una familia promedio ecuatoriana de cuatro habitantes durante cuatro días

Finalmente se presenta el desarrollo del software realizado bajo lenguaje de programación VISUAL BASIC. El software fue utilizado para agilizar el procesamiento de los datos obtenidos y para mostrar los resultados de forma gráfica y tabulada.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y APARATOS UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

- **Cocina de inducción:**

Marca: POVOS

Potencia nominal: 1000W

Voltaje: 120V

Frecuencia: 60Hz

- **Cocina de resistencia:**

Marca: HACEB

Potencia nominal: 1100W

Voltaje: 120V

Frecuencia: 60Hz

- **Cocina a gas:**

Marca: HACEB, dos quemadores

Combustible: GLP

Potencia a condiciones estándar: 3300W

Presión de suministro: 29 mbar

- **Multímetro:**

Marca: LEM

Modelo: HEME ANALYST 2060

Programable para la adquisición automática de datos de: Potencia (kW, KVA), Potencia reactiva (kVAR), Factor de potencia y Energía (kWhr)

- **Gasómetro:**

Marca: Metrex

Qmax: 2.5m³/h

Qmin: 0.016m³/h

Apreciación: 0.2L

- **Manómetro:**

Marca: MARSH

Capacidad: 35 in de columna de agua

Apreciación: 1 in de columna de agua

- **Balanza:**

Marca: M^o TEX

Capacidad: 20kg

Error: ±10g

- **Termómetro digital:**

Marca: Fluke

Modelo: 53II

Tipo de termocupla: K

Apreciación: 0.1 °C

- **Cámara termográfica:**

Marca: HIOKY

Modelo: 3460

Capacidad: -50 a 1000°C

- **Recipientes:**

Ollas y sartenes de hierro enlozado

4.2 EXPERIMENTACIÓN BAJO LA NORMA TÉCNICA ASTM F1521-03 [3]

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA NORMA

En 1994 el Centro Tecnológico del Servicio Alimenticio (FSTC por sus siglas en inglés) desarrolló un método estandarizado para cuantificar el rendimiento de las cocinas. Este método es aplicable tanto para las cocinas eléctricas como para las de gas y permite a constructores y consumidores de estos aparatos comparar índices tales como: la eficiencia de cocción, respuesta a la temperatura, uniformidad de temperatura y capacidad de producción.

Posteriormente en el 2001 este método fue aprobado como una norma de la ASTM (American Society for Testing and Materials) Bajo la designación F1521-03 "Standard Test Methods for Performance of Range Tops". Mismo que se indica en el anexo B

4.2.2 OBJETIVO [3]

El Objetivo de esta prueba es examinar la operación y el rendimiento de cada tipo de cocina bajo las condiciones controladas como lo establece la norma. Como alcance la norma específica la determinación de:

- iv. Potencia de entrada (Energy input rate)
- v. Respuesta al calentamiento y uniformidad de temperatura (Heat-up temperature response and temperature uniformity)
- vi. Eficiencia de cocción y capacidad de producción (Cooking energy efficiency and production capacity)

4.2.3 PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN

Las cocinas se instalaron en el laboratorio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable según las recomendaciones de la norma utilizada. Se instaló un extractor de vapores, esto con la finalidad de mantener la temperatura dentro de un rango para no afectar los resultados.

Las cocinas probadas fueron conectadas a una fuente de energía debidamente controlada: Para las cocinas eléctricas de inducción y de resistencia la fuente es de 110V y 60 Hz (red eléctrica doméstica). En el caso de la cocina a gas la fuente es una bombona de GLP con suministro a 29 mbar. Además se instaló un gasómetro y un regulador de presión a la salida de dicho recipiente. En el caso de las cocinas eléctricas se utilizaron multímetros. La tasa de energía de entrada fue determinada con las cocinas funcionando a su máxima capacidad, esto se lo hizo con la finalidad de comprobar que estén funcionando a su capacidad nominal y por ende los resultados de eficiencia sean los correctos.

Para el monitoreo del comportamiento térmico de las cocinas se utilizaron termocuplas tipo K y además una cámara térmica, con esto se determinó la respuesta a la temperatura, tanto en el máximo y mínimo nivel así como la distribución de temperatura. Esto se lo hizo utilizando una placa circular, con las medidas recomendadas por la norma.

Para determinar la eficiencia, el consumo energético y el tiempo; fueron monitoreadas las cocinas funcionando a su capacidad mayor, como lo recomienda la norma, se calentó agua desde la temperatura ambiente hasta dos grados bajo la temperatura de ebullición.

4.2.4 RESULTADOS

4.2.4.1 POTENCIA DE ENTRADA

Objetivo: Determinar la potencia de entrada a la cual trabaja cada cocina, con la finalidad de compararla con la potencia nominal especificada por el fabricante y constatar si está trabajando con una diferencia máxima de 5%.

Equipo utilizado

- Cocinas de inducción, de resistencia y de gas.
- Multímetro.
- Gasómetro.
- Manómetro.

Procedimiento

Cocina a Gas: Se encendieron ambas hornillas en la posición máxima y se esperó un período de 15 min de estabilización, después del período de estabilización se procedió a tomar medidas del volumen de gas consumido durante los 15 min siguientes.

Cocinas eléctricas de resistencia e inducción: Se encendieron las cocinas en la posición máxima y se esperó un período de 15 min de estabilización, después del período de estabilización se procedió a tomar medidas de la potencia y energía eléctrica consumida durante los 15 min posteriores.

Tabla de datos obtenidos

La tabla 4.1 presenta los datos obtenidos en la cocina de resistencia y en la de inducción en cambio la tabla 4.2 para la de gas

Tipo de cocina	Tiempo (min)	Energía Consumida (kWh)
Cocina de Inducción	15	0.245
Cocina de resistencia	15	0.263

Tabla 4.1 Potencia de entrada Inducción y Resistencia, Fuente Propia

	Tiempo(min)	Vi (L)	Vf (L)	P(in H ₂ O)	T(°C)
Cocina a gas	15	324	359.5	13.5	21

Tabla 4.2 Potencia de entrada Gas, Fuente Propia

Procedimiento de cálculo

Para las cocinas Eléctricas la potencia de entrada fue calculada de la siguiente forma:

$$P = \frac{E}{t} \quad (4.1)$$

Donde:

P=Potencia de entrada (kW)

E= Energía Consumida (kWh)

t= Tiempo (horas)

Ejemplo de cálculo:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{0.245 \text{ kWh}}{0.25 \text{ h}} = 0.98 \text{ kW}$$

Para la cocina a Gas:

Determinación de la densidad:

$$\rho = \frac{P * M}{R * T} \quad (4.2)$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

P=Presión absoluta del gas (atm)

$$M = \text{Masa molar del GLP} \left(49.6 \frac{kg}{kMol} \right)^4$$

$$R = \text{Constante universal de los gases} \left(0.082 \frac{Atm \cdot m^3}{kMol \cdot K} \right)^5$$

T=Temperatura(K)

Ejemplo de cálculo:

$$\rho = \frac{P * M}{R * T} = \frac{\left(\frac{13.5 \text{ in } H_2O}{406.78} + 0.7 \right) \text{ Atm} * 49.6 \frac{kg}{kMol}}{0.082 \frac{Atm * m^3}{kMol * K} * (21 + 273)K}$$

$$\rho = 1.51 \frac{kg}{m^3}$$

Determinación de la Potencia de entrada:

$$P = \frac{\Delta V * \rho * PC_s}{t} \quad (4.3)$$

Donde:

P=Potencia de entrada (kW)

⁴ Promedio en proporción a la masa molar del Butano y del Propano:

http://materias.fi.uba.ar/6756/Clase_GLP_1C_07.pdf

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_constant

$\Delta V = (V_f - V_i)$ Volumen de gas consumido (m^3)

$\rho =$ densidad ($\frac{kg}{m^3}$)

$PC_s =$ Poder calórico superior del GLP ($47500 \frac{Btu}{kg}$ o $13.92 \frac{kwh}{kg}$)⁶

$t =$ Tiempo (horas)

Ejemplo de cálculo:

$$P = \frac{\Delta V * \rho * PC_s}{t} = \frac{(\frac{359.5 - 324}{1000})m^3 * 1.51 \frac{kg}{m^3} * 13.92 \frac{kwh}{kg}}{0.25 h}$$

$$P = 2.82 kW$$

Para determinar el porcentaje de diferencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$d(\%) = \frac{|Valor\ medido - Valor\ nominal|}{Valor\ nominal} \quad (4.4)$$

Tabla de resultados

Tipo de cocina	Potencia nominal (kW)	Potencia de entrada (kW)	Diferencia (%)
Inducción	1.0	0.98	2.0
Resistencia	1.1	1.05	4.5
Gas	3.3	2.82	14.5

Tabla 4.3 Resultados Potencia de entrada, Fuente Propia

⁶ TORRES, Byron; DÁVILA, Guillermo; Tesis: Quemadores atmosféricos a gas; EPN; Ingeniería Mecánica; 1982.

Análisis de resultados

La potencia de entrada para la cocina de inducción fue 0.98Kw a 112V, esto es 2% menos de la potencia nominal, con lo que se comprueba que la cocina está trabajando normalmente.

La potencia de entrada para la cocina de resistencia fue 1.05Kw a 112V, esto es 4.5% menos de la potencia nominal, con lo que se encuentra en el rango adecuado especificado por la norma.

La potencia de entrada para la cocina de gas fue de 1.49Kw por hornilla, es decir en total la potencia fue de 2.82Kw, lo que significa que está trabajando a 14.5 % menos de la potencia nominal, esto se debe a que en la eficiencia de la combustión influye tanto la temperatura del ambiente así como la presión baja atmosférica de la ciudad de Quito.

Conclusiones

Las cocinas eléctricas, tanto la de inducción y la de resistencia no presentan una gran diferencia con respecto a la potencia nominal: 2% y 4,5% respectivamente, estas diferencias se deben a que el voltaje de la red es de 112 V y las cocinas fueron diseñadas para trabajar a 120 V como lo especifican sus placas.

La potencia de la cocina de gas es afectada aproximadamente en 15% con respecto a la potencia nominal, esto se debe principalmente a la presión baja atmosférica en Quito, debido a que la potencia nominal se diseña para una presión a nivel del mar.

4.2.4.2 RESPUESTA AL CALENTAMIENTO

Objetivo: Determinar la evolución de la temperatura en función del tiempo y la velocidad de calentamiento en cada tipo de cocina utilizando una placa circular de Acero A36 establecida en la norma.

Equipo utilizado

- Cocinas de: inducción, de resistencia y de gas

- Placa circular de Acero A36 de dimensiones $d = 300\text{mm}$ $e=6.4\text{ mm}$ (fig 4.1)
- 3 termómetros digitales

Procedimiento

Primeramente se posicionó la placa sobre la cocina a probar, y sobre ésta se colocaron tres termocuplas como se ve en la figura 4.1

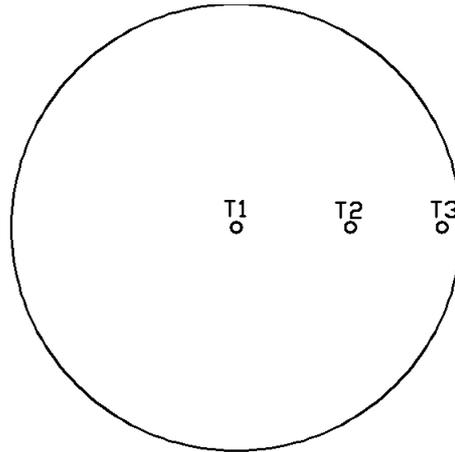


Figura 4.1 Ubicación de las Termocuplas, Fuente Propia

Una vez colocada la placa y las termocuplas se encendió la cocina y se registraron los valores de temperatura cada cierto intervalo de tiempo, esto se lo realizó durante una hora o hasta que la temperatura se estabilizó. Se repitió este procedimiento para cada tipo de cocina y haciéndolas funcionar en su potencia máxima y mínima.

Datos obtenidos

La obtención de temperaturas en función del tiempo se lo hizo mediante termómetros que registraron valores cada 5 segundos, posteriormente los datos fueron tabulados mediante una hoja electrónica y debido a la cantidad extensa se los presenta únicamente en forma gráfica, las figuras 4.2 y 4.3 corresponden a la cocina de inducción tanto en potencia máxima y mínima, las figuras 4.4 y 4.5 a la cocina de resistencia y finalmente las figuras 4.6 y 4.7 a la cocina a gas.

Cocina Eléctrica de Inducción

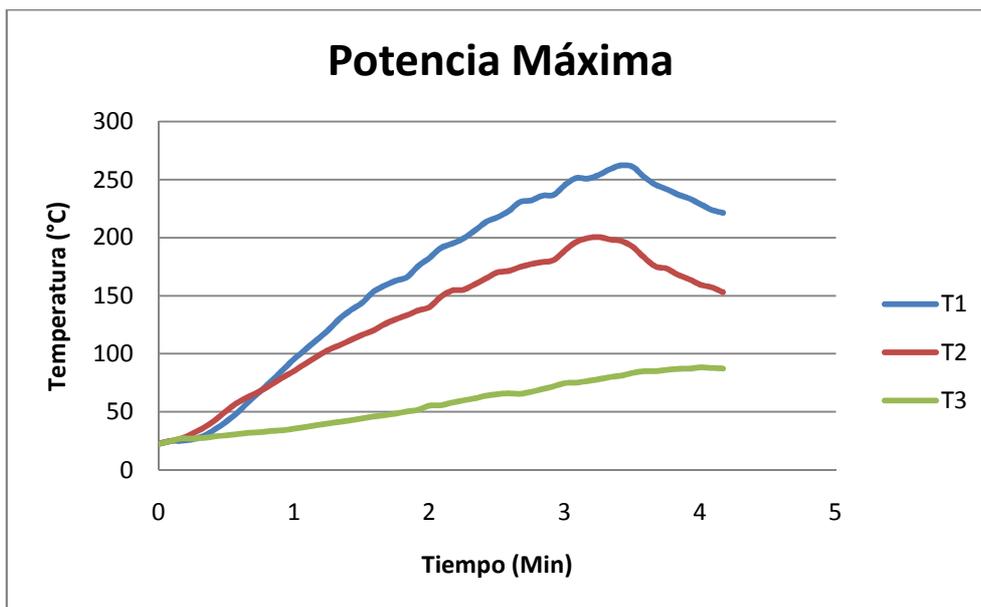


Figura 4.2 Evolución de Temperatura, Potencia Máxima, Inducción, Fuente Propia

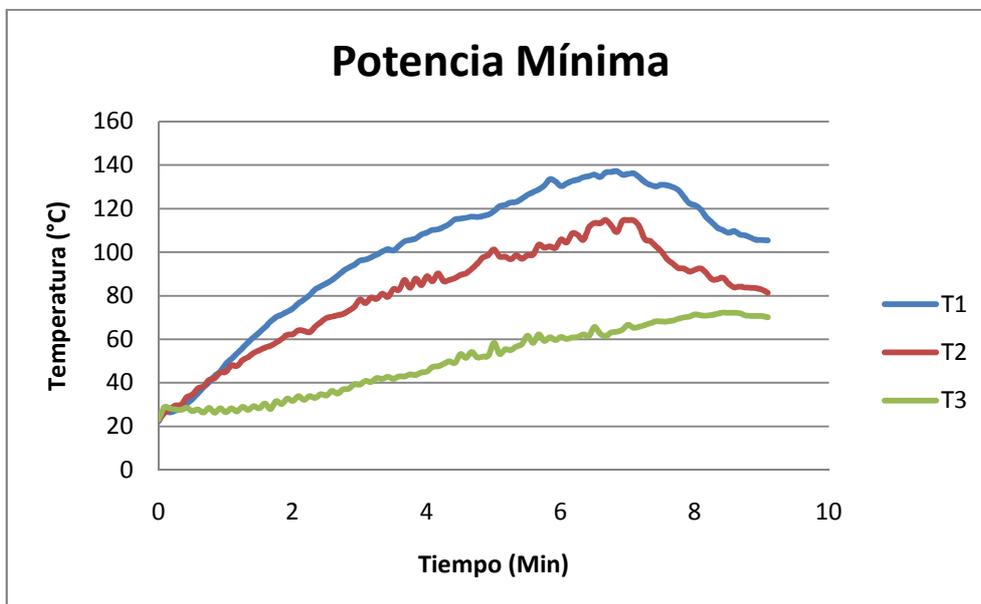


Figura 4.3 Evolución de Temperatura, Potencia Mínima, Inducción, Fuente Propia

Cocina Eléctrica de Resistencia

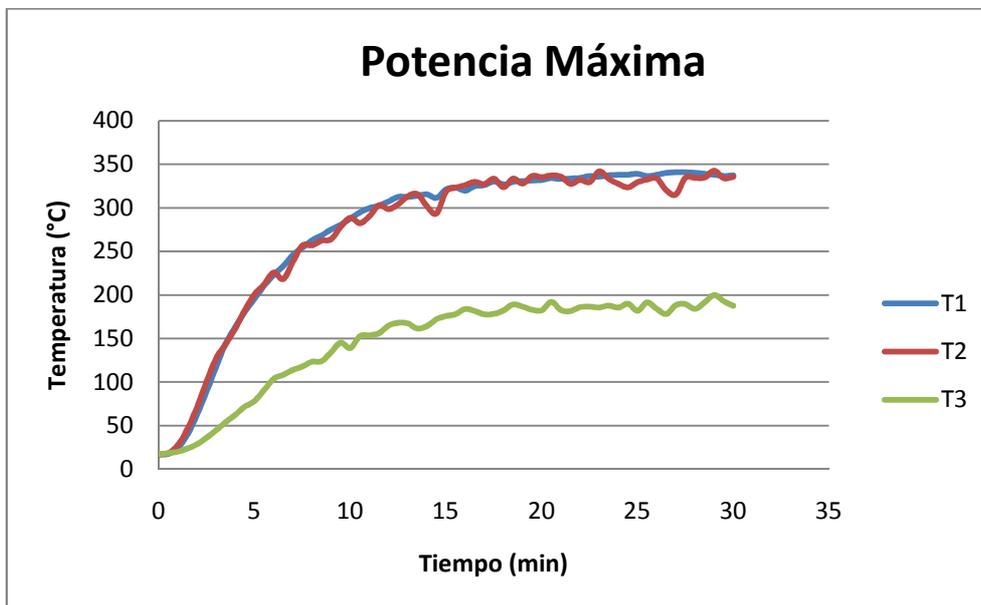


Figura 4.4 Evolución de Temperatura, Potencia Máxima, Resistencia, Fuente Propia

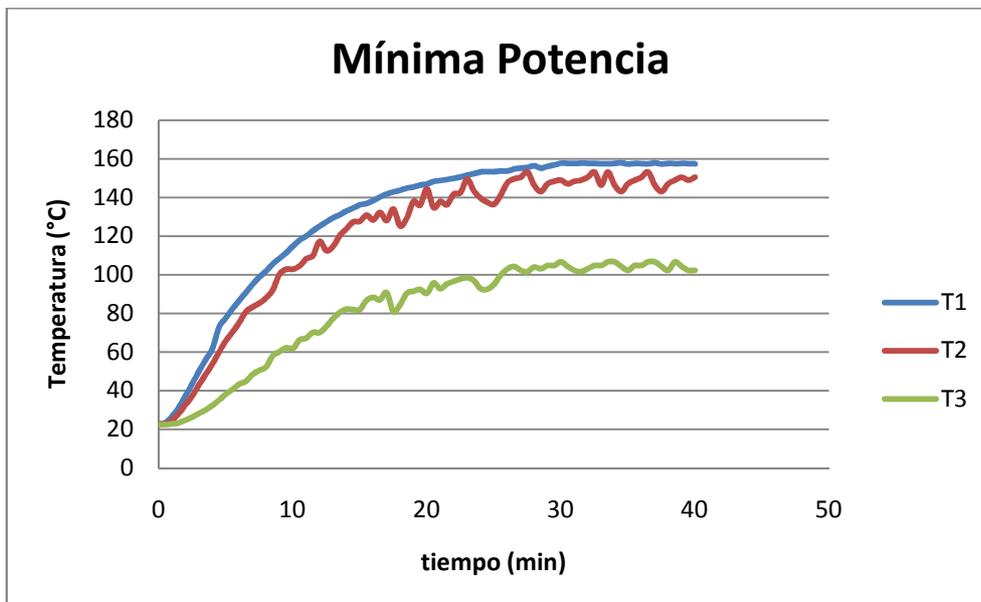


Figura 4.5 Evolución de Temperatura, Potencia Mínima, Resistencia, Fuente Propia

Cocina a Gas

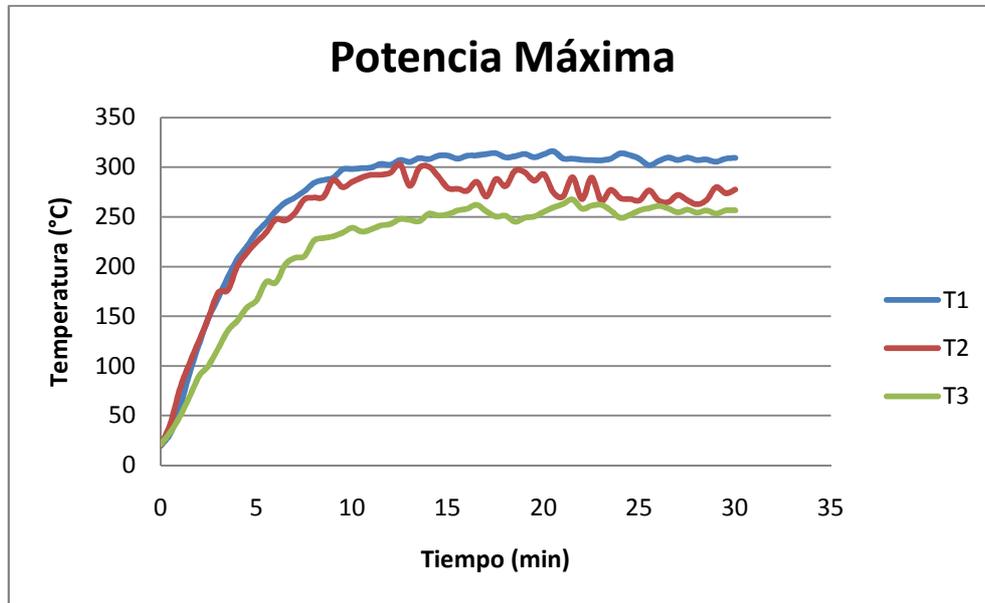


Figura 4.6 Evolución de Temperatura, Potencia Máxima, Gas, Fuente Propia

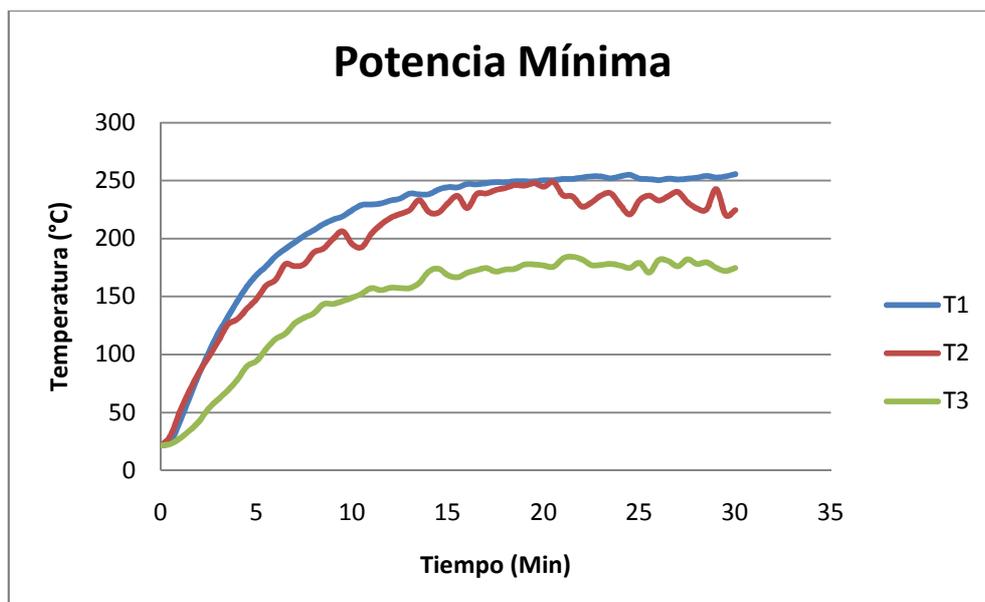


Figura 4.7 Evolución de Temperatura, Potencia Mínima, Gas, Fuente Propia

Fórmulas de cálculo

$$V_c = \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (4.5)$$

Donde:

V_c = Velocidad de calentamiento (°C/min)

ΔT = Variación de temperatura (°C)

Δt = tiempo en alcanzar la temperatura especificada (min)

Para determinar el tiempo de estabilización se analizan las figuras 4.2 a la 4.7. Los resultados se presentan para las temperaturas alcanzadas en el centro de la placa (T1), ya que es aquí es donde los tres tipos de cocinas alcanzaron los valores máximos.

Tabla de resultados

Tipo de cocina	Tiempo en que alcanza 250°C (min)	Vc (°C/min)
Cocina de inducción	3.0	83.3
Cocina de resistencia	7.5	33.3
Cocina a gas	6.0	41.6

Tabla 4.4 Resultados Respuesta al calentamiento, Fuente Propia

Tipo de cocina	Tiempo de estabilización en potencia máxima (min)	Tiempo de estabilización en potencia mínima (min)
Cocina de inducción	No se estabiliza	No se estabiliza
Cocina de resistencia	25	30
Cocina a gas	15	20

Tabla 4.5 Tiempo de estabilización, Fuente Propia

Análisis de resultados

La cocina de inducción presenta la velocidad mayor de calentamiento, es dos veces más rápida que la cocina a gas y dos veces y media más rápida que la cocina de resistencia eléctrica.

La cocina de inducción presenta un sistema de protección electrónica que no permite realizar la prueba según como lo establece la norma, es decir calentar la paca durante una hora o hasta que se estabilice la temperatura. Como se puede ver en la figura 4.2 y la figura 4.3, cuando alcanza la temperatura permitida por el sistema electrónico, se desactiva y se apaga.

La de gas demora menos que la cocina de resistencia eléctrica en estabilizarse.

Conclusiones

Por el sistema electrónico de control en la cocina de inducción no se pudo realizar la prueba como lo especifica la norma, pero se determinó que este tipo de cocina es más rápida que las otras dos.

4.2.4.3 UNIFORMIDAD DE TEMPERATURA

Objetivo: Determinar la distribución de temperatura de cada tipo de cocina en una placa circular de Acero A36 establecida en la norma.

Procedimiento

Esta prueba se la realizó a continuación de la anterior, es decir, cuando las cocinas alcanzaron su temperatura de estabilización se procedió a medir la temperatura en la superficie de la placa, como indica la figura 4.8

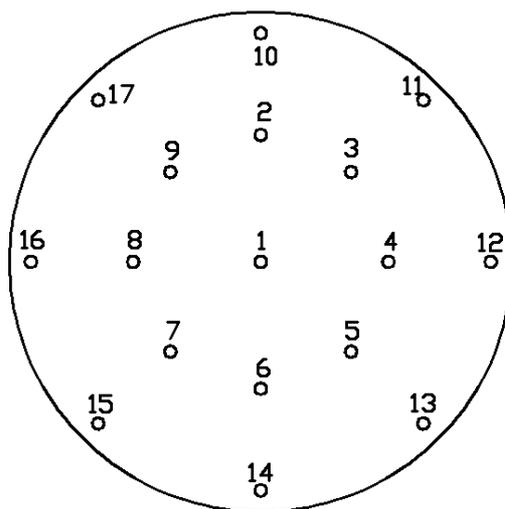


Figura 4.8 Ubicación de los puntos de medida, Fuente Propia

La cocina de inducción no se estabilizó por su control, por esta razón, se tomaron las mediciones de temperatura al momento que el sistema electrónico desactivó el aparato.

Equipo utilizado

- Cocinas de: inducción, de resistencia y de gas
- Placa circular de Acero A36 $d = 300\text{mm}$ $e=6.4\text{ mm}$
- Termómetro digital

Datos obtenidos

Las figuras desde la 4.9 a 4.14 representan la temperatura de estabilización a la que llegó cada tipo de cocina tanto en la potencia máxima como mínima, en cada punto de medida.

Cocina eléctrica de inducción

Potencia máxima

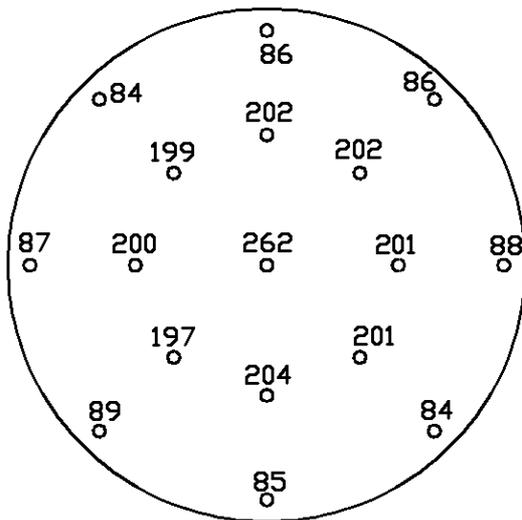


Figura 4.9 Distribución de Temperatura, Potencia Máxima, Inducción, Fuente Propia

Potencia mínima

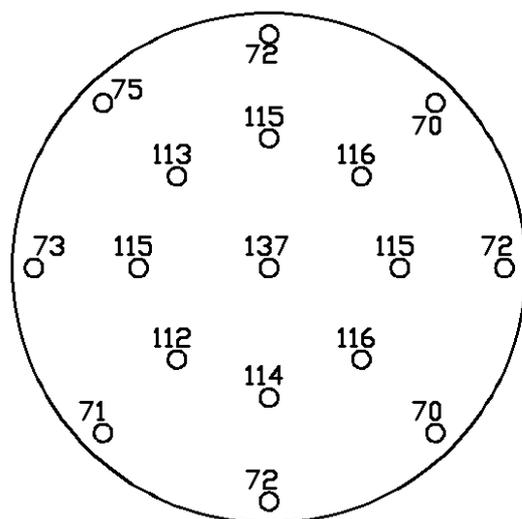


Figura 4.10 Distribución de Temperatura, Potencia Mínima, Inducción, Fuente Propia

Cocina eléctrica de resistencia

Potencia máxima

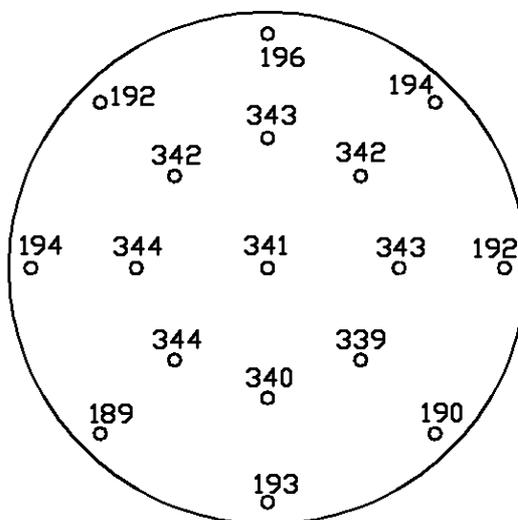


Figura 4.11 Distribución de Temperatura, Potencia Máxima, Resistencia, Fuente Propia

Potencia mínima

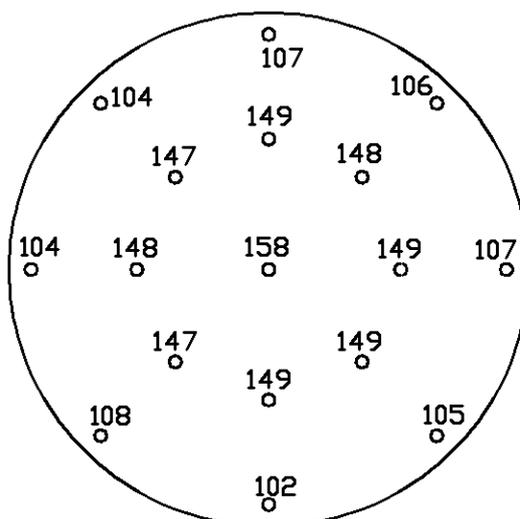


Figura 4.12 Distribución de Temperatura, Potencia Mínima, Resistencia, Fuente Propia

Cocina a gas

Potencia máxima

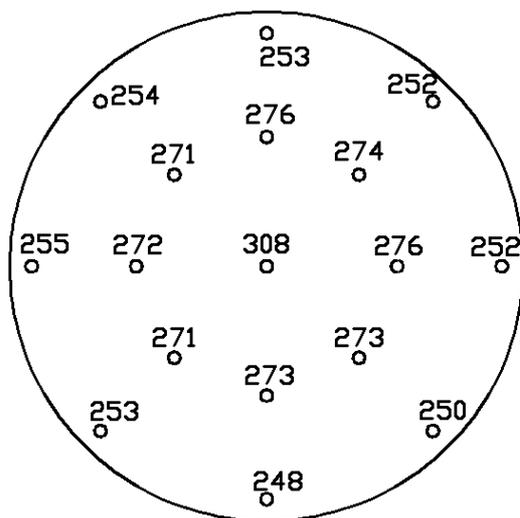


Figura 4.13 Distribución de Temperatura, Potencia Máxima, Gas, Fuente Propia

Potencia mínima

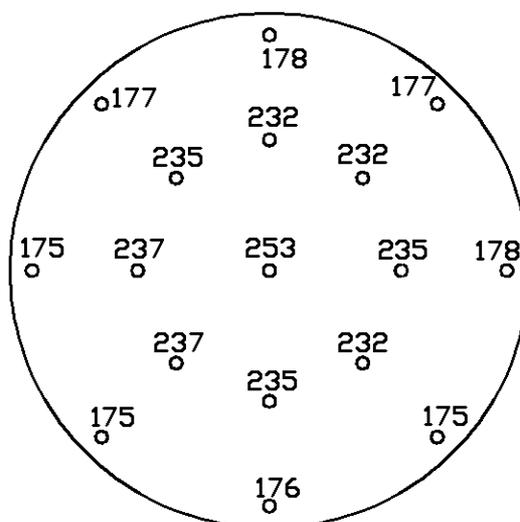


Figura 4.14 Distribución de Temperatura, Potencia Mínima, Gas, Fuente Propia

La tabla 4.6 presenta un resumen comparativo de las temperaturas de estabilización de las cocinas para la potencia máxima, en cambio la tabla 4.7 para la potencia mínima.

Potencia máxima

	Inducción	Resistencia	Gas
T1	262	341	308
T2	202	343	276
T3	202	342	274
T4	201	343	276
T5	201	339	273
T6	204	340	273
T7	197	344	271
T8	200	344	272
T9	199	342	271
T10	86	196	253
T11	86	194	252
T12	88	192	252
T13	84	190	250
T14	85	193	248
T15	89	189	253
T16	87	194	255
T17	84	192	254

Tabla 4.6 Distribución de temperaturas para potencia máxima, Fuente propia

Potencia mínima

	Inducción	Resistencia	Gas
T1	137	158	253
T2	115	149	232
T3	116	148	232
T4	115	149	235
T5	116	149	232
T6	114	149	235
T7	112	147	237
T8	115	148	237
T9	113	147	235
T10	72	107	178
T11	70	106	177
T12	72	107	178
T13	70	105	175
T14	72	102	176
T15	71	108	175
T16	73	104	175
T17	75	104	177

Tabla 4.7 Distribución de temperaturas para potencia mínima, Fuente propia

Formulas de cálculo

Temperatura promedio:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (4.6)$$

Donde:

\bar{x} = Promedio de temperatura °C

x_i = cada dato de temperatura

N = número de datos (17)

Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (4.7)$$

Donde:

s = desviación estándar

Tabla de resultados

Tipo de cocina		T Promedio (°C)	Desviación estándar (s)
Cocina de inducción	P max	150.7	64.7
	P min	95.8	23.9
Cocina de resistencia	P max	271.6	76.9
	P min	128.6	22.8
Cocina a gas	P max	265.4	15.4
	P min	208.2	31.3

Tabla 4.8 Resultados Respuesta al calentamiento, Fuente Propia

Análisis de resultados

La cocina que alcanzó la temperatura mayor en promedio fue la cocina de resistencia eléctrica (271.6 °C) seguida de la cocina a gas (265.4 °C) y luego la cocina de inducción (150.7 °C).

Los resultados evidencian claramente el calentamiento excesivo que presentan las cocina de resistencia eléctrica y la cocina a gas, como se puede ver en la tabla anterior, la cocina a gas trabajando en la potencia mínima, alcanza inclusive una temperatura mayor (208.2 °C) que la cocina de inducción trabajando en la potencia máxima (150.7 °C)

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. La cocina que calienta de forma más uniforme es la cocina a gas en su potencia máxima ya que presenta la menor desviación estándar ($s=15.4$), mientras que la cocina con menor uniformidad es la cocina de resistencia en su potencia máxima ($s=76.9$)

Conclusiones

La cocina de inducción magnética presenta un control de la temperatura de seis posiciones de regulación, en comparación con las dos posiciones de las otras cocinas, lo que facilita la cocción de alimentos.

La distribución de temperatura en la placa depende del modo de transferencia de calor desde la cocina hacia la misma, en el caso de la cocina de inducción el calor se genera dentro de la placa y se transfiere mediante conducción. En la cocina de resistencia, la transferencia se da mediante la conducción desde el elemento resistivo hacia la placa, y en el caso de la cocina a gas la transferencia se da mediante convección desde la llama hacia la placa, La convección permite a la cocina a gas un calentamiento homogéneo.

4.2.4.4 EFICIENCIA DE COCCIÓN Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Objetivo: Determinar la eficiencia de cocción y la capacidad de producción de cada tipo de cocina

Equipo utilizado

- Cocinas de: inducción, de resistencia y de gas
- Multímetro
- Gasómetro
- Manómetro
- Termómetro digital
- Utensilios de cocina

Procedimiento

Se encendió la cocina por un tiempo de 30 min para que se estabilice, después de este período se realizaron tres repeticiones del ensayo como lo especifica la norma.

El ensayo consistió en calentar agua desde la temperatura ambiente hasta 85 °C aproximadamente, todo esto en la potencia máxima de cada cocina. Se registraron datos de tiempo y la energía consumida en el proceso.

Tabla de datos obtenidos

Elemento	Masa (kg)	Cp (kJ/kg*K)
Olla de hierro enlozado	0.69	0.47
Tapa de vidrio	0.56	0.84
Agua	3.00	4.19

Tabla 4.9 Masa y Cp De elementos utilizados en la prueba, Fuente Propia

Cocina de inducción

Prueba #	E consumida (kWh)	Tiempo (min)	Ti olla (°C)	Ti Tapa (°C)	Ti Agua (°C)	Tf sistema (°C)
1	0.33	19.46	15.5	14.3	14.0	85.2
2	0.32	18.71	16.8	14.3	15.3	85.5
3	0.32	18.96	16.2	15.3	15.9	85.1

Tabla 4.10 Datos obtenidos Cocinas de inducción, Fuente Propia

Cocina de resistencia

Prueba #	E consumida (kWh)	Tiempo (min)	Ti olla (°C)	Ti Tapa (°C)	Ti Agua (°C)	Tf sistema (°C)
1	0.38	21.67	19.9	21.2	16.4	85.1
2	0.36	20.42	21.2	22.4	19.2	85.2
3	0.38	21.85	17.8	16.8	16.2	85.1

Tabla 4.11 Datos obtenidos Cocina de resistencia, Fuente Propia

Cocina a Gas

#	Tiempo (min)	Vi (L)	Vf (L)	P(in H ₂ O)	T(°C)	Ti olla (°C)	Ti Tapa (°C)	Tti Agua (°C)	Tf sistema (°C)
1	20.36	363.0	388.0	13	18.3	17.2	16.3	15.1	85.3
2	19.89	392.2	417.0	13	20.3	18.8	19.3	17.1	85.1
3	20.41	421.3	445.9	13	20.2	18.9	20.2	17.5	85.6

Tabla 4.12 Datos obtenidos Cocina a gas, Fuente Propia

Formulas de cálculo

Para la cocina a gas se utilizaron las siguientes fórmulas:

Determinación de la densidad:

$$\rho = \frac{P * M}{R * T} \quad (4.8)$$

Donde:

ρ = densidad ($\frac{kg}{m^3}$)

P = Presión absoluta del gas (atm)

M = Masa molar del GLP ($49.6 \frac{kg}{kMol}$)

R = Constante universal de los gases ($0.082 \frac{Atm * m^3}{kMol * K}$)

T = Temperatura (K)

Determinación de la Energía de entrada:

$$E_C = \Delta V * \rho * PC_s \quad (4.9)$$

Donde:

E_C = Energía consumida (kWh)

$\Delta V = (V_f - V_i)$ Volumen de gas consumido (m^3)

ρ = densidad ($\frac{kg}{m^3}$)

PC_s = Poder calórico superior del GLP ($47500 \frac{Btu}{kg}$ o $13.92 \frac{kWh}{kg}$)

Eficiencia de cocción:

$$\eta_{coc} = \frac{E_A + E_O + E_T}{E_C} * 100 \quad (4.10)$$

Donde

η_{coc} = Eficiencia de cocción

E_A = Energía suministrada al agua ($m * Cp * \Delta T$)_A

E_R = Energía Suministrada a la olla ($m * Cp * \Delta T$)_O

E_T = Energía Suministrada a la tapa ($m * Cp * \Delta T$)_T

E_C = Energía consumida (medida para cocinas eléctricas, calculada para cocina a gas)

$\Delta T = (T_2 - T_1)$ temperatura final del sistema – Temperatura inicial de cada elemento

Capacidad de cocción:

$$C_{coc} = \frac{M_A}{t} \quad (4.11)$$

Donde:

C_{coc} = capacidad de cocción

M_A = Masa del Agua

t = tiempo en alcanzar la temperatura final

Fórmulas estadísticas para las tres repeticiones:

Promedio:

$$Xa_3 = \frac{1}{3} * (X_1 + X_2 + X_3) \quad (4.12)$$

Donde X_1, X_2, X_3 , Son los resultados obtenidos para cada repetición para la eficiencia y capacidad de cocción

Desviación estándar:

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{(A_3 - B_3)} \quad (4.13)$$

Donde:

$$A_3 = (X_1^2) + (X_2^2) + (X_3^2)$$

$$B_3 = \frac{1}{3} * (X_1 + X_2 + X_3)^2$$

Incertidumbre absoluta:

$$U = C_3 * S \quad (4.14)$$

Donde:

U = Incertidumbre absoluta

C_3 = Factor de incertidumbre para tres repeticiones

Porcentaje de incertidumbre:

$$\%U = \frac{U}{Xa_3} * 100 \quad (4.15)$$

Tabla de resultados

Cocina Eléctrica de Inducción

Eficiencia de cocción (%)	80.6	Desviación estándar	0.78
		Incertidumbre	1.93
		% de incertidumbre	2.39
Capacidad de Cocción (kg/h)	9.45	Desviación estándar	0.05
		Incertidumbre	0.12
		% de incertidumbre	1.31

Tabla 4.13 Eficiencia de cocción Inducción, Fuente Propia

Cocina Eléctrica de Resistencia

Eficiencia de cocción (%)	65.3	Desviación estándar	0.19
		Incertidumbre	0.47
		% de incertidumbre	0.71
Capacidad de Cocción (kg/h)	8.45	Desviación estándar	0.14
		Incertidumbre	0.34
		% de incertidumbre	4.01

Tabla 4.14 Eficiencia de Cocción Resistencia, Fuente Propia

Cocina a Gas

Eficiencia de cocción (%)	51.26	Desviación estándar	1.36
		Incertidumbre	3.36
		% de incertidumbre	6.56
Capacidad de Cocción (kg/h)	8.90	Desviación estándar	0.02
		Incertidumbre	0.06
		% de incertidumbre	0.64

Tabla 4.15 Eficiencia de cocción Gas, Fuente Propia

Análisis de resultados

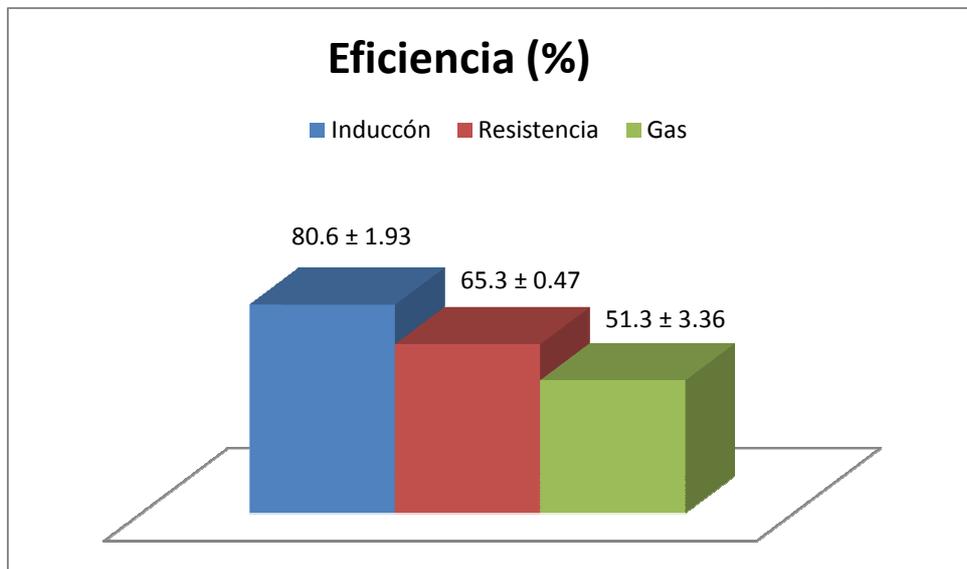


Figura 4.15 Eficiencia de las cocinas, Fuente Propia

La figura 4.15 indica que la cocina con mayor eficiencia es la cocina de inducción (80.6%) y según la experimentación realizada presenta una incertidumbre de 1.93, seguida de la cocina de resistencia (65.3%) y finalmente la cocina a gas (51.3)

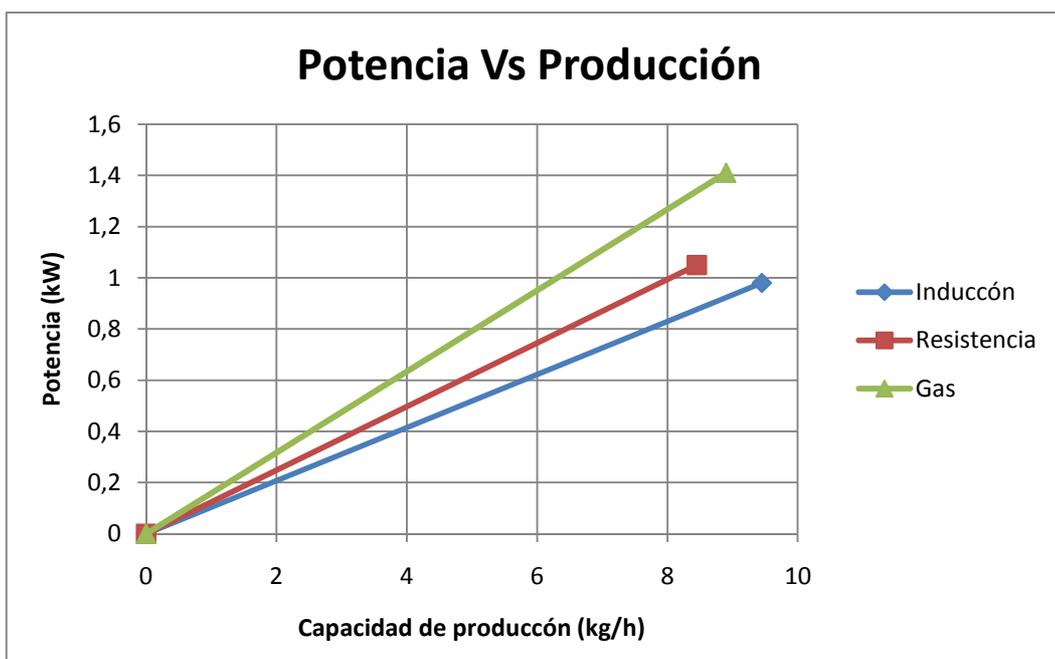


Figura 4.16 Capacidad de Producción de las cocinas, Fuente Propia

La figura 4.16 permite comparar a los tres tipos de cocinas en su capacidad de producción, por ejemplo funcionando a 1 kW, la cocina de inducción produce 9.5 kg/h, cocina de resistencia 8 kg/h y la cocina a gas 6.3 kg/h, con lo que queda evidenciada la productividad mayor de la tecnología de inducción.

Conclusiones

La cocina de inducción presenta más ventajas que las otras dos cocinas y una de las más importantes es la eficiencia de cocción, ya que al sustituir masivamente este tipo de cocinas en el Ecuador esto se vería reflejado en el ahorro energético.

Las pruebas realizadas anteriormente obedecen a la norma internacional ASTM 1521- 03, la cual especifica únicamente las experimentaciones con calentamiento de agua, lo cual da una base estandarizada y de fácil comparación para los tres tipos de cocinas, pero no obedece a la forma habitual de utilización, por lo que a continuación se analiza el comportamiento de las cocinas al preparar alimentos de todo tipo.

4.2.5 COMPORTAMIENTO DE LAS COCINAS

Objetivo: determinar el consumo y costo de la energía consumida en los tres tipos de cocina, simulando condiciones de cocción para una familia promedio de 4 habitantes durante cuatro días.

Procedimiento

La prueba consistió en cocinar la misma cantidad de alimentos en iguales recipientes en cada tipo de cocina.

La cantidad de alimentos por cocina fueron los suficientes para una familia promedio de cuatro integrantes.

El Procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Al inicio se programaban todos los aparatos e instrumentos necesarios para las mediciones.

- Seguidamente se pesaba los alimentos de forma separada para cada cocina.
- Una vez listos los instrumentos y pesados los alimentos, se empezaba a cocinar al mismo tiempo en las tres cocinas.
- Cuando el Chef determinaba que el alimento ya estaba cocido, se registraba el tiempo y el consumo para cada cocina.
- Este procedimiento se repetía para cada plato que se preparaba.
- El software “Eficiencia” que más adelante se describe en detalle fue utilizado para agilizar el procesamiento de los datos obtenidos y para mostrar los resultados de forma gráfica y tabulada.

Equipo utilizado

- Cocinas de: inducción, de resistencia y de gas
- Multímetro
- Gasómetro
- Manómetro
- Termómetro digital
- Utensilios de cocina

Platos que se prepararon:

Primer día

Spagetti a la Bolognesa

Segundo día

Café en leche

Locro de Cuero y Chuleta BBQ

Tercer día

Café en leche y huevos revueltos

Ratatouille: Verduras Salteadas, Papas

Pechugas de Pollo

Cuarto día

Café en leche y huevos revueltos

Fricasé de pollo, Crema de Camarones y Patacones

Tabla de datos obtenidos

PLATO	Consumo Inducción (kWh)	Consumo Resistencia (kWh)	Consumo Gas	
			(L)	kWh
Spagetti a la Bolognesa	0.53	0.75	52.5	1.04
Café en leche	0.10	0.15	9.1	0.18
Locro de Cuero y Chuleta BBQ	1.34	1.47	103.8	2.06
Café en leche y huevos revueltos	0.32	0.49	33.9	0.67
Ratatouille: Verduras Salteadas, Papas	0.73	0.85	57.0	1.13
Pechugas de Pollo	0.22	0.35	25.9	0.52
Café en leche y huevos revueltos	0.18	0.27	14.0	0.28
Fricasé de pollo, Crema de Camarones y Patacones	1.53	1.79	114.9	2.29

Tabla 4.16 Datos obtenidos Experimentación real, Fuente Propia

Formulas de cálculo

Las fórmulas para determinar el consumo de energía tanto para las cocinas eléctricas como para las de gas son las mismas que se utilizaron anteriormente.

Costos de electricidad consumida:

$$C_e = P_e * E_c \text{ (USD)} \quad (4.16)$$

Donde.

C_e =Costo de la electricidad consumida

P_e = Precio de la electricidad, tarifa única (0.083 USD/kWh) ⁷

E_c = Energía consumida

Costos del gas consumido

$$C_g = P_g * \rho * \Delta V \text{ (USD)} \quad (4.17)$$

Donde.

C_g =Costo del gas consumido

P_g = Precio del gas sin subsidio (1 USD/kg) ⁸

ρ = Densidad del gas, calculado con las fórmulas anteriores

ΔV = Volumen de gas consumido

Tabla de resultados

Cocina	Consumo total kWh	Costo total USD
Inducción	4.95	0.411
resistencia	6.12	0.508
Gas	8.17 (411.1L)	0.594

Tabla 4.17 Resultados Experimentación real, Fuente Propia

⁷ MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE; Prospectiva Energética en un Contexto de Desarrollo Sustentable, Políticas y Estrategias para el cambio de la Matriz Energética del Ecuador, Enero 2008.

⁸ Idem

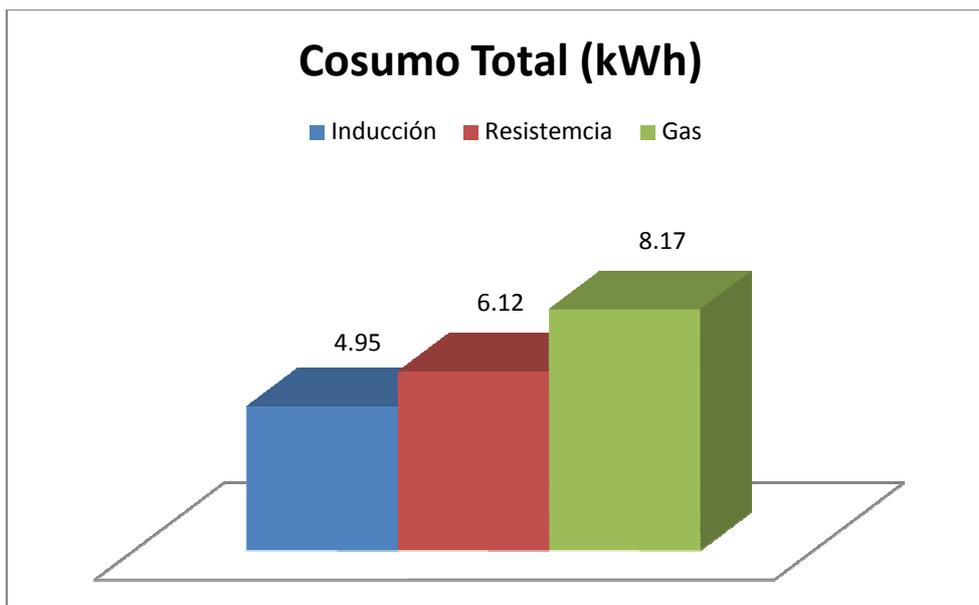


Figura 4.17 Comparación Consumo Total, Fuente Propia

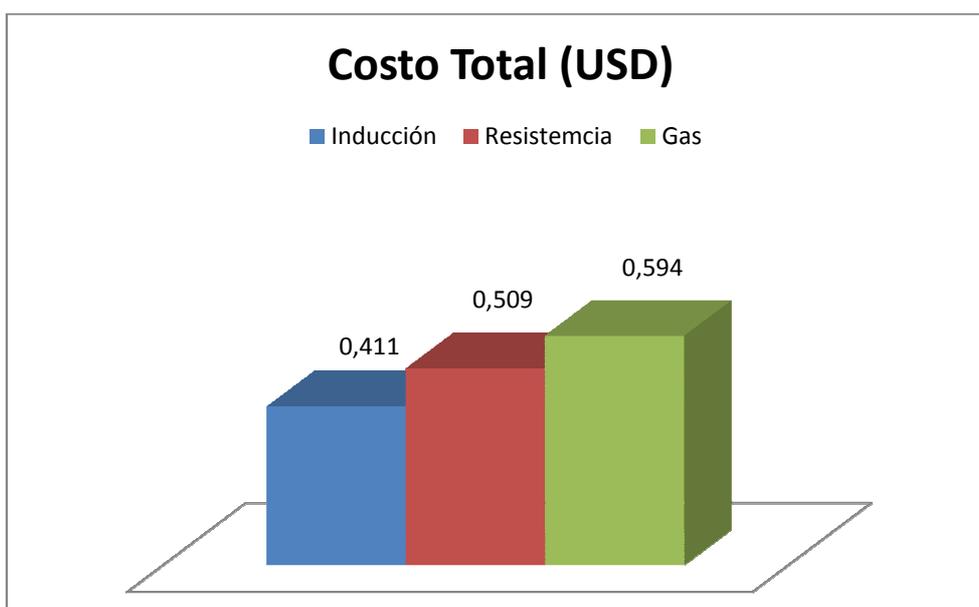


Figura 4.18 Comparación Costo Total, Fuente Propia

Análisis de resultados

La cocina de inducción consumió 23.6% menos de energía que la cocina de resistencia y 65.1% menos que la cocina a gas. En cuanto al costo de la energía, la cocina de inducción ahorró 23.6% con respecto a la de resistencia y 44.5% con respecto a la de gas.

Conclusiones

Como se pudo ver en los resultados, la cocina de inducción representa un ahorro energético y económico muy importante, esto se debe principalmente a su alta eficiencia, y además a su configuración electrónica diseñada para funcionar en óptimas condiciones.

Con este tipo de experimentación acorde a la realidad se complementa la experimentación realizada bajo norma ASTM, para tener una mejor visión de las ventajas y desventajas que presenta cada tipo de cocina.

4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA TIPO DE COCINA

Después de haber realizado el estudio técnico y el estudio comparativo, en esta sección se describirán las ventajas y desventajas de cada tipo de cocina.

4.3.1 COCINAS DE INDUCCIÓN

4.3.1.1 VENTAJAS

- Mayor Eficiencia.
- Más rápidas en la velocidad de cocción
- Menor consumo de energía comparada con los otros tipos de cocinas.
- No existen muchas pérdidas de calor a los alrededores, ya que el calor se produce directamente en la olla.
- Para producirse el calentamiento no es necesario el contacto físico de una resistencia eléctrica o de gases de combustión, únicamente se da mediante el acoplamiento electromagnético.
- Son fáciles de operar, con mandos digitales.
- Presentan un control más exacto de la temperatura.
- Son más seguras, ya que prácticamente el artefacto se mantiene a bajas temperaturas, calentándose únicamente la olla.

- Deja de funcionar instantáneamente al retirar el recipiente, con lo que se ahorra energía paulatinamente.
- Tiene un sistema de auto apagado que desactiva la cocina a las dos horas de utilización, evitando desperdicios energéticos e incendios al olvidarse prendida.
- Son fáciles de limpiar.

4.3.1.2 DESVENTAJAS

- Poseen una tecnología sofisticada
- La vitrocerámica que utilizan es un material muy especial.
- Las cocinas de dos o más inductores presentan un precio elevado, no siendo así en las cocinas de un solo inductor.

4.3.2 COCINAS DE RESISTENCIA ELÉCTRICA

4.3.2.1 VENTAJAS

- Poseen una tecnología muy elemental
- Son de fácil construcción
- Son baratas

4.3.2.2 DESVENTAJAS

- Su eficiencia es baja.
- Son muy lentas.
- Consumen mucha energía.
- Disipan calor a los alrededores, ya que a más de calentar el recipiente calienta. excesivamente la resistencia eléctrica y el bastidor de la cocina.
- Son inseguras, ya que la resistencia eléctrica alcanza temperaturas superiores a los 800°C produciéndose riesgos de que maduras.
- La cocina ensayada presentó riesgos de shock eléctrico, ya que no poseen conexión a tierra ni ningún sistema de protección.
- No tienen sistemas de auto apagado y ningún otro sistema de protección.

4.3.3 COCINAS A GAS

4.3.3.1 VENTAJAS

- Su tecnología no es sofisticada
- Proceso de construcción conocido

4.3.3.2 DESVENTAJAS

- De los tres tipos de cocina presenta la menor eficiencia
- Son lentas comparada con la cocina de inducción
- Energéticamente, el consumo es el mayor de las tres cocinas
- La eficiencia de este tipo de cocinas se ve afectado por las condiciones de presión, disminuyendo en ciudades con altura como Quito
- Igual que la cocina de resistencia disipa energía al calentar el ambiente y el bastidor de la cocina
- Existen riesgos de quemaduras, ya que se calienta todo el equipo
- También existen riesgos de intoxicación o de incendios, por fugas de gas
- No tienen sistema de control de apagado y ningún otro de protección.

4.4 SOFTWARE “EFICIENCIA”

4.4.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software “Eficiencia” se elaboró para obtener resultados en forma sistemática, es decir, una vez terminada cada experimentación. La representación es en forma numérica como gráfica

El programa se desarrolló bajo el lenguaje de programación VISUAL BASIC 6.0 y está vinculado con el programa Microsoft Excel donde se almacenan los datos y cálculos realizados por el programa.

Entre los tres tipos de cocina, el software puede realizar pruebas individuales para cada una de ellas o cualquier combinación.

4.4.2 FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

Al ejecutar el programa aparece una primera pantalla en donde se seleccionan el tipo o tipos de cocina que se desea ensayar, estas pueden ser la cocina de inducción, la cocina a gas y la cocina de resistencia eléctrica, o cualquier combinación entre ellas (Fig 4.19)

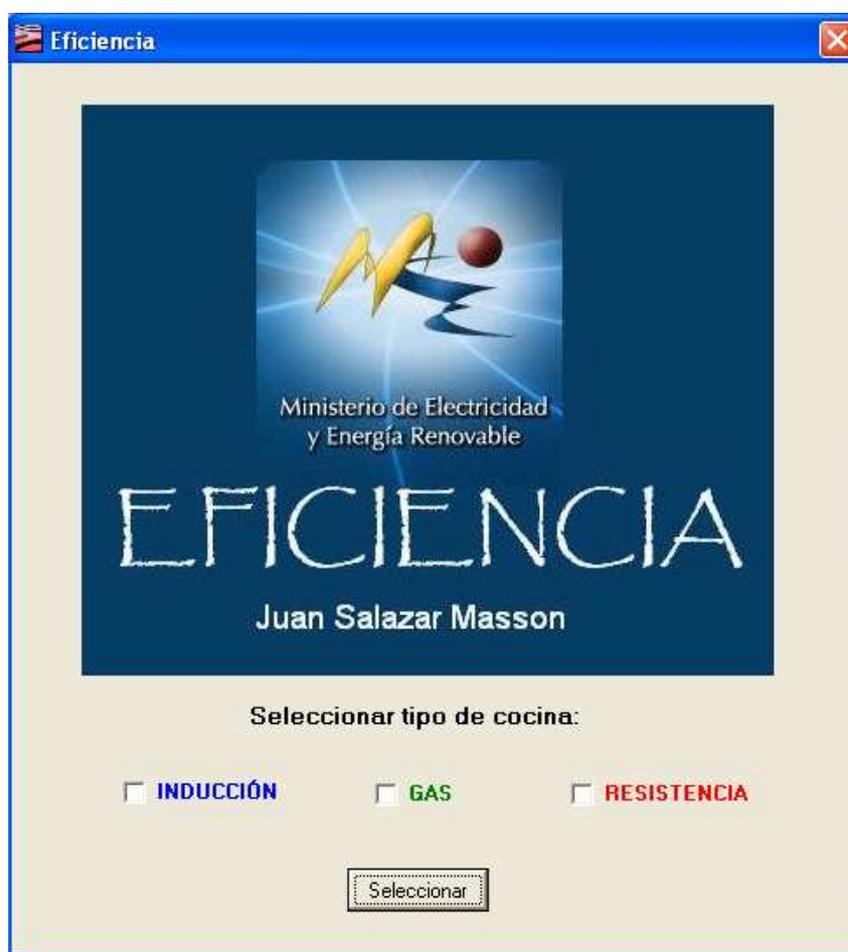


Figura 4.19 Carátula Software Eficiencia, Fuente Propia

Una vez seleccionado el tipo de ensayo, aparece una segunda ventana en donde se introducen los datos iniciales, ésta ventana se subdivide en seis categorías: propiedades del gas, propiedades de la olla, propiedades de la tapa

de la olla, propiedades del líquido y de dos diferentes tipos de alimento que se van a cocinar (Fig 4.20)

The screenshot shows a software window titled "Datos Iniciales" with the following fields and controls:

- Propiedades del Gas:**
 - Pgas (in H2O): 13
 - Tgas (°C): 20
 - PCs (kJ/kg): 50100
 - Vi (L): [Empty]
- Olla:**
 - Material: Ninguno (dropdown)
 - M (kg): [Empty]
 - Ti (°C): [Empty]
 - Cp (kJ/kg K): [Empty]
- Tapa:**
 - Material: Ninguno (dropdown)
 - M (kg): [Empty]
 - Ti (°C): [Empty]
 - Cp (kJ/kg K): [Empty]
- Liquido:**
 - Material: Ninguno (dropdown)
 - M (kg): [Empty]
 - Ti (°C): [Empty]
 - Cp (kJ/kg K): [Empty]
- Alimento 1:**
 - Material: Ninguno (dropdown)
 - M (kg): [Empty]
 - Ti (°C): [Empty]
 - Cp (kJ/kg K): [Empty]
- Alimento 2:**
 - Material: Ninguno (dropdown)
 - M (kg): [Empty]
 - Ti (°C): [Empty]
 - Cp (kJ/kg K): [Empty]

Buttons at the bottom: Iniciar Prueba, Borrar campos, Resultados, Graficos, Informe.

Figura 4.20 Ventana Datos Iniciales, Fuente Propia

Para la cocina de gas se debe introducir la presión y la temperatura de ingreso del combustible, el poder calórico superior y el volumen que marca el gasómetro antes de iniciar la prueba.

Para los otros ítems se debe seleccionar el material, la masa y la temperatura al iniciar la prueba.

Esta ventana cuenta con cinco botones: Iniciar Prueba, Borrar campos, Resultados, Gráficos e Informe los cuales se explican a continuación.

Realizada la selección e introducido los datos iniciales en esta ventana se debe presionar el comando "Iniciar Prueba" lo que significa que se deben poner en funcionamiento a las cocinas simultáneamente.

The image shows a software window titled "Cronómetro" with a blue border. Inside, there are three distinct sections for different cooking methods: "INDUCCIÓN" (blue text), "GAS" (green text), and "RESISTENCIA" (red text). Each section features a digital timer displaying "00:00:08:72" and a "PARAR" button. Below each timer is a checkbox labeled "Tiempo conocido". At the bottom center of the window is a "CALCULAR" button.

Figura 4.21 Ventana Cronómetro, Fuente Propia

La ventana (Fig 4.21) cuenta con un cronómetro para cada tipo de cocina, y éstos se activarán según su selección en la ventana primaria.

Los cronómetros permanecerán activados hasta que la olla, la tapa y los alimentos previamente seleccionados lleguen hasta cierta temperatura. En este punto se debe presionar el botón "PARAR", con lo que se desactiva el cronómetro y despliega dos recuadros en donde hay que ingresar la temperatura final, el volumen final que marca el gasómetro para la cocina a gas y la energía consumida para las cocinas eléctricas (Fig 4.22).

The image shows a software window titled "Cronómetro" with a blue title bar. The window is divided into three sections for different cooking methods:

- INDUCCIÓN** (blue text): A digital timer shows "00:00:01:50". Below it is a checkbox labeled "Tiempo conocido". To the right, under "Datos finales", are input fields for "E (kWh)" and "Tf (°C)".
- GAS** (green text): A digital timer shows "00:00:02:31". Below it is a checkbox labeled "Tiempo conocido". To the right, under "Datos finales", are input fields for "Vf (L)" and "Tf (°C)".
- RESISTENCIA** (red text): A digital timer shows "00:00:02:77". Below it is a checkbox labeled "Tiempo conocido". To the right, under "Datos finales", are input fields for "E (kWh)" and "Tf (°C)".

At the bottom center of the window is a button labeled "CALCULAR". A callout box labeled "Datos finales" with three arrows points to the "E" and "Tf" input fields of the three cooking modes.

Figura 4.22 Introducción de datos finales, Fuente Propia

Se dispone de una ventana con la posibilidad de introducir el tiempo de cocción, esta opción sirve para calcular los resultados al saber previamente en cuanto tiempo un alimento se coció.

Una vez que todos los alimentos alcanzan la temperatura final en cada tipo de cocina y se han introducido los datos finales, se debe presionar el comando "CALCULAR". Al presionar este botón se despliega nuevamente la segunda ventana y desde aquí se pueden visualizar los resultados de forma tabulada y gráfica así como también se pueden grabar los resultados a una hoja de Microsoft Excel

Presionando el comando "Resultados" se despliega la siguiente ventana que presenta los resultados de forma tabulada (Fig 4.23):



	INDUCCIÓN	GAS	RESISTENCIA
Eficiencia			
Consumo			
Costo			
Tiempo			

Figura 4.23 Ventana Resultados, Fuente Propia

Presionando el comando “Gráficos” se despliega la siguiente ventana (Fig 4.24) que indica los resultados de forma comparativa en un diagrama de barras.

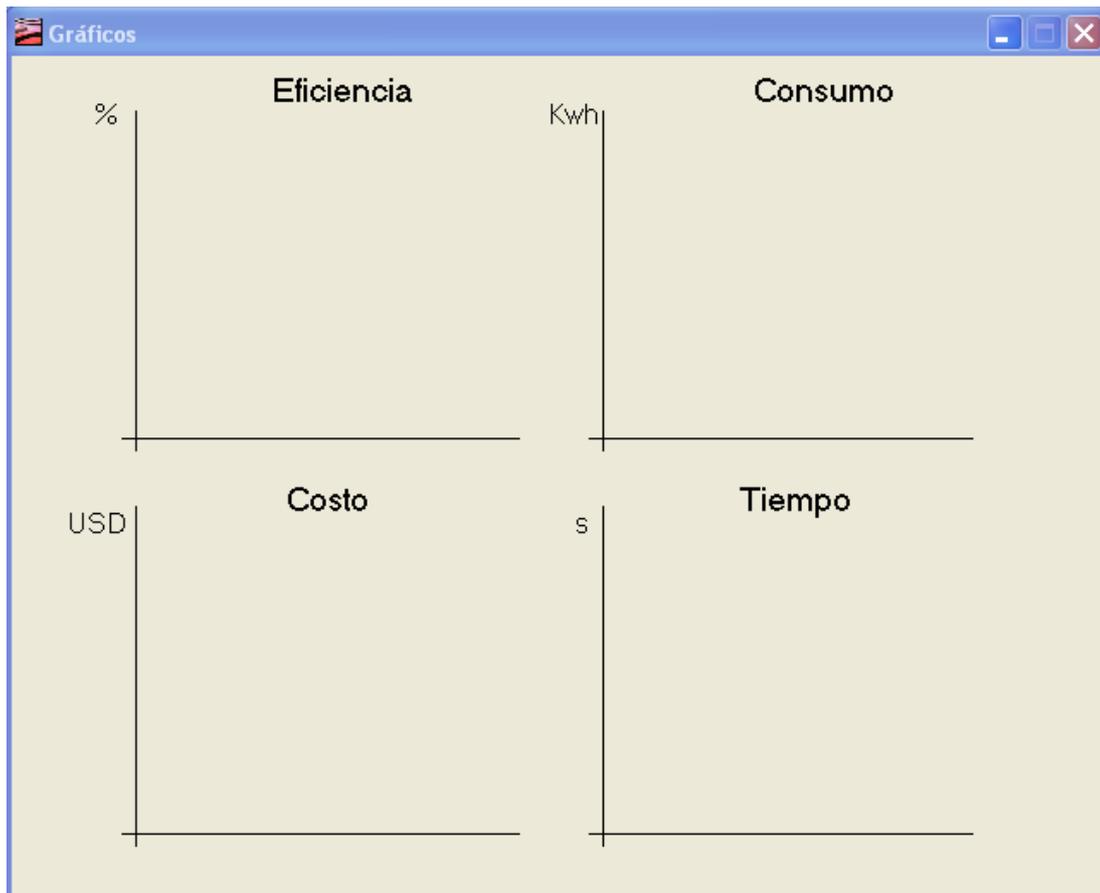


Figura 4.24 Ventana Gráficos, Fuente Propia

con el comando “Informe” el software abre automáticamente una hoja de Excel y graba los resultados y las propiedades iniciales y finales de la olla, tapa y de los materiales utilizados.

Finalmente el comando “Borrar Campos” limpia todos los datos introducidos en la ventana de datos iniciales para iniciar una nueva prueba.

4.4.3 EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO

Con este ejemplo se realiza la prueba a los tres tipos de cocina simultáneamente, para esto en la primera ventana se debe seleccionar todas las cocinas (fig 4.25)

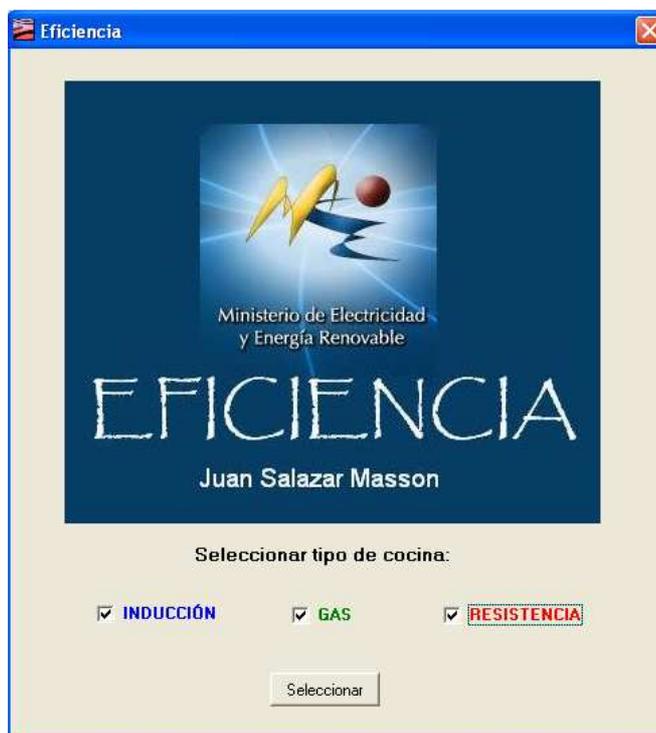


Figura 4.25 Selección del tipo de cocina, Fuente Propia

La prueba consiste en calentar 3 litros agua desde la temperatura ambiente de 15.3°C hasta 85.5 °C. La olla es de hierro enlozado, pesa 0.69 kg y esta inicialmente a una temperatura de 16.8°C. La tapa es de vidrio, pesa 0.56 kg y está inicialmente a una temperatura de 14.3 °C

Para el gas se tiene las siguientes propiedades iniciales:

Presión: 13 (in H₂O)

Temperatura: 16.3 (°C)

Poder calórico superior: 50100 (Kj/kg)

Volumen inicial: 228.6

Los datos se introducen en la ventana “Datos Iniciales”, como se ve en la figura 4.26.

Datos Iniciales

Propiedades del Gas

Pgas (in H₂O) 13

Tgas (°C) 16.3

PCs (kJ/kg) 50100

Vi (L) 228.6

Olla

Hierro enlozado

M (kg) Ti (°C) Cp

0.69 16.8 0.47

Tapa

Vidrio

M (kg) Ti (°C) Cp

0.56 14.3 0.84

Liquido

Agua

M (kg) Ti (°C) Cp

3 15.3 4.19

Alimento 1

Ninguno

M (kg) Ti (°C) Cp

kJ/kg K

Alimento 2

Ninguno

M (kg) Ti (°C) Cp

kJ/kg K

Iniciar Prueba Borrar campos

Resultados Graficos Informe

Figura 4.26 Introducción de propiedades iniciales, Fuente Propia

AL término del calentamiento del agua hasta los 85.5°C la cocina de inducción se demoró 19 min y 3 seg y consumió 0.32 kWh. La cocina de resistencia se demoró 21 min y 49 seg y consumió 0.38kWh. La cocina a gas se demoró 20 min y 19 seg y el gasómetro marcó 253.4 L (fig 4.27)

Cronómetro

INDUCCIÓN

00:19:03:36

Tiempo conocido

Datos finales

E (kWh) 0.32

Tf (°C) 85.5

GAS

00:20:19:37

Tiempo conocido

Datos finales

Vf (L) 253.4

Tf (°C) 85.5

RESISTENCIA

00:21:49:30

Tiempo conocido

Datos finales

E (kWh) 0.38

Tf (°C) 85.5

CALCULAR

Figura 4.27 Cronómetro e introducción de datos finales, Fuente Propia

Los resultados en forma gráfica y de tabla se muestran en las siguientes figuras:

Resultados

	INDUCCIÓN	GAS	RESISTENCIA
Eficiencia	81,44%	52,16%	68,58%
Consumo	0,3kwh	0,5kwh (24,8L)	0,4kwh
Costo	0,027USD	0,036USD	0,032USD
Tiempo	00:19:03:36	00:20:19:37	00:21:49:30

Figura 4.28 Resultados Obtenidos, Fuente Propia

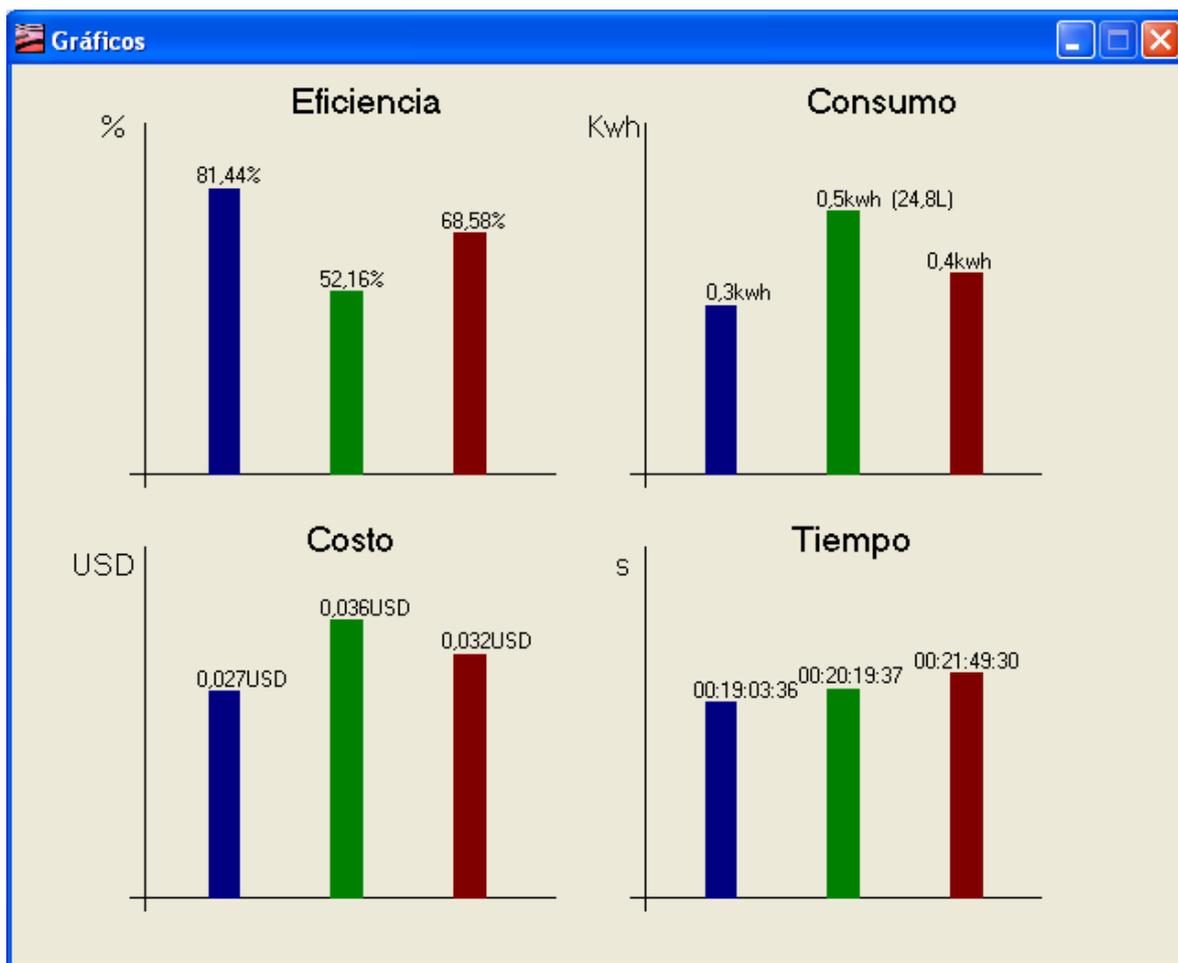


Figura 4.29 Gráfica de resultados, Fuente Propia

Fórmulas que utiliza el programa, así como todo el código fuente bajo el lenguaje VISUAL BASIC se tiene en el Anexo D

CAPÍTULO V

5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El capítulo presenta la construcción de un prototipo de una cocina de inducción magnética. Se aplican los principios, leyes y características que rigen el calentamiento por inducción. Primeramente se explica de forma general la configuración que tiene la cocina de inducción, Posteriormente se presentan los circuitos desarrollados para el prototipo y los resultados obtenidos.

El diseño electrónico de los circuitos del prototipo, así como la programación del microcontrolador y la construcción de las placas se realizó con la colaboración del Ing. Diego Egas, funcionario del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y dos estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO (CIRCUITOS)

El prototipo presenta los componentes estrictamente necesarios para el calentamiento del recipiente y estos son de forma general los indicados en la figura 5.1

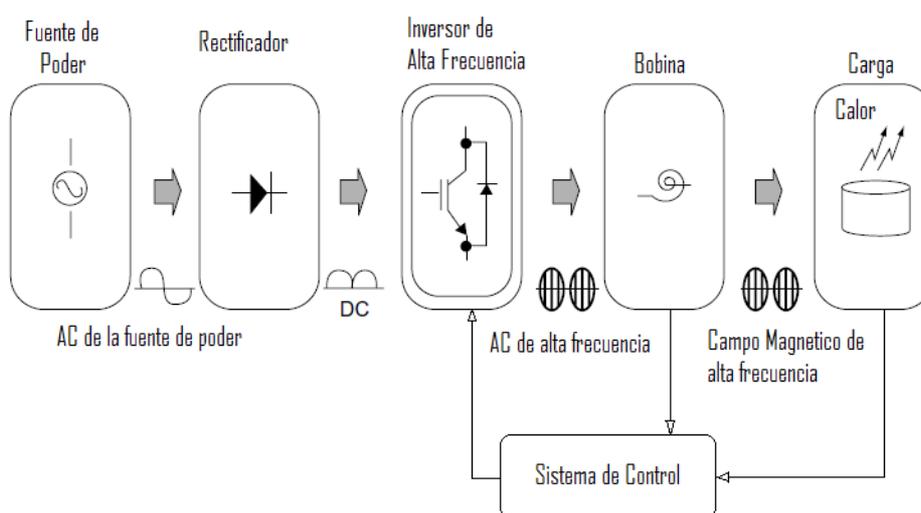


Figura 5.1 Componentes de una cocina de inducción, Tomado de [25]

La corriente alterna de la red se convierte en corriente continua por medio de un rectificador, la corriente continua ingresa a un circuito inversor de frecuencia alta,

con lo que se consigue nuevamente una corriente alterna, pero de alta frecuencia. Esta corriente al atravesar la bobina y de acuerdo a la ley de Ampere crea un campo magnético igualmente de alta frecuencia alrededor de las espiras. Si un objeto ferromagnético es introducido dentro de este campo magnético, se inducen corrientes eléctricas dentro del recipiente, que a su vez producen energía en forma de calor de acuerdo al efecto Joule.

5.1.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

El funcionamiento de la cocina de inducción electromagnética necesita niveles diferentes de voltaje en cada una de las etapas.

El circuito de control requiere un voltaje que pueda operar toda la parte digital, tanto el microprocesador como los periféricos y el sistema de visualización formada por leds, para lo que se considera el consumo máximo de corriente.

En el circuito de disparo se necesita un voltaje mayor para el funcionamiento del IGBT según sus especificaciones eléctricas.

Otro nivel de voltaje se utiliza para uno de sus periféricos como es el caso del ventilador para la disipación de calor del IGBT. Este voltaje puede variar dependiendo del dispositivo.

5.1.2 CIRCUITO DE CONTROL

El sistema de control está basado en un microcontrolador que se encarga de interpretar las señales eléctricas que provienen de los sensores, circuitos electrónicos de lazos de realimentación y en base a estas señales poder tomar acciones para el correcto desempeño del sistema en general.

Las características más importantes por las que se eligió el microcontrolador son las siguientes:

- El número de pines disponibles que pueden utilizarse como entradas y salidas 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
- Reducido set de instrucciones

5.1.2.1 ACONDICIONAMIENTO DE SENSOR DE TEMPERATURA DEL IGBT

En el desarrollo del proyecto se utilizó un sensor de temperatura de resistencia variable que es un termistor NTC, el cual ayudara a determinar si existe un exceso de temperatura en la bobina que va a estar muy cerca de la superficie donde se soporta el recipiente a calentar, por cualquier situación que esto suceda el sistema dejará de funcionar.

5.1.3 CIRCUITO DE POTENCIA [25]

El circuito de potencia del prototipo de basa en un convertidor resonante paralelo, el cual está formado principalmente por un capacitor, un inductor (bobina) y una resistencia, (fig. 5.2)

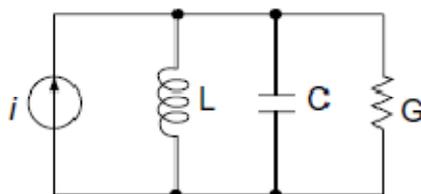


Figura 5.2 Convertidor resonante Paralelo, Tomado de [25]

La justificación de utilizar este circuito se debe a que al trabajar a frecuencia de resonancia, éste se comporta idealmente como un circuito resistivo, es decir, el factor de potencia es 1, con lo cual no existe componentes reactivos.

La resonancia se produce cuando existe intercambio de energía cíclicamente entre el capacitor y la bobina a una velocidad determinada. A dicha velocidad (frecuencia de resonancia) la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva son iguales, de tal forma se puede determinar la frecuencia con la cual se diseña el prototipo:

Reactancia inductiva:
$$X_L = j\omega L = j2\pi fL [\Omega] \quad (5.1)$$

Reactancia Capacitiva: $X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi f C} [\Omega]$ (5.2)

Para determinar la frecuencia de resonancia se igualan las dos anteriores ecuaciones

$$X_L = X_C \quad (5.3)$$

$$j2\pi f L = \frac{1}{j2\pi f C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5.4)$$

De las mediciones realizadas de capacitancia como de inductancia de los elementos que se utilizaron en la cocina se determinó: $L= 52.7 \mu H$ y $C=0.8 \mu F$; y se tiene:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{52.7 \times 10^{-6} H * 0.8 \times 10^{-6} F}}$$

$$f_r = 24511 \text{ Hz}$$

$$f_r = 24.5 \text{ kHz}$$

Hay que señalar que en el prototipo no se tendrá una inductancia constante, debido a que ésta varía según el material del recipiente, la sustancia a cocinar, la posición, y la distancia de la olla con respecto a la bobina; es por esto que mediante el programa del microcontrolador se corrige ésta variación y siempre se mantiene en resonancia.

Como se explicó, existe una capa de espesor δ en la que se tiene 87% de la potencia total disipada,

La profundidad estándar de penetración puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0 \mu_r}} \quad (5.5)$$

Donde: ρ es la resistividad del material.

μ_0 Es la permeabilidad magnética del vacío $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$.

μ_r Es la permeabilidad magnética relativa del material.

f Es la frecuencia de trabajo.

En la figura 3.4 se puede observar la profundidad de penetración para varios materiales, en función de la frecuencia de trabajo.

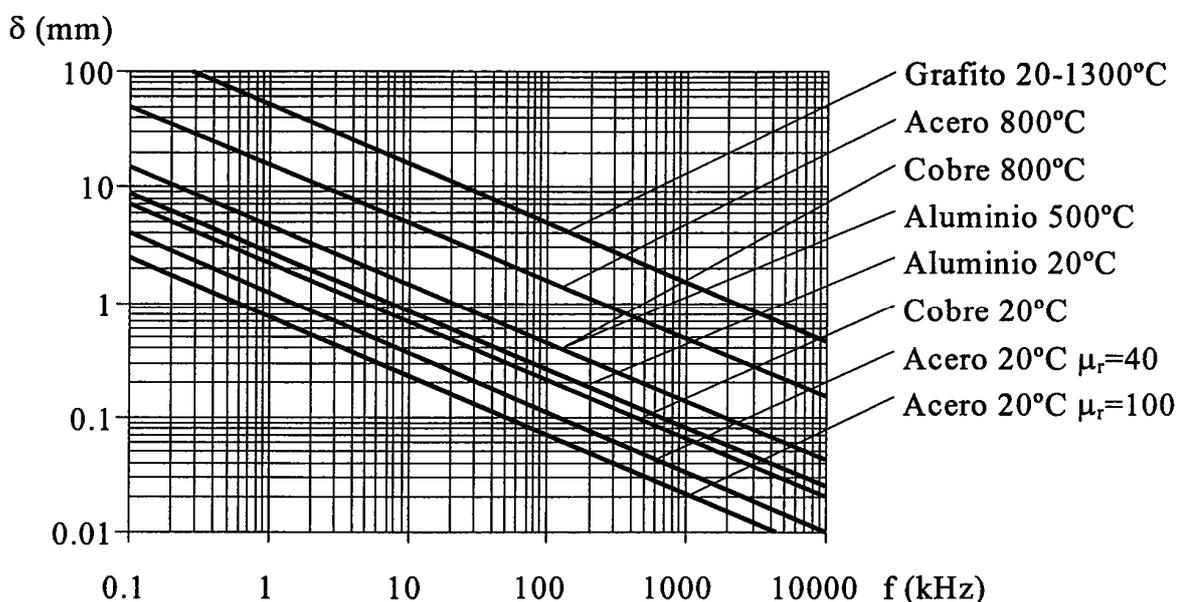


Figura 5.3 Profundidad de penetración en función de la frecuencia para varios materiales, Tomado de [15]

La frecuencia de funcionamiento del prototipo es alta, para que la producción de calor se dé en la superficie de la olla y se maximice transferencia de calor hacia los alimentos.

La elección de una frecuencia alta conlleva la utilización de transistores y capacitores capaces de soportar estas oscilaciones, los cuales son demasiado costosos, mientras que seleccionar una frecuencia muy baja no alcanzaría a inducir corrientes lo suficiente mente grandes para calentar a la olla.

La frecuencia determinada de 24.5 kHz, según la figura 5.3 proporciona una profundidad de penetración de 0.2 mm para un acero con una permeabilidad

relativa de 100 a 20 °C, Esta profundidad de penetración es la adecuada para calentamiento de ollas ya que sus espesores varían desde 0.5 mm a 3 mm según las mediciones realizadas en el laboratorio.

5.2 CONSTRUCCIÓN

A continuación se explica el proceso de construcción del prototipo:

Primeramente se determinaron los circuitos de la cocina de inducción, tanto el circuito de control, el de potencia y el de la fuente (Anexo A), esto se hizo con la ayuda de expertos en el tema y con la información recopilada al analizar la cocina importada.

Se obtuvieron todos los elementos electrónicos necesarios para construir el circuito, aquí hay que resaltar que los condensadores de alto voltaje: la bobina, el rectificador y el IGBT, necesarios para armar el circuito de potencia no se los puede adquirir en el mercado nacional, se deben importar desde Estados Unidos o China con costos altos adicionales, por esta razón, se decidió utilizar los de la cocina importada. Los demás elementos como resistencias, transistores, microcontroladores, etc no hubo dificultad para conseguirlos en el mercado local.

Determinados los circuitos y con los elementos necesarios se procedió a probarlos mediante la utilización de protoboard, para determinar errores y validar el funcionamiento.

Determinados y comprobados los circuitos de la cocina y con la ayuda del software PROTEL DXP se realizaron los circuitos para reproducirse en las placas de Baquelita (Anexo A), El software determina las ubicaciones de los componentes electrónicos y las pistas o conexiones entre ellos.

La confección de las placas de baquelita se realizó con la asistencia de una microempresa dedicada a este fin. Con las baquelitas listas se procedió a soldar todos los elementos, quedando así terminados los circuitos.

Finalmente se armó las placas y los demás elementos sobre la base, obteniendo así el prototipo.

Las siguientes figuras muestran las partes del prototipo construidas:

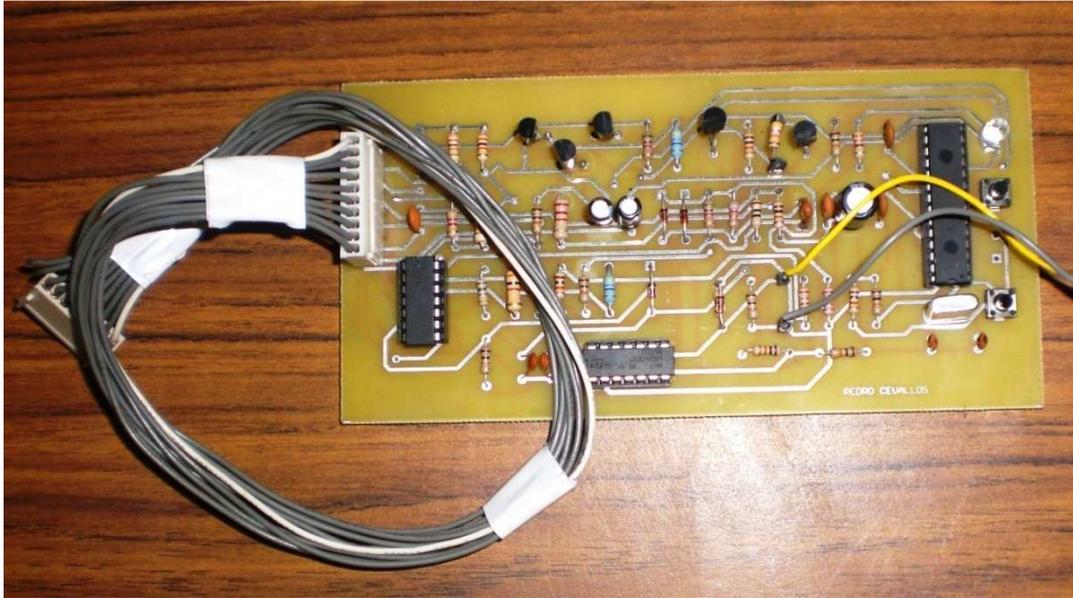


Figura 5.4 Circuito de control, Fuente Propia

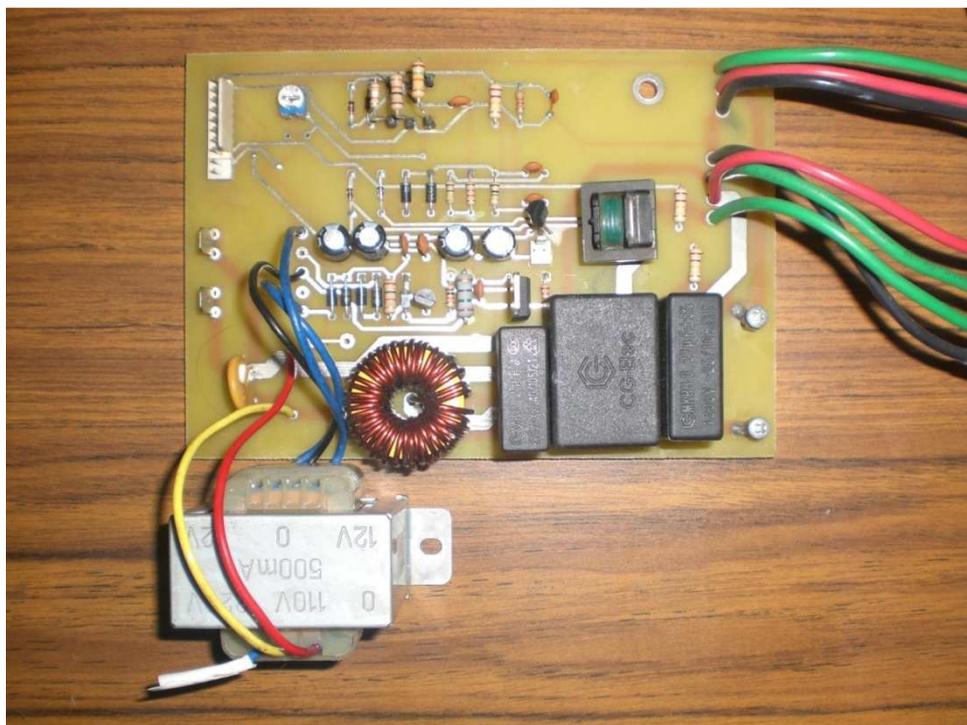


Figura 5.5 Circuito de Potencia y fuente, Fuente Propia



Figura 5.6 Cable de poder y fusible, Fuente Propia



Figura 5.7 Ventilador, Fuente Propia

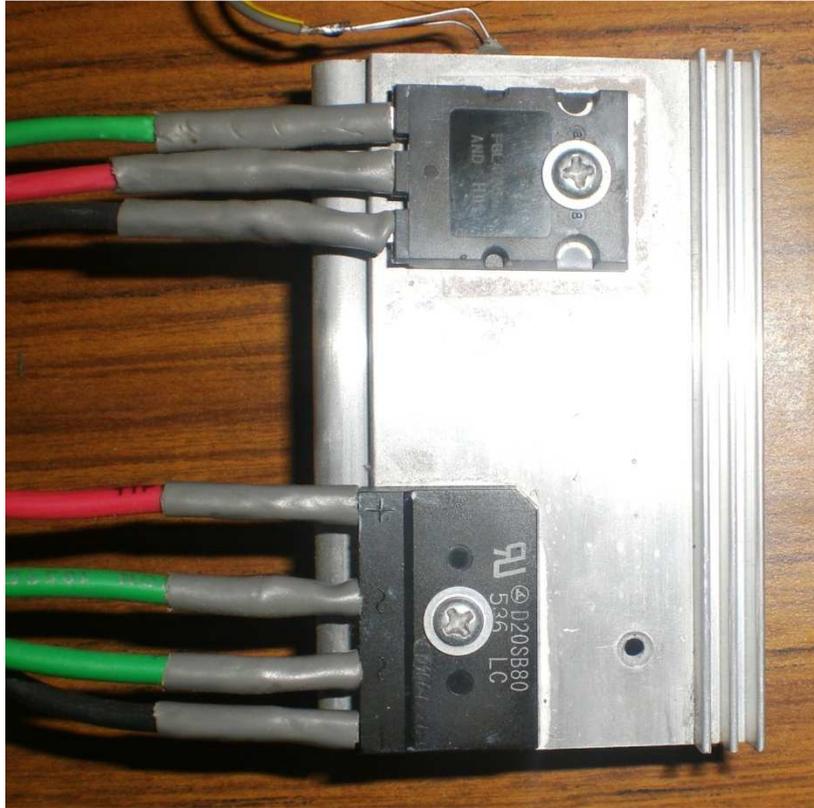


Figura 5.8 Rectificador, IGBT y Disipador, Fuente Propia.



Figura 5.9 Prototipo Ensamblado, Fuente Propia.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Con el estudio realizado se ha logrado cumplir con el objetivo principal del presente proyecto de titulación, que es efectuar la comparación técnica de los tres tipos de cocinas y se determinó que la cocina de inducción presenta más ventajas que la otras dos cocinas estudiadas.
- Si bien es cierto que la tecnología de las cocinas de inducción es más avanzada que la tecnología de las cocinas de resistencia y las cocinas a gas, en el país se tiene la tecnología necesaria para construir este tipo de cocinas, como se demostró al construir el prototipo. Actualmente se debe importar la mayoría de componentes electrónicos.
- De los tres tipos de cocinas analizadas, la cocina de inducción magnética es la más eficiente ya que la olla funciona como elemento generador de calor y no simplemente conduce el calor desde la fuente hacia el alimento, como en los otros dos tipos de cocinas analizadas.
- La introducción masiva de cocinas de inducción magnética en el Ecuador se lo debe hacer a futuro, ya que actualmente la capacidad hidroeléctrica del país es insuficiente. La viabilidad económica positiva para este proyecto que se presenta en el Anexo E será posible cuando las grandes hidroeléctricas como Mazar o Coca Codo Sinclair entren en funcionamiento a partir del año 2011 según lo planificado por el Gobierno Nacional.
- Con la introducción masiva de cocinas de inducción magnética se podrá focalizar de mejor manera el subsidio a la energía destinada para la cocción, ya que es más fácil controlar la distribución de energía eléctrica, que controlar la mala utilización y contrabando del GLP subsidiado por el estado.

- El material de las bobinas no es factor determinante para la eficiencia de la cocina de inducción, lo que determina la mejor disipación de energía es el número de espiras de la misma.
- La potencia disipada por la cocina aumenta cuando mayor sea la resistividad del material de la olla, es por esto que la frecuencia de la cocina de inducción es la adecuada para trabajar con materiales ferromagnéticos.
- La realización de este proyecto ha contribuido a la profundización de conocimientos sobre electrónica, los cuales actualmente son muy importantes en el ámbito profesional para un ingeniero mecánico.

6.2 RECOMENDACIONES

- La cocina a gas se ve afectada notablemente en su potencia nominal (14.5%) a niveles de presión y temperatura de Quito, es por esto que se recomienda realizar pruebas de éste tipo de cocinas en ciudades que estén a nivel del mar para determinar su eficiencia en condiciones de potencia nominal.
- El software “Eficiencia” no considera cambios de fase de los líquidos para realizar los cálculos del rendimiento de las cocinas, se recomienda profundizar en la programación del software e introducir parámetros como los calores latentes de evaporación de cada sustancia.
- Se recomienda realizar un análisis de las condiciones de las instalaciones eléctricas de las casas donde se vayan a utilizar las cocinas de inducción, ya que el amperaje que consumen puede sobrecargar dichas instalaciones y causar problemas como activación de breakers o sobrecalentamiento de los cables y posibles incendios.

- Se recomienda hacer un estudio sobre la distribución de corrientes inducidas sobre la superficie de los elementos a calentar mediante la técnica de elementos finitos o similares para diferentes frecuencias y formas de bobinas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INCROPERA, Frank; DEWITT, David; Fundamentos de Transferencia de Calor; Prentice Hall; Cuarta Edición; México; 1999
- [2] CENGEL, Yunus; BOLES, Michael; Termodinámica; Mc Graw hill; Quinta Edición; México; 2006.
- [3] AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS; Standard Test Methods for Performance of Range Tops; Designación ASTM: F1521-03; USA; 2003
- [4] MAHALLAWY, F; HABIK, Din; Fundamentals And Technology of Combustion; Elsevier; Primera Edición; Inglaterra; 2002.
- [5] GARCÍA, Ricardo; Quemadores; Noviembre 2001
<http://www.energia.inf.cu/iee-mep/SyT/CDG/Taller1BURE/QUEMADORES.PDF>
- [6] GARCÍA, Ricardo; Combustión y combustibles; Noviembre 2001
<http://www.energia.inf.cu/iee-mep/SyT/CDG/Taller1BURE/COMBUSTION.PDF>
- [7] RAPOPORT, Edgar; PLESHIVTSEVA, Yulia; Optimal Control of Induction Heating Processes; Taylor y Francis Group; Primera Edición; USA; 2007.
- [8] MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE; Prospectiva Energética en un Contexto de Desarrollo Sustentable, Políticas y Estrategias para el cambio de la Matriz Energética del Ecuador, Enero 2008.
- [9] MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE; "Sustitución masiva de cocinas de GLP en el sector residencial de las fronteras Norte y Sur, con la utilización de cocinas eléctricas de inducción" 2009.
- [10] XXIII SEMINARIO SECTOR ELÉCTRICO – SNSE; Análisis del impacto Técnico-Económico de la sustitución de cocinas de GLP Por cocinas de Inducción Magnética; Salinas 2008.
- [11] CEKIT S.A; Curso Fácil de Electrónica Básica; Colombia; 2006
- [12] SERWAY, Raymond; Electricidad y Magnetismo; Mc Graw hill; Tercera Edición USA; 1995.
- [13] REITZ J; MILFORD F; CHRISTY R; Fundamentos de la Teoría Electromagnética; Cuarta edición; Addison-Wesley; USA; 1999.

[14] CUENCA, Mariano; Desarrollo de un equipo de calentamiento por inducción; 2003.

http://www.uam.es/personal_pas/mcuenca/mifiles/Desarrollo%20de%20un%20equipo%20de%20calentamiento%20por%20inducccion.pdf

[15] GÓMEZ, Esteve; Tesis doctoral “Influencia de los componentes parásitos en el análisis y diseño de inversores resonantes paralelo para aplicaciones de calentamiento por inducción”; Universidad de Valencia; 1999.

http://www.tesisexarxa.net/TESIS_UV/AVAILABLE/TDX-0211104-115858//esteve.pdf

[16] STANLEY, Zinn; SEMIATIN, S; Coil Design And Fabrication; 1988.

<http://www.stanleyzinn.com/induction-heating/coil-design-2.html>

[17] GONZÁLES, Gabriel; Aplicaciones del Calentamiento por inducción electromagnética en el procesamiento de PRFV

<http://www.emmafiorentino.com.ar/VIII%20SEMINARIO/APLICACIONES.PDF>

[18] MORA, Walter; ESPINOZA, José; Programación Visual Basic Para Excel y Análisis Numérico; Primera Edición; Costa Rica; 2005.

[19] AREA INTERACTIVA; Curso De Visual Basic 6.0; España; 2007.

<http://www.emagister.com/aprenda-visual-basic-6-0-cursos-1052321.htm>

[20] SHARMA, Shri; MULVANEY, Steven; RIZVI, Syed; Ingeniería de Alimentos; Limusa Wiley; Primera Edición; México; 2003

[21] TOLEDO, Romero; Fundamentals of food Process Engineering; Springer; Tercera Edición; USA; 2007

[22] AVILÉS, Enrique; Tesis: Diseño y construcción de un equipo para ensayos no destructivos por corrientes inducidas; EPN; Ingeniería Mecánica; 1987

[23] GUZMÁN, María; Tesis: Prototipo de generador de alta frecuencia y potencia para el tratamiento térmico superficial del acero para el laboratorio de PPM de la Escuela de formación tecnológica; EPN-ESFOT; 2004

[24] TORRES, Byron; DÁVILA, Guillermo; Tesis: Quemadores atmosféricos a gas; EPN; Ingeniería Mecánica; 1982.

[25] FAIRCHILD, Semiconductor; Induction Heating System Topology Review; 2000.

<http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-9012.pdf>

[26] <http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/teoria-combustion>

[27] http://webpages.charter.net/dawill/tmoranwms/Elec_IndHeat8.html

ANEXOS

ANEXO A: CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO

ANEXO B: NORMA ASTM-F1521-03

ANEXO C: MANUAL DE OPERACIÓN DE LA COCINA IMPORTADA

ANEXO D: CÓDIGO DEL SOFTWARE EFICIENCIA

ANEXO E: “SUSTITUCIÓN MASIVA DE COCINAS DE GLP EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE LAS FRONTERAS NORTE Y SUR, CON LA UTILIZACIÓN DE COCINAS ELÉCTRICAS DE INDUCCIÓN”