



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE
CALENTAMIENTO EFICIENTE DE AGUA POTABLE POR
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al Grado Académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: CRISTIAN FABRICIO CASTRO CEVALLOS
SANTIAGO ALEXANDER ROJAS PORRAS

TUTOR: Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego

Riobamba – Ecuador
2018

©2018, Cristian Fabricio Castro Cevallos y Santiago Alexander Rojas Porras

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE CALENTAMIENTO EFICIENTE DE AGUA POTABLE POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA”, de responsabilidad de los señores Cristian Fabrico Castro Cevallos y Santiago Alexander Rojas Porras, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Julio Santillán

**VICEDECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

Ing. Freddy Chávez V.

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

Ing. Jorge Luis Paucar

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Dr. Miguel Tasambay Salazar. PhD.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
TITULACIÓN**

Nosotros CRISTIAN FABRICO CASTRO CEVALLOS y SANTIAGO ALEXANDER ROJAS PORRAS somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, noviembre de 2018

Cristian Fabricio Castro Cevallos

060418308-7

Santiago Alexander Rojas Porras

1804569349

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por darme las fuerzas y la salud para salir adelante en los momentos más difíciles; a mi familia y hermanos por ser ese ejemplo a seguir, en especial a mis padres por todo el sacrificio, apoyo y cuidado incondicional que me brindan haciendo de mí una mejor persona día tras día. Por último, a mis amigos y enamorada que siempre fueron ese respaldo tan importante en el duro camino de la vida.

Cristian

El presente trabajo de titulación lo dedico primero a Dios por siempre darme las fuerzas para continuar, por haberme brindado salud y por brindarme vida para cumplir mis sueños, a mi familia por apoyarme en este duro camino, por formarme como persona de bien y por enseñarme a ser útil en esta sociedad y a las personas que pese a los problemas y adversidades siempre han estado conmigo.

Santiago

AGRADECIMIENTO

El más sincero de mis agradecimientos a mis padres William y Miriam por todos estos años de sacrificio y apoyo, a mis hermanos Israel y Fernando por siempre estar ahí para guiar mis pasos, a mis tíos por estar pendientes de mí siempre con una muestra de amor incondicional, a Santiago Rojas, un gran amigo, sin el cual este logro no se habría cumplido, a mis amigos que me permitieron compartir tantas magnificas experiencias al hacerme parte de sus vidas, a Nathy por su amor, apoyo, comprensión y buenos deseos que me han convertido en una mejor persona. Finalmente agradezco de todo corazón a todos los docentes que contribuyeron en mi formación en especial al Ing. Jorge Luis Paucar por su confianza, amistad y toda la ayuda en la elaboración de nuestro trabajo de titulación.

Cristian

Mi más sincero agradecimiento a mis padres Jorge y Mónica por nunca perder las esperanzas en mí, a mi hermana Andrea y mi hermano Sebastián por brindarme la fuerza para seguir, a mis amigos y amigas por tratarme como su familia por siempre estar en momentos en los que sentía que la vida se volvía vacía, a Cristian Castro, que ha sido un amigo incondicional desde mi primer día de clases, a Maggy que es la persona que en todo momento me ha apoyado y me ha ayudado en todo y siempre a tenido fe en mi. Agradezco a mis profesores de la FIE por formarme como un profesional, le doy gracias a mis catedráticos. Jorge Luis Paucar gran amigo y profesor, y al Dr. Miguel Tasambay por su colaboración en nuestro trabajo de titulación.

Santiago

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
ÍNDICE DE ABREVIATURA	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Sistemas de Calentamiento de Agua potable	5
<i>1.1.1 Calentadores instantáneos</i>	<i>5</i>
<i>1.1.1.1 Calefones a GLP.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.2 Calentadores eléctricos</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.3 Duchas eléctricas.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2 Calentadores acumuladores.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2.1 Termotanques a GLP</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2.2 Termotanques eléctricos</i>	<i>9</i>
<i>1.1.2.3 Sistemas de calentamiento solar.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.3 Eficiencia de los sistemas convencionales de calentamiento</i>	<i>13</i>
1.2 Principios de la Inducción electromagnética.....	14
<i>1.2.1 Flujo Magnético.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.1.1 Campo Magnético Formado por una Bobina.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2 Ley de Faraday.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.3 Ley de Lenz</i>	<i>16</i>
<i>1.2.4 Ley de Ampere.....</i>	<i>16</i>
<i>1.2.5 Efecto Joule</i>	<i>17</i>

1.3	Propiedades de un sistema de calentamiento por inducción electromagnética	17
1.3.1	Energía transferida en forma de calor	17
1.3.1.1	<i>Transferencia de calor por Conducción</i>	18
1.3.1.2	<i>Transferencia de calor por Radiación</i>	18
1.3.1.3	<i>Transferencia de calor por Convección</i>	19
1.3.2	Profundidad de Penetración	19
1.3.3	Eficiencia eléctrica	20
1.3.4	Modelamiento de la Carga	21
1.3.4.1	<i>Modelo Serie y Modelo Paralelo</i>	22
1.3.4.2	<i>Resistencia Equivalente</i>	22
1.3.4.3	<i>Inductancia</i>	23
1.3.5	Aislamiento	24
1.4	Aplicaciones de la inducción electromagnética	24
1.4.1	Temple por Inducción	24
1.4.2	Revenido por Inducción	25
1.4.3	Calentamiento de tubos, tuberías y recipientes	25
1.4.4	Soldadura por inducción	25
1.4.5	Plasma por inducción	26
1.4.6	Industria Alimenticia	26
1.4.7	Industria Química	26
1.4.8	Aplicaciones Varias	26
1.5	Componentes de un sistema de calentamiento por inducción electromagnética ..	26
1.5.1	Fuente de Alimentación Eléctrica	27
1.5.1.1	<i>Potencia requerida</i>	29
1.5.2	Inversores y Convertidores Resonantes	30
1.5.2.1	<i>Inversor resonante</i>	30
1.5.2.2	<i>Convertidores Resonantes</i>	33
1.5.2.3	<i>Dispositivos semiconductores MOSFET</i>	34

1.5.3	<i>Circuito Tanque RLC</i>	37
1.5.3.1	<i>Bobina de Inducción</i>	38
1.5.4	<i>Carga</i>	42
1.5.5	<i>Sistema de control de Temperatura</i>	42
1.5.5.1	<i>Sistema de Control ON-OFF</i>	43
1.5.5.2	<i>Controlador</i>	44
1.5.5.3	<i>Sensores</i>	46
1.5.5.4	<i>Acondicionador de señal</i>	47
 CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	49
2.1	Concepción General del Sistema Electrónica	49
2.1.1	<i>Requerimientos del Sistema Electrónico que Desarrollar</i>	49
2.1.2	<i>Arquitectura del Sistema de Calentamiento a Inducción</i>	50
2.1.3	<i>Control de Lazo Cerrado para el Dispositivo</i>	51
2.2	Determinación de los Parámetros de funcionamiento	51
2.2.1	<i>Determinación de la potencia necesaria</i>	52
2.2.2	<i>Determinación de parámetros para el conversor resonante</i>	54
2.3	Selección de Dispositivos electrónicos	55
2.3.1	<i>Fuente de Alimentación NIMO ALM335</i>	55
2.3.2	<i>Componentes de la etapa de potencia</i>	56
2.3.2.1	<i>MOSFET IRFP260N</i>	56
2.3.2.2	<i>Diodo Zener 1N4746A</i>	57
2.3.2.3	<i>Diodos Rectificadores</i>	57
2.3.2.4	<i>Resistencia de Potencia</i>	58
2.3.2.5	<i>Inductancia tipo Choke</i>	58
2.3.2.6	<i>Capacitor MKPH</i>	59
2.3.3	Componentes del sistema de Control	60
2.3.3.1	<i>Tarjeta de desarrollo electrónico Arduino Mega</i>	60

2.3.3.2	<i>Contenedor</i>	60
2.3.3.3	<i>Sensor Termocupla Tipo K</i>	61
2.3.3.4	<i>Convertidor Analógico MAX6675</i>	61
2.3.3.5	<i>Electroválvula Solenoide 12 VDC</i>	62
2.3.3.6	<i>Caudalímetro YF-S201</i>	63
2.3.3.7	<i>Sensor de Nivel de agua tipo boya</i>	64
2.3.3.8	<i>Pantalla LCD 16X2</i>	64
2.3.3.9	<i>Motor de Bomba de Agua</i>	65
2.3.3.10	<i>Relé de estado solido</i>	65
2.4	Diseño y simulación de etapas	66
2.4.1	Diseño de la etapa de potencia	66
2.4.1.1	<i>Diseño del circuito de disparo de los Mosfet</i>	66
2.4.1.2	<i>Diseño de la Capacitancia Resonante</i>	69
2.4.1.3	<i>Diseño de la Inductancia Resonante</i>	69
2.4.1.4	<i>Diseño de la placa de Inducción en PCB (Printed Circuit Board)</i>	70
2.4.1.5	<i>Simulación y formas de onda del circuito de potencia</i>	72
2.5	Programación del algoritmo de Control	72
2.6	Implementación del Prototipo	78
CAPÍTULO III		
3.	PRUEBAS Y RESULTADOS	81
3.1	Pruebas y resultados del sistema eléctrico y electrónico.	81
3.1.1	<i>Caracterización de sensor de temperatura</i>	82
3.2	Pruebas de llenado del tanque	83
3.3	Pruebas de tiempo de calentamiento de agua	84
3.3.1	<i>Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 25 °C</i>	84
3.3.2	<i>Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 30 °C</i>	85
3.3.3	<i>Tiempo promedio que toma el prototipo en alcanzar 35 °C</i>	86
3.3.4	<i>Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 40 °C</i>	87

3.3.5	<i>Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 45 °C</i>	88
3.3.6	<i>Gráfico de Temperatura vs Tiempo</i>	88
3.4	Eficiencia Energética del Prototipo de Calentamiento de Agua Potable	89
3.5	Prototipo de calentamiento por Inducción versus Sistema convencional	90
3.5.1	<i>Análisis comparativo en base a la eficiencia de consumo energético</i>	90
3.6	Análisis de Costos	92
	CONCLUSIONES	94
	RECOMENDACIONES	96
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - 1: Ventajas y desventajas de fuentes de alimentación	28
Tabla 2 - 1: Modulación y Frecuencia de resonancia de dispositivos de conmutación	32
Tabla 3 - 1: Propiedades de los aceros inoxidables	42
Tabla 4 - 1: Características principales de los tipos de sensores de temperatura	46
Tabla 5 - 1: Resumen acondicionamientos necesarios para sensores de temperatura	48
Tabla 1 – 3: Mediciones de temperatura en °C realizadas por el Sensor termocupla tipo K y el multímetro AideTek VC97+	82
Tabla 2 – 3: Prueba t de muestras relacionadas para la medición de temperatura	83
Tabla 3 – 3: Tiempo en llenarse el Contenedor	84
Tabla 4 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 25 °C.....	84
Tabla 5 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 30 °C.....	85
Tabla 6 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 35 °C.....	86
Tabla 7 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 40 °C.....	87
Tabla 8 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 45 °C.....	88
Tabla 9 – 3: Eficiencia Energética de 5 muestras del prototipo.....	90
Tabla 10 – 3: Consumo energético proyectado del sistema basado en resistencias	91
Tabla 11 – 3: Consumo energético proyectado del sistema de inducción electromagnética.	91
Tabla 12 – 3: Análisis de Costos.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - 1: Partes un Calefón a GLP	6
Figura 2 - 1: Partes del Calentador Eléctrico.....	7
Figura 3 - 1: Ducha Eléctrica	8
Figura 4 - 1: Termotanque a GLP	8
Figura 5 - 1: Funcionamiento de Termo tanque Eléctrico	9
Figura 6 -1: Partes del captador solar.....	10
Figura 7 - 1: Sistema térmico solar por termosifón	11
Figura 8 - 1: Sistema térmico solar por circulación Forzada	11
Figura 9 - 1: Ángulos de inclinación y orientación para sistemas solares	12
Figura 10 - 1: Eficiencia de los sistemas convencionales.....	13
Figura 11 - 1: Flujo Magnético	14
Figura 12 - 1: Concentración del campo magnético en una bobina.....	15
Figura 13 - 1: Ley de Ampere	16
Figura 14- 1: Profundidad de penetración de una bobina	20
Figura 15 – 1: Modelado eléctrico de la bobina - pieza	21
Figura 16- 1: Diagrama de bloques de un sistema de calentamiento por inducción	27
Figura 17- 1: Circuito Inversor de terminación única (SE)	31
Figura 18- 1: Circuito Inversor Resonante serie de Puente Completo.....	31
Figura 19- 1: Circuito inversor resonante serie de medio puente	32
Figura 20- 1: Conmutación ZCS	33
Figura 21- 1: Conmutación ZVS.....	34
Figura 22- 1: Capacitancias parasitas de transistores MOSFET	35
Figura 23- 1: Conmutación Ideal y Real de transistores MOSFET	36
Figura 24- 1: Bobina de una espira	39
Figura 25- 1: Bobina helicoidal de varias espiras.....	39
Figura 26- 1: Bobina helicoidal multiposición	40
Figura 27- 1: Bobina helicoidal dividida.....	40
Figura 28- 1: Bobina de canal	40
Figura 29- 1: Bobina de canal curvado	41
Figura 30- 1: Bobina de Oblea.....	41
Figura 31- 1: Bobina interior	41
Figura 32- 1: Acción de Control ON-OFF	43
Figura 33- 1: Acción de Control ON – OFF con Histéresis	44

Figura 1 - 2: Diagrama de Bloques del sistema de Calentamiento por Inducción	50
Figura 2 – 2: Dimensiones de la Tubería	52
Figura 3 – 2: Fuente de Alimentación NIMO ALM335	55
Figura 4 – 2: Mosfet IRFP260N	56
Figura 5 – 2: Diodo Zener 1N4746A	57
Figura 6 – 2: Diodo Rectificador FR307.....	58
Figura 7 – 2: Resistencias de Potencia	58
Figura 8 – 2: Inductor Toroidal.....	59
Figura 9 – 2: Capacitor MKPH	59
Figura 10 – 2: Arduino MEGA 2560	60
Figura 11 – 2: Termocupla Tipo K	61
Figura 12 – 2: Convertidor Analógico MAX6675	62
Figura 13 – 2: Electroválvula Solenoide	62
Figura 14 – 2: Caudalímetro YF-S201	63
Figura 15 – 2: Sensor de Nivel de agua tipo Boya.....	64
Figura 16 – 2: Pantalla LCD 16X2	65
Figura 17 – 2: Relé de estado sólido DC/AC	66
Figura 18 – 2: Diagrama del Circuito del sistema de Inducción Electromagnética	67
Figura 19 – 2: Conmutación de los Mosfet al conmutar por cero.....	68
Figura 20 – 2: Capacitancia Resonante	69
Figura 21 – 2: Diseño de la placa de inducción en PCB	71
Figura 22 – 2: Diseño de la placa de Inducción vista en 3D	71
Figura 23 – 2: Formas de Onda.....	72
Figura 24 – 2: Diagrama de Flujo del sistema de control.....	73
Figura 25 – 2: Diagrama de Flujo de adquisición de temperatura	75
Figura 26 – 2: Esquema de conexiones de la placa de control	76
Figura 27 – 2: Diseño de la placa de control en PCB.....	77
Figura 28 – 2: Diseño en tres dimensiones de la placa de control	77
Figura 29 – 2: Placa del sistema de Inducción	78
Figura 30 – 2: Placa del sistema de Control.....	79
Figura 31 – 2: Contenedor de Agua	79
Figura 32 – 2: Elementos y placas del prototipo en caja	79
Figura 33 – 2: Distribución de elementos y placas del prototipo en caja.....	80
Figura 34 – 2: Prototipo de calentamiento eficiente de agua potable por inducción electromagnética implementado.....	80

Figura 1 - 3: Comparación del consumo mensual de energía.....	91
Figura 2 - 3: Costo mensual de Energía	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - 2: Etapas del para la implementación del prototipo	49
Gráfico 2 - 2: Diagrama de bloques de control del sistema	51
Gráfico 1 - 3: Temperatura vs Tiempo	89

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - 1: Flujo Magnético	14
Ecuación 2 - 1: Ecuación de la Ley de Faraday.....	15
Ecuación 3 - 1: Ecuación de la Ley de Ampere.....	16
Ecuación 4 - 1: Efecto Joule.....	17
Ecuación 5 - 1: Ecuación de la energía transferida en forma de calor	17
Ecuación 6 - 1: Ecuación de la transferencia de calor por Conducción	18
Ecuación 7 - 1: Ecuación de la transferencia de calor por Radiación	18
Ecuación 8 - 1: Ecuación de la transferencia de calor por Convección	19
Ecuación 9 - 1: Ecuación de profundidad de penetración.....	20
Ecuación 10 - 1: Ecuación de obtención de la eficiencia eléctrica.	21
Ecuación 11 - 1: Factor de calidad en modelo serie	22
Ecuación 12 - 1: Relación entre factor de calidad entre modelos paralelo y serie.	22
Ecuación 13 - 1: Cálculo de la resistencia Equivalente	22
Ecuación 14 - 1: Cálculo de la Inductancia	23
Ecuación 15 - 1: Cálculo de la potencia requerida.	29
Ecuación 16 - 1: Frecuencia angular	37
Ecuación 17 - 1: Igualdad de reactancia Inductiva y reactancia capacitiva	37
Ecuación 18 - 1: Conversión de frecuencia angular	38
Ecuación 19 - 1: Cálculo de la frecuencia de Resonancia	38
Ecuación 20 - 1: Cálculo de la corriente de resonancia	38
Ecuación 21 - 1: Cálculo de la capacitancia de resonancia.....	38
Ecuación 1 - 2: Dimensionamiento del Inductor	70
Ecuación 1 - 3: Valor Real	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Ficha Técnica Acero inoxidable Férrico AISI 430

Anexo B: DataSheet de la fuente de conmutada NIMO ALM335

Anexo C: DataSheet del MOSFET IRFP260N

Anexo D: DataSheet del Diodo Zener 1N4746A

Anexo E: DataSheet del Diodo Rectificador FR307

Anexo F: DataSheet de la Resistencia de Potencia 470 ohm 5w

Anexo G: DataSheet de la Inductancia tipo Choke

Anexo H: DataSheet del Capacitor MKPH

Anexo I: DataSheet del Arduino MEGA

Anexo J: DataSheet de la Termocupla tipo K

Anexo K: DataSheet del acondicionador MAX6675

Anexo L: DataSheet del Caudalímetro YF-S201

Anexo M: DataSheet de la Pantalla LCD

Anexo N: DataSheet del Relé de estado Solido

Anexo O: Programación el algoritmo de control en la plataforma IDE de Arduino

Anexo P: DataSheet Multímetro AideTek VC977

Anexo Q: Manual de usuario

ÍNDICE DE ABREVIATURA

ZVS	Conmutación con Voltaje Cero
ZVC	Conmutación con Corriente Cero
GLP	Gas Licuado de Petróleo
FEM	Fuerza Electromotriz
LPF	Filtro Pasa Bajos
RLC	Resistencia, Bobina y Capacitor
PWM	Modulación por Ancho de Pulso
ADC	Convertidor Analógico Digital
SPI	Interfaz Periférica Serial
RAM	Memoria de acceso aleatorio
RTD	Detector de Temperatura Resistivo
VCA	Voltaje de Corriente Alterna
VCC	Voltaje de Corriente Continua
UART	Transmisión-Receptor Asíncrono Universal

RESUMEN

Se desarrolló un sistema eficiente de calentamiento de agua potable por inducción electromagnética. El proyecto planteado consta de dos etapas: el calentador por inducción electromagnética y un controlador ON-OFF para la regulación de la temperatura, siendo este de fácil instalación, manejo y transporte; El sistema consta de un circuito de inducción electromagnética el cual calienta una tubería de acero y esta a su vez transfiere el calor a un pequeño caudal de agua el cual se almacena en un contenedor, un selector con el cual el usuario puede seleccionar la temperatura deseada del agua, un caudalímetro que informa el flujo existente, dos electroválvulas, una en la entrada de agua y la otra en la salida la cual controla el paso del líquido al exterior solo cuando este haya llegado a la temperatura seleccionada con anterioridad evitando el desperdicio del agua hasta que el sistema alcance dicha temperatura. El sistema de control cuenta con una pantalla para observar la temperatura del líquido en el contenedor y la temperatura seleccionada. Para garantizar una salida constante cuenta con una histéresis de 3 °C. De las pruebas ejecutadas se observó que el sistema posee una eficiencia eléctrica superior al 80% y al compararla con un sistema convencional basado en resistencias genera un ahorro energético y monetario de un 35%. Se concluye que la alta eficiencia producida por el sistema de inducción prototipo es capaz de prestar beneficios tanto a corto como a largo plazo, considerando el ahorro energético y económico generado para el usuario, con este se espera tener un impacto social, económico y ambiental en el sector del calentamiento de agua potable, donde los sistemas convencionales muestran un alto desperdicio energético. Se recomienda realizar una interfaz amigable con el usuario o a su vez desarrollar una aplicación para un smartphone que permita controlar el sistema a distancia.

PALABRAS CLAVES: <ENERGÍAS ALTERNATIVAS>, <INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA>, <CONTROL DE TEMPERATURA>, <EFICIENCIA ENERGETICA>, <AGUA POTABLE>, <CALENTAMIENTO>, <CONMUTACIÓN>, <POTENCIA>.

ABSTRACT

An efficient heating system of drinking water by electromagnetic induction was developed. The proposed project consists of two stages: the electromagnetic induction heater and an ON-OFF controller for temperature regulation, being this easy to install, operate and transport; The system consists of an electromagnetic induction circuit which heats a steel pipe and this in turn transfers the heat to a small flow of water which is stored in a container, a selector with which the user can select the desired temperature of the water, a flow meter that informs the existing flow, two solenoid valves, one in the water inlet and the other in the outlet which controls the passage of the liquid to the outside only when this has reached the previously selected temperature avoiding the waste of water, until the system reaches that temperature. The control system has a screen to observe the temperature of the liquid in the container and the selected temperature. To guarantee a constant output, it has a hysteresis of 3 °C. From the tests carried out, it was observed that the system has an electrical efficiency higher than 80% and when compared with a conventional system based on resistance, it generates an energy and monetary saving of 35%. It is concluded that the high efficiency produced by the prototype induction system is capable of providing both short and long term benefits, considering the energy and economic savings generated for the user, with this it is expected to have a social, economic and environmental impact on the sector of the heating of drinking water, where the conventional systems show a high waste of energy. It is recommended to create a friendly interface with the user or in turn develop an application for a smartphone that allows to control of the system at distance.

Keywords: <ALTERNATIVE ENERGIES>, <ELECTROMAGNETIC INDUCTION>, <TEMPERATURE CONTROL>, <ENERGY EFFICIENCY>, <DRINKING WATER>, <HEATING>, <SWITCHING>, <POWER>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cambio de matriz energética del país ha generado gran interés en el desarrollo sostenible basado principalmente en la generación de energía renovable, limpia y barata capaz de generar beneficios ambientales económicas para la sociedad. La ventaja del aumento de la capacidad energética ha priorizado el desarrollo de tecnologías basadas en la utilización de energía renovable con el objetivo de sustituir a las antiguas tecnologías con sistemas no eficientes y perjudiciales para los usuarios como para el planeta, esto se evidencia en los planes propuestos por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable el cual busca promover una cultura de eficiencia energética orientadas al uso racional de recursos y energía. (Coordinador, 2016)

En la sociedad y en los hogares los sistemas de calentamiento utilizan derivados del petróleo o gas natural, los cuales generan grandes porcentajes de contaminación ambiental, además de ser una fuente de peligro para los usuarios al exponerlos a riesgos de incendios o intoxicación ante las posibles fugas de gas por deterioro del equipo u otros factores. Mientras que los sistemas eléctricos y solares de calentamiento de agua, aunque útiles, muestran una baja eficiencia de consumo de energía sumado al alto desperdicio de agua generado y el tiempo de espera para obtener la temperatura deseada por el usuario. (Moran & Shapiro, 2004)

Debido a las grandes pérdidas de agua potable y energía en los sistemas térmicos encontrados a disposición en el mercado es necesario buscar métodos alternativos que permitan la reducción del desperdicio con la finalidad de generar un ahorro energético y de recursos naturales en los hogares. Con el proyecto propuesto se pretende generar un impacto social, ambiental y económico hacia la utilización de sistemas donde el aprovechamiento correcto de la energía y el cuidado ambiental sean factores decisivos para adquirir un sistema de calentamiento de agua potable para los hogares.

Es importante mencionar que el proyecto se encuentra acorde a programas de investigación como el “Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en Sustitución del GLP en el Sector Residencial – PEC” el cual impulsa a realizar trabajos de investigación, de diseño y prototipado de equipos enfocados al programa del gobierno y que favorezcan al mejoramiento de sistemas de inducción electromagnética en desarrollo. (RECALDE, 2012)

ANTECEDENTES

En los últimos años el país se ha visto involucrado en un crecimiento investigativo basado en una cultura energética eficiente lo que ha acarreado la realización de estudios acerca de los beneficios de los sistemas de inducción electromagnética para el calentamiento de líquidos donde destacan investigaciones como:

- “Diseño e implementación de un calefón a inducción electromagnética para proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares” recalca las ventajas de utilizar inducción electromagnética en calefones para aumentar la eficiencia, reducir el consumo energético y la contaminación al utilizar energía verde. (Coque, Rosa, Gutiérrez, & Alexander, 2016)
- “Diseño y construcción de un calentador de agua en base al análisis de un sistema eficiente de inducción electromagnética para hogares pertenecientes al sector socio económico medio.” muestran que los sistemas de inducción aplicados para el calentamiento de agua proveen beneficios como mejora de la eficiencia, un bajo consumo energético, y disminución de tiempo de calentamiento. (Cáceres Rodríguez & Montero Llundo, 2016)
- “Sistema de calefacción de agua por inducción electromagnética para el uso doméstico” donde su autor concluye que:
“El sistema de inducción construido es más eficiente por lo que reduce el tiempo de calentamiento y el consumo de energía en relación a los otros dispositivos, debido que la generación de calor es en forma directa a través de una fuente interna hacia el material” (Molina, 2015)

Las aportaciones de estas investigaciones muestran como la inducción electromagnética es una gran técnica para mejorar o cambiar los sistemas de calentamiento de agua convencionales por sistemas capaces de brindar más beneficios tanto al usuario como al medio ambiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿En qué porcentaje aumentara la eficiencia energética al usar un sistema de calentamiento de agua potable basado en la inducción electromagnética en contraste con los sistemas térmicos actuales existentes en el mercado?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la eficiencia de los diferentes tipos de sistemas de calentamiento de agua potable existentes en la actualidad?

¿Cuáles son los elementos y sus características que formarían parte de un sistema de calentamiento basado en inducción para incrementar la temperatura de agua potable a no más de 45 °C?

¿Qué diseño de prueba experimental nos permitirá comparar la eficiencia entre los diferentes sistemas térmicos de calentamiento de agua potable actuales?

JUSTIFICACIÓN

Actualmente los sistemas convencionales consumen una alta potencia energética, ofrecen una baja eficiencia, desperdicio de agua e incluso contaminan el medio ambiente por esta razón se consideró el proyecto.

Por medio de este proyecto se pretende desarrollar un sistema prototipo de calentamiento de agua potable utilizando inducción electromagnética cuya temperatura pueda ser seleccionada por el usuario. El sistema dará paso al agua potable tras alcanzar la temperatura previamente seleccionada permitiendo con ello asegurar un caudal estable de agua caliente sin desperdicio de líquido que se produce en el tiempo que los sistemas convencionales tardan en llegar a la temperatura aceptable por el usuario.

Este proyecto contara con una placa que genera el calentamiento por inducción a una tubería ferromagnética por donde circulara el agua, un control cuyas funciones serán el censo de la temperatura actual del agua en el reservorio, control del sistema de circulación de agua, control de electroválvulas de entrada y salida del líquido y desconexión del sistema de inducción tras alcanzar la temperatura deseada evitando más consumo energético innecesario.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar un sistema prototipo de calentamiento eficiente de agua potable por inducción electromagnética para contrastar con los sistemas térmicos actuales

Objetivos Específicos

- Caracterizar los diferentes tipos de sistemas de calentamiento de agua potable actuales para determinar su eficiencia.
- Diseñar el sistema eléctrico, electrónico y mecánico para el prototipo de calentamiento a inducción electromagnética para establecer los elementos óptimos que podrán incrementar la temperatura del agua potable a no más de 45 grados Centígrados.
- Realizar un análisis y pruebas experimentales para determinar la eficiencia de un sistema de inducción electromagnética para compararlo con los sistemas convencionales de calentamiento de agua potable.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el funcionamiento de los principales sistemas de calentamiento de agua potable utilizados en la actualidad, en especial de los sistemas de inducción y los beneficios energéticos que nos brindan.

El progreso tecnológico basado en las leyes y propiedades relacionadas con la inducción electromagnética han posibilitado la aplicación de sistemas de inducción en una gran diversidad de campos, principalmente, en la industria donde prestan soluciones con una alta eficiencia energética permitiendo un ahorro económico y aumento de la productividad.

Finalmente se detallan los componentes electrónicos necesarios y sus diversas configuraciones para posibilitar el desarrollo de un sistema de inducción electromagnética eficiente y de bajo consumo energético.

1.1 Sistemas de Calentamiento de Agua potable

En la actualidad, los sistemas de calentamiento de agua potable utilizan diversas tecnologías y métodos que brinden rapidez y bajo consumo de energía proveniente principalmente de GLP, energía eléctrica y energía solar. Para un mejor estudio los sistemas de calentamiento de agua se pueden clasificar en:

1.1.1 *Calentadores instantáneos*

Según Rivera Coque & Flores Gutiérrez (2016), en este grupo se encuentran los sistemas capaces de calentar el agua a la temperatura deseada al momento requerido, por lo general poseen mecanismo que enciende el sistema cuando existe circulación de agua por sus tuberías. Además, estos sistemas no cuentan con tanques de almacenamiento o reservorios. Los sistemas más destacados en este grupo son:

1.1.1.1 Calefones a GLP

Los calefones de gas licuado de petróleo son sistemas de funcionamiento continuo diseñados para aumentar la temperatura del agua al circular en una serpentina calentada por un conjunto de quemadores controlados como se observa en la figura 1-1. (Molina, 2015)

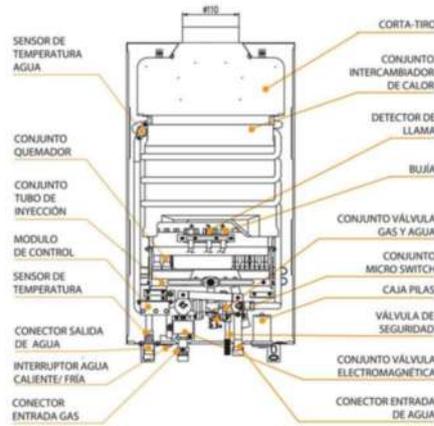


Figura 1 - 1: Partes un Calefón a GLP

Fuente: (Garrefour, 2016)

Los sistemas de encendido pueden ser:

a) Piezo Eléctrico

Es un tipo convencional de encendido para los calefones, funciona cuando el operador presiona dos botones para generar una chispa.

b) Ionizado

Este tipo de encendido es automático cuando el usuario abre las llaves del agua caliente, este tipo de calefón entra en funcionamiento con el uso de pilas.

c) Hydropower

El sistema de encendido es de forma automática, en este tipo de calefones se reemplaza las baterías por una microturbina, capaz de activarse cuando el agua comienza a circular y esta a su vez genera energía para encender el calefón.

1.1.1.2 Calentadores eléctricos

Estos sistemas utilizan resistencias eléctricas como se observa en la figura 2 - 1, para calentar empleando el Efecto Joule con diseños similares a los sistemas GLP, pero con menores tamaños permitiendo su uso en espacios reducidos o en las cercanías de los puntos de uso de agua caliente.(Molina, 2015)

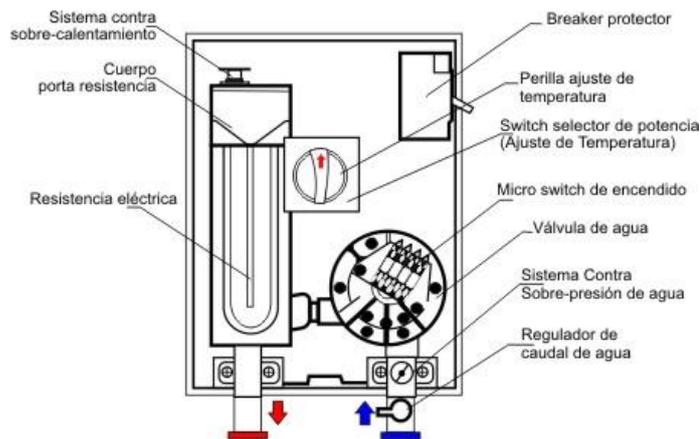


Figura 2 - 1: Partes del Calentador Eléctrico

Fuente: (StartJet, 2016)

Los calentadores eléctricos utilizan una gama de potencias de entre 6 kW a 27 kW dependiendo del caudal de agua requerido a calentar, para caudales elevados se utiliza alimentación trifásica y dos o tres resistencias de calentamiento con un consumo variante de 9 kW hasta 27 kW y para pequeños caudales se utiliza alimentación monofásica con una resistencia de calentamiento con un consumo promedio fluctuante entre 6 kW a 12 kW.

Las tecnologías utilizadas en estos sistemas permiten, entre otras cosas, reducción de consumo de energía, regulación electrónica de salida de agua a temperatura constante de entre 30 °C a 60 °C y apoyo auxiliar en sistemas de energía solar como mecanismo de precalentamiento de agua.

1.1.1.3 Duchas eléctricas.

La ducha eléctrica es un tipo de calentador instantáneo, se coloca directamente en el punto donde se desea tener el agua como se observa en la figura 3 -1, su accionamiento es de forma automática al abrir el paso de agua. (Loayza Collaguazo & Mullo Pallo, 2017)

Su funcionamiento está dado por una membrana desplazando dos contactos, al momento de encenderse se unirán a los contactos de la línea eléctrica, de esta forma se cerrará el circuito que activa ya sea una o varias resistencias eléctricas.

En el mercado generalmente se encuentra con una potencia de consumo entre los 3000 W a 5000 W, y cuentan con un interruptor capaz de permitir tres variaciones en la temperatura del agua, estas son fría, tibia o caliente. La regulación de temperatura también se basa en el caudal de agua

en circulación por el sistema considerando el principio de a menor caudal la temperatura es mayor y viceversa.



Figura 3 - 1: Ducha Eléctrica

Fuente: (LORENZETTI, 2015)

1.1.2 Calentadores acumuladores

Según Villalta Pacheco & Buñay Yugsi (2016), en este grupo se encuentran los sistemas de calentamiento progresivo del agua, mientras la acumulan en tanques de almacenamiento, dichos sistemas dependen principalmente de la cantidad de agua y de la temperatura deseada de la misma. Los sistemas más comúnmente utilizados son:

1.1.2.1 Termotanques a GLP

Estos sistemas se caracterizan por tener aun regulador de tiro automático por lo que es capaz de minimizar la pérdida de calor para lograr un 80% de eficiencia térmica lo cual es muy bueno considerando el mercado sus partes se pueden observar en la figura 4-1.

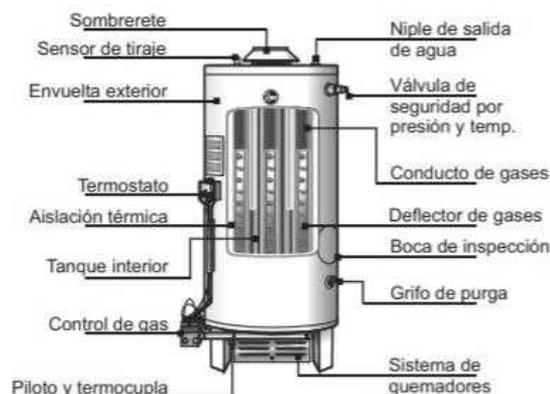


Figura 4 - 1: Termotanque a GLP

Fuente: (RHEEM, 2012)

1.1.2.2 Termotanques eléctricos

Estos sistemas se caracterizan por realizar un calentamiento progresivo mediante el uso de resistencias eléctricas sumergidas dentro un tanque que almacena el agua y la mantiene a la temperatura deseada por el usuario como se muestra en la figura 5 - 1. (Villalta Pacheco & Buñay Yugsi, 2016)

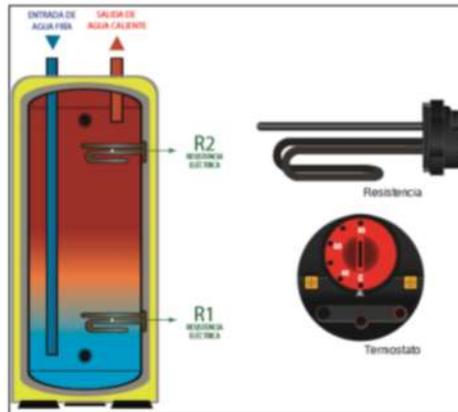


Figura 5 - 1: Funcionamiento de Termo tanque Eléctrico

Fuente: (Villalta Pacheco & Buñay Yugsi, 2016)

Por lo general en estos sistemas se utilizan termostatos con cada resistencia permitiendo el encendido independiente de las mismas contribuyendo un ahorro energético.

La capacidad del tanque de calentamiento varía entre rangos de 20 litros hasta 300 litros, incluso para una mayor cantidad de almacenamiento es posible la instalación en serie o paralelo de dos o más termotanques que pueda satisfacer las necesidades de abastecimiento requeridas.

Para compensar la disminución de la temperatura del agua en el tanque se utilizan materiales aislantes para conservar el calor, así como con buenos hábitos de consumo de agua se permitirán garantizar un suministro constante de agua caliente.

1.1.2.3 Sistemas de calentamiento solar.

El manejo de radiación solar para el calentamiento de agua potable es un método que tuvo un gran auge en la actualidad por ser un sistema capaz de utilizar energía renovable al aprovechar los rayos solares para proveer agua caliente, principalmente a domicilios, con temperaturas inferiores a los 100 °C. Estos sistemas utilizan captadores solares térmicos y un tanque de almacenamiento, sus partes principales se presentan en la figura 6-1. (Villalta Pacheco & Buñay Yugsi, 2016)

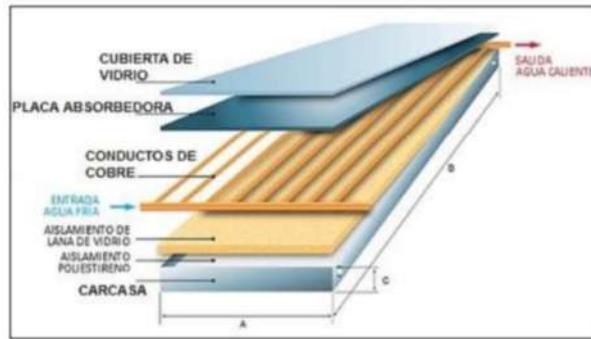


Figura 6 -1: Partes del captador solar

Fuente: (imgemecanica.com), captador solar térmico

- **Cubierta exterior:** está construida de vidrio templado su función principal es favorecer el efecto invernadero al comportarse como elemento transparente para la radiación solar incidente y opacar la radiación de la placa absorbedora.
- **Placa absorbedora:** su función es captar la radiación solar y transferirla al agua en su interior que se encuentra circulando por tuberías de cobre, generalmente está fabricada de cobre o aluminio.
- **Aislamiento:** su función es la de conservar el calor producido en el interior del sistema evitando lo máximo posible la disminución de temperatura. Los aislantes utilizados comúnmente para este fin son: la resina de melanina y la espuma de poliuretano, los cuales se encuentran colocados en la parte inferior y en los costados del captador solar.
- **Carcasa:** contiene y protege todos los elementos constituyentes del sistema de agentes atmosféricos y condiciones climáticas. Su construcción se lo realiza en acero galvanizado o aluminio rígido facilitar su manipulación.

Tipos de sistemas térmicos solares:

a) Por efecto de Termosifón

El efecto termosifón es un fenómeno, presentado en los fluidos cuando aumentan su temperatura, en los sistemas solares se produce por convección natural cuando el agua se calienta al pasar por el captador solar aumentando su volumen, disminuyendo su densidad y como resultado el agua caliente sube hacia el acumulador de forma natural como se muestra en la figura 7-1. (Villalta Pacheco & Buñay Yugsi, 2016)

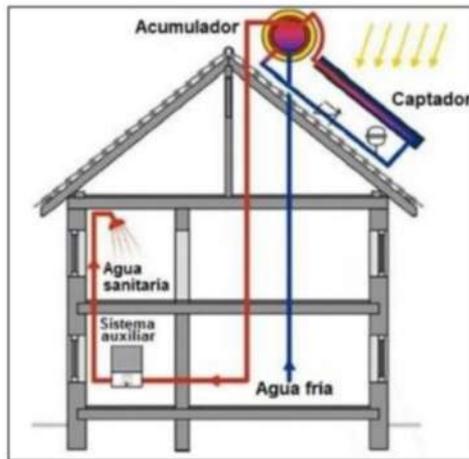


Figura 7 - 1: Sistema térmico solar por termosifón

Fuente: (Molina, 2015)

Estos sistemas son de fácil montaje y muy económicos, su instalación se realiza en los techos de domicilios aprovechando lo máximo posible la radiación solar, sin embargo, su eficiencia es mucho menor que los sistemas solares con circulación forzada. Otra desventaja de estos sistemas es la dificultad de control de temperatura principalmente en periodos de máxima radiación en los cuales se llega a alcanzar grandes niveles de aumento de temperatura dentro del acumulador.

b) Sistema por circulación forzada

En este tipo de sistema el acumulador y el captador están separados para lo cual se emplea una bomba que transfiere el agua caliente del captador al acumulador como se muestra en la figura 8 - 1, también está provisto de mecanismos de regulación y control, este permite regular la temperatura activando la bomba cuando exista un diferencial de temperatura entre el agua del captador y el agua que se encuentra en el acumulador. (Villalta Pacheco & Buñay Yugsi, 2016)

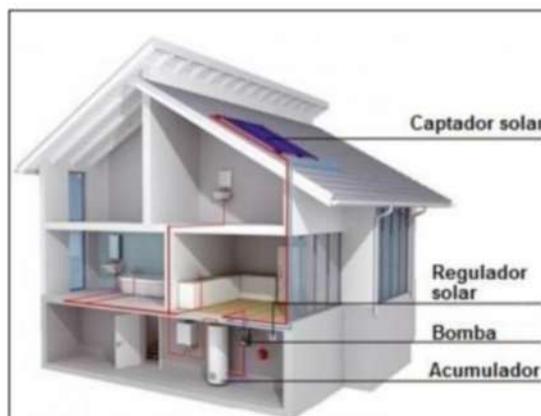


Figura 8 - 1: Sistema térmico solar por circulación Forzada

Fuente: (Molina, 2015)

Uno de los beneficios de este tipo de sistemas es el ahorro energético producido por la mayor eficiencia a comparación del sistema de termosifón, no obstante, los costos asociados a la instalación y a los equipos de este sistema también son superiores.

Consideraciones Generales

Según Villalta Pacheco & Buñay Yugsi (2016), indican que los sistemas de calentamiento solar, cualquiera sea su tipo, requieren tomar en cuenta ciertos aspectos, estos están directamente relacionados con el rendimiento y eficiencia de los mismos. Los más importantes se detallan a continuación:

- a) **Orientación:** El captador solar debe estar orientado en un ángulo “ α ” mirando hacia el Ecuador Terrestre, es decir si la instalación encuentra en el hemisferio norte la orientación debe estar dirigida hacia el sur geográfico, por el contrario, si la instalación se encuentra en el hemisferio sur la orientación debe estar dirigida hacia el norte geográfico con una tolerancia de $\pm 20^\circ$.
- b) **Inclinación:** El ángulo de inclinación “ β ” depende del modo de trabajo del captador solar, si se desea que el sistema trabaje tanto en invierno como en verano con un rendimiento promedio aceptable la inclinación debe ser la misma situándose en la latitud en el lugar de instalación. Por otro lado, si el sistema está provisto para trabajar en época de invierno la inclinación debe ser 10° más de la latitud del lugar y para cuando este provisto para trabajar en verano la inclinación debe ser 20° menos considerando la latitud del lugar de instalación.

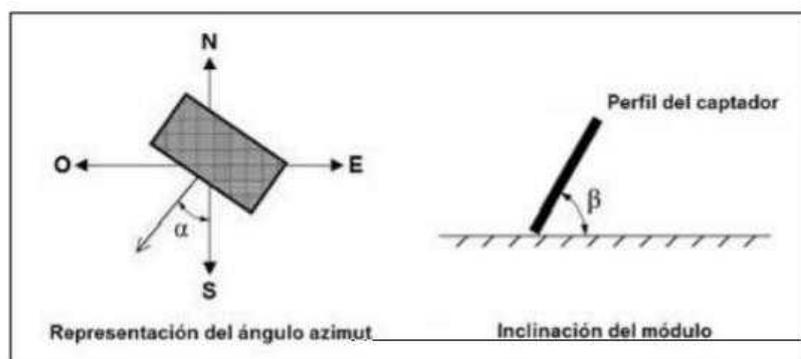


Figura 9 - 1: Ángulos de inclinación y orientación para sistemas solares

Fuente: (Villalta Pacheco & Buñay Yugsi, 2016)

- c) **Radiación Solar:** Se considera a la radiación solar como la energía proveniente del sol en forma de ondas electromagnéticas compuesta por radiación directa, la que llega

directamente a la tierra, y radiación difusa que es el resultado de la radiación al interactuar con agentes atmosféricos. La potencia generada por la radiación solar sobre una superficie es conocida como irradiación la cual se expresa en $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ o a su vez para un periodo de tiempo determinado como $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$

1.1.3 Eficiencia de los sistemas convencionales de calentamiento

De acuerdo a las descripciones anteriormente observadas los sistemas de agua caliente sanitaria, son dispositivos que permiten generar energía calorífica desde cualquier tipo de energía. El rango de temperatura en el cual el agua puede elevarse desde 25°C hasta 60°C. (Molina, 2015).

A continuación, se muestra la figura 10 – 1 en donde se encuentra la eficiencia generada por los diferentes sistemas convencionales.

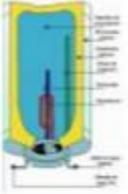
Tipos de Calentadores de agua por su tecnología				
Tipo de Calentador	Tipo de energía que utiliza	Tipo de calentamiento	Eficacia	Grafica
Resistencia Eléctrica	Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Paso continuo • Acumulador 	65%	
GN o GLP	Combustión	<ul style="list-style-type: none"> • Paso continuo • Acumulador 	55%	
Solar	Energía solar	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulador 	50%	
Inducción	Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Paso continuo • Acumulador 	90%	

Figura 10 - 1: Eficiencia de los sistemas convencionales

Fuente: (Molina, 2015)

La eficiencia que se observa de los sistemas de inducción es superior a los sistemas convencionales considerando que la eficiencia de un sistema de inducción es del 90% mientras que los demás sistemas no superan el 65% de eficiencia. (Molina, 2015)

1.2 Principios de la Inducción electromagnética

1.2.1 Flujo Magnético

Al considerar una región existente en el espacio en la que se genera un vector de inducción magnética con un valor B , el flujo magnético generado a través de una superficie \vec{dS} es el producto escalar de los vectores que generan un ángulo θ entre ellos, dando resultado la ecuación 1 - 1. (Hayt & Buck, 2007)

Ecuación 1 - 1: Flujo Magnético

$$\phi = \int_S d\phi$$

$$d\phi = \vec{B} \cdot \vec{dS} = |B||dS| \cos \theta$$

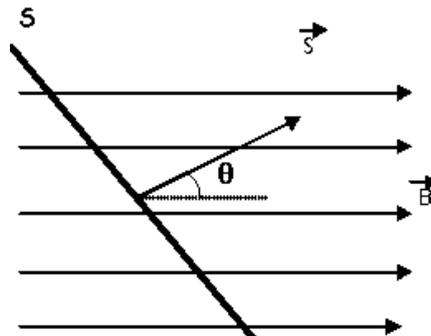


Figura 11 - 1: Flujo Magnético

Fuente: (E-DUCATIVA, 2010)

Considerando,

ϕ : Flujo Magnético [Wb]

B : Inducción magnética [T]

S : Superficie definida por el conductor [m^2]

θ : Ángulo que forman el vector \vec{dS} perpendicular a la superficie definida por el conductor y la dirección de campo.

1.2.1.1 Campo Magnético Formado por una Bobina

El campo magnético que existe en cada espira de la bobina se suma al siguiente, por esta razón el campo se encuentra concentrado en el centro de la misma. El campo se encuentra uniforme en el centro de la espira. En los extremos de la bobina se generan los polos magnéticos como se observa en la siguiente figura 11 – 1. (Hayt & Buck, 2007)

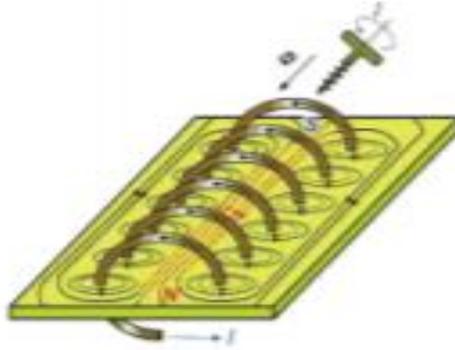


Figura 12 - 1: Concentración del campo magnético en una bobina.

Fuente: (Villalta Pacheco & Buñay Yugsi, 2016)

1.2.2 Ley de Faraday.

La Ley de Faraday está basada en los experimentos realizados por Michael Faraday en 1831 y establece al voltaje la fuerza electromotriz ε inducido en una bobina es directamente proporcional a la rapidez de cambio del flujo magnético por unidad de tiempo en una superficie cualquiera con el circuito como borde como se muestra en la ecuación 2 – 1. (Hayt & Buck, 2007)

Ecuación 2 - 1: Ecuación de la Ley de Faraday

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

Dónde:

ϕ_B : Es el flujo magnético que atraviesa el circuito eléctrico.

ε : Es la f.e.m que induce en un sentido relacionado con el de ϕ_B

–: El signo menos obedece la Ley de Lenz

1.2.3 Ley de Lenz

“La fuerza electromotriz inducida y la corriente inducida tienen un sentido de manera capaz de oponerse al cambio que las produce” (Hayt & Buck, 2007)

1.2.4 Ley de Ampere

Un conductor que contiene una corriente produce un campo magnético a su entorno, para lo cual la ley de Ampere relaciona la integral de línea $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{L}$, alrededor de una curva C con la corriente I_c , que atraviesa la superficie limitada por dicha curva, expresado por la ecuación 3 – 1 (Hayt & Buck, 2007)

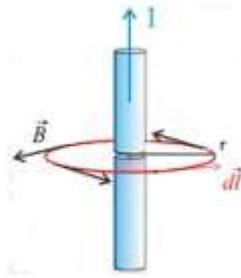


Figura 13 - 1: Ley de Ampere

Fuente: (SERRANO, 2005)

Ecuación 3 - 1: Ecuación de la Ley de Ampere

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{L} = I_c$$

Dónde:

$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{L}$: Integral de línea de la componente tangencial B

I_c : Es la corriente neta que penetra en el área limitada por la curva C .

C : Es cualquier curva cerrada Esta relación de ampere puede utilizarse para obtener una expresión del campo magnético en situaciones con un alto grado de simetría

1.2.5 Efecto Joule

Se interpreta como una disposición de energía en forma de calor en un conductor que transporta corriente eléctrica. La corriente eléctrica describe un desplazamiento efectuado en una carga por medio del conductor, para que se produzca es necesario luchar y ganar a la fuerza de rozamiento que se opone al desplazamiento, que como otra fuerza de rozamiento mecánico supone la disipación de calor generado, se disipa energía en calor a esto se le denomina el Efecto Joule dado por la ecuación 4 - 1. (Tipler, P.A; Mosca, 2005)

Ecuación 4 - 1: Efecto Joule

$$Q = RI^2t = \frac{V^2}{R}t = Vit$$

Considerando:

Q : Cantidad de calor producido en la unidad de julios [J]

R : Resistencia del conductor [Ω]

I : Intensidad [A]

t : Tiempo transcurrido [s]

1.3 Propiedades de un sistema de calentamiento por inducción electromagnética

1.3.1 Energía transferida en forma de calor

Se denomina a la transferencia de calor como la cantidad de energía trasladada a un sistema por medio de un proceso. La transferencia de energía es concebida como resultado de la diferencia de temperatura existente entre el sistema y el entorno, la cual se genera únicamente cuando existe un descenso en la temperatura, de esta forma se da lugar a la llamada transferencia de energía de calor. La transferencia en forma de calor se puede expresar como: (Moran & Shapiro, 2004)

Ecuación 5 - 1: Ecuación de la energía transferida en forma de calor

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Donde:

Q : Energía transferida en forma de Calor [Kcal]

m : masa de la pieza a calentar [Kg]

c : calor específico de la pieza a calentar $[\frac{Kcal}{kg \text{ } ^\circ C}]$

ΔT : diferencial de temperatura de la pieza a calentar $[^\circ C]$

1.3.1.1 Transferencia de calor por Conducción

Se encuentra presente en sólidos, líquidos y gases esta forma de transferencia de calor. Esta referenciada a la transferencia de energía considerando las partículas altamente energéticas encontradas en una sustancia hasta llegar a las partículas adyacentes menos energéticas representadas en la ecuación 6 – 1.

Ecuación 6 - 1: Ecuación de la transferencia de calor por Conducción

$$Q = kA * (\Delta T)$$

Dónde:

Q : Cantidad de energía [J]

k : Coeficiente de conductividad térmica de la sustancia $[\frac{W}{mK}]$

A : Área que contiene dicha sustancia $[m^2]$

ΔT : Variación de la sustancia en $[^\circ C]$

1.3.1.2 Transferencia de calor por Radiación

Se emite radiación térmica a través de la materia al mismo tiempo se transporta por intermedio de ondas electromagnéticas. La energía transmitida se encuentra dada por la ecuación 7 – 1

Ecuación 7 - 1: Ecuación de la transferencia de calor por Radiación

$$Q_e = \varepsilon \sigma A T_s^4$$

Dónde:

Q_e : Energía Emitida [J]

ε : Emisidad de la superficie que indica la eficiencia con la que radica la superficie ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

σ : Constante de Stefan - Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$

A : Área del sistema [m^2]

T_s^4 : Temperatura absoluta de la superficie en su cuarta potencia [$^{\circ}K$]

1.3.1.3 *Transferencia de calor por Convección*

La transferencia de energía generada entre una superficie ya sea del tipo sólida, líquida o a su vez gaseosa a una temperatura de cualquier tipo, o forma la energía creada sea la reacción de la transferencia de calor del área a la sustancia, se observa mediante la ecuación 8 – 1.

Ecuación 8 - 1: Ecuación de la transferencia de calor por Convección

$$Q = hA (T_s - T_f)$$

Dónde:

T_s : Temperatura de la superficie [$^{\circ}C$]

T_f : Temperatura del fluido fuera de la superficie [$^{\circ}C$]

A : Superficie de trabajo [m^2]

h : Coeficiente de transferencia de calor [$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W}$]

1.3.2 *Profundidad de Penetración*

Cuando una corriente alternante atraviesa un conductor la distribución de esta no es uniforme, de tal manera el valor máximo de la densidad de corriente se ubica en la superficie del material conductor disminuyendo conforme la corriente fluya hacia su centro. Este fenómeno también es conocido como efecto piel y siempre lo tendremos presente en un material dentro de una bobina de inducción el cual es uno de los principales factores causantes de la acumulación de corrientes de Foucault en la superficie del material sometido a inducción. Aproximadamente el 86% de la potencia utilizada en la inducción se concentra en la superficie del material debido al efecto piel, a esto se le conoce como la profundidad de penetración de corriente. El grado de penetración depende de las propiedades del material y de la frecuencia. (Fierro & Ortega Fuentes, 2014)

La profundidad de penetración en metros se describe como:

Ecuación 9 - 1: Ecuación de profundidad de penetración.

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r F}}$$

Donde:

F : frecuencia [Hz]

ρ : resistividad eléctrica [Ωm]

μ_r : permeabilidad magnética relativa

En términos matemáticos, entendemos como profundidad de penetración a la distancia desde la superficie del material hacia su núcleo, en la cual es directamente proporcional a la resistividad Eléctrica e inversamente proporcional a la frecuencia y a la permeabilidad magnética. Durante el calentamiento, en la mayoría de los metales, la resistividad eléctrica del material aumenta de 2 a 6 veces su valor inicial. En cuanto a la permeabilidad magnética se debe tener en cuenta, este comienza a disminuir hasta llegar a temperatura crítica conocida como temperatura de Curie momento en el cual la permeabilidad magnética cae drásticamente a la unidad al convertirse el acero en material no magnético.

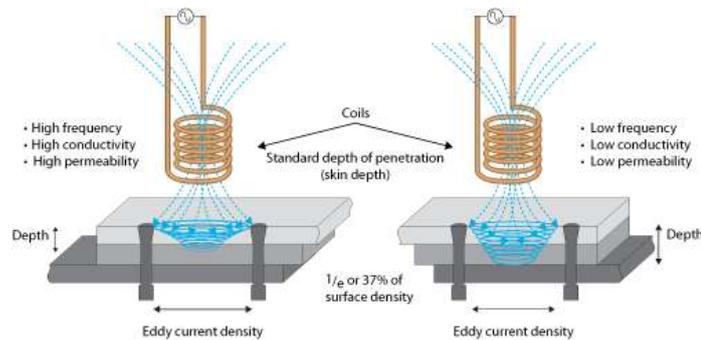


Figura 14- 1: Profundidad de penetración de una bobina

Fuente: (Fierro & Ortega Fuentes, 2014)

1.3.3 Eficiencia eléctrica

La eficiencia eléctrica (η_{el}) está representado como la relación de la potencia inducida en el material y la potencia suministrada por la red, es decir la potencia de salida dividida para la potencia de entrada del sistema. (Cáceres Rodríguez & Montero Llundo, 2016). La ecuación 10 - 1 describe la eficiencia eléctrica:

Ecuación 10 - 1: Ecuación de obtención de la eficiencia eléctrica.

$$\eta_{el} = \frac{P_{ent}}{P_{sal}} \times 100\%$$

Donde:

P_{ent} : Potencia de entrada [W]

P_{sal} : Potencia de Salida [W]

1.3.4 Modelamiento de la Carga

El propósito del modelamiento de la carga bobina – pieza de trabajo es simplificar el problema real así se logrará estudiar el fenómeno evitando los procesos de prueba y error. Además, se puede obtener el factor de calidad (Q) uno de los parámetros característicos y necesarios para el diseño de un sistema de calentamiento por inducción. En el caso del calentamiento por inducción en el área de ingeniería suele modelarse el sistema inductor – pieza de trabajo mediante el uso de resistencias e inductores, en la figura 14 – 1, se presentan los modelos principales basados en la simplificación del sistema inductor – pieza de trabajo a un circuito resistencia – inductor equivalente.(Fierro & Ortega Fuentes, 2014)

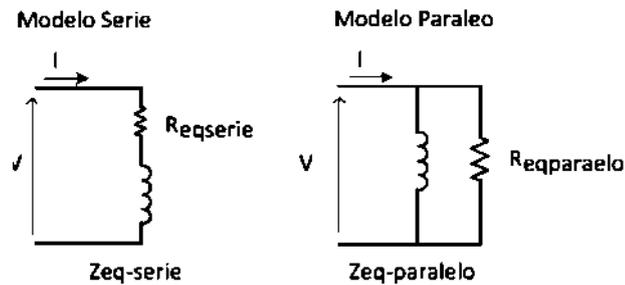


Figura 15 – 1: Modelado eléctrico de la bobina - pieza

Fuente: (Fierro & Ortega Fuentes, 2014)

El modelo presentado es una simplificación básica del comportamiento de un sistema de calentamiento por inducción permitiendo comprender su comportamiento de manera elemental. Comúnmente la bobina inductora y la pieza de trabajo se modelan a partir de un inductor L y una resistencia equivalente R_{eq} la cual representa la resistencia propia del inductor y la resistencia, reflejada en el inductor, de la pieza de trabajo.

1.3.4.1 Modelo Serie y Modelo Paralelo

En muchas aplicaciones es de suma importancia conocer el factor de calidad pues este se define como la “Relación entre la potencia activa y la potencia reactiva de un sistema” es decir, es la relación entre la energía máxima almacenada y la energía disipada esto nos permite conocer la tasa de pérdida de energía del sistema.

En el modelo en serie, el inductor y la resistencia equivalentes se encuentran en serie, de esta forma se puede expresar el factor de calidad de la siguiente manera:

Ecuación 11 - 1: Factor de calidad en modelo serie

$$Q_{serie} = \frac{|P_{Reactiva}|}{P_{Activa}} = \frac{\omega L}{R_{eqserie}}$$

Adicionalmente, es importante aclarar, al obtener un alto factor de calidad la frecuencia de resonancia mantiene un comportamiento de la energía análogo en los dos modelos esto permitirá expresar $Q_{paralelo} = Q_{serie}$ posibilitándonos pasar de un caso a otro mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 12 - 1: Relación entre factor de calidad entre modelos paralelo y serie.

$$R_{eqparalelo} = Q^2 R_{eqserie}$$

1.3.4.2 Resistencia Equivalente

La resistencia equivalente representa la potencia disipada en la pieza de trabajo y la resistencia de la bobina. Se puede utilizar un sistema de enfriamiento para considerar la resistencia de la bobina como una constante mientras la resistencia de la pieza de trabajo cambia con el aumento de la temperatura influyendo directamente en el modelo del sistema, también la pieza de trabajo es considerada como el secundario, de una sola vuelta, de un transformador por donde fluirá la corriente inducida. Teniendo todo eso en cuenta la resistencia equivalente puede expresarse como:

Ecuación 13 - 1: Cálculo de la resistencia Equivalente

$$R_{eq} = K_R N_C^2 \rho \frac{2\pi r}{\delta l}$$

Donde:

K_R : es el factor de correlación de la resistencia equivalente dada por $K_R = 1 - e^{-\frac{2r}{\delta}}$ con

r : siendo el radio de la pieza de trabajo. [m]

N_C : es el número de vueltas de la bobina de inducción

ρ : es la resistividad eléctrica de la pieza de trabajo [Ωm]

r : es el radio de la pieza a calentar [m]

δ : es la profundidad de penetración [m]

l : longitud de la pieza de trabajo [m]

1.3.4.3 Inductancia

El valor de la inductancia varía dependiendo de varios factores entre ellos: la geometría del sistema inductor – pieza de trabajo, material que los constituyen, la forma de la bobina, la intensidad de campo magnético entre otros. Además, se debe tener en cuenta algunos de estos parámetros cambian conforme varía la temperatura. La dependencia de la inductancia hacia varios parámetros logra la determinación de su valor sea en extremo complejo.

En aplicaciones de calentamiento por inducción la forma más sencilla de llegar a un valor aproximado es utilizar las fórmulas de Wheeler considerando a la inductancia como un solenoide con longitud finita y de pared delgada. Teniendo esto en cuenta se puede expresar la inductancia de la siguiente forma:

Ecuación 14 - 1: Cálculo de la Inductancia

$$L \approx \frac{10\pi\mu_0 N_C^2 r_C^2}{9r_C + 10l_C}$$

Donde

l_C : longitud de la bobina. [m]

r_C : radio de la bobina. [m]

μ_0 : permeabilidad magnética en el vacío. $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{Tm}{A}\right]$

1.3.5 Aislamiento

Uno de los aspectos importantes a ser tomadas en cuenta para un sistema eficiente de calentamiento por inducción electromagnética es la aplicación de aislantes para mantener una temperatura uniforme tanto de la pieza de trabajo como en los elementos por los cuales el calor puede escapar. (Molina, 2015)

La aplicación de un aislamiento térmico contribuye a reducir significativamente las pérdidas de calor en ductos, reservorios o tuberías por donde circulara, en este caso el agua caliente, permitiendo una mejora de la eficiencia térmica. Por otro lado, el uso de materiales refractarios entre bobina y la pieza de trabajo permitirá un buen aislamiento térmico, pero estos requieren espacios más distantes desmejorando el acoplamiento electromecánico resultando en una disminución de la eficiencia eléctrica del sistema.

Por lo tanto, la determinación de utilizar o no un aislante depende de la orientación de eficiencia del sistema pues, por un lado, es más eficiente en términos energéticos y rentables no usar ningún tipo de aislante disminuyendo la distancia entre bobina y pieza de trabajo maximizando la eficiencia energética. Por otro lado, existirá casos en los cuales la maximización de la eficiencia térmica, al reducir significativamente las pérdidas de calor, compensa la disminución de la eficiencia eléctrica asociado con el material refractario.

1.4 Aplicaciones de la inducción electromagnética

Según Fierro & Fuentes (2014), el calentamiento por inducción electromagnética es un recurso que se ha explotado en la industria metalurgia para varias aplicaciones entre estas se pueden destacar:

1.4.1 Temple por Inducción

El temple por inducción se caracteriza por ser un proceso de gran rapidez y precisión, de fácil integración y de alta repetitividad, donde se utiliza el calor inducido en un área específica del material a tratar para luego enfriarlo rápidamente aumentando así la dureza y durabilidad del acero.

Las principales ventajas del calentamiento por inducción en este tipo de proceso son:

- Aumento de la productividad al permitir el temple de piezas de forma independiente y con especificaciones propias de las mismas.

- Eficiencia y ahorro energético al permitir calentar solo el área específica del componente que desea someter a temple.
- Brinda un proceso de templado limpio, seguro y personalizado.

1.4.2 Revenido por Inducción

El revenido por inducción se utiliza principalmente en la industria de automoción, este proceso consiste en optimizar las propiedades mecánicas como resistencia y ductibilidad de una pieza sometida a un proceso de temple.

La principal ventaja de utilizar inducción en este proceso es la rapidez al poder revenir una pieza en cuestión de minutos e incluso segundos utilizando el mínimo de espacio, además brinda mayor facilidad del control de calidad.

1.4.3 Calentamiento de tubos, tuberías y recipientes

El calentamiento de cuerpos huecos con lleva ciertas diferencias entre el calentamiento de cuerpos sólidos, este calentamiento conlleva una notable conducción de calor hacia el núcleo de la pieza el cual tampoco genera fuentes de calor independientemente de la frecuencia y el tipo de bobina seleccionado. Por otro lado, con una pieza de trabajo hueca se puede generar fuentes de calor tanto en el diámetro exterior como en el diámetro interior.

Al calentar una pieza de trabajo relativamente delgada en comparación a la profundidad de penetración la eficiencia eléctrica y térmica pueden ser muy distintas al calentar piezas solidas razón por la cual los parámetros del proceso de calentamiento por inducción deben ser seleccionado en base a dichas características.

1.4.4 Soldadura por inducción

Al unir diferentes piezas metálicas es común usar como fuente de calor procesos de inducción electromagnética, estos procesos se caracterizan por su velocidad y precisión permitiendo grandes cantidades de producción generalmente de tubos, tuberías y aceros de bajo contenido de carbón.

La soldadura por inducción se ha convertido en un proceso de alto rendimiento y con gran índice de fiabilidad, sobrelleva ventajas como bajo consumo de energía, alta eficiencia del sistema, reducción en grandes porcentajes los costos de producción, controlabilidad y repetitividad promueve la disminución de chatarra.

1.4.5 Plasma por inducción

El calentamiento por inducción permite producir plasma mediante procesos de ICP (plasma acoplado inductivamente), el cual ayuda a producir fibra óptica, polvos metálicos, cerámicos y nano polvo, así como purificación de metales y semiconductores.

Esta tecnología inductiva es particularmente usada por industrias en áreas como la electrónica, biomecánica y en las energías renovables.

1.4.6 Industria Alimenticia

Las aplicaciones de calentamiento por inducción en esta área de la industria principalmente se basan en la utilización de susceptores calentados por inducción los cuales transfieren el calor a la comida por conducción, radiación o convección térmica.

En los últimos años los sistemas de inducción para la producción de alimentos tuvieron grandes avances y un gran aumento de popularidad, se desarrollaron sistemas de calderos, estufas, rodillos y cocinas a inducción reemplazando la forma tradicional de calentar utensilios por medio de fuego o transferencia de calor a generarlos directamente el utensilio, obteniendo como resultado un método de calentamiento rápido, controlado y eficiente.

1.4.7 Industria Química

En la industria química la aplicación de calentamiento por inducción se la encuentra en operaciones donde se requiere calentar reactores o equipos de destilación manteniendo las normas de higiene y seguridad para elaboración de productos farmacéuticos, así también la inducción resulta útil en procesos de vaporización y de tratamiento de residuos.

1.4.8 Aplicaciones Varias

En la actualidad, los beneficios del uso del calentamiento por inducción han dado lugar a utilizar este método en un gran número de procesos aplicados a una gran diversidad de áreas, como, por ejemplo: Bombeo por inducción de metal líquido, calentamiento de nano partículas, desprendimiento de revestimientos, procesos de extracción de fibras, fundición de metales por levitación, producción de plasmas térmicos de inducción, procesamiento de desechos entre otros.

1.5 Componentes de un sistema de calentamiento por inducción electromagnética

Un sistema de calentamiento por inducción electromagnética puede ser representados por un esquema de bloques como se observa en la figura 13 – 1. Se puede considerar el diseño del sistema en dos partes: la primera la constituye la etapa de potencia la cual incluye la alimentación, filtros, protecciones, el convertidor resonante, y la carga, mientras la segunda parte lo viene a constituir el circuito de control el cual emplea los algoritmos de control necesarios para el correcto funcionamiento de la primera etapa y bajo las condiciones de operación deseadas. (Fierro & Ortega Fuentes, 2014)

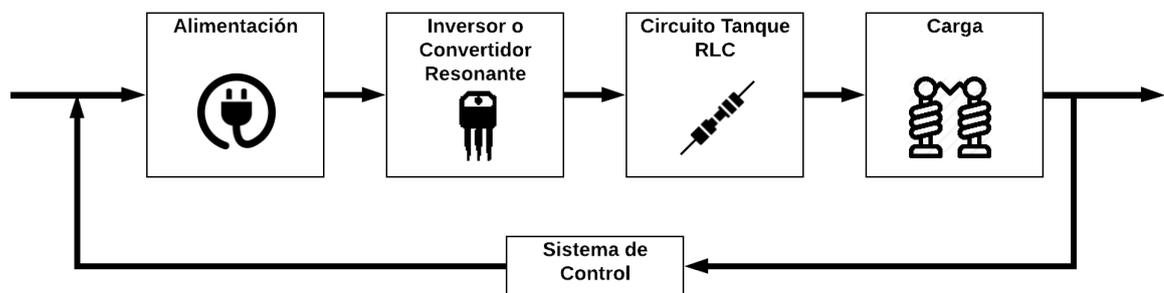


Figura 16- 1: Diagrama de bloques de un sistema de calentamiento por inducción

Fuente: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018.

1.5.1 Fuente de Alimentación Eléctrica

La fuente de alimentación es el circuito encargado de suministrar la energía necesaria, proveniente de la red eléctrica, para el funcionamiento del equipo, estas se pueden clasificar en dos grandes grupos: Fuentes lineales y fuentes conmutadas, cuya elección dependerá de las necesidades a satisfacer. (Cañizares & Israel, 2010)

Las fuentes de alimentación lineales se caracterizan por la utilización de un transformador para reducir la tensión de entrada para seguidamente ser rectificadas y filtradas para estabilizar la corriente. Sin embargo, este proceso conlleva una gran pérdida de energía del transformador además de altas corrientes de salida implicando bobinado muy grueso, pesado, grande y caro.

Las fuentes de alimentación conmutadas reducen las pérdidas de energía al aumentar la frecuencia de la corriente, la cual generalmente pasa de oscilar de 50/60 Hz a más de 100kHz lo que nos ayuda a reducir las características físicas del transformador.

Una comparación entre las principales ventajas y desventajas de una fuente lineal y una conmutada se presentan en la tabla 1 – 1.

Tabla 1 - 1: Ventajas y desventajas de fuentes de alimentación

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Lineal	<ul style="list-style-type: none"> -Diseño Simple -Capacidad de manejo de cargas Operación suave y bajo ruido de salida -Rápida respuesta dinámica. -Bajo costo para potencias menores de 10 W a comparación de fuentes conmutadas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Baja eficiencia entre 0.3 a 0.6 en aplicaciones en condiciones normales. -Solo se puede tener una salida, si se requiere una salida regulada adicional se debe incrementar un circuito de potencia. -Por cada watt los costos económicos y los costos energéticos van incrementando por las pérdidas de energía existentes, así como por los elementos necesarios para su construcción.
Conmutada	<ul style="list-style-type: none"> -Eficiencia comprendida entre en 0.68 a 0.9 reduciendo en gran porcentaje el costo de los elementos utilizados. -Variación de la relación de transformación, es decir, pueden funcionar como reducir, elevador o inversor de tensión. -No necesita transformador de línea. -Tamaño, peso y coste reducidos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Diseño muy elaborado. -Ruido en la salida y en la entrada mucho mayor que en fuentes lineales, -Mayor tiempo de restablecimiento al tener variaciones en la entrada. -Etapas de protección, arranque suave, filtros de línea deben ser implementados para evitar i interferencia electromagnética y de radiofrecuencia.

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago; 2018.

En general, escoger una de estas fuentes radica principalmente en la aplicación y la potencia requerida para efectuar dicha aplicación, La mejor opción es optar por el uso de una fuente

conmutada en aplicaciones donde se requiera un buen rendimiento energético, consumo más bajo al mismo tiempo se reducen tamaños y costos de circuito, mientras para muy bajas potencias, necesidad de buenas características de rizado o simplemente ahorro de tiempo de diseño la mejor opción es optar por una fuente lineal.

1.5.1.1 Potencia requerida

Teniendo en cuenta la cantidad de energía térmica requerida para lograr un aumento de temperatura unitaria por unidad de masa del material a calentar viene dada por el calor específico de dicho material, se puede utilizar el valor promedio de la temperatura deseada para estimar la potencia aproximada requerida.

Ecuación 15 - 1: Cálculo de la potencia requerida.

$$P_w = mc \frac{T_f - T_{in}}{t}$$
$$P_w = \frac{Q}{t}$$

Donde:

m : es la masa del objeto a calentar [kg]

c : calor específico del objeto a calentar [$\frac{J}{(kg^{\circ}C)}$]

T_{in} : Temperatura inicial de objeto a calentar [$^{\circ}C$]

T_f : Temperatura final del objeto a calentar [$^{\circ}C$]

Q : Energía transferida en forma de calor [J]

La ecuación 15 - 1 proporciona un cálculo rápido para la estimación de la potencia requerida y es muy útil para aplicaciones donde el calentamiento por inducción es empleado para piezas de trabajo requieran uniformidad en su calentamiento. Sin embargo, para aplicaciones más complejas donde la temperatura final y la temperatura inicial no son uniformes se requiere un cálculo más preciso el cual proporcione el valor real de la potencia necesaria, razón por la cual es indispensable establecer una correlación entre la potencia real obtenida en los terminales de la bobina y la potencia P_w calculada.

1.5.2 Inversores y Convertidores Resonantes

Los inversores resonantes y convertidores resonantes son dos grandes grupos de sistemas que pueden cumplir con la función de transformar la tensión de corriente continua a una tensión alterna de salida modificando su frecuencia y magnitud cuya principal diferencia es la forma de activación de su elemento conmutador. A continuación, se presenta en más detalle cada uno de ellos.

1.5.2.1 Inversor resonante

El inversor cumple la tarea de modificar la tensión encontrada en la entrada de corriente continua a una tensión de salida de corriente alterna cuya magnitud y frecuencia será diferente a la entrada, se cuantificará en la alimentación de la bobina de inducción. El calentamiento por inducción electromagnética se logra al alimentar la carga resonante con una fuente de alta frecuencia. Para realizar la construcción de una fuente de alta frecuencia es necesario el uso de un inversor. (Loayza Collaguazo & Mullo Pallo, 2017)

Existen muchos tipos de configuraciones de inversores cuyas características están diseñadas para la aplicación requerida. La siguiente clasificación propuesta se basa en la topología de inversores más utilizados para la fabricación de equipos de inducción magnética. Se define la siguiente clasificación:

a) Inversor de terminación única (SE)

Esta topología es utilizada en circuitos de cocción, esta estructura tiene un bajo costo y con una eficiencia relativamente alta. El rectificador, la bobina de choque y el condensador de entrada (C_{in}), como se visualiza en la figura 16 - 1, constituyen el filtro pasa bajo (LPF). La bobina de trabajo puede consignarse como una combinación de la inductancia (Lr) y la resistencia (R_{eq}) situados en serie, a su vez son agrupados con un condensador (C_r) para constituir un circuito resonante del tipo tanque. (Molina, 2015)

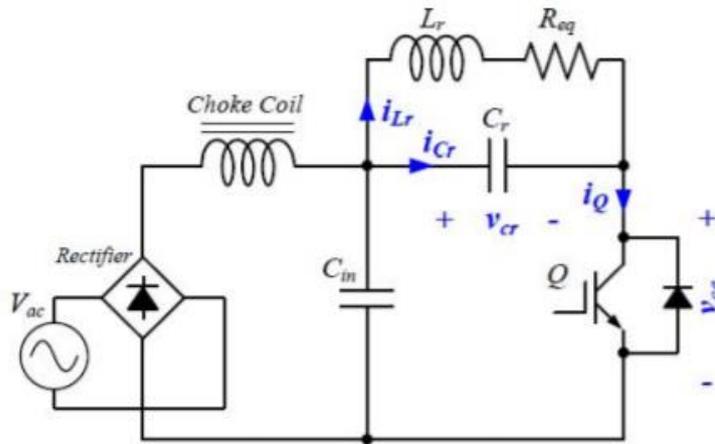


Figura 17- 1: Circuito Inversor de terminación única (SE)

Fuente: (Molina, 2015)

b) Inversor Resonante Serie de Puente Completo

Esta topología es utilizada en aplicaciones de calentamiento por inducción. Una de sus principales ventajas es reducir las pérdidas de potencia en los conmutadores, para de esta manera obtener una frecuencia de operación por encima de la frecuencia de resonancia. A continuación, en la figura 17 – 1 se muestra esta topología. (Loayza Collaguazo & Mullo Pallo, 2017)

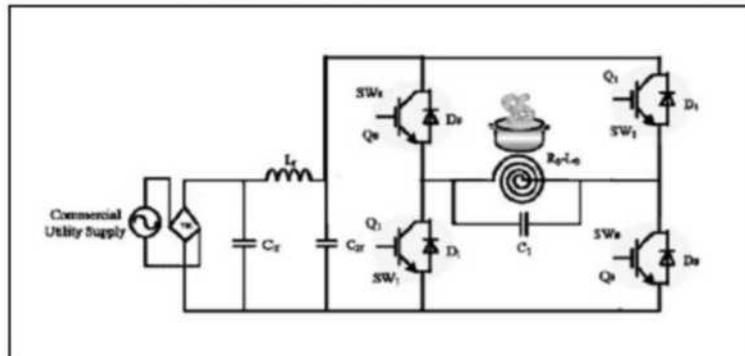


Figura 18- 1: Circuito Inversor Resonante serie de Puente Completo

Fuente: (Loayza Collaguazo & Mullo Pallo, 2017)

Esta topología tiene un amplio campo de aplicaciones, pero generalmente se la encuentra en las cocinas de calentamiento por inducción. Los diferentes dispositivos utilizados para la conmutación generan una variación en la frecuencia de trabajo y el tipo de modulación aplicado en cada uno de los componentes del circuito como se muestra en la siguiente tabla. (Cáceres Rodríguez & Montero Llundo, 2016)

Tabla 2 - 1: Modulación y Frecuencia de resonancia de dispositivos de conmutación

INVERSOR PUENTE COMPLETO		
<i>Dispositivos de Conmutación</i>	<i>Modulación</i>	<i>Frecuencia de Resonancia</i>
IGBT	PDM/AVC	41 kHz
Rectificador tipo Vienna	PWM	20 kHz
MOSFET	PFM	100 kHz

Fuente: (Cáceres Rodríguez & Montero Llundo, 2016)

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas Santiago, 2018.

c) Inversor Resonante Serie de Medio Punte

Los inversores de medio puente son conocidos también como de tensión conmutada, esta topología se la encuentra generalmente en electrodomésticos. Una de sus ventajas frente a la topología de puente completo el uso de menos componentes la cual reduce costos de implementación.

El convertidor de medio puente genera un calentamiento a bajas frecuencias razón por la cual el circuito con dos componentes presenta una reducción de corrientes parasitas. En la figura 18 - 1 se presenta la topología del inversor de medio puente. (Molina, 2015)

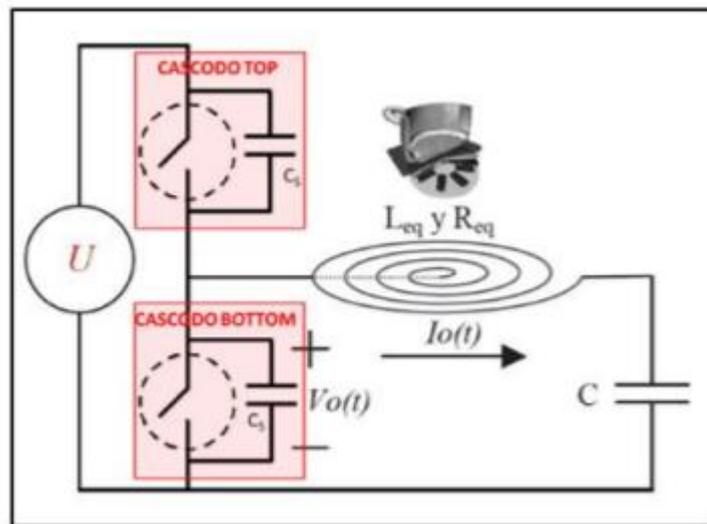


Figura 19- 1: Circuito inversor resonante serie de medio puente

Fuente: (Molina, 2015)

1.5.2.2 Convertidores Resonantes

Según Fierro & Fuentes (2014), el convertidor resonante es básicamente es un puente inversor monofásico que se encarga de realizar la transformación de corriente continua a corriente alterna la cual tiene una salida de amplitud variable contemplando una frecuencia igual o semejante a la resonancia del circuito RLC, el cuál es el encargado de generar la frecuencia mediante un condensador y una bobina entrelazados ya sea en serie o en paralelo.

La R se encuentra referida a la resistencia que representa el objeto a ser inducido por las corrientes de Foucault. El capacitor y la bobina trabajan netamente como un almacén de energía reactiva, en el caso del condensador energía eléctrica mientras que en el caso de la bobina de inducción energía magnética.

El convertidor resonante tiene una diferencia con los inversores tradicionales, la cual se usa una técnica conocida como conmutación suave que puede ser de dos tipos conmutación corriente cero ZCS (Zero Current Switching) o conmutación con voltaje cero, ZVS (Zero Voltage Switching), que son muy útiles a la hora de minimizar las pérdidas de potencia generados en los dispositivos cuya función es realizar las transiciones. En la conmutación ZCS el inductor L se conecta en serie con el interruptor formado para este caso con los transistores para obtener la conmutación con corriente cero. El interruptor estará listo para conmutar con corriente cero cuando el transistor cambie de estado, en la Figura 19 - 1 se observa la operación del interruptor.

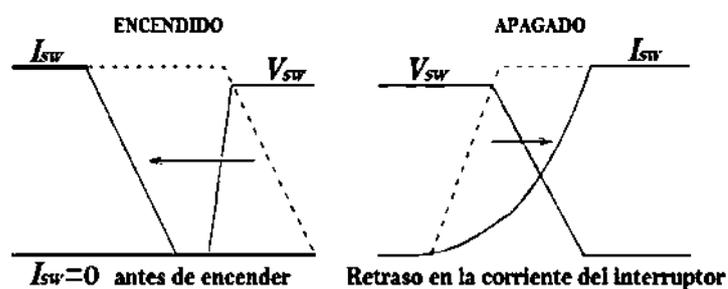


Figura 20- 1: Conmutación ZCS

Fuente: (Fierro & Ortega Fuentes, 2014)

Por otra parte, con la conmutación ZVS, el capacitor se encuentra en paralelo con el interruptor con esto se realiza la conmutación con voltaje cero. Si el interruptor es unidireccional el voltaje que circula por el capacitor puede oscilar en el ciclo positivo y negativo en el medio ciclo, entonces por esta razón el interruptor opera en modo de onda completa. En el caso de conectarse

un diodo de respuesta rápida en paralelo con el interruptor unidireccional el voltaje en el capacitor exigirá que caiga el voltaje a cero mediante la mitad del ciclo negativo y por ende operara en modo de medio onda. La conmutación ZVS, utiliza el circuito resonante durante el tiempo de apagado la cual crea una condición de voltaje a cero cuando el interruptor se accione. En la figura 20 - 1 se muestra dicha transición.

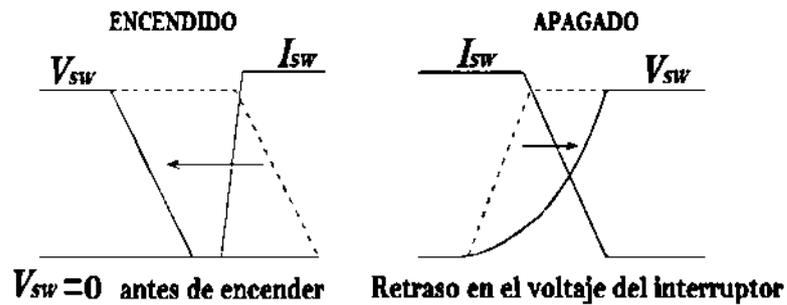


Figura 21- 1: Conmutación ZVS

Fuente: (Fierro & Ortega Fuentes, 2014)

1.5.2.3 Dispositivos semiconductores MOSFET

Tanto para los inversores como para los convertidores resonantes uno de sus elementos principales es su dispositivo de conmutación, generalmente en los sistemas de inducción electromagnética se utilizan semiconductores de potencia se caracterizan por ser alimentados en voltaje unidireccionalmente y bidireccionales en corriente. En la actualidad se emplean transistores de efecto de campo más conocidos como MOSFET de potencia o transistores bipolares de compuerta aislada, también conocidos como IGBT, su elección está relacionada directamente a las necesidades a las que se encuentra sujeto el inversor.(Molina, 2015)

Para facilitar la elección del transistor se puede tomar como referencia la frecuencia de conmutación con la que se desea trabajar. Por lo regular, los transistores MOSFET comúnmente se emplean en aplicaciones con una frecuencia de operación mayor a 150 kHz mientras los transistores IGBT se emplean en aplicaciones que requieran una potencia mayor de 700 kW.

La demanda de altos niveles de potencia y frecuencia manejados en los sistemas para calentamiento por inducción electromagnética, propicia conocer los factores que intervienen en la conmutación especialmente sus tiempos de respuesta y la capacidad de potencia que este pueda manejar, minimizando las pérdidas energéticas y asegurando un correcto funcionamiento del inversor. Los principales aspectos que se deben tener cuenta para la utilización de transistores MOSFET es su forma de conmutación y los tiempos de la misma como se detalla a continuación:

a) Conmutación de transistores MOSFETs

Los MOSFET son dispositivos controlados por voltaje que permiten conmutar señales eléctricas a altas frecuencias y se utilizan generalmente en convertidores de baja potencia. Se puede categorizar a los transistores MOSFET en dos tipos, los de canal N o incrementales y los de canal P o decreméntales cuya diferencia se encuentra en el estado en que permanecen al aplicar o no voltaje en sus compuertas.

Los transistores MOSFET de canal N son los más utilizados en electrónica de potencia dado que estos permanecen apagados con 0 V mientras que los del tipo decrementan P permanecen activos al aplicar 0 V en su compuerta.

Estos transistores disponen de 3 zonas de funcionamiento: zona óhmica, zona de saturación y zona de corte. Para la conmutación de inversores y la mayoría de circuitos de potencia se utilizan las zonas óhmica y zona de corte ya que el MOSFET se ve restringido a funcionar solo como un interruptor, en donde la zona óhmica corresponde a un interruptor cerrado mientras la de corte a un interruptor abierto.

El paso de un estado a otro es conocido como velocidad de conmutación, esta depende principalmente de las capacitancias parasitas constituidas por la estructura de la compuerta respecto a la fuente (C_{gs}), respecto al drenaje (C_{cg}) y la capacitancia del drenaje a la fuente (C_{ds}) como se muestra en la figura 19 – 1.

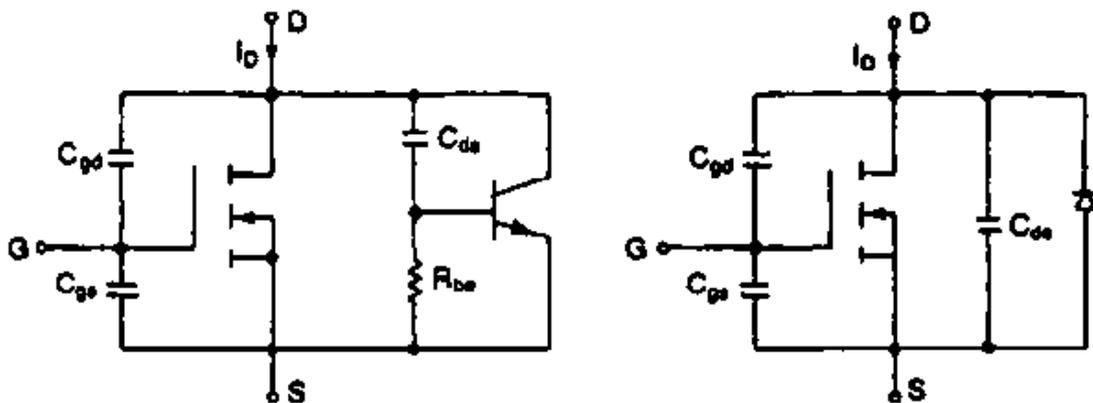


Figura 22- 1: Capacitancias parasitas de transistores MOSFET

Fuente: (Molina, 2015)

El funcionamiento de los transistores MOSFET es análogo al de transistores IGBT, por lo tanto, su proceso de conmutación es similar.

b) Tiempos de Conmutación

El tiempo de activación de un MOSFET depende del tiempo de carga de la capacitancia de entrada por tal motivo se requieren señales de disparo para conmutar a los transistores de potencia de una misma rama, idealmente este proceso de conmutación sucede en el mismo instante, es decir, cuando una de las ramas empieza a conducir la otra rama deja de hacerlo. Sin embargo, esto es imposible pues al ser interruptores no ideales es necesario tiempos tanto de encendido como de pagado (Hincapié, Trejos, Moncada, & Escobar, 2013)

Cuando el tiempo de activación no asegura que un MOSFET de una rama comience a conducir antes que otro de la misma rama lo haya dejado de hacer pone en corto circuito a la fuente produciendo serios problemas como deterioro de los dispositivos, serias pérdidas de energía por mala conmutación inclusive la destrucción del sistema por sobrecorriente.

Para evitar fallos por mala conmutación es necesario introducir un pequeño tiempo DT (Dead Time o tiempo muerto) que retrase solo el encendido del interruptor, de tal manera que se garantice que un interruptor de una rama no se encienda hasta que el otro interruptor este apagado completamente. La figura 22 - 1 muestra una comparación de una conmutación ideal y una conmutación más acercada a la realidad donde se utiliza la inserción de tiempos muertos al encendido del MOSFET. (Hincapié et al., 2013)

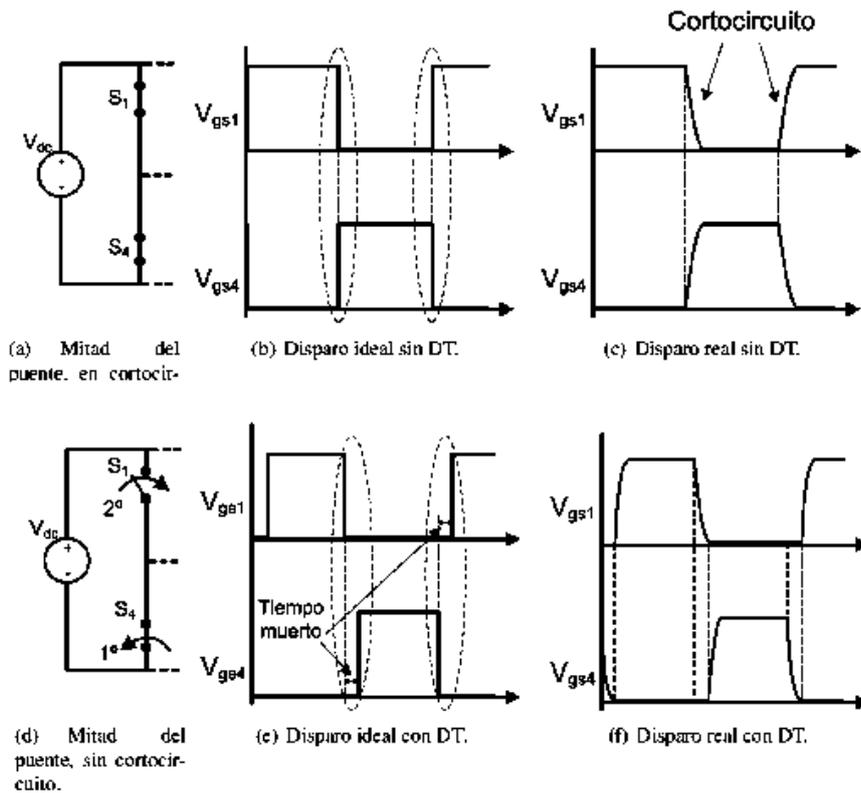


Figura 23- 1: Conmutación Ideal y Real de transistores MOSFET

Fuente: (Molina, 2015)

No obstante, la inserción de tiempos muertos produce distorsión armónica de baja frecuencia en la salida, por consiguiente, se debe conseguir que el tiempo DT sea lo más corto posible con fin de mantener una salida con el mínimo nivel de distorsión armónica, siempre y cuando se garantice la no activación de los MOSFET de una misma rama al mismo tiempo, es decir, se debe procurar un equilibrio entre distorsión armónica y seguridad. La mejor manera de calcular un DT efectivo es realizar mediciones mediante simulaciones y circuitos de prueba.

1.5.3 Circuito Tanque RLC

Según Fierro & Fuentes (2014), el circuito RLC se puede implementar en dos configuraciones, estas son serie y paralelo.

En el presente trabajo de titulación se utiliza un circuito resonante paralelo. En este caso a la salida del convertidor resonante, se pone en paralelo el condensador con la bobina de inducción, buscando que la frecuencia de resonancia se asemeje a la frecuencia de trabajo. Al conectar juntos el condensador y la bobina generan una corriente eléctrica que alterna a ambos con una frecuencia angular, regida a la siguiente ecuación:

Ecuación 16 - 1: Frecuencia angular

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

En la parte interna de la bobina de inducción se genera un campo magnético el cual puede ser variable y alterno, el cual tiene la función de inducir corrientes de Foucault en la pieza a calentar.

Para dar lugar a este fenómeno se requiere que una corriente sinusoidal fluya por la bobina L, que da resultado mediante el efecto de resonancia.

“Cuando la reactancia inductiva (X_{Lr}) y la reactancia capacitiva (X_{Cr}) son iguales, a la frecuencia que se da esta igualdad es llamada frecuencia de resonancia”

Ecuación 17 - 1: Igualdad de reactancia Inductiva y reactancia capacitiva

$$X_{Lr} = X_{Cr}$$
$$\omega L_r = \frac{1}{\omega C_r}$$

Al convertir la frecuencia angular a Hertz, se obtiene

Ecuación 18 - 1: Conversión de frecuencia angular

$$2\pi f_r L_r = \frac{1}{2\pi f_r C_r}$$

Finalmente, se despeja la frecuencia de resonancia

Ecuación 19 - 1: Cálculo de la frecuencia de Resonancia

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_r C_r}}$$

Para obtener la corriente de resonancia y la capacitancia mediante las ecuaciones siguientes

Ecuación 20 - 1: Cálculo de la corriente de resonancia

$$I_r = \frac{2\pi P}{V}$$

Donde:

P : Potencia [W]

V : Voltaje [V]

Ecuación 21 - 1: Cálculo de la capacitancia de resonancia

$$C_r = \frac{1}{2\pi f_r V_C}$$

Donde:

C_r : capacitancia resonante [f]

f_r : frecuencia resonante [Hz]

V_C : Voltaje de capacitancia resonante [V]

1.5.3.1 Bobina de Inducción

La bobina de inducción al ser el elemento L del circuito RLC tiene un papel muy importante pues este cumple con la tarea de la generación de campos magnéticos en los materiales los cuales se

desean calentar. La geometría del inductor está dada directamente por la pieza a calentar y generalmente para su construcción se utilizan tubos huecos de cobre. El inductor como los demás componentes deben disipar potencias elevadas, por tal razón el sistema de refrigeración para estos equipos en la mayoría de los casos es la circulación de agua.

Se debe considerar, en la pieza a calentar la distancia existente entre la pieza y el inductor entre más pequeña sea la distancia entre estos elementos más fuerte será el campo magnético por tal razón la pieza se calentará de una forma más rápida. Las bobinas de trabajo de acuerdo con su forma determinan el grado de eficacia y eficiencia con el cual se calentará la pieza de trabajo. A continuación, se presentan algunos tipos de bobinas existentes. (Coque et al., 2016)

a) Bobina de una Espira

Este diseño es de gran ayuda para calentar una franja relativamente estrecha de la pieza o a su vez para calentar la punta de la pieza de trabajo. Estas bobinas son más utilizadas para realizar un calentamiento exacto.

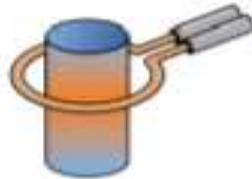


Figura 24- 1: Bobina de una espira

Fuente: (Dahake, 2009)

b) Bobina Helicoidal de varias Espiras

La bobina helicoidal es la más común y eficiente encontrada en el mercado, el número de espiras existentes en la bobina define el ancho en donde se inducirá el calentamiento de la pieza.



Figura 25- 1: Bobina helicoidal de varias espiras

Fuente: (Dahake, 2009)

c) Bobina Helicoidal Multiposición

La bobina multiposición se utiliza para producir más número de piezas en un tiempo determinado, pero sin afectar el proceso de calentamiento. Al calentarse una pieza de trabajo en una posición, la otra bobina si el usuario desea puede cargarla o descargarla para el siguiente ciclo de trabajo.



Figura 26- 1: Bobina helicoidal multiposición

Fuente: (Dahake, 2009)

d) Bobina Helicoidal Dividida

Cuando no se puede acceder al área la cual se requiere calentar con una bobina helicoidal, se utiliza las bobinas helicoidales divididas ya sea de una o varias espiras.



Figura 27- 1: Bobina helicoidal dividida

Fuente: (Dahake, 2009)

e) Bobina de Canal

Este tipo de bobinas se requieren cuando la pieza a calentar pueda desplazarse a través del campo magnético por intermedio de un mecanismo de transporte lineal. La pieza que calentar lo hará de al atravesar la bobina de canal.



Figura 28- 1: Bobina de canal

Fuente: (Dahake, 2009)

f) Bobina de Canal Curvado

Las bobinas de canal curvo se utilizan para adaptarse al entorno del proceso o para calentar una pieza en una mesa giratoria.

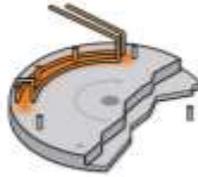


Figura 29- 1: Bobina de canal curvado

Fuente: (Dahake, 2009)

g) Bobina de Oblea

El uso de esta configuración es muy utilizado para diferentes productos se opta por esta opción cuando se desea calentar la pieza de trabajo solo desde una dirección o cuando no es posible rodear la pieza.



Figura 30- 1: Bobina de Oblea

Fuente: (Dahake, 2009)

h) Bobina Interior

Las bobinas interiores de una o varias espiras son de mucha ayuda a la hora de calentar orificios interiores.



Figura 31- 1: Bobina interior

Fuente: (Dahake, 2009)

1.5.4 Carga

La carga constituye el elemento R del circuito RLC y es la pieza de metal a la cual se le inducirá el campo magnético mediante la bobina de inducción. Existe gran variedad de metales que pueden ser usados para sistemas de inducción electromagnética, pero al tratarse de un sistema que va a estar sometido a un flujo constante de agua por largos periodos de tiempo se requiere que cumpla ciertas características importantes principalmente que sea magnético.

Uno de los aspectos importantes es que el material de la pieza sea de acero inoxidable ya que al estar en contacto con el agua y a cambios bruscos de temperatura es propenso a una rápida oxidación. Los aceros inoxidables se subdividen en tres grandes grupos: Aceros Martensíticos, aceros férricos y aceros austeníticos, en la tabla 3 - 1 se presenta una comparación de las principales propiedades que se deben tomar en cuenta de estos aceros. (Coque et al., 2016)

Tabla 3 - 1: Propiedades de los aceros inoxidables

Tipo de Acero	Propiedades Generales				
	Resistencia a la Corrosión	Dureza	Magnéticos	Soldabilidad	Conductividad Térmica (W/m°C)
Martensíticos	Baja	Alta	Si	Pobre	30
Férricos	Buena	Media Baja	Si	Limitada	18
Austeníticos	Excelente	Alta	No	Excelente	15

Fuente: (www.bonnet.es) Aceros inoxidables

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago; 2018.

Con la información de la tabla 3 - 1 se puede hacer un análisis de cuál sería el acero idóneo para la elaboración de la pieza a calentar. El acero austenítico al ser no magnético es descartado, los aceros martensíticos a pesar de ser magnéticos y una gran conductividad térmica su pobre resistencia a la corrosión y soldabilidad hacen que este acero también sea descartado dejando como idóneos a los aceros férricos los cuales cumplen con las características necesarias para un calentamiento por medio de inducción electromagnética. Cabe mencionar que otra ventaja de estos aceros es su baja dilatación térmica lo que nos asegura que la pieza no se deforme con el tiempo.

1.5.5 Sistema de control de Temperatura

Un sistema que controle la temperatura de salida del agua es posible mediante el control de parámetros eléctricos de frecuencia de trabajo y potencia suministrada teniendo siempre en cuenta

las propiedades del material a calentar, su forma, la geometría del inductor y su posición respecto a la carga.

Existen muchos métodos para realizar un sistema de control de temperatura retroalimentado para lo cual es necesario determinar los aspectos más importantes que este debe cumplir, para este caso, al tratarse de calentamiento de agua cuya temperatura puede presentar variaciones al ingresar al prototipo se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- La temperatura del agua de salida deber ser estable.
- El sensor debe ser rápido para detectar los cambios bruscos de temperatura y adecuadamente acondicionado para evitar errores de medición.
- Debe mostrar cierto nivel precisión al estar en régimen estacionario.
- Debe propiciar el ahorro de consumo de energía.

Uno de los métodos que pueden aplicarse para cumplir los objetivos anteriores es el sistema de control todo o nada (on/off), el cual es muy utilizado en aplicaciones donde la precisión requerida no sea tan elevada.

1.5.5.1 Sistema de Control ON-OFF

Un sistema de control ON-OFF genera a la salida solo dos valores fijos correspondientes al encendido y apagado del elemento actuador dependiendo del error existente entre la señal de retroalimentación obtenida mediante el sensor y la temperatura deseada por el usuario. Generalmente al iniciar un sistema ON-OFF el control envía una señal que activa el elemento actuador y lo mantiene encendió hasta llegar a un valor previamente determinado denominado set point, una vez que en la salida del sistema supera el valor de set point el control desactiva el actuador y lo mantiene apagado hasta que el valor obtenido por el sensor descienda por abajo del nivel deseado, iniciando el proceso nuevamente. (Ogata, 2010)

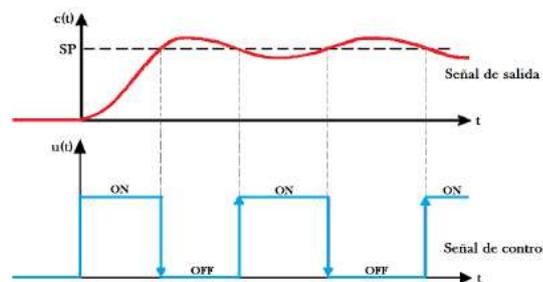


Figura 32- 1: Acción de Control ON-OFF

Fuente: (Ogata, 2010)

Una peculiaridad de este método de control es la constante y excesiva conmutación que puede producir desgaste o daños en el actuador cuando existen condiciones donde el error es pequeño y varía frecuentemente entre el Set Point y la señal del sensor. Para evitar dicho problema es necesario introducir un pequeño retardo al control produciendo que la conmutación de encendido o apagado deba superar un rango, este efecto es conocido como Histéresis y se muestra en la figura 32 – 1

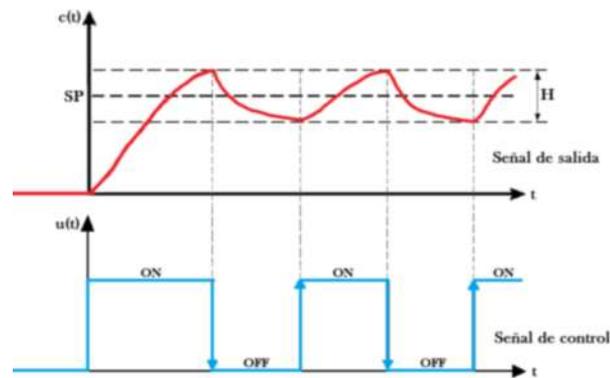


Figura 33- 1: Acción de Control ON – OFF con Histéresis

Fuente: (Ogata, 2010)

Una vez definido el método de control a aplicarse, el siguiente paso es definir los principales elementos necesarios para asegurar un óptimo funcionamiento del sistema, entre los más importantes tenemos:

- El controlador
- Sensores
- Acondicionadores de señal
- Actuadores

1.5.5.2 Controlador

El controlador es la etapa en donde se procesa las variables que intervendrán en la secuencia de funcionamiento del sistema mediante la ejecución de un algoritmo de control permitiendo registrar el comportamiento del prototipo en base a las condiciones requeridas por el usuario.

En la actualidad el uso de tarjetas de desarrollo electrónico ha proporcionado el medio ideal para la creación de prototipos que requieren de un sistema de control robusto, rápido y preciso. En el mercado existen varias tarjetas de desarrollo que presentan ciertas características y ventajas que las diferencian unas de otras, generalmente dichas tarjetas cuentan con varios dispositivos

especialmente diseñados para dar el mayor rendimiento y aprovechamiento de recursos de las mismas.

Para la elección de la tarjeta desarrolladora hay que tener en cuenta varios aspectos como precios, velocidad, simplicidad, facilidad de programación, pines o puertos de entradas y salidas, etc. Algunas de las tarjetas de desarrollo más utilizadas y asequibles se presentan a continuación:

a) ARDUINO

Es una de las tarjetas más conocidas en el mercado gracias a su gran gama de dispositivos y accesorios compatibles, cuenta con un procesador ATMEGA y protocolos de comunicación PWM, ADC, I2C, SPI, GPIO además de comparador e interrupciones. Su bajo costo, versatilidad de dispositivos, números modelos y software de programación libre han popularizado esta tarjeta permitiendo realizar complejos sistemas de control de manera sencilla y rápida.

b) RASBERRY PI

Una de las tarjetas de desarrollo más completas en el mercado, cuenta con una CPU Quad Core a 1.2 Ghz de 64 bits incluye un módulo de Wireless LAN inalámbrica 802.11n y Bluetooth incorporado, por otra parte, cuenta con un conector HDMI y puertos USB, Micro SD entre otros. Su alto nivel de hardware, protocolos de comunicación UART, I2C, SPI, GPIO, PWM, USB, Ethernet, Wifi, HDMI y software libre han permitido popularizar esta placa como un mini computador de bajo costo destinado principalmente para sectores educativos y de investigación.

c) INTEL® JOULE™

Intel Joule es una de las placas más poderosas del mercado, diseñada para trabajos en áreas con altos niveles de procesamiento computacional como visión, robótica, IoT, realidad virtual, drones, etc.

Sus principales características son: procesador Quad Core Intel® Atom™ T5700 de 64 bits a 1.7 GHz y en modo turbo a 2,4 GHz, memoria RAM de 4Gb LPDDR4, 16 Gb de almacenamiento incorporado, Wifi Intel® 802.11ac, Bluetooth 4.1, puertos USB 3.0, protocolos de comunicación GPIO, UART, I2C, compatibilidad con sistema operativo Ubuntu y cámaras Intel RealSense.

Sin embargo, las grandes potencialidades de esta tarjeta de desarrollo se ven contrapuestas con su alto precio por lo que su utilización se limita a cierta porción del mercado especialmente a aplicaciones de desarrollo avanzado e investigación de alto rendimiento.

d) BEAGLEBONE BLACK

La BEAGLEBONE BLACK destaca dentro de las plataformas de desarrollo de bajo costo, cuenta con un procesador AM335 ARM® Cortex-A8 de 1GHz, memoria RAM DDR3 de 512 Mb, memoria flash de 4 Gb, puertos USB, conectores Ethernet y HDMI, además entre sus ventajas incluye un acelerador de gráficos 3D y compatibilidad con software Debian, Android y Ubuntu.

1.5.5.3 Sensores

El sensor es elemento encargado de censar el valor real de una variable en un proceso y retroalimentarla al controlador mediante una señal proporcional a la medida. Existen muchos tipos de sensores utilizados para la medición de temperatura. La tabla 4 - 1 presenta una breve descripción de los tipos de sensores de temperatura. (Coque et al., 2016)

Tabla 4 - 1: Características principales de los tipos de sensores de temperatura

TIPO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
<p>Termopar o Termocupla</p>	<p>Está formado por dos metales distintos donde uno representa la temperatura de referencia mientras que el otro la temperatura medida. Su funcionamiento se basa en el voltaje producido por la diferencia de temperatura entre los metales conocido como efecto termoeléctrico</p>	
	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo, • Alta Resistencia, • Alta Confiabilidad, • Amplia gama de temperaturas medibles, • Buen rendimiento. 	<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propensos a errores de lectura en uso prolongado a altas temperaturas. • No permite el contacto con otras fuentes de electricidad
<p>Termistores</p>	<p>Están constituidos por material semiconductor cuya resistividad es sensible a la temperatura. Su funcionamiento se basa en el cambio de resistencia con el incremento o decremento de temperatura.</p>	
	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Económicos • Adaptables • Fáciles de usar 	<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • No aptos para altas temperaturas. • Útiles en procesos de medición sencillo
<p>Detectores de temperatura resistiva (RTD)</p>	<p>Basan su funcionamiento en la utilización de una resistencia que cambia de su resistividad simula a la par de la temperatura. Se diferencia de los termistores por el material utilizado (metal puro en el caso de los RTD) y la respuesta térmica de cada uno.</p>	
	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta precisión, repetitividad y estabilidad. • Temperaturas medibles desde -50 a 500 °C 	<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estables a largo plazo. • No están diseñados para inmersión total.

Sensores Infrarrojos	<p>Su funcionamiento se basa en la Transformación de la energía térmica de un objeto en una señal eléctrica. El rango de longitud entre el sensor y el objeto de detección va desde 0.7 a 20 μm</p>	
	<p><i>Ventajas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Útiles cuando no se puede emplear termopares, sondas o sensores de contacto. • Útiles al existir riesgo de alto voltaje. • Útiles si el objeto a medir está en movimiento. 	<p><i>Desventajas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se debe considerar: campo de visión, emisividad, respuesta espectral y el rango de temperatura. • Requiere inferencias y comprensión total de factores decisivos para asegurar la medición real de la temperatura indicada.

Fuente: (Hernández & Ledesma, 2010)

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago; 2018.

1.5.5.4 Acondicionador de señal

Todos los sensores requieren una etapa de acondicionamiento de las señales para que el dispositivo de adquisición de datos pueda procesar con precisión y eficacia la señal real del sistema. Esta es una de las etapas más importantes en la adquisición de datos debido a que sin la optimización de la señal nunca se podrá confiar en la exactitud de la medida. (Pacheco & Hidalgo, 2011)

Las características de acondicionamiento varían dependiendo del sensor y su funcionabilidad su éxito se consigue comprendiendo los circuitos necesarios para garantizar una lectura precisa independiente de las condiciones ambientales en el proceso. Los tipos más comunes de acondicionamiento de la señal se resumen a continuación:

- **Amplificación.** - el circuito amplificador permite acrecentar el nivel de voltaje para adaptar el valor al rango del convertidor analógico-digital, permitiendo una mayor sensibilidad y resolución de la medida. El incremento del nivel de tensión también permite que el ruido ambiente no afecte a la señal.
- **Atenuación.** - el circuito de atenuación permite disminuir la amplitud de la señal de ingreso cuando esta está fuera del rango del convertidor analógico-digital.
- **Filtros.** - estos circuitos son los que permiten rechazar o bloquear los ruidos no deseados en las señales eléctricas con un determinado rango de frecuencias.
- **Aislamiento.** - Los circuitos de aislamiento tiene la función de proteger al usuario y al sistema de señales de tensión que se alejen en gran medida al rango de digitalización. Por lo general el circuito de aislamiento trabaja junto con un circuito de atenuación que permiten eliminar picos de tensión que se pudieran producir en el sistema.

- **Excitación.** – Estos circuitos son muy utilizados en sensores que requieren fuentes de alimentación externas, como RTDs y Termistores, para convertir la variación de resistencia en un voltaje medible.
- **Linealización.** – es necesaria cuando las señales de los sensores no están linealmente relacionadas con la variable medida y requiere un proceso de interpretación de la señal. Se puede implementar linealización de la señal mediante circuitería o por software.
- **Compensación de la unión fría.** – conocida como Cold Junction Compensation (CJC) este acondicionamiento es típico de termopares donde es indispensable compensar la tensión generada entre el termopar y el dispositivo adquirente de datos, esta compensación y corrección apropiada de la unión fría ayuda a mejorar la precisión de la señal.
- **Terminación Puente.** – este acondicionamiento es típico para sensores que utilizan la variación de resistencia como método de generación de señal, utilizan una configuración de elementos resistivos para formar un puente de Wheatstone de modo que la resistencia pueda detectar los más minúsculos cambios de tensión mediante el sensor.

En la tabla 5 - 1 se presenta un resumen de los tipos de acondicionamiento de señal necesarios para algunos de los sensores más utilizados.

Tabla 5 - 1: Resumen acondicionamientos necesarios para sensores de temperatura

Sensor	Amplificación	Atenuación	Aislamiento	Filtrado	Excitación	Linealización	Terminación en puente
Termopar	✓	-	✓	✓	-	✓	-
Termistor	✓	-	✓	✓	✓	✓	-
RTD	✓	-	✓	✓	✓	✓	-

Fuente: (Hernández & Ledesma, 2010)

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago; 2018.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo contiene el procedimiento realizado para el desarrollo de un prototipo para el calentamiento de agua potable mediante inducción electromagnética, En el Grafico -**** se presentan los pasos a seguir para desarrollar el sistema de tal forma que dé cumplimiento con los objetivos propuestos.

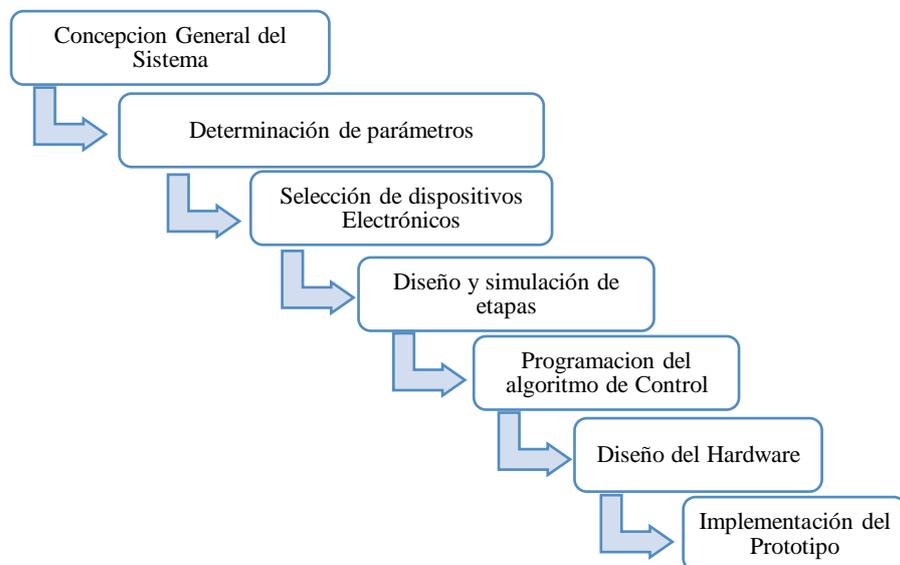


Gráfico 1 - 2: Etapas del para la implementación del prototipo
Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

2.1 Concepción General del Sistema Electrónica

2.1.1 *Requerimientos del Sistema Electrónico que Desarrollar*

- El sistema debe calentar el agua a una temperatura de 45 °C utilizando calentamiento por inducción magnética.

- El sistema debe poseer un control de temperatura que permita al usuario regular la temperatura del agua.
- El sistema tendrá un consumo bajo de energía eléctrica

2.1.2 Arquitectura del Sistema de Calentamiento a Inducción

En la Figura 1 – 2 de la concepción general del sistema se observa que consta de una fuente de alimentación conmutada la cual a su vez energizará el sistema convertidor resonante el cual genera la señal que será captada por el circuito tanque resonante, para finalmente encontrarse con la carga, todo esto bajo el sistema de control el cual se encarga de monitorear la temperatura y dirigir la activación o desactivación de los actuadores.

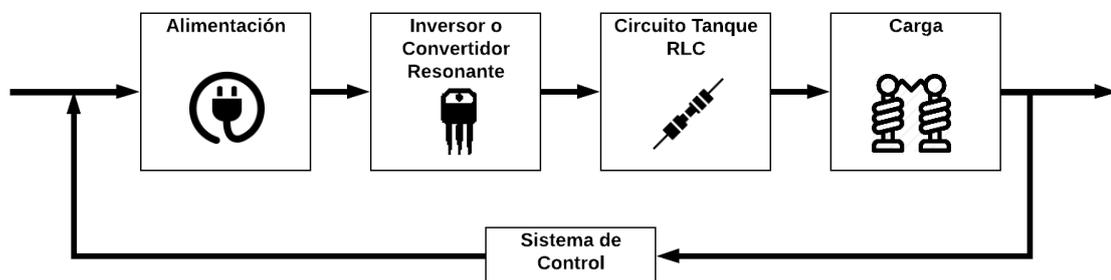


Figura 1 - 2: Diagrama de Bloques del sistema de Calentamiento por Inducción

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

- **Etapa de Alimentación:** es la primera está conformada por una fuente la cual suministra la energía necesaria para producir en la superficie ferromagnética una temperatura lo suficientemente alta para calentar el agua conforme esta la atraviesa.

La energía requerida debe ser calculada en función a las características de la superficie ferromagnética y la temperatura máxima del agua caliente que se desee obtener para posteriormente relacionar los datos obtenidos con la potencia necesaria que la fuente de alimentación debe suministrar para llevar a cabo un calentamiento con la menor pérdida energética posible.

- **Etapa de Potencia:** es la segunda etapa del sistema y está comprendida por un convertidor resonante en paralelo y el circuito tanque cuya función principal que es

generar las corrientes de Foucault las cuales al entrar en contacto con la pieza comienza a generar el calentamiento por Inducción

- **Sistema de Control:** es la tercera etapa la cual está encargada de controlar el funcionamiento del sistema, entre sus funciones principales esta regular el voltaje de entrada a la etapa de potencia de acuerdo a la necesidad del sistema considerando la temperatura seleccionada por el usuario.

Esta etapa también está encargada monitorear el consumo de agua y la salida de agua caliente cuando la temperatura sea la requerida por el usuario.

- **Interfaz de Usuario:** Esta etapa será el medio por el cual el usuario podrá elegir la temperatura a la que desee calentar el agua, sin exceder los rangos de calentamiento previamente definidos. Al ser el único medio por el cual el usuario podrá controlar el prototipo es de suma importancia que dicha interfaz sea sencilla, clara y de manejo intuitivo permitiendo una buena experiencia de uso.

2.1.3 Control de Lazo Cerrado para el Dispositivo

En el Grafico 2 – 2 se muestra un diagrama de bloques indicando el modelo de control del sistema de temperatura en lazo cerrado. La señal de entrada para el sistema es la temperatura del agua, el sistema obtiene información de la temperatura a la cual se encuentra el agua potable, esta será comparada con la temperatura seleccionada por el usuario permitiendo enviar una señal para aumentar o disminuir el voltaje de entrada.

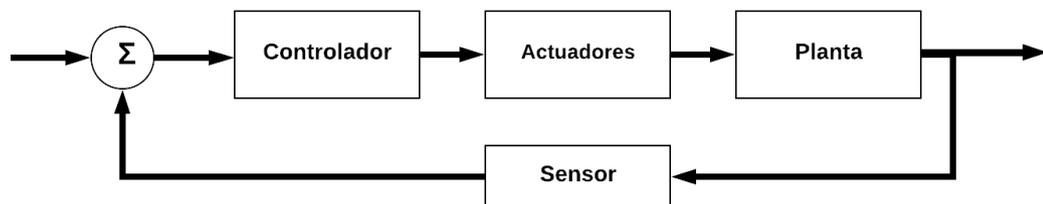


Gráfico 2 - 2: Diagrama de bloques de control del sistema
Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

2.2 Determinación de los Parámetros de funcionamiento

Es importante conocer la dimensiones y limitaciones que tendrá el sistema de calentamiento por inducción, considerando que un mal dimensionamiento ocasionaría pérdidas de eficiencia o a su vez sobrecalentamiento del sistema. Considerando los equipos del mercado el primer paso es encontrar una potencia tal que sea lo suficiente para generar el calentamiento basándose en que si la potencia es muy baja el sistema tardara mucho en cumplir los parámetros y que si la potencia es muy alta caerá la eficiencia.

2.2.1 Determinación de la potencia necesaria

Para asegurar que la energía suministrada al sistema de calentamiento sea la requerida para calentar el agua a la temperatura planteada es indispensable calcular la energía necesaria para calentar la pieza a la temperatura suficiente para que esta pueda transferir el calor al agua. Para ello el primer paso es elegir el material de la pieza a calentar, el cual, después del análisis del apartado 1.5.4.

Se decide utilizar el Acero Férrico AISI 430 el cual presenta una buena resistencia a la corrosión en entornos corrosivos y exposiciones atmosféricas, alta resistencia a temperaturas elevadas, fácil modelamiento (ver anexo A) para diseñar una tubería de pequeñas dimensiones para calentar un flujo pequeño pero constante de agua el cual desembocara en un recipiente fabricado de igual manera en acero inoxidable. El la figura 2 - 2 se presenta el diseño de la tubería y sus dimensiones.

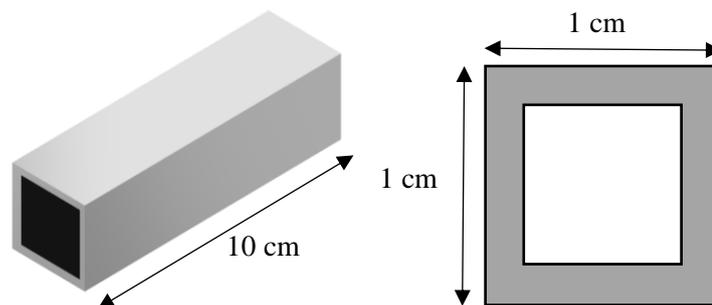


Figura 2 – 2: Dimensiones de la Tubería

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Para el cálculo de la potencia requerida para calentar la tubería de acero AISI 430 son necesario los siguientes datos:

- Dimensiones: $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 10\text{ cm}$
- Espesor: 0.06 cm

- *Calor específico* = $0.11 \frac{kcal}{kg^{\circ}C}$
- *Peso Volumétrico del acero* = $7850 \frac{kg}{m^3}$
- $T_i = 10^{\circ}C$
- $T_f = 870^{\circ}C$.

Cálculo de masa de la pieza a calentar

Para obtener el valor de la masa de la tubería primeramente se calcula su área para luego proceder a obtener su peso volumétrico.

$$A_T = A_1 - A_2$$

$$A_T = (1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) - (0.94 \text{ cm} \times 0.94 \text{ cm})$$

$$A_T = 0.1164 \text{ cm}^2$$

Se convierte el área a m^2 mediante:

$$A_T = 0.1164 \text{ cm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2}$$

$$A_T = 1.164 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Se calcula el peso de la tubería multiplicando el área por el peso volumétrico del acero.

$$W_{tuberia} = A_T \times W_{vol}$$

$$W_{tuberia} = 1.164 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times 7850 \frac{kg}{m^3}$$

$$W_{tuberia} = 1.164 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times 7850 \frac{kg}{m^3}$$

$$W_{tuberia} = 0.0914 \frac{kg}{m}$$

Se calcula la masa para los 10 cm de tubería.

$$m = 0.00914 \text{ kg}$$

Con la ayuda de la Ecuación 5-1 se calcula la transferencia de calor

$$Q = m_t C (T_f - T_i)$$

$$Q = (0.00914 \text{ kg})(0.11 \frac{kcal}{kg^{\circ}C})(870^{\circ}C - 10^{\circ}C)$$

$$Q = 0.8646 \text{ kcal}$$

Se convierte *kcal* a *kwh* utilizando la igualdad $1 \text{ kcal} = 0.001164 \text{ kwh}$

$$Q = (0.8646 \text{ kcal})(0.001164 \text{ kwh})$$

$$Q = 1 \times 10^{-3} \text{ kwh}$$

Se calcula la potencia necesaria para un tiempo de 30 segundos mediante:

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

$$P = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ kwh}}{0.0083}$$

$$P = 840.33 \text{ W}$$

Al valor de potencia calculada se le añade un factor de seguridad del 30% correspondiente a la las pérdidas de energía por conducción (10%), convección (10%), y radiación (10%) obteniendo:

$$P_w = P * 1.3$$

$$P_w = 840.33 * 1.3$$

$$P_w \cong 1 \text{ kW}$$

2.2.2 *Determinación de parámetros para el convertidor resonante.*

Considerando una potencia de $P = 1000 \text{ W}$ se tiene y una Frecuencia de Resonancia de 42 KHz

$$P = V * I$$

$$I = \frac{1000 \text{ W}}{48 \text{ V}}$$

$$I = 20.83 \text{ A}$$

Considerando que el material a utilizar en este caso Acero Inoxidable AISI 430 tiene una resistividad eléctrica de $1.397 \mu [\Omega \text{ m}]$ y una permeabilidad magnética al vacío de 1,000068 y una frecuencia de 42 KHz entonces al reemplazar estos datos en la siguiente ecuación tenemos de la profundidad de penetración mostrada a continuación:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r F}}$$

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{1.397 \times 10^{-6}}{1,000068 * 42000}}$$

$$\delta = 5.76 \times 10^{-6} \text{ m}$$

La capacitancia de resonancia que se necesita para generar esta frecuencia

$$C = \frac{I}{2 \pi * fr * V_z}$$
$$C = \frac{20}{2 \pi * 42 \text{ KHz} * 18 * \sqrt{2}}$$
$$C = 2.97 \text{ uF}$$

La inductancia de la bobina resonante se describe de la siguiente forma

$$L = \frac{1}{C (fr * 2\pi)^2}$$
$$L = \frac{1}{2.97E^{-6} F (2\pi * 42000 \text{ Hz})^2}$$
$$L = 4.87 \text{ uH}$$

2.3 Selección de Dispositivos electrónicos

Una de las partes primordiales del desarrollo del prototipo es la adecuada elección de los dispositivos y elementos electrónicos que conformen el diseño de las diferentes etapas del sistema, permitiendo dar cumplimiento a los parámetros de funcionamiento anteriormente realizados. A continuación, se realiza una breve explicación de la selección cada uno de ellos.

2.3.1 Fuente de Alimentación NIMO ALM335

Para la fuente de alimentación que proveerá la energía requerida para el funcionamiento óptimo del prototipo se optó por una fuente de alimentación conmutada ALM335 (figura 3 - 2) del fabricante NIMO con una potencia de 500w, su ficha técnica se encuentra en el Anexo B.



Figura 3 – 2: Fuente de Alimentación NIMO ALM335

Fuente: (METROELECTRONICA, 2014)

Entre sus características principales tenemos:

- Voltaje de Entrada: 90-132 VCA / 180-264 VCA (seleccionado por Interruptor)
- Voltaje de Salida: 24 VCC
- Corriente nominal de salida: 20.8 A
- Rendimiento: 87%

A fin de cumplir con los requerimientos de potencia de apartado 2.1.3 se ha dispuesto de la utilización de dos fuentes conectadas en paralelo para producir un voltaje de salida de 48 VCC a una corriente nominal de 20.8 A produciendo una potencia total de alimentación de aproximadamente 1000 W.

2.3.2 Componentes de la etapa de potencia

2.3.2.1 MOSFET IRFP260N

Es un elemento de potencia HEXFET de canal N simple. Este dispositivo cuenta con una resistencia de estado de conducción muy bajo por tener un área de silicio, valor dinámico dv/dt , es resistente a la conmutación rápida lo cual facilita el uso en circuitos con una frecuencia de trabajo alto la ficha técnica se encuentra en el DataSheet en el Anexo C.

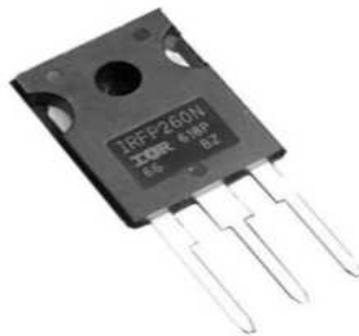


Figura 4 – 2: Mosfet IRFP260N

Fuente: (INFINEON, 2010)

Sus principales características son:

- Polaridad: Canal-N
- Tensión drenaje-fuente V_{ds} : 200 V
- Tensión V_{gs} de medición $R_{ds(on)}$: 10 V
- Tensión umbral V_{gs} : 4 V
- Intensidad drenador continua I_d : 50 A
- Resistencia de activación $R_{ds(on)}$: 40 mohm

- Disipación de potencia Pd: 300 W
- Temperatura de trabajo máxima: 175°C
- Encapsulado TO-247AC
- 3 pines

2.3.2.2 Diodo Zener 1N4746A

Es un diodo que tiene terminaciones axiales capaces de proporcionar una tensión de referencia estable en un encapsulado DO-41. Este dispositivo ofrece una gran fiabilidad, característica inversa muy aguda y un nivel bajo de corriente inversa. Este semiconductor permite un flujo de corriente en dirección opuesta siempre y cuando este expuesta a un nivel suficiente de tensión. Ver Anexo D



Figura 5 – 2: Diodo Zener 1N4746A

Fuente: (First Components International, 2012)

Sus principales ventajas son:

- Disipación de potencia máxima de 1W
- Temperatura de unión en funcionamiento de 200°C
- Tensión Zener Vz de 18V
- Tensión directa VF de 1,2V a IF de 200mA

2.3.2.3 Diodos Rectificadores

El FR307 es un diodo de potencia que permite la recuperación rápida con cables axiales, con caja de plástico moldeado. El diodo presenta baja caída de voltaje directo con una alta capacidad de corriente, alta confiabilidad y capacidad de manejar sobre corriente. La banda de color plateado muestra la polaridad que tiene el extremo del cátodo como se muestra en la figura 6 – 2. Ver Anexo E



Figura 6 – 2: Diodo Rectificador FR307

Fuente: (First Components International, 2012)

Sus características son:

- Voltaje máximo RMS 700V
- Voltaje de bloqueo de cortocircuito máximo de 1000V
- 60pF capacitancia de unión típica
- 40 ° C / W resistencia térmica típica

2.3.2.4 Resistencia de Potencia

Resistencia de alta potencia principalmente se las emplea en placas electrónicas. Su tamaño y su potencia son mayores a comparación de las normales. Ver anexo F

Sus características son:

- Resistencia: 470 ohm
- Potencia: 5W



Figura 7 – 2: Resistencias de Potencia

Fuente: (TY-OHM, 2010)

2.3.2.5 Inductancia tipo Choke

Este dispositivo permite bloquear los voltajes que se generan en el circuito de potencia por trabajar en frecuencias altas, evitando que lleguen al resto de componentes. Esta inductancia se conecta

directo a la fuente de voltaje y a la bobina del calentador esto evitara cortos o retornos de voltaje.
Ver anexo G



Figura 8 – 2: Inductor Toroidal

Fuente: (PRODIN, 2014)

2.3.2.6 Capacitor MKPH

Es un dispositivo generalmente aplicado en circuitos eléctricos de alta frecuencia y no tiene inducción. Es resistente a voltajes muy elevados y maneja un carácter eléctrico muy alto, se encuentra sellado por una capa de plástico ignifugo y resina a epoxi ignifugo la ficha técnica se encuentra en el DataSheet del Anexo H



Figura 9 – 2: Capacitor MKPH

Fuente: (CG-ELEC, 2017)

Principales Características

- Número de Modelo: MKPH
- Capacitancia: 0.33UF
- Tolerancia: 5% (J)
- Tensión Nominal: AC 600 V, DC 1200 V

2.3.3 Componentes del sistema de Control

2.3.3.1 Tarjeta de desarrollo electrónico Arduino Mega

Gracias al análisis del apartado 1,5,5,2 se determina que la mejor opción para implementación del prototipo es la utilización de una tarjeta de desarrollo Arduino específicamente el modelo MEGA 2560 (figura 10 - 2) por los siguientes beneficios:

- Alta velocidad de transferencia de Datos
- Bajo Costo
- Tamaño reducido
- Gran Cantidad Pines de Entrada y Salida.
- Bajo consumo energético.
- Compatibilidad con sensor de temperatura y acondicionador de señal.
- Compatibilidad con pantalla LCD.



Figura 10 – 2: Arduino MEGA 2560
Fuente: (ARDUINO, 2016)

La tarjeta Arduino mega cuenta con un microprocesador ATmega2560. En cuanto a pines de entradas y salida posee 54 pines digitales de los cuales 15 se pueden configurar para proporcionar salidas PWM, 16 entradas analógicas y 4 puertos serie UART. Además, contiene conexión USB, oscilador de cristal de 16 MHz, un conector de alimentación para suministrar una tensión de operación de 7 a 12 V para un óptimo funcionamiento y un botón de reinicio. Ver Anexo I Su programación se realiza mediante el Software libre Arduino IDE el cual permite la utilización de librerías especializadas para dispositivos adicionales compatibles y especialmente para brindar el mejor rendimiento junto con la tarjeta electrónica.

2.3.3.2 Contenedor

Para mantener un flujo constante de agua a la temperatura deseada por el usuario, es necesario tener un volumen de agua caliente considerable para lo cual la incorporación de un reservorio es

una solución ideal para contrarrestar al problema. Además, al tener un contenedor se facilita la instalación del sensor de temperatura y la posibilidad de hacer una recirculación de agua para asegurar que el agua llegue a la temperatura requerida.

2.3.3.3 *Sensor Termocupla Tipo K*

Para el sensor de temperatura se basó en el incremento de temperatura proporcional que será acogido por nuestra tarjeta de adquisición de datos para esto el sensor debe funcionar a una tensión de 5 voltios. Este sensor permite una muy buena linealización la cual es un punto clave para realizar la comparación que se generara entre el set point y la temperatura real del agua en el depósito.

La termocupla tipo K es el sensor de temperatura más utilizado en la industria. Una termocupla se lo realiza con dos alambres de distinto material que se encuentran unidos en un extremo. Estos alambres para el cable positivo son Nickel/Cromo y para el cable negativo Nickel/Aluminio. Ver Anexo J



Figura 11 – 2: Termocupla Tipo K

Fuente: (MAXININTEGRATED, 2014)

2.3.3.4 *Convertidor Analógico MAX6675*

El MAX6675 es un convertidor analógico digital utilizado para termopares tipo K, con este módulo se puede conectar de manera sencilla cualquier termopar con cualquier microcontrolador a través de una interfaz SPI unidireccional. Ver Anexo K



Figura 12 – 2: Convertidor Analógico MAX6675

Fuente: (MAXININTEGRATED, 2014)

Sus principales características son:

- Interfaz compatible con SPI solo de lectura.
- Resolución de 12 bits, 0.25 grados centígrados.
- Medición hasta 1024 grados centígrados.
- Alimentación de 3.3 a 5 volts.
- Frecuencia de reloj SPI máxima F_{scl} 4.3 Mhz.
- Tiempo de conversión 0.17 s máximo 0.22 segundos.
- Consumo máximo de 1.5 mA.

2.3.3.5 *Electroválvula Solenoide 12 VDC*

En la entrada y salida del depósito del agua se debe tener electroválvulas ya que al completar el nivel requerido de líquido este se cerrará así permitirá a las bombas mover el líquido a través del sistema de inducción por el cual se calentará. Además, en la salida se debe controlar que el flujo de agua solo se permita cuando esta haya alcanzado la temperatura necesaria ya que se busca garantizar la temperatura seleccionada por el usuario y no desperdiciar líquido en este lapso.



Figura 13 – 2: Electroválvula Solenoide

Fuente: (NAYLAMP, 2016)

Las válvulas solenoides son un tipo de electroválvula que consta de dos partes el solenoide y el cuerpo plástico. El solenoide es un electroimán que al entrar en contacto con la corriente se desplaza junto al diafragma de la válvula y así permite el paso del fluido. El cuerpo se lo encuentra fabricado en plástico con roscas de 1/2”.

Sus principales características son:

- Voltaje de operación: 12V DC
- Corriente de operación: 0.6A
- Potencia consumo: 8W
- Temperatura de funcionamiento: 5°C a 100°C
- Presión de funcionamiento mínima: 0.02 MPa
- Presión de funcionamiento máximo: 0.8 MPa (8 Bar)
- Tiempo de respuesta (apertura): ≤ 0.15 s
- Tiempo de respuesta (cerrado): ≤ 0.3 s
- Conectores: Rosca externa 1/2" NPS Macho
- Normalmente cerrado
- Tipo de válvula: Diafragma

2.3.3.6 Caudalímetro YF-S201

Al utilizar un sistema de inducción que puede incrementar la temperatura de la tubería ah punto de enrojecimiento en unos cuantos segundos es necesario utilizar un sensor de flujo que detecte que existe agua ingresando al reservorio. El sensor de Flujo YF-S201 es de fácil instalación en tuberías, económico y de buena precisión, incorpora un pequeño sensor de efecto hall que detecta un pequeño imán colocado en las aspas internas del sensor permitiendo contar el número de vueltas del aspa mediante pulsos enviados hacia al controlador.



Figura 14 – 2: Caudalímetro YF-S201

Fuente: (NAYLAMP, 2016)

Un aspecto importante a considerar es que la calibración de este sensor implica tomar en cuenta varios factores como velocidad de flujo, presión y disposición del sensor para aplicaciones donde se requiera una gran precisión. Ver Anexo L

Sus Principales características son:

- Voltaje de operación: 5 a 18 V DC
- Corriente de operación: 15 mA
- Caudal de trabajo: 1 – 30 L/min
- Temperatura de funcionamiento: -25 a 80 °C
- Precisión: $\pm 2\%$
- Pulsos por litro: 450
- Presión máxima de trabajo: 2,0 MPa
- Rosca de $\frac{1}{2}$ pulgada

2.3.3.7 Sensor de Nivel de agua tipo boya

Para verificar el nivel de líquido existente en el contenedor es necesario emplear un sensor de nivel el cual tiene la función de enviar una señal informando que se debe cerrar la válvula de entrada de agua además de que informa el momento en el cual la válvula de salida puede ser abierta.

Son utilizados para la detección de los niveles máximos y mínimos. Son adecuados para casi cualquier líquido, la conmutación se efectúa sin contacto por lo tanto la operación mantiene sin desgaste, no requiere ninguna fuente de alimentación.



Figura 15 – 2: Sensor de Nivel de agua tipo Boya

Fuente: (ARDUINO, 2016)

2.3.3.8 Pantalla LCD 16X2

Dispositivo de visualización de 2 líneas con 16 caracteres cada línea que se observa en la figura 14 – 2 la ficha técnica se observa en el Anexo M



Figura 16 – 2: Pantalla LCD 16X2

Fuente: (ARDUINO, 2016)

Sus principales características son:

- Tipo: LCD Matriz de punto. 16x2.
- Backlight: Luz de fondo azul.
- Color de letras: Blanco.
- Fuente: 5x8 puntos.
- Tamaño del Carácter: 5.23x3 mm
- Interfaz paralela: Puede operar en modo de 8 bits o de 4 bits para ahorrar pines del microcontrolador
- Controlador: KS0066U.

2.3.3.9 Motor de Bomba de Agua

Una bomba de agua es una maquina hidráulica capaz de incrementar la energía cinética en un caudal de agua. Consta de un accionamiento de motor eléctrico, acoplado a un elemento rotativo denominado rodete. Utilizado para transportar el agua del tanque hacia la placa de inducción y de regreso al tanque.

2.3.3.10 Relé de estado solido

Es un dispositivo que funciona como un interruptor eléctrico que realiza su conmutación cuando en sus terminales de control existe una pequeña corriente. El SSR puede estar diseñado para conmutar ya sea corriente alterna o continua, para nuestro paso conmuta corriente alterna ya que es utilizada para el control ON-OFF. Mas información es detallada en el Anexo N



Figura 17 – 2: Relé de estado sólido DC/AC

Fuente: (FOTEK, 2008)

Sus características más destacadas son:

- Corriente de Activación: 3V (300mA) 5V (18mA) 12V(7,5mA)
- Voltaje de Carga: 24 – 380 VAC
- Voltaje de Control: 3 – 32 VDC
- Tamaño: 6cms x 4,5cms x 2,25cms

2.4 Diseño y simulación de etapas

2.4.1 *Diseño de la etapa de potencia*

Para realizar el diseño del circuito de potencia se deben considerar muchos factores muy importantes debido al manejar mucha potencia, los elementos, dispositivos y en especial los Mosfet pueden saturarse y calentarse o incluso a llegar a explotar.

2.4.1.1 *Diseño del circuito de disparo de los Mosfet*

Para el prototipo de inducción se eligió un convertidor resonante paralelo cuya conmutación es de voltaje cero (ZVS) Al suministrar voltaje desde la fuente, la corriente comienza a fluir a través de la bobina y en los Drenajes de ambos Mosfet. Simultáneamente ese voltaje aparece en los Gates de los Mosfet y comienza a activarlos.

Al considerar que no existen dos componentes iguales, se puede afirmar que un Mosfet encenderá un poco más rápido que el otro y más corriente puede fluir por ese Mosfet, como se observa en la figura 18 - 2. La corriente extra que circula por la bobina se extrae del otro Mosfet, por

consiguiente, comienza a apagarlo. Un condensador forma un circuito tanque resonante con la bobina, este circuito ocasiona que el voltaje comience a subir y descender sinusoidalmente. De no colocar el condensador, la corriente seguiría creciendo hasta saturar el núcleo y los Mosfet explotarían.

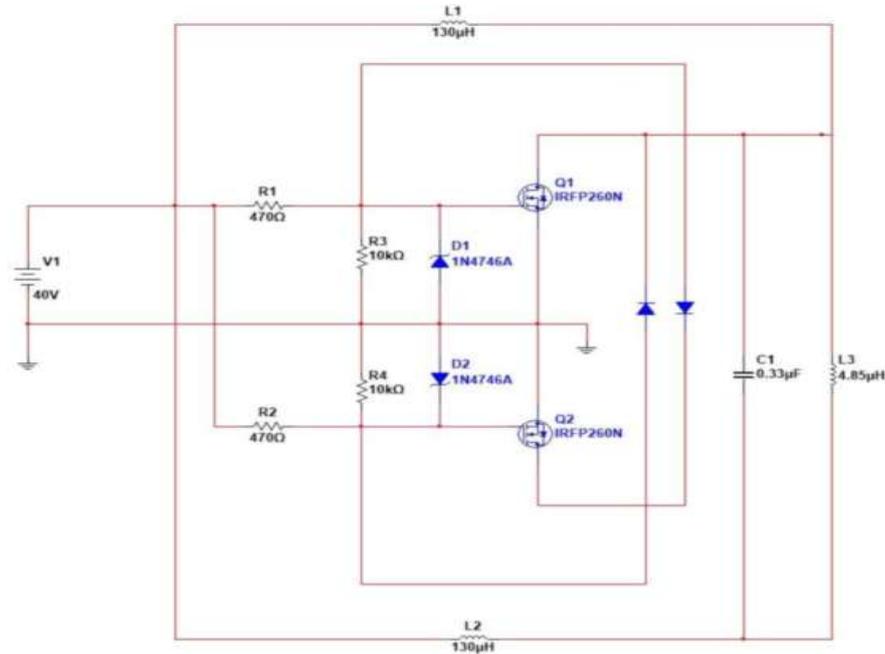


Figura 18 – 2: Diagrama del Circuito del sistema de Inducción Electromagnética

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Cuando están en modo de funcionamiento, Q1 se enciende, la tensión en el Drenaje de Q1 estará cerca de cero mientras que la tensión en la fuente de Q2 se eleva a un pico y vuelve a caer cuando el circuito resonante LC atraviese el medio ciclo. A medida que el voltaje de la fuente de Q2 cae a cero, la corriente de compuerta a Q1 se elimina y como resultado, Q1 se apaga. Al ocurrir esto, se permite que el voltaje de drenaje de Q1 suba y Q2 se encienda. El mismo proceso se repite para Q2 completando el medio ciclo, y el oscilador continuo con este proceso para todos los ciclos. Este oscilador es de conmutación de voltaje cero (ZVS), lo que significa que los Mosfet cambian cuando tienen cero voltios a través de ellos. En la figura 19 - 2 la onda de color Rojo es la señal proveniente de Q1 y el trazo realizado en azul es de Q2.

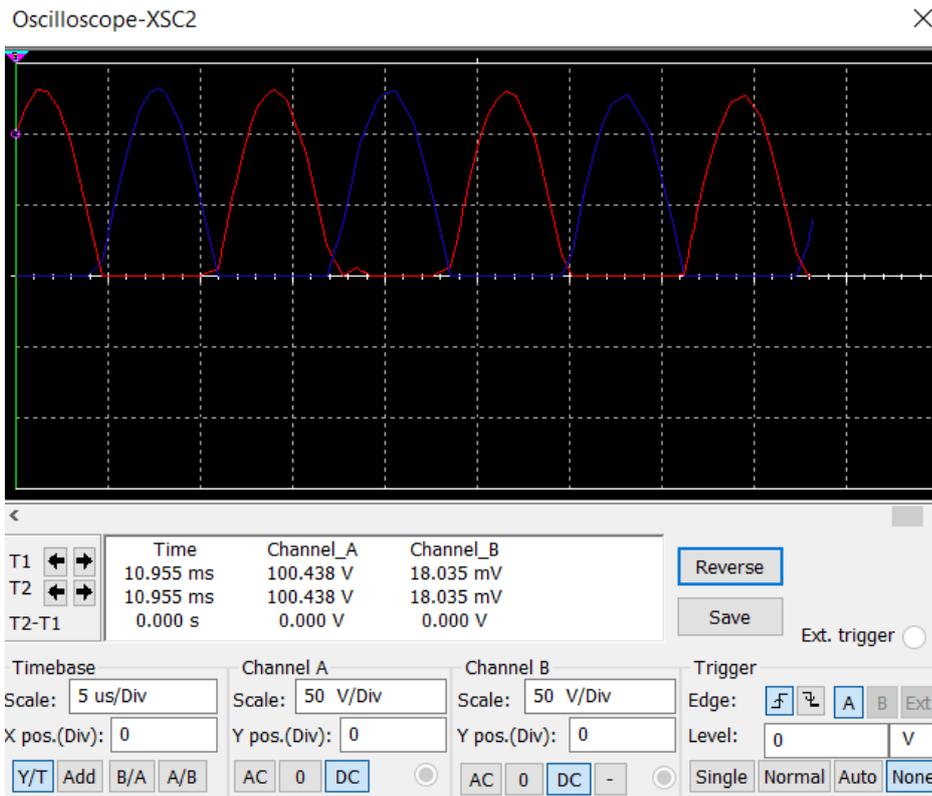


Figura 19 – 2: Conmutación de los Mosfet al conmutar por cero

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Es una gran ventaja considerando que el cambio se producirá cuando existe menos energía, lo que en su mayoría eliminara pérdidas generadas por la conmutación, las cuales desprenden grandes cantidades de calor. L1 y L2 se coloca en serie con la fuente de alimentación funcionando como un estrangulador para mitigar los picos de corriente.

Tanto R1 y R2 son limitantes de corriente que ingresan en las compuertas para evitar daños por sobre corriente en los MOSFET.

Las resistencias R3 y R4 tienen la función de tirar la tensión hacia abajo para evitar el enganche del Mosfet, es decir que no permite que el Mosfet se atasque y no pueda apagarse.

Los diodos Zener D1 y D2 regulan el voltaje de compuerta a 18 V.

D3 y D4 aseguran el voltaje de las compuertas a tierra cuando el voltaje en la pata opuesta del circuito tanque resonante está en cero.

R1 y LED1 son señales de que la fuente está funcionando.

2.4.1.2 Diseño de la Capacitancia Resonante

Para realizar el diseño del circuito tanque primero se debe colocar los condensadores en paralelo considerando que en esta configuración la capacitancia se suma tantas veces como condensadores existan, buscando generar una capacitancia de $2.97 \mu F$, teniendo en cuenta que se tiene condensadores cuya capacitancia es $0.33 \mu F$ como se observa en la figura 20 – 2.

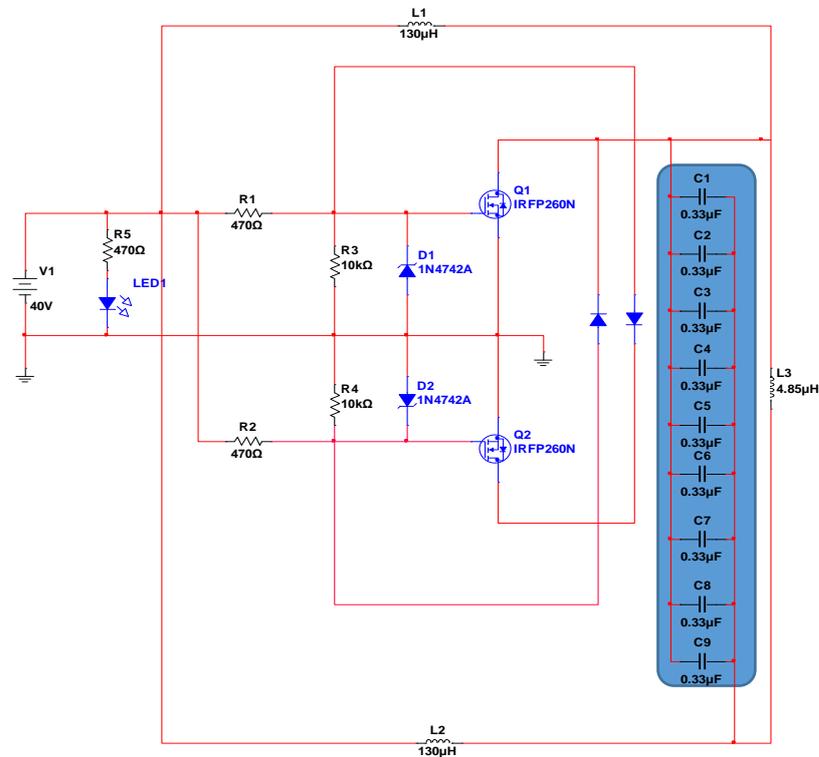


Figura 20 – 2: Capacitancia Resonante

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

2.4.1.3 Diseño de la Inductancia Resonante

Para realizar el diseño del Inductor se debe considerar la potencia entregada por el inversor. Una parte fundamental para el calentamiento por Inducción es el dimensionamiento óptimo del inductor. La tarea de generar campos magnéticos en las cercanías del material a calentar recae en la bobina, una correcta distribución del campo magnético da a lugar a diferentes procedimientos térmicos. Sin embargo, se debe tener en consideración que, en el proceso de implementación y evaluación de la bobina, la distribución no necesariamente será similar a los resultados del preanálisis.

De acuerdo con los cálculos realizados para la Inductancia Resonante que se observan en el apartado 2.2.2 se necesita generar una inductancia de $4.86 \mu H$. Para obtener dicho inductor, el diámetro del tubo de cobre con la cual se realizará el bobinado es de $6mm$, el núcleo de aire especificado será de $90mm$. Por lo que procedemos a utilizar la siguiente ecuación para determinar el número de espiras que debe tener el inductor para cumplir con los requerimientos necesarios.

Ecuación 1 - 2: Dimensionamiento del Inductor

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

Donde:

D : Diámetro del núcleo de Aire

d : Diámetro del tubo de cobre

n : Número de Espiras

$$n = 7 \text{ espiras}$$

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

2.4.1.4 Diseño de la placa de Inducción en PCB (Printed Circuit Board)

Considerando las ventajas que presentan el diseño de las placas en programas computacionales como se observa en la figura 21 - 2. Con el software Isis de Proteus, se diseñó la conexión de los elementos anteriormente descritos en una baquelita.

Al pasar al Ares el circuito mostrado en la figura 21 - 2 y después ejecutar el Isis se observan los componentes, después se procede a realizar un ruteo manual de las pistas considerando que deben ser grandes para que puedan manejar la corriente del sistema.

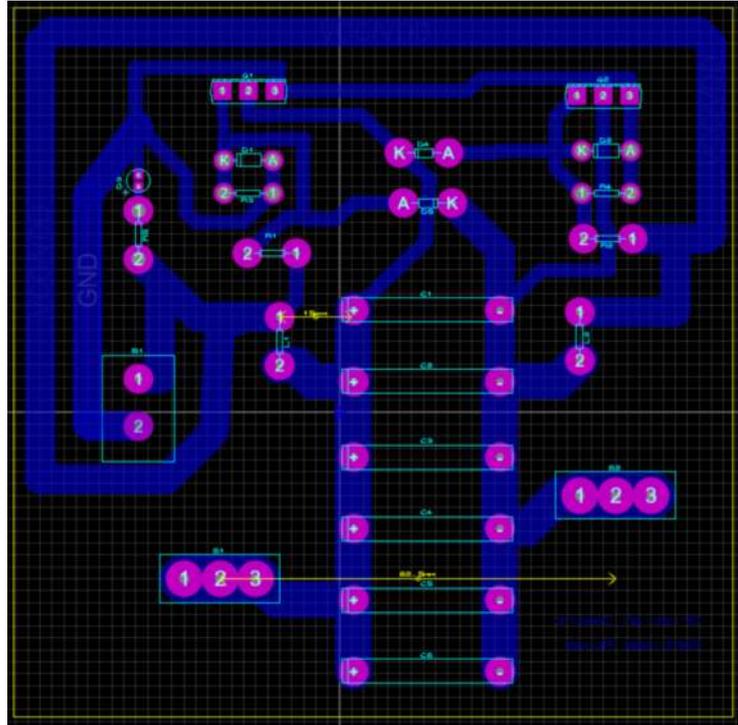


Figura 21 – 2: Diseño de la placa de inducción en PCB

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Al observar en la figura 22 – 2 se indica en tres dimensiones como se encuentran ubicados los elementos en la placa una vez que se culmine la implementación.

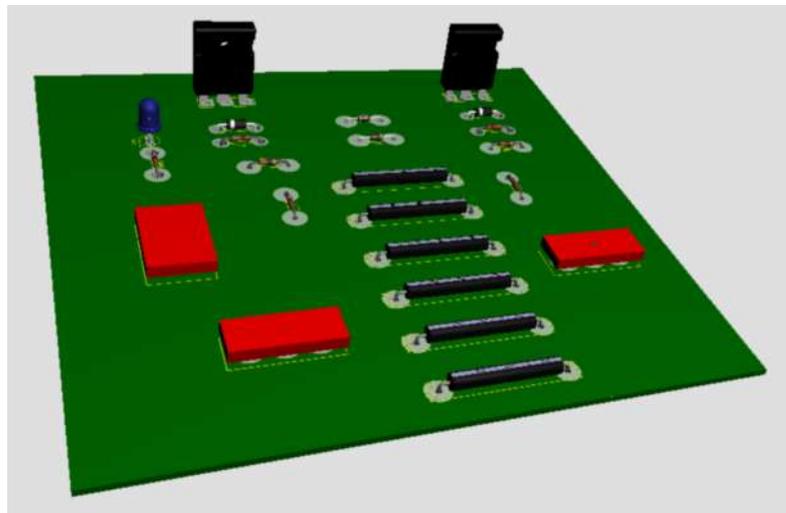


Figura 22 – 2: Diseño de la placa de Inducción vista en 3D

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

2.4.1.5 Simulación y formas de onda del circuito de potencia

En la figura 23 – 2 se observa las formas de onda que se encuentra a la salida de la placa de inducción, en donde en efecto se distingue la variación existente al conectar y desconectar tanto el Mosfet 1 como el caso del Mosfet 2.

Esta variación se realiza en cada medio ciclo es decir en el ciclo positivo el Q1 se dispara hasta llegar a un pico máximo y comienza a descender a medida que Q1 se apaga, Q2 empieza a encenderse hasta que se da lugar a la conmutación al pasar por el medio ciclo una vez realizada la conmutación Q2, empieza a subir hasta llegar a otro pico máximo, luego de esto comenzara a descender, así esta variación se efectúa para cada medio ciclo dando a lugar a la Inducción Electromagnética.

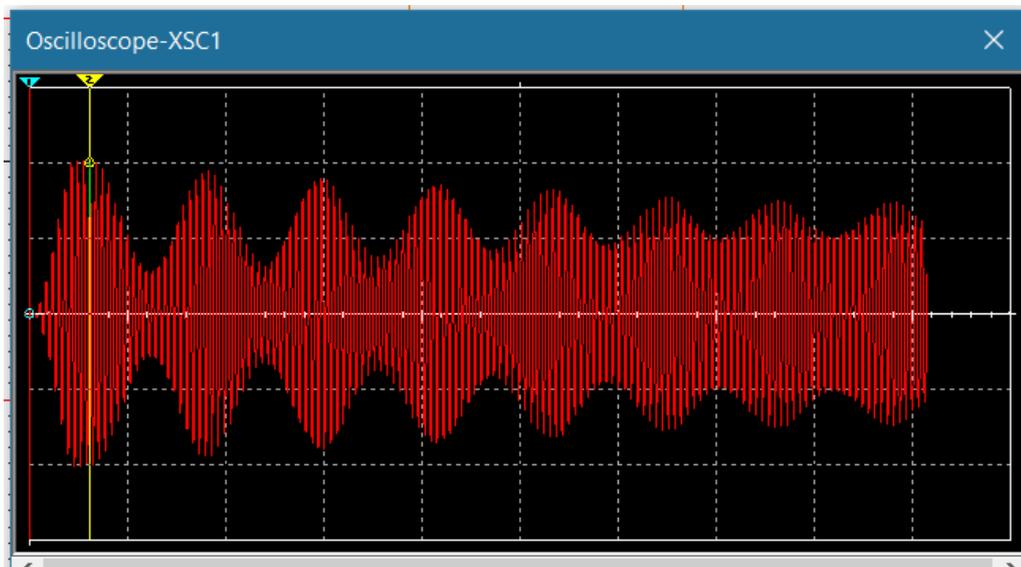


Figura 23 – 2: Formas de Onda

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

2.5 Programación del algoritmo de Control

El programa que permitirá controlar el prototipo se basa en el algoritmo presentado en el diagrama de flujo de la figura 24 - 2, el cual presenta un sistema de control ON-OFF. El algoritmo está compuesto por una serie de subrutinas cuyos propósitos se explican en los apartados siguientes.

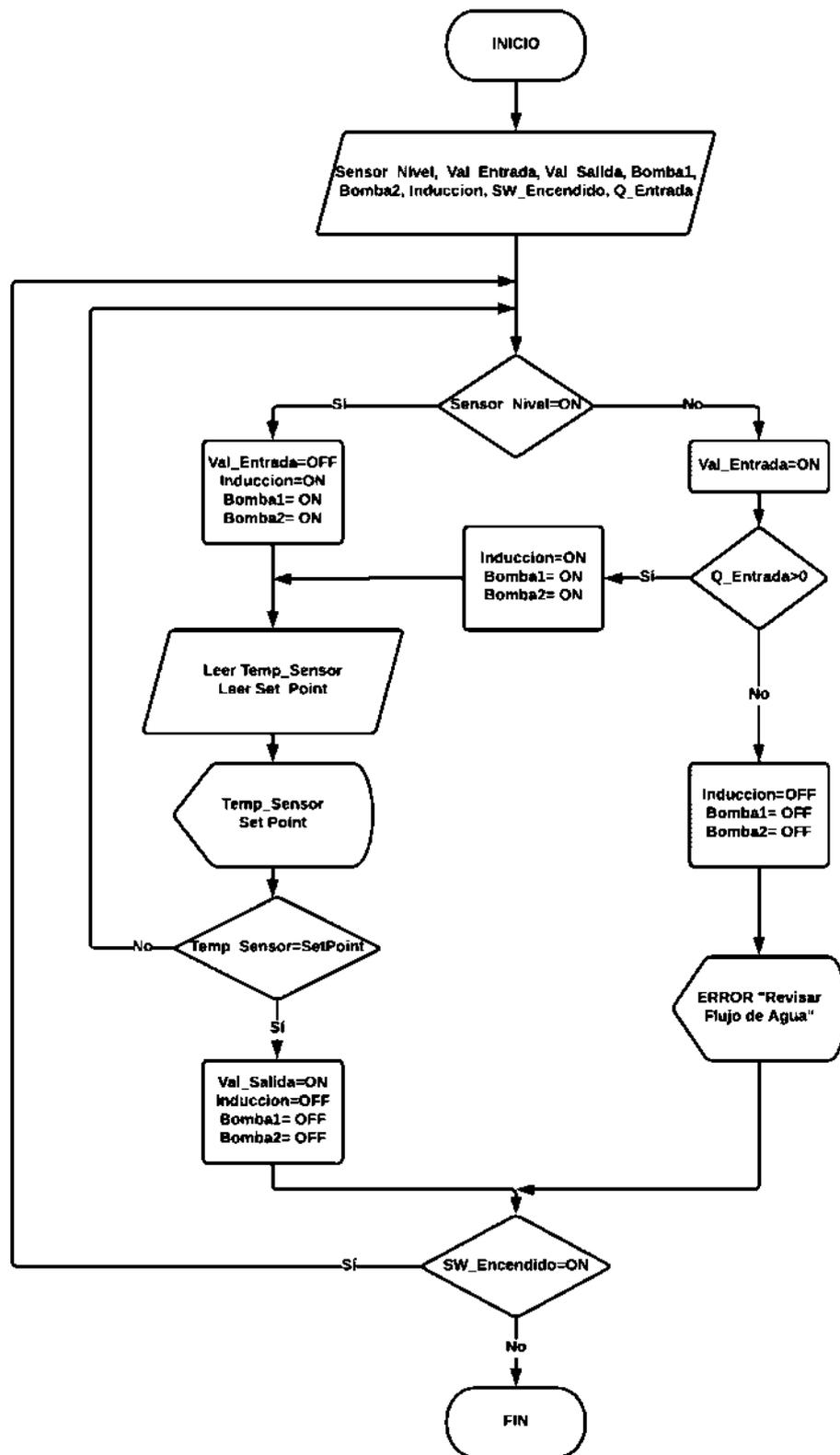


Figura 24 – 2: Diagrama de Flujo del sistema de control

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

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

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

El proceso de *Detección de Caudal (Q_Entrada)* cumple con una función de protección al ser el medio para detectar la existencia o ausencia de agua en el sistema, de no existir flujo de agua de ingreso al sistema la etapa de potencia como las bombas de recirculación de agua se desactivan puesto que, si no existe agua circulando por la tubería sometida a inducción, esta aumentara su temperatura alcanzando un estado de incandescencia en pocos segundos poniendo en riesgo la integridad del sistema como la del usuario.

Suponiendo que no existe ningún problema en la ejecución de los procesos anteriores las bombas de recirculación y la etapa de potencia se encuentran funcionando correctamente, el algoritmo procede a ejecutar los procesos de lectura de temperatura del agua (Temp_Sensor) en el contenedor tanto como de la temperatura ingresada por el usuario (Set_Point). Se debe tener en cuenta que al utilizar un sistema de inducción electromagnética el campo magnético generado puede inducir a su vez pequeñas corrientes parasitas en el cable y acondicionador del sensor generando lecturas erróneas, razón por la cual la lectura de la temperatura del agua se la realiza desconectando el circuito de inducción por un momento cada cierto tiempo previamente determinado. En la figura 25 – 2 se muestra el diagrama de flujo que explica el funcionamiento de obtención de datos de sensor.

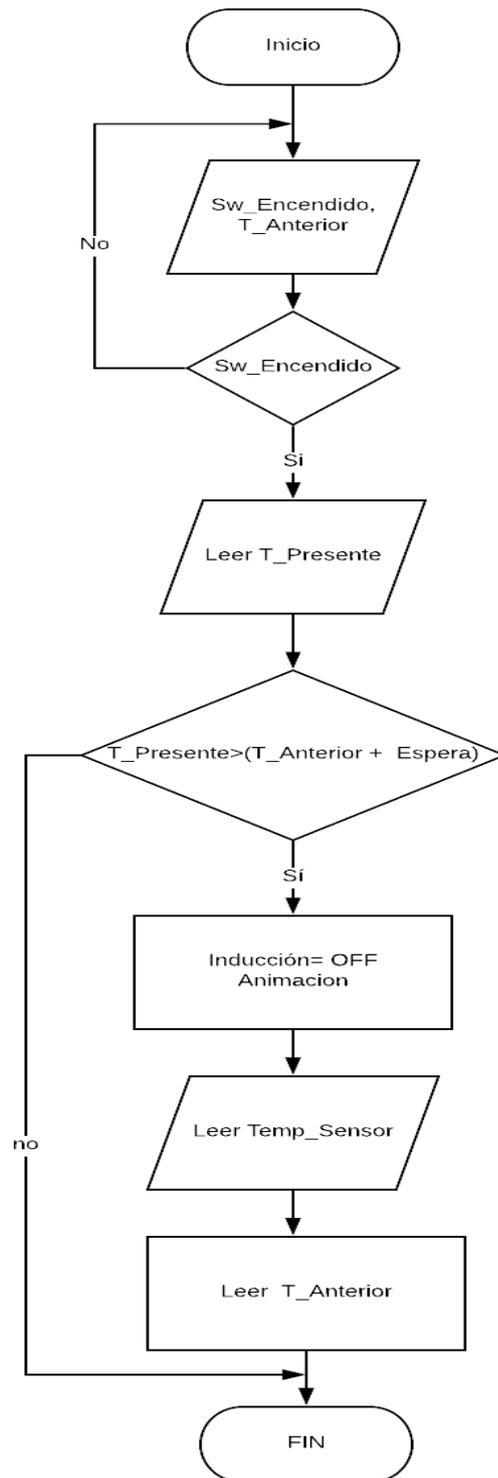


Figura 25 – 2: Diagrama de Flujo de adquisición de temperatura

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Una vez obtenida la temperatura real del agua esta se muestra en una pantalla junto con la deseada por el usuario, para luego realizar una comparación entre ambos datos permitiendo o no la salida del agua siempre y cuando esta haya alcanzado la temperatura deseada por el usuario. Si el agua está a la temperatura indicada la electroválvula de salida procesa a activarse dejando fluir el agua por la tubería y se detiene el funcionamiento del circuito de potencia y bombas hasta que el nivel de agua en el tanque descienda o bien la temperatura del agua disminuya por debajo de la deseada por el usuario. En el anexo O se detalla la programación completa del algoritmo de control.

2.5.1 *Diseño de la placa de control en PCB (Printed Circuit Board)*

Al igual que la placa del circuito de potencia, la placa de control fue diseñada con el software Isis de Proteus. En la figura 26 - 2 se puede observar las conexiones de los diferentes elementos utilizados con la tarjeta Arduino Mega, mientras que en la figura 26- 2 se muestra la distribución de elementos teniendo en cuenta la ubicación de sensores y actuadores de manera organizada para su fácil identificación.

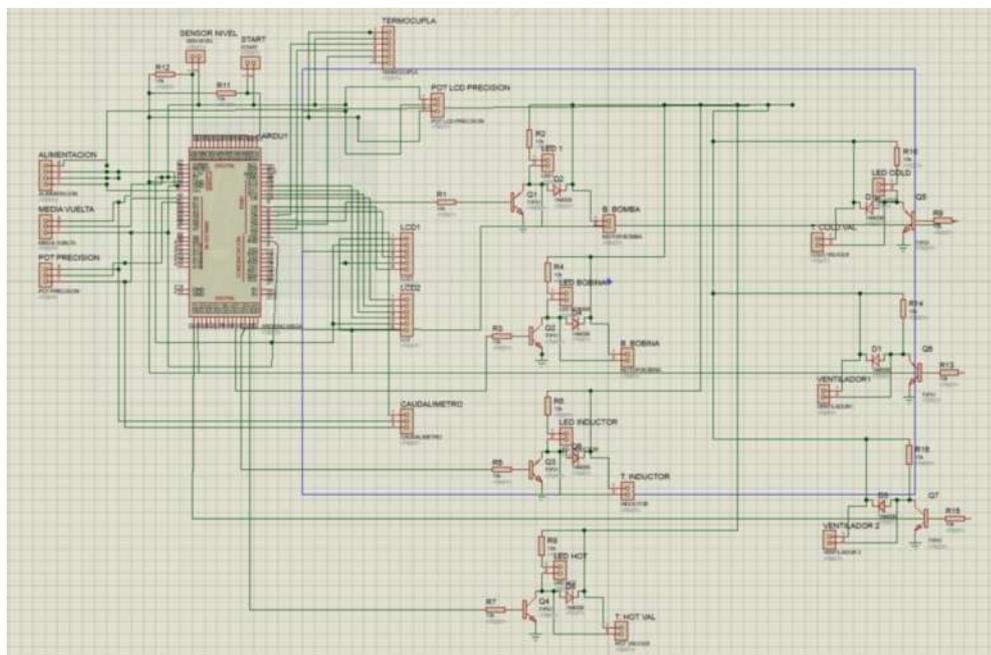


Figura 26 – 2: Esquema de conexiones de la placa de control

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Después se procede a transportar los elementos al Isis de Proteus para realizar el ruteo de las pistas de manera que las pistas no deben tocarse entre sí y considerando el tamaño de la placa y de las pistas del Arduino.

2.5.2 Diseño del Tanque Reservorio de Agua

Un reservorio de 7.2 litros será el encargado de almacenar el agua potable hasta que el líquido alcance la temperatura establecida previamente por el usuario. Este reservorio es de forma circular que posee un radio de 7 cm y 45 cm de largo.

Este contenedor cuenta con perforaciones pero sin dejar de lado su diseño hermetizado considerando que no debe tener fugas, las perforaciones realizadas son: dos perforaciones en un lado para las bombas que harán circular el agua por medio de la placa de inducción para calentar al agua y regresar al contenedor a su parte superior en donde se encuentran dos perforaciones una para una bomba y la otra para desfogar el aire en el momento en donde el agua se encuentra ingresando, en su otra cara se encuentra el sensor de temperatura, el sensor de nivel en su parte superior se encuentra una perforación para que ingrese el caudal del otro motor y en su parte inferior se encuentra la válvula de desfogue y finalmente en su lado inferior se encuentra la entrada de agua sellada por una electroválvula hasta que el usuario comience con su ejecución.

2.6 Implementación del Prototipo

Para la implementación del prototipo se procede a la construcción de las placas de inducción y las placas de control como se encuentra estipulado en el apartado anterior, el resultado se muestra en las figuras 28 - 2 y 29 - 2. También en la figura 31 - 2 se presenta el contenedor de agua el cual cumple con todas las condiciones mencionadas en el apartado 2.6



Figura 29 – 2: Placa del sistema de Inducción

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018



Figura 30 – 2: Placa del sistema de Control

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018



Figura 31 – 2: Contenedor de Agua

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Para almacenar los componentes y las placas tanto de control como de potencia para en caso de movilización de estos no sufran algún problema o percance, se elabora una caja que cuenta con dimensiones de 60 cm de largo, 60 cm de ancho y una profundidad de 20 cm. A continuación, se observa en la figura 32 – 2 como los elementos se colocarán en la caja con la ayuda del software pCon.planner.

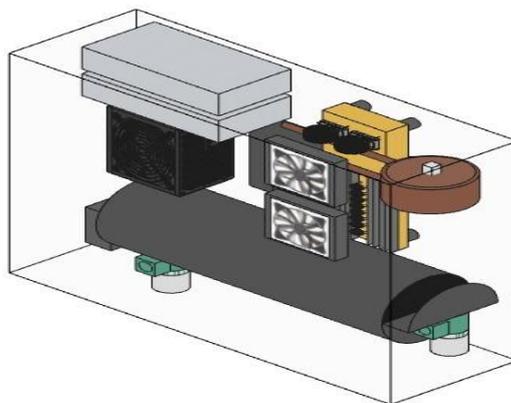


Figura 32 – 2: Elementos y placas del prototipo en caja

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Para un mayor entendimiento a continuación en la figura 33 - 2 se señala las partes del sistema de calentamiento. Por último, en la figura 34 – 2 se presenta el resultado final de la implementación del sistema prototipo de calentamiento eficiente de agua potable por inducción electromagnética.

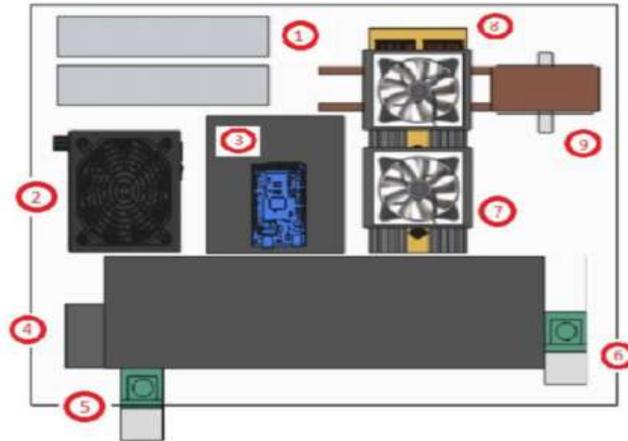


Figura 33 – 2: Distribución de elementos y placas del prototipo en caja
Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

1. Fuentes de 24v
2. Fuente ATX
3. Placa de Control
4. Bombas de Agua
5. Válvula Solenoide de Entrada 12v
6. Válvula Solenoide de Salida 12v
7. Ventiladores
8. Placa de Inducción
9. Bobina y material a Calentamiento

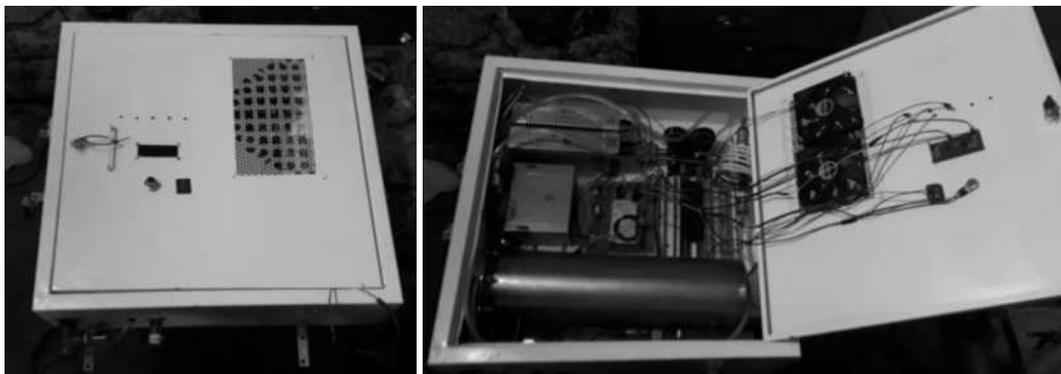


Figura 34 – 2: Prototipo de calentamiento eficiente de agua potable por inducción electromagnética implementado

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados de las pruebas y análisis realizados al prototipo de calentamiento de agua potable por inducción electromagnética, se desarrollaron una serie de pruebas entre ellas calibración del sensor de temperatura, calibración del sensor de flujo, pruebas de apertura y cierre de electroválvulas, prueba de accionamiento de la etapa de potencia, consumo eléctrico, finalmente se incorpora un estudio económico de los costos de implementación del sistema prototipo.

3.1 Pruebas y resultados del sistema eléctrico y electrónico.

Una vez concluida la etapa de implementación del prototipo se realizó las siguientes pruebas sencillas para comprobar que el sistema de calentamiento a inducción este en las condiciones óptimas de funcionamiento:

- Verificación de voltajes de alimentación del sistema de inducción.
- Verificación de voltaje de alimentación de la placa de control.
- Verificación de encendido de luces piloto de electroválvulas, motores y relé para control del sistema de inducción.
- Verificación de funcionamiento de control de Encendido/ Apagado del sistema.
- Verificación del funcionamiento de ventiladores de enfriamiento.
- Verificación de lectura del sensor de temperatura sin interferencias.
- Verificación de funcionamiento de motores de re circulación de agua.
- Verificación de elementos de protección contra corto circuito y sobre voltajes del sistema.

Una vez realizadas las pruebas al sistema eléctrico y electrónico se comprobó que los elementos y dispositivos electrónicos constituyentes del prototipo de calentamiento de agua por inducción electromagnética se encuentran en estupendo estado y funcionan según las condiciones mencionadas en los apartados anteriores.

3.1.1 Caracterización de sensor de temperatura

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

Tabla 1 – 3: Mediciones de temperatura en °C realizadas por el Sensor termocupla tipo K y el multímetro AideTek VC97+

MUESTRA	TERMOCUPLA TIPO K (°C)	MULTÍMETRO AIDETEK VC97+ (°C)	ERROR ABSOLUTO
1	17	17	0
2	18	18	0
3	20	20	0
4	24	25	1
5	26	26	0
6	27	27	0
7	35	36	1
8	36	36	0
9	35	36	1
10	37	38	1
11	31	30	0
12	38	39	1
13	40	40	0
14	42	42	0
15	44	45	1
		MEDIA	0,40

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Con los datos presentados en la Tabla 1 - 3 se verificó que el error absoluto promedio de la termocupla tipo k es de 0,4 considerando que este tiene una resolución de 1 °C con una exactitud de más del 80% se llegó la conclusión de que el sensor es aceptable, pues la variación de 0,4 no influye en la temperatura apreciada por el ser humano.

Análisis estadístico

Para corroborar las mediciones de la termocupla tipo K de forma estadística, se realizó una prueba t de muestras relacionadas con un nivel de confianza del 90%, utilizando para ello el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 21 (IBM, 2012).

Tabla 2 – 3: Prueba t de muestras relacionadas para la medición de temperatura

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	90% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 TERMOCUPLAK - MULTIMETRO	-,26667	,70373	,18170	-,58670	,05337	-1,468	14	,164

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

- H_0 = La media de las temperaturas detectadas por la termocupla tipo K y por el multímetro Aidetek VC97+ son iguales.
- H_a = La media de las temperaturas detectadas por la termocupla tipo K y por el multímetro Aidetek VC97+ son diferentes.

En la tabla 2 - 3, se presenta los resultados de la prueba estadística realizada para los dos sensores. Se determinó que la probabilidad es de 0,164 es mayor al nivel de significancia de 0,1, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula, concluyéndose que la media de las temperaturas detectadas por la termocupla tipo K y por el multímetro Aidetek VC97+ son iguales.

3.2 Pruebas de llenado del tanque

Para conseguir el tiempo en el cual el Tanque reservorio se llene se procedió a tomar 10 muestras, en diferentes horarios bajo diferentes perturbaciones, además se consideró los errores introducidos por los elementos de medición basándose en la siguiente ecuación 1 – 3.

Ecuación 1 - 3: Valor Real

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

Donde:

x : es el valor verdadero

\bar{x} : es el valor promedio

Δx : es el error de apreciación del instrumento de medición entre 2

Por lo cual la tabla 3 – 3 se denota de la siguiente forma.

Tabla 3 – 3: Tiempo en llenarse el Contenedor

MUESTRA	CAUDAL DE ENTRADA (Ltr / min) ± 0.25	TIEMPO DE LLENADO (min: seg) $\pm 0,05$
1	1,89	03:25,0
2	1,83	03:46,0
3	1,83	03:16,0
4	1,97	02:57,0
5	1,83	03:20,0
6	1,83	03:18,0
7	1,83	03:11,0
8	1,83	03:20,0
9	1,83	03:53,0
10	1,83	03:50,0
	MEDIA	03:25,6

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

En la Tabla 3 - 3 se determinó que el tiempo promedio que tarda el contenedor en llenarse es de 3 minutos y 25 segundos con un error ± 0.05 segundos, considerando un caudal constante de 1.83 litros/minuto con un error de ± 0.25 debido al instrumento de medición.

3.3 Pruebas de tiempo de calentamiento de agua

3.3.1 *Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 25 °C*

Para determinar el tiempo consumido por el prototipo para alcanzar una temperatura de 25 °C, se procedió a tomar 10 muestras ante diferentes perturbaciones meteorológicas, en diferentes horarios, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 25 °C

MUESTRA	FECHA Y HORA	TEMPERATURA DESEADA (°C) $\pm 0,5$	TIEMPO (min: seg) $\pm 0,05$
1	15/10/2018 8:00	25	04:00,0
2	15/10/2018 8:15	25	04:07,0
3	16/10/2018 8:00	25	04:13,0

4	16/10/2018 8:30	25	04:03,0
5	17/10/2018 8:05	25	04:12,0
6	17/10/2018 8:20	25	04:09,0
7	18/10/2018 8:00	25	04:04,0
8	18/10/2018 8:20	25	04:10,0
9	19/10/2018 8:00	25	04:05,0
10	19/10/2018 8:25	25	04:12,0
		MEDIA	04:07,5

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

En la Tabla 4 - 3 se determinó que el tiempo promedio que tardó el prototipo en alcanzar esta temperatura es de 4 minutos con 7 segundos con un error de instrumentación de ± 0.05 segundos para alcanzar una temperatura de 25°C con un error de ± 0.5 °C

3.3.2 Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 30 °C

Se determinó el tiempo consumido por el prototipo para alcanzar una temperatura de 30 °C, se procedió a tomar 10 muestras ante diferentes perturbaciones meteorológicas, en diferentes horarios, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5 - 3 que se muestra a continuación

Tabla 5 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 30 °C

MUESTRA	FECHA Y HORA	TEMPERATURA DESEADA (°C) $\pm 0,5$	TIEMPO (min: seg) $\pm 0,05$
1	15/10/2018 8:30	30	06:24,0
2	15/10/2018 8:50	30	07:12,0
3	16/10/2018 8:40	30	07:35,0
4	16/10/2018 9:00	30	07:45,0
5	17/10/2018 8:40	30	07:20,0
6	17/10/2018 9:20	30	07:53,0
7	18/10/2018 8:43	30	07:11,0

8	18/10/2018 9:15	30	07:18,0
9	19/10/2018 8:45	30	07:05,0
10	19/10/2018 9:30	30	07:20,0
		MEDIA	07:18,3

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Se observó en la Tabla 5 - 3, el promedio del prototipo en alcanzar la temperatura para este apartado es de 7 minutos y 18 segundos con un error de ± 0.05 segundos para alcanzar una temperatura de 30°C con un error de ± 0.5 °C.

3.3.3 *Tiempo promedio que toma el prototipo en alcanzar 35 °C*

Se determinó el tiempo utilizado por el prototipo para alcanzar una temperatura de 35 °C, se pasó a tomar 10 muestras ante diferentes perturbaciones meteorológicas, en diferentes horarios, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6 - 3 que se observa a continuación

Tabla 6 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 35 °C

MUESTRA	FECHA Y HORA	TEMPERATURA DESEADA (°C) $\pm 0,5$	TIEMPO (min: seg) $\pm 0,05$
1	15/10/2018 9:30	35	09:44,0
2	15/10/2018 10:00	35	10:50,0
3	16/10/2018 9:30	35	09:45,0
4	16/10/2018 10:00	35	10:10,0
5	17/10/2018 9:40	35	10:11,0
6	17/10/2018 10:10	35	10:15,0
7	18/10/2018 9:40	35	11:02,0
8	18/10/2018 10:15	35	10:01,0
9	19/10/2018 10:00	35	09:30,0
10	19/10/2018 10:30	35	09:50,0
		MEDIA	10:07,8

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Se observó que en la Tabla 6 - 3, el promedio que tardó el prototipo en alcanzar la temperatura para una temperatura de 35 °C con un error de instrumento de ± 0.5 °C es de 10 minutos y 8 segundos con un error de ± 0.05 segundos.

3.3.4 Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 40 °C

Se estableció el tiempo utilizado por el prototipo para alcanzar una temperatura de 40 °C, se prosiguió a tomar 10 muestras ante diferentes perturbaciones meteorológicas, en diferentes horarios, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 7 - 3 que se observa a continuación

Tabla 7 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 40 °C

MUESTRA	FECHA Y HORA	TEMPERATURA DESEADA (°C) $\pm 0,5$	TIEMPO (min: seg) $\pm 0,05$
1	15/10/2018 10:30	40	14:11,0
2	15/10/2018 11:00	40	14:59,0
3	16/10/2018 10:30	40	15:05,0
4	16/10/2018 11:30	40	15:02,0
5	17/10/2018 10:40	40	14:25,0
6	17/10/2018 11:20	40	14:23,0
7	18/10/2018 10:40	40	15:10,0
8	18/10/2018 11:25	40	15:03,0
9	19/10/2018 11:00	40	14:13,0
10	19/10/2018 11:30	40	15:08,0
		MEDIA	14:45,9

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Se observó que en la Tabla 7 - 3, el promedio que tardó el prototipo en alcanzar la temperatura para una temperatura de 40 °C con un error de ± 0.5 segundos es de 14 minutos con 46 segundos con un error de medición de ± 0.05 °C.

3.3.5 Tiempo que toma el prototipo en alcanzar 45 °C

Se estableció el tiempo utilizado por el prototipo para alcanzar una temperatura de 45 °C, se continuo a tomar 10 muestras ante diferentes perturbaciones meteorológicas, en diferentes horarios, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 8 - 3 que se observa a continuación

Tabla 8 – 3: Tiempo que tarda el prototipo en alcanzar una temperatura de 45 °C

MUESTRA	FECHA Y HORA	TEMPERATURA DESEADA (°C) $\pm 0,5$	TIEMPO (min: seg) $\pm 0,05$
1	15/10/2018 12:30	45	20:02,0
2	15/10/2018 14:00	45	21:01,0
3	16/10/2018 13:30	45	20:13,0
4	16/10/2018 15:30	45	20:19,0
5	17/10/2018 13:00	45	20:03,0
6	17/10/2018 16:00	45	19:51,0
7	18/10/2018 14:00	45	21:07,0
8	18/10/2018 17:00	45	20:01,0
9	19/10/2018 18:00	45	21:01,0
10	19/10/2018 22:30	45	21:16,0
		MEDIA	20:29,4

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Se observó que en la Tabla 8 - 3 que el promedio que tardó el prototipo en alcanzar la temperatura máxima para el prototipo de 45 °C con un error de ± 0.5 °C es de 20 minutos y 29 segundos con un error por instrumentación de ± 0.05 segundos.

3.3.6 Gráfico de Temperatura vs Tiempo

Con las medias obtenidas en los anteriores apartados se procedió realizar el siguiente gráfico 1 – 3.

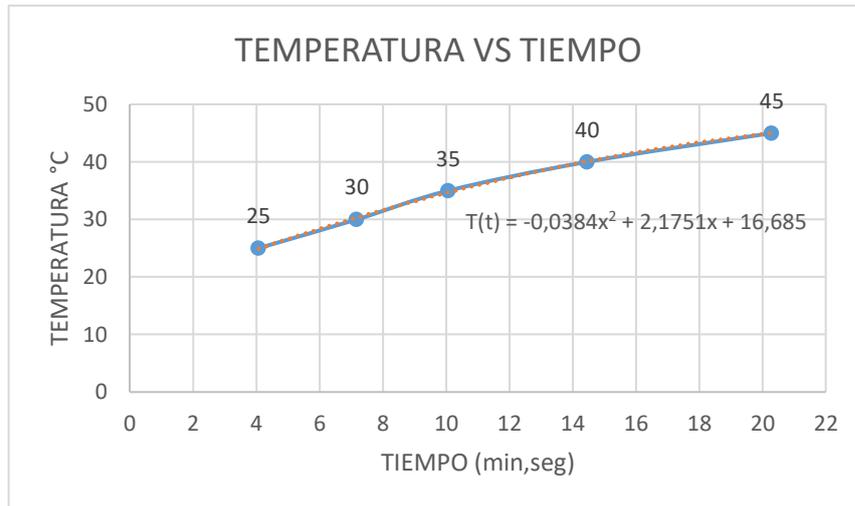


Gráfico 1 - 3: Temperatura vs Tiempo

Fuente: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Se observó en el gráfico 1 - 3 que la temperatura de calentamiento depende del tiempo transcurrido por lo que se denota una curva creciente.

Para fines prácticos se utilizó las herramientas de Microsoft Excel el cual permite la obtención de la ecuación 2 - 3 aproximada que describe el incremento realizado por el prototipo.

Ecuación 2 - 3: Ecuación de segundo orden de la curva resultante

$$T(t) = -0,0384x^2 + 2,1751x + 16,685$$

Al observar la figura se observó que es una ecuación de segundo orden puede representar su comportamiento está ecuación es de mucha ayuda si se desea hacer ya sea una interpolación o una extrapolación.

3.4 Eficiencia Energética del Prototipo de Calentamiento de Agua Potable

Para observar la Eficiencia energética con la que cuenta el prototipo, se realizó 5 pruebas a diferentes horas y días, en donde con un multímetro se procedió a medir tanto la corriente como el voltaje de salida, así como el voltaje y la corriente de entrada los valores obtenidos se aplica la ecuación 10 – 1 mostrada a continuación.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_i} \times 100 \%$$

En la tabla se observan tanto los datos obtenidos como la eficiencia en cada prueba

Tabla 9 – 3: Eficiencia Energética de 5 muestras del prototipo

MUESTRA	FECHA Y HORA	VOLTAJE DE ENTRADA (V)	CORRIENTE DE ENTRADA (A)	VOLTAJE DE SALIDA (V)	CORRIENTE DE SALIDA (A)	EFICIENCIA μ
1	20/10/2018 10:30	109,5	9,8	48	18,2	81,41
2	20/10/2018 20:00	110,2	9,6	48	18,3	83,03
3	21/10/2018 9:30	112	9,4	48	17,8	81,16
4	21/10/2018 17:00	113,1	9,5	48	18,02	80,50
5	21/10/2018 23:00	111,3	9,6	48	18,1	81,31

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Al observar la tabla 9 - 3 se determinó que para todas las muestras la eficiencia energética supera el 80%, considerando que la muestra 2 es la más eficiente mientras que la muestra 4 es la menor lo que permite corroborar que nuestro sistema posee una Eficiencia mayor al 80%.

3.5 Prototipo de calentamiento por Inducción versus Sistema convencional

A continuación, se muestra una serie de análisis entre los dos sistemas de calentamiento: el sistema convencional basado su calentamiento en un conjunto de resistencias eléctricas y el sistema de calentamiento a base de inducción electromagnética, para compararlos en base al consumo de energía.

3.5.1 *Análisis comparativo en base a la eficiencia de consumo energético*

Para realizar el análisis del consumo energético del sistema convencional, se deben considerar datos fundamentales para obtener un consumo diario y mensual tanto del prototipo de inducción como del sistema convencional por lo cual se efectuó una proyección aplicada a ambos sistemas. Para el análisis se consideró la potencia entregada por un sistema convencional basado en resistencias eléctricas tal como se observa en la tabla 10 – 3.

Tabla 10 – 3: Consumo energético proyectado del sistema basado en resistencias

	SISTEMA CONVENCIONAL
Potencia Total (KW)	4
Tiempo Promedio de trabajo diario (h)	0,25
Energía consumida Diaria (KWh)	1
Energía consumida Mensualmente (KWh)	30

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Tabla 11 – 3: Consumo energético proyectado del sistema de inducción electromagnética.

	SISTEMA DE INDUCCIÓN
Potencia Total (KW)	1,07
Tiempo Promedio de trabajo diario (h)	0,33
Energía consumida Diaria (KWh)	0,3531
Energía consumida Mensualmente (KWh)	10,59

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

En la siguiente grafica de barras se muestra el consumo energético mensual entre los sistemas comparados.

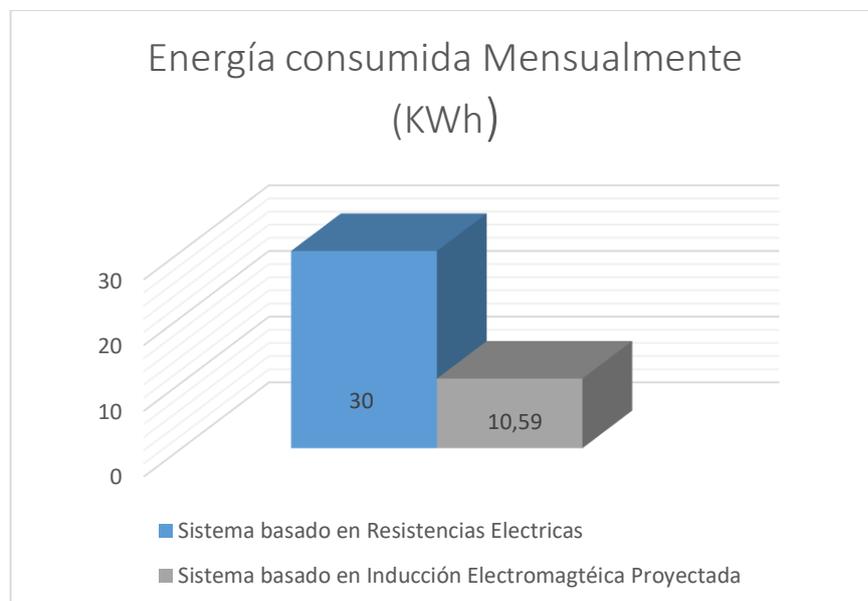


Figura 1 - 3: Comparación del consumo mensual de energía

Fuente: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Al observar en la figura podemos notar que la eficiencia del prototipo basado en inducción magnética con un baño promedio de 15 minutos presenta una eficiencia del 35.3% ante el sistema basado en resistencias. Para obtener el costo mensual en USD, consumido por ambos sistemas analizados, tanto los valores de la tabla 10 - 3 como de la tabla 11 - 3, por un valor comercial del KWh en Riobamba, considerando la tarifa impuesta 0.091 utilizada en la zona residencial, a continuación.

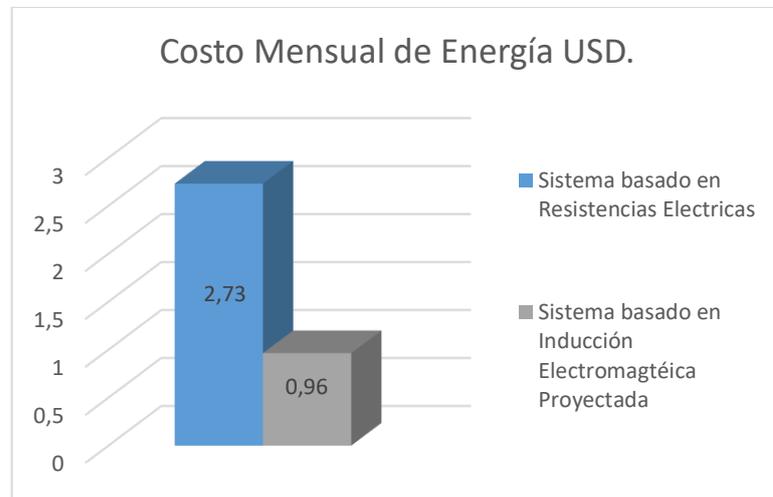


Figura 2 - 3: Costo mensual de Energía

Fuente: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

Al observar las gráficas anteriores, el sistema de inducción nos genera un ahorro en el consumo energético del 35.16% al compararlo con el sistema basado en resistencias eléctricas.

3.6 Análisis de Costos

Para realizar el siguiente análisis se debe enlistar los diferentes componentes que conformaron el prototipo de calentamiento de agua potable por inducción

Tabla 12 – 3: Análisis de Costos.

Módulos	Componentes	Cantidad	Costo (USD)
Microcontrolador	Microcontrolador mega 2560	1	45
Electroválvulas	Válvula Solenoide 1/2"	2	24
Alimentación	Fuente conmuta NIMO ALM335	2	300
Alimentación	Fuente ATX	1	18
Relé	Relé de Estado Solido AC/DC 25A	1	25
Bobina de Chokes	Bobina de Chokes de 50 A	2	336
Tubo de Cobre	Tubo de Cobre 6mm de diámetro	5m	11
Condensadores	Condensadores MKPH 1000V	9	45
Transistores	TIP31C	7	8,4

Disipadores	Disipadores de TIP31C	5	2,5
Motor DC	Bomba de agua con motores DC de 12v	2	24
Sensor de Temperatura	Termocupla Tipo K	1	6
Acondicionador	Acondicionador Max6677	1	4
Pantalla	LCD 16X2	1	5
Sensor de Flujo	Caudalímetro YF-S201	1	14
Placas	Placa de Baquelita 30x20 cm	2	13
Ventiladores	Ventiladores VN-551	2	12
Lamina de Cobre	Lamina de Cobre	1	10
Transistores	MOSFET IRF260N	2	20
Disipadores	Disipadores de MOSFET	6	9
Elementos Electrónicos Varios	Elementos Eléctricos		40
Elementos de Gasfitería Varios	Elementos de Gasfitería		10
Elemento A calentar	Tubo Cuadrado AISI 430	1	20
Contenedor	Contenedor Cilíndrico DIA. 18 y 50 cm	1	60
Caja	Caja Metálica 60x60x20	1	70
Breaker	Breaker Schneider	1	10
Total			1141,9

Realizado por: Castro, Cristian; Rojas, Santiago. 2018

En la tabla 12 - 3 se observa que el prototipo tiene un costo de 1141,9 Dólares Americanos.

CONCLUSIONES

- En el capítulo I se caracterizó los diferentes tipos de calentamiento de agua potable existentes observando sus principales ventajas, funcionamiento y los beneficios que prestan al usuario además se observó que para un sistema basado en resistencia la eficiencia es del 50%.
- Al utilizar convertidores resonantes en lugar de inversores se redujo el costo computacional al igual que el costo del prototipo teniendo en cuenta que un dispositivo MOSFET es más barato que un IGBT.
- Se observó en la Tabla 3 – 3 que el tiempo que toma el sistema en llenar el reservorio con un flujo promedio de 1,83 litros/minuto con un error por instrumentos de ± 0.25 es de 3 minutos con 25 segundos con un error de ± 0.05 segundos, en este lapso de tiempo el sistema se encuentra en funcionamiento lo que ayuda a que el calentamiento se realice de forma más ágil debido a que no necesita esperar a que el sistema este lleno para comenzar con el proceso.
- Se verificó que el control de temperatura al compararlo con una señal patrón como se observa en la Tabla 1 – 3 descrita en el capítulo 3, el error mostrado entre el controlador de temperatura y el dispositivo VC97+ es aceptable, considerando que al utilizar el software SPSS se demostró que las medias son iguales.
- Si se observa de la tabla 4 – 3 a la tabla 8 – 3 el prototipo se sometió a diferentes pruebas y se estableció que, para alcanzar una temperatura de 25°C, 30°C, 35°C, 40°C y finalmente 45°C. El prototipo debe funcionar un promedio de 4 minutos y 7 segundos primera temperatura, 7 minutos y 18 segundos para 30°C , 10 minutos y 8 segundos, minutos para una temperatura 35°C, para 40°C el prototipo necesitara 14 minutos y 46 segundos y para la temperatura máxima en este caso 45°C se necesita un tiempo de 20 minutos y 29 en todos estos valores deben ser considerados los errores generados por los instrumentos utilizados los cuales para el tiempo es de ± 0.05 mientras que para las medidas del control de temperatura es de ± 0.5 °C.
- Con ayuda de la tabla 9 -3 de las pruebas realizadas al prototipo se observó que cuenta con una eficiencia superior al 80% la cual en este tipo de sistemas es alto debido a que no existe muchas pérdidas por conmutación gracias al convertidor ZVS utilizado ya que su función es conmutar cuando el voltaje cae a cero evitando desprendimiento de calor. También se debe considerar que al observar el datasheet de las fuentes conmutadas poseen una eficiencia del

87% lo que evita que la eficiencia del prototipo de inducción sea mayor este dato puede ser corroborado al observar el Anexo B.

- Se comparó el prototipo de inducción con una ducha eléctrica que es un sistema convencional basado en resistencias, en la cual se pudo observar que, el consumo energético mensual del sistema de inducción presenta un 35% de ahorro con referencia a la ducha eléctrica, tanto energético como monetario lo que representa una gran ventaja para el usuario estos datos se encuentran representados en la figura 2 – 3.

RECOMENDACIONES

- Es necesario estudiar nuevos materiales que presenten mejores condiciones para realizar el calentamiento por inducción esto influirá de forma directa a tal punto que puede mejorar el factor de eficiencia registrado en este trabajo.
- Realizar una investigación para que su interfaz puede ser controlado desde diferentes puntos del hogar o en efecto que su activación sea por medio de una aplicación que pueda ser manejada desde cualquier punto de la casa.
- Incorporar un control PID en lugar del ON-OFF esto le puede ayudar al consumo energético considerando que van a tener puntos en donde la potencia disminuya y por ende exista un menor costo energético.
- Utilizar convertidores resonantes en lugar de inversores y aplicarlos en otras áreas como cocinas a inducción, tratamientos metalúrgicos, etc.

BIBLIOGRAFÍA

ARDUINO, *ARDUINO MEGA 2560 REV3*. [en línea]. 2016 [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>.

CÁCERES RODRÍGUEZ, J.J. y MONTERO LLUNDO, B.V., *Diseño y construcción de un calentador de agua en base al análisis de un sistema eficiente de inducción electromagnética para hogares pertenecientes al sector socio económico medio*. [en línea] 2016. [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/11904>.

CAÑIZARES, C. y ISRAEL, S., *Diseño y construcción de una fuente variable de voltaje monofásica de 5 KVA-220V, de 0 a 440 V con mando local y remoto*. 2010 [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/3990/T-ESPEL-0732.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CG-ELEC., *CG Electronic Industry*. [en línea]. 2017 [Consulta: 23 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.cgegd.com/en/displayproduct.html?proID=1223865>.

COORDINADOR, M.E., *Agenda de Energía*. [en línea]. 2016 [Consulta: 2 marzo 2017]. Disponible en: https://issuu.com/sectoresestrategicos/docs/agenda_de_energia_2016-2040.

COQUE, R., ROSA, A., GUTIÉRREZ, F. y ALEXANDER, L., *Diseño e implementación de un calefón a inducción electromagnética para proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares*. [en línea]. 2016. [Consulta: 7 enero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/10592>.

DAHAKÉ, *Bobinas de trabajo de calentamiento por inducción* [en línea]. 2009. [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible en: https://www.ambrell.com/hubfs/Ambrell_PDFs/411-0168-16.pdf.

E-DUCATIVA, *FLUJO MAGNÉTICO*. [en línea] 2010. [Consulta: 5 mayo 2018]. Disponible en: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//2750/2956/html/13_flujo_magntico.html.

FIERRO, C.E.P. y ORTEGA FUENTES, A.J., *Desarrollo de un sistema de procesamiento de plásticos por calentamiento basado en el principio de inducción electromagnética* [en línea]. 2014. [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3535>.

FIRST COMPONENTS INTERNATIONAL, *FR307 Datasheet*. [en línea]. 2012. [Consulta: 7 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/56935/BYTES/FR307.html>.

FOTEK, *Relé de estado sólido SSR-DA DC to AC*. [en línea]. 2008. [Consulta: 3 febrero 2018]. Disponible en: http://www.fotek.com.tw/Ecenter2.asp?product_sn=33&class2_sn=16.

GARREFOUR, *Partes del calefón a gas*. [en línea]. 2016. [Consulta: 9 septiembre 2018]. Disponible en: <http://kataplana.ru/partes-del-calefon-a-gas/>.

HAYT, W.H. y BUCK, J.A., *Teoría electromagnética* [en línea]. Séptima. MEXICO: McGraw-Hill Interamericana. ISBN 0-07-252495-2. 2007. [Consulta: 9 septiembre 2018] Disponible en: <https://tesisconsultor.files.wordpress.com/2018/07/teorc3ada-electromagnetica-hayt-7ed-h4yt.pdf>.

HERNÁNDEZ, M.I. y LEDESMA, D.A., *Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de voltajes con sistemas embebidos para el laboratorio de mecatrónica de la facultad de mecánica* [en línea]. 2010. [Consulta: 7 agosto 2018] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1137/1/25T00140.pdf>.

HINCAPIÉ, J.N., TREJOS, A., MONCADA, M.E. y ESCOBAR, A., *Electrónica de potencia*

para el calentamiento por inducción doméstico: revisión del estado del arte [en línea]. 2013. [Consulta: 7 enero 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=83529050014>.

IBM, *IBM SPSS Statistics Overview*. [en línea]. 2012. [Consulta: 2 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>.

INFINEON, *IRFP260N*. [en línea]. 2010. [Consulta: 7 noviembre 2018]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/Env-o-libre-20-unids-lote-IRFP260N-IRFP260-a-nuevo/32833823850.html>.

LOAYZA COLLAGUAZO, O.F. y MULLO PALLO, M.E., *Diseño y construcción de una ducha de inducción* [en línea]. 2017. [Consulta: 7 noviembre 2018] Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4029>.

LORENZETTI, *DUCHAS ELÉCTRICAS*. [en línea]. 2015. [Consulta: 8 marzo 2001]. Disponible en: <http://www.lorenzetti.com.br/es/Linhas.aspx?id=1>.

MAXININTEGRATED, *Termocupla Tipo K 0-800°C con Rosca de 8mm*. [en línea]. 2014 [Consulta: 5 septiembre 2018]. Disponible en: https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/MAX6675.html/tb_tab0.

METROELECTRONICA, *NIMO ALM335 Fuente de alimentación conmutada 24V/500W/20,8A*. [en línea]. 2014. [Consulta: 13 mayo 2018]. Disponible en: <https://www.metroelectronica.com/fuentes-alimentacion-12v-24v/nimo-alm335-fuente-de-alimentacion-conmutada-24v500w208a>.

MOLINA, G., *Sistema de calefacción de agua por inducción electromagnética para el uso doméstico* [en línea]. 2015. [Consulta: 13 mayo 2018] Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/13071>.

MORAN, M.J. y SHAPIRO, H.N., *Fundamentos de termodinámica técnica* [en línea]. Segunda. Barcelona-España: Reverte. ISBN 978-84-291-4313-3. 2004. [Consulta: 13 mayo 2018] Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Fundamentos_de_termodinámica_técnica.html?hl=es&id=IJcF1oqP5wC&redir_esc=y.

NAYLAMP, *Válvula solenoide 1/2" 12V DC*. [en línea]. 2016. [Consulta: 1 septiembre 2018]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/valvulas/314-valvula-solenoide-12-12v.html>.

OGATA, K., *Ingeniería de Control Moderno* [en línea]. Quinta. España: PEARSON EDUCACIÓN, A. ISBN 978-84-8322-660-5. 2010. [Consulta: 20 septiembre 2018] Disponible en: <https://hellsingge.files.wordpress.com/2014/10/ingenieria-de-control-moderna-ogata-5ed.pdf>.

PACHECO, M.C. y HIDALGO, S.A.O., *ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES ANALÓGICAS UTILIZANDO MÓDULOS PORTABLES SCC PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA*. , pp. 133. 2011. [Consulta: 09 septiembre 2018] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1142/1/25T00145.pdf>

PRODIN, F., *BOBINA TOROIDAL DE CHOKES*. [en línea]. 2014. [Consulta: 10 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.prodinferrite.com/p1-nucleos-de-ferrita.html>.

RECALDE, P., *Programa de eficiencia energética para cocción por inducción y calentamiento de agua con electricidad en sustitución del gas licuado de petróleo (GLP) en el sector residencial – 1 – Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*. [en línea]. 2012. [Consulta: 3 julio 2018]. Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2015/iaqg-ecuador.pdf>.

RHEEM, *TERMOTANQUE COMERCIAL*. [en línea]. 2012. [Consulta: 1 mayo 2018]. Disponible en: [http://www.assistgas.com/image/productos/manual_termotanques_rheem-_linea_comercial\[1\].pdf](http://www.assistgas.com/image/productos/manual_termotanques_rheem-_linea_comercial[1].pdf).

SERRANO, A., *MAGNÉTISMO*. [en línea]. 2005. [Consulta: 3 febrero 2018]. Disponible en: <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfísica/magnet/ampere.html>.

STARTJET, *Calentador Instantáneo de Agua*. [en línea]. 2016. [Consulta: 1 mayo 2018]. Disponible en: http://www.cavegas.com.ve/cal_electrico_startjet.htm.

TIPLER, P.A; MOSCA, G.,. *Física para la ciencia y la tecnología* [en línea]. Quinta Edi. España: Revertè. ISBN 84-291-4411-0. [en línea] 2005. [Consulta: 1 mayo 2018]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=9MFLe5mAtMC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

TY-OHM, *RESISTENCIA 470 OHM 5W*. [en línea]. 2010. [Consulta: 9 septiembre 2018]. Disponible en: http://www.tyohm.com.tw/product_d.php?lang=en&tb=1&id=18&cid=18.

VILLALTA PACHECO, L.J. y BUÑAY YUGSI, S.I., *Evaluación energética-económica en el uso de calentadores de agua en el cantón Paute.* , 2016. [Consulta: 20 octubre 2018]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25837>

ANEXOS

Anexo A: Ficha Técnica Acero inoxidable Férrico AISI 430

Aleación 430

INFORMACIÓN GENERAL

La aleación 430 es uno de los aceros inoxidables ferríticos y no endurecibles más utilizados. Este material combine una buena resistencia a la corrosión con buena formabilidad y ductilidad.

La aleación 430 también cuenta con resistencia a l ataque nítrico, lo cual permite su uso en aplicaciones químicas. Las aplicaciones más populares para la 430 son en electrodomésticos y bordes decorativos.

ESTÁNDARES

UNS S43000 / DIN 1.4016 / W.N. X6Cr17

APLICACIONES

Aplicaciones típicas incluyen detalles de terminación en automóviles, cámaras de combustión, electrodomésticos, unidades de calefacción, canalones y bajantes, y cubiertos.

Aplicaciones industriales y comerciales varían desde su uso en arquitectura interior hasta las aplicaciones en equipos para el procesamiento de químicos, refinería de petróleo, techos, y equipos de restaurantes.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Porcentaje por Peso	
C	0,12
Mn	1,0
P	0,04
S	0,03
Si	1,0
Cr	16,0 - 18,0
Ni	0,5
Fe	BALANCE

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Y OXIDACIÓN

La aleación 430 tiene una resistencia a la corrosión excelente, la cual incluye resistencia al ácido nítrico, gas de azufre, y muchos ácidos orgánicos. Esta aleación no ofrece la resistencia contra la corrosión por picaduras por ácidos reductores que ofrecen los aceros inoxidables a base de cromo-níquel. Debido a su contenido relativamente alto de cromo, este material ofrece una Buena resistencia a la oxidación.

PROPIEDADES FÍSICAS

Modulo de Elasticidad en Tensión	29 x 10 ³ ksi 200 x 10 ³ MPa
Densidad	0,28 lb/in ³ 7,74 g/cm ³
Calor Específico	btu/lb*°f – 0,11 kJ/kg*°k – 0,46
Conductividad Térmica	a 100°C: w/m*°k – 26,1 a 500°C: w/m*°k – 26,3
Coefficiente de Expansión Térmica	a 0-100°C: 10,4 µm/m-K
Resistividad Eléctrica	a 21°C: 55 micromh-in

PROPIEDADES MECÁNICAS

0.2% Offset Limite Elástico	45 ksi 310 MPa
Resistencia a la Tracción	70 ksi 438 MPa
Elongación , % en 51mm	25
Dureza, RB	B85

PROPIEDADES DE FABRICACIÓN

Soldadura

Por lo general, la familia ferrítica de aceros inoxidables se considera soldable por fusión común y técnicas de resistencia. Se requieren algunas consideraciones especiales para evitar la fragilización de las soldaduras. Esto se logra con la reducción de discontinuidades, un bajo insumo de calor, y en ocasiones el precalentamiento del material antes de la formación. Esta aleación tiende a ser menos soldable que la aleación más común de esta clase, la 409. Las principales diferencias son el mayor contenido de carbono, y la falta de elementos estabilizadores, los cuales requieren un recocido posterior a la soldadura para restaurar la resistencia contra la corrosión y propiedades de formación.

Recocido

Calentar a 1400 - 1525°F (760 - 829°C), enfriamiento rápido al aire.

Formación

La aleación 430 es fácilmente elaborado y formado. Sus características son similares a las del acero de bajo carbono, aunque es más fuerte en la condición recocida y requiere de herramientas más fuertes con mayor potencia.

Chilexpo Ltda. no garantiza la exactitud de la información contenida en este documento y recomienda que los usuarios investiguen en profundidad aspectos técnicos y especificaciones antes de realizar una compra. Esta información técnica ha sido recopilada de diversas fuentes en línea, incluyendo AT®®, SSC®®, y Outokumpu®® entre otras. Esta ficha técnica ha sido proporcionada solo para fines informativos y no ha sido verificada de forma independiente por Chilexpo Ltda.

Ficha técnica

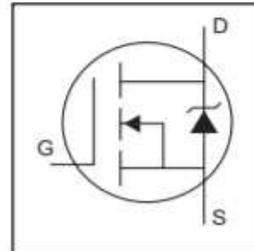


ALM335 500W-24V		
SALIDA	VOLTAJE CC	24V
	TENSIÓN NOMINAL	20.8A
	CORRIENTE DE SALIDA	0-20.8A
	POTENCIA	500W
	ONDA Y RUIDO	200mVp - p
	RANGO DE TENSIÓN	20-26,4V
	TOLERANCIA AL VOLTAJE	± 1,0%
	INSTALACIÓN. TIEMPO DE SUBIDA	1000ms, 50ms/230VCA 1000ms, 50ms/115VCA (carga completa)
ENTRADA	RANGO DE TENSIÓN	90-132VCA/180-264VCA (Selected by switch) 254-370 VCC
	RENDIMIENTO <Typ>	87%
	CORRIENTE AC <Typ>	8A/115VCA 4A/230VCA
	INRUSHCURRENT <Typ>	40A/115VCA 60A/230VCA
	CORRIENTE RESIDUAL	< 3,5mA/240VCA
PROTECCIONES	SOBRECARGA	105%-135% Tipo de protección constant current limiting, recovers automatically after condition is removed
	SOBRE VOLTAJE	27,6-31,4V Tipo de protección: Apague el voltaje 0 / 0, vuelva a encender para recuperar
AMBIENTE DE TRABAJO Y ALMACENAMIENTO	TEMPERATURA DE TRABAJO, HUMEDAD	-20--+50°C, 20-90%RH, (sin condensación)
	TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO, HUMEDAD	-20--+85°C, 10-95%RH
ESTANDARES DE SEGURIDAD	TENSIÓN SOPORTADA	I/P-0/P: 3KVA I/P-FG: 1,5KVCA 0/P-FG: 0,5KVCA
	RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	I/P-0/P: I/P-FG, 0/P-FG: 100M Ohms/500VCC/25°C/70%RH
	CERTIFICACIONES Y ESTANDAR	CE, ROHS
OTROS	DIMENSIONES	215*114*500mm (L*W*H)
NOTAS	1. Todos los parámetros NO especialmente mencionados se miden en 230VCA ENTRADA, carga nominal y 25°C de temperatura ambiente. 2. ONDA Y RUIDO: se miden a 20MHz de la banda mediante un cable par trenzado de 12" terminado con un condensador paralelo de 0,1uF y 47uF. 3. Tolerancia: Incluye tolerancia de montaje, regulación de línea y regulación de carga.	

IRFP260N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$V_{DSS} = 200V$
$R_{DS(on)} = 0.04\Omega$
$I_D = 50A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	50	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	200	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	300	W
	Linear Derating Factor	2.0	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	560	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	50	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	30	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	10	V/ns
T_J	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
T_{STG}			
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.50	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

Anexo D: DataSheet del Diodo Zener 1N4746A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)									
PART NUMBER	ZENER VOLTAGE RANGE ⁽¹⁾	TEST CURRENT		REVERSE LEAKAGE CURRENT		DYNAMIC RESISTANCE $f = 1\text{ kHz}$		SURGE CURRENT ⁽³⁾	REGULATOR CURRENT ⁽²⁾
	V_Z at I_{ZT1}	I_{ZT1}	I_{ZT2}	I_R at V_R		Z_{ZT} at I_{ZT1}	Z_{ZK} at I_{ZT2}	I_R	I_{ZM}
	V	mA	mA	μA	V	Ω		mA	mA
	NOM.			MAX.		TYP.	MAX.		MAX.
1N4728A	3.3	76	1	100	1	10	400	1380	276
1N4729A	3.6	69	1	100	1	10	400	1260	252
1N4730A	3.9	64	1	50	1	9	400	1190	234
1N4731A	4.3	58	1	10	1	9	400	1070	217
1N4732A	4.7	53	1	10	1	8	500	970	193
1N4733A	5.1	49	1	10	1	7	550	890	178
1N4734A	5.6	45	1	10	2	5	600	810	162
1N4735A	6.2	41	1	10	3	2	700	730	146
1N4736A	6.8	37	1	10	4	3.5	700	660	133
1N4737A	7.5	34	0.5	10	5	4	700	605	121
1N4738A	8.2	31	0.5	10	6	4.5	700	550	110
1N4739A	9.1	28	0.5	10	7	5	700	500	100
1N4740A	10	25	0.25	10	7.6	7	700	454	91
1N4741A	11	23	0.25	5	8.4	8	700	414	83
1N4742A	12	21	0.25	5	9.1	9	700	380	76
1N4743A	13	19	0.25	5	9.9	10	700	344	69
1N4744A	15	17	0.25	5	11.4	14	700	304	61
1N4745A	16	15.5	0.25	5	12.2	16	700	285	57
1N4746A	18	14	0.25	5	13.7	20	750	250	50
1N4747A	20	12.5	0.25	5	15.2	22	750	225	45
1N4748A	22	11.5	0.25	5	16.7	23	750	205	41
1N4749A	24	10.5	0.25	5	18.2	25	750	190	38
1N4750A	27	9.5	0.25	5	20.6	35	750	170	34
1N4751A	30	8.5	0.25	5	22.8	40	1000	150	30
1N4752A	33	7.5	0.25	5	25.1	45	1000	135	27
1N4753A	36	7	0.25	5	27.4	50	1000	125	25
1N4754A	39	6.5	0.25	5	29.7	60	1000	115	23
1N4755A	43	6	0.25	5	32.7	70	1500	110	22
1N4756A	47	5.5	0.25	5	35.8	80	1500	95	19
1N4757A	51	5	0.25	5	38.8	95	1500	90	18
1N4758A	56	4.5	0.25	5	42.6	110	2000	80	16
1N4759A	62	4	0.25	5	47.1	125	2000	70	14
1N4760A	68	3.7	0.25	5	51.7	150	2000	65	13
1N4761A	75	3.3	0.25	5	56	175	2000	60	12
1N4762A	82	3	0.25	5	62.2	200	3000	55	11
1N4763A	91	2.8	0.25	5	69.2	250	3000	50	10
1N4764A	100	2.5	0.25	5	76	350	3000	45	9



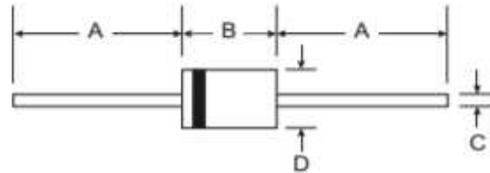
FR301 - FR307

3.0A FAST RECOVERY RECTIFIER

NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGNS,
PLEASE USE PR3001G - PR3007G

Features

- Low Reverse Recovery Time (T_{rr})
- Low Reverse Current
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- Plastic Material - UL Recognition 94V-0



Mechanical Data

- Case: DO-201AD, Molded Plastic
- Terminals: Axial Leads, Solderable per MIL-STD-202 Method 208
- Polarity: Color Band Denotes Cathode
- Approx. Weight: 1.1 grams
- Mounting Position: Any

DO-201AD		
Dim	Min	Max
A	25.4	—
B	7.2	9.5
C	1.2	1.3
D	4.8	5.3
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Ratings at 25° C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.

Characteristic	Symbol	FR 301	FR 302	FR 303	FR 304	FR 305	FR 306	FR 307	Unit
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current (9.5mm) Lead Length @ $T_A=75^{\circ}C$	$I_{(AV)}$	3.0							A
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I_{FSM}	150							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 3.0A DC	V_F	1.3							V
Maximum DC Reverse Current	I_R	10							μA
Maximum Reverse Recovery Time (Note 1)	T_{rr}	150				250	500		ns
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_J	70				50			pF
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +175							$^{\circ}C$

- Notes: 1. Reverse Recovery Test Conditions: $I_F = 0.5 A$, $I_R = 1.0 A$, $I_{RR} = 0.25 A$
2. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 volts.



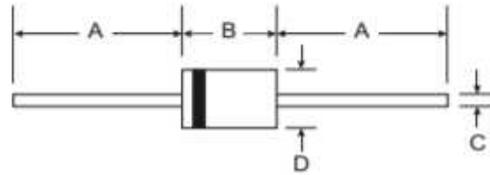
FR301 - FR307

3.0A FAST RECOVERY RECTIFIER

NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGNS,
PLEASE USE PR3001G - PR3007G

Features

- Low Reverse Recovery Time (T_{rr})
- Low Reverse Current
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- Plastic Material - UL Recognition 94V-0



Mechanical Data

- Case: DO-201AD, Molded Plastic
- Terminals: Axial Leads, Solderable per MIL-STD-202 Method 208
- Polarity: Color Band Denotes Cathode
- Approx. Weight: 1.1 grams
- Mounting Position: Any

DO-201AD		
Dim	Min	Max
A	25.4	—
B	7.2	9.5
C	1.2	1.3
D	4.8	5.3
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Ratings at 25° C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.

Characteristic	Symbol	FR 301	FR 302	FR 303	FR 304	FR 305	FR 306	FR 307	Unit
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current (9.5mm) Lead Length @ $T_A=75^{\circ}C$	$I_{(AV)}$	3.0							A
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I_{FSM}	150							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 3.0A DC	V_F	1.3							V
Maximum DC Reverse Current	I_R	10							μA
Maximum Reverse Recovery Time (Note 1)	T_{rr}	150				250	500		ns
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_J	70				50			pF
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +175							$^{\circ}C$

- Notes: 1. Reverse Recovery Test Conditions: $I_F = 0.5 A$, $I_R = 1.0 A$, $I_{RR} = 0.25 A$
2. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 volts.

Anexo F: DataSheet de la Inductancia tipo Choke

3.- DATOS

Los datos sobre núcleos toroidales que aparecen en distintas publicaciones a veces son algo confusos. En las siguientes líneas he intentado recopilar el mayor número de datos sobre esta cuestión, ordenándolos para una mejor comprensión por parte del lector.

En la tabla número 1 se indica el tipo de toroide, el diámetro exterior, diámetro interior, altura y desarrollo, es decir, la longitud de cada espira.

TABLA NÚMERO UNO				
TIPO	DIÁMETRO EXTERIOR	DIÁMETRO INTERIOR	ALTURA	DESARROLLO
	mm	mm	mm	mm
T-12	3,1	1,5	1,3	4,2
T-16	4,1	1,8	1,5	5,3
T-20	5,1	2,0	1,8	6,7
T-25	6,4	3,0	2,5	8,4
T-27	6,9	3,4	3,1	9,7
T-30	7,6	3,8	3,3	10,4
T-37	9,4	5,1	3,3	10,9
T-44	11,2	5,8	4,0	13,4
T-50	12,7	7,6	4,8	14,7
T-60	15,2	8,4	4,8	16,4
T-68	17,3	9,4	4,8	17,5
T-80	20,3	12,4	6,4	20,7
T-94	23,9	14,2	7,9	25,5
T-106	26,9	14,2	11,2	35,1
T-130	33,0	19,0	11,2	36,4
T-157	39,9	24,1	14,5	44,8
T-184	46,7	24,4	18,0	58,3
T-200	50,8	31,7	14,0	47,1
T-200A	50,8	31,7	25,4	69,9
T-225	57,1	35,6	14,0	49,5
T-225A	57,1	35,6	25,4	72,3
T-300	76,2	48,8	12,7	52,8
T-300A	76,2	48,8	25,4	78,2
T-400	101,6	57,1	16,5	77,5
T-400A	101,6	57,1	33,0	110,5
T-520	132,1	78,2	20,3	94,5

Todos los datos están expresados en milímetros. Estas cifras son aproximadas debido a la conversión de pulgadas a milímetros. Así mismo las dimensiones de los núcleos pueden tener ciertas tolerancias, por lo que sus dimensiones reales pueden diferir ligeramente de las indicadas.

Señalar también que hay en el mercado núcleos toroidales que no tienen las dimensiones indicadas en la tabla número 1, bien en su totalidad o parcialmente. Por ejemplo, el toroide de color amarillo que se encuentra encima de los dos pequeños de color gris, en la parte izquierda de la figura número 1, tiene un diámetro exterior de 20,3 milímetros y un diámetro interior de 12,4 milímetros, por lo que parece que debería corresponder al tipo T-80. Sin embargo su altura es de 9,4 milímetros y

ción y por tanto el margen de frecuencias dentro del cual debe ser utilizado preferentemente un determinado núcleo. En la tabla número 2 se relacionan estos colores y sus frecuencias asociadas.

TABLA NÚMERO DOS		
COLOR(ES)	NÚMERO	FRECUENCIAS
Amarillo-Blanco	26	Hasta 100KHz
Gris	3	50 KHz- 1MHz
Rojo-Blanco	15	0,1 - 3 MHz
Azul	1	0,5-5 MHz
Rojo	2	1 -30 MHz
Amarillo	6	2 - 50 MHz
Negro	10	5- 100 MHz
Azul-Amarillo	12	20 - 200 MHz
Verde-Blanco	17	20-200 MHz
Verde-Naranja	22	20-200 MHz
Marrón	0	50-300 MHz

En la primera columna se relacionan los colores del núcleo, en primer lugar el color que ocupa tres de las cuatro caras y en segundo lugar el que ocupa la cuarta cara, si lo hay. La segunda columna indica el número normalizado que define el material del núcleo. En la tercera columna se indica el margen de frecuencias donde preferentemente se debe utilizar el núcleo.

Los datos relativos a las frecuencias de utilización varían entre las distintas publicaciones consultadas. No obstante es posible utilizar un núcleo en un margen de frecuencias distinto del especificado, aunque con un factor de calidad menor.

Otro dato a tener en cuenta es el índice **AL**, que es la inductancia que se obtiene, en milihenrios, al bobinar sobre un núcleo cien espiras. Este índice varía con el tamaño del núcleo y con el tipo de mezcla. En la tabla número tres se relacionan los distintos núcleos y su índice **AL**.

En la fila superior se indica el tipo de mezcla, mientras que en la columna de la izquierda aparece el tamaño del núcleo. En los núcleos muy pequeños no se tiene el dato ya que no se pueden bobinar cien espiras sobre un núcleo tan pequeño.

Conociendo el parámetro **AL** de un determinado núcleo, es posible calcular el número de espiras que es preciso bobinar para obtener una determinada inductancia. Para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

Anexo G: DataSheet del Capacitor MKPH

FEATURES	Small Size - Safety Agency Approved - Metalized Polypropylene
APPLICATIONS	EMI filters - Across the line

Operating Temperature Range	-40°C to +110°C		
Capacitance Tolerance	±10% at 1 kHz, 20°C		
AC voltage (50/60 Hz)	UL/CSA	ENEC	CQC
	250/275/310	250/275/310	310
Dissipation Factor at 1 kHz and 20°C	Tan δ		
	.1% Max		
Insulation Resistance @20°C (<70% RH) for 1 minute at 100VDC applied	Capacitance	Terminal to Terminal	Terminal to Case
	≤0.33uF	15000 MΩ	>30000 MΩ at 100VDC >5000 MΩ at 500VDC
	>0.33uF	5000 MΩxuF	>30000 MΩ at 100VDC >5000 MΩ at 500VDC
Self Inductance	≤1 nano-Henry per mm of lead spacing		
Dielectric Strength	Terminal to Terminal	1333VDC (4.3*310) VDC applied for 60 seconds Cut-off current: 10mAdc Current limiting resistance: 1Ω/V	
	Terminal to case	2050VDC (50/60 Hz) applied between the terminals and case for 60 Seconds and 20°C	
Life Expectancy	1000 hours at 110°C at 125% of rated voltage with once every hour the voltage is increased to 1000 VAC for 0.1 seconds		
	Capacitance change	≤10% of initially measured value	
	Dissipation Factor	<0.8% at 1kHz	
	Insulation Resistance	>50% of initially specified value (T-T)	
Humidity test	56 days at 90 to 95% RH, 40C		
	Capacitance change	≤10% of initially measured value	
	Dissipation Factor	<0.8% at 1kHz	
	Insulation Resistance	≥50% of initially specified value (T-T)	
Impulse voltage (24 pulses)	C≤ 1uF Vp=2.5kVDC C> 1uF Vp=2.5kV √C		
Capacitance temperature coefficient	-200ppm/°C, ±100ppm/°C		
Construction	Metalized Polypropylene film		
Electrodes	Vacuum deposited Metal layers		
Coating	Flame retardant Solvent resistant plastic case with epoxy end fill (UL94V-0)		
Lead terminations	tinned copper clad steel leads		

Anexo H: DataSheet del Arduino MEGA

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#)

Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it

Anexo I: DataSheet de la Termocupla tipo K

19-2235, Rev 1, 3/02



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Features

- Direct Digital Conversion of Type-K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

MAX6675

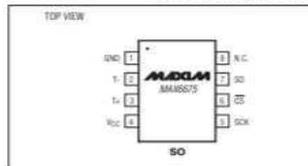
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Applications

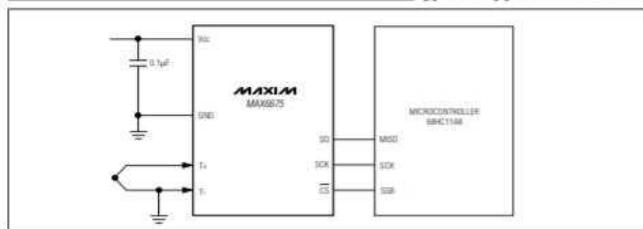
Industrial Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (VCC to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO SCK, CS, T+ to GND	-0.3V to VCC + 0.3V	Junction Temperature	+150°C
SO Current	±50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	±2000V	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation (TA = +70°C)		Infrared (15s)	+232°C
8-Pin SO (Derate 5.68mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(VCC = +3.0V to +5.5V, TA = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C T _A = +25°C (Note 2)	VCC = +3.3V	-5	+3	LSB
			VCC = +5V	-6	+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C T _A = +25°C (Note 2)	VCC = +3.3V	-8	+8	
			VCC = +5V	-9	+9	
Thermocouple Conversion Constant		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	VCC = +3.3V	+17	+17	μV/LSB
			VCC = +5V	+19	+19	
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°C (Note 2)	-3.0	+3.0	+3.0	°C
Resolution				0.25		°C
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ
Supply Voltage	VCC		3.0		5.5	V
Supply Current	ICC			0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		VCC rising	1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis				50		mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s
SERIAL INTERFACE						
Input Low Voltage	V _{IL}			0.3 × VCC		V
Input High Voltage	V _{IH}			0.7 × VCC		V
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or VCC			±5	μA
Input Capacitance	C _{IN}				5	pF

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Applications

- Industrial
- Appliances
- HVAC

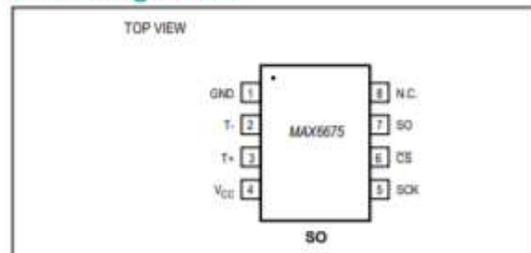
Features

- Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

Ordering Information

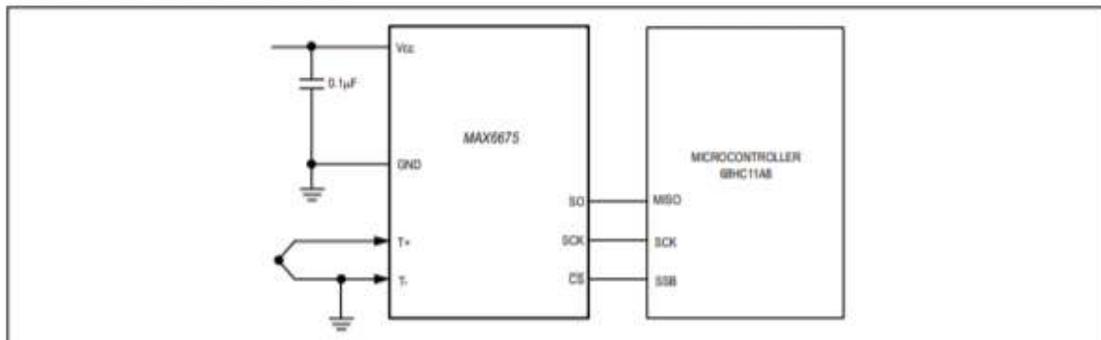
PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V_{CC} to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$	Junction Temperature	+150°C
SO Current	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	$\pm 2000V$	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ C$)		Infrared (15s)	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Electrical Characteristics

($V_{CC} = +3.0V$ to +5.5V, $T_A = -20^\circ C$ to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		$T_{THERMOCOUPLE} = +700^\circ C$, $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-5		+5	LSB
			$V_{CC} = +5V$	-6		+6	
		$T_{THERMOCOUPLE} = 0^\circ C$ to $+700^\circ C$, $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-8		+8	
			$V_{CC} = +5V$	-9		+9	
Thermocouple Conversion Constant		$T_{THERMOCOUPLE} = +700^\circ C$ to +1000°C, $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-17		+17	$\mu V/LSB$
			$V_{CC} = +5V$	-19		+19	
Cold-Junction Compensation Error		$T_A = -20^\circ C$ to $+85^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-3.0		+3.0	°C
			$V_{CC} = +5V$	-3.0		+3.0	
Resolution				0.25		°C	
Thermocouple Input Impedance				60		k Ω	
Supply Voltage	V_{CC}		3.0		5.5	V	
Supply Current	I_{CC}			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		V_{CC} rising	1	2	2.5	V	
Power-On Reset Hysteresis				50		mV	
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s	
SERIAL INTERFACE							
Input Low Voltage	V_{IL}				$0.3 \times V_{CC}$	V	
Input High Voltage	V_{IH}				$0.7 \times V_{CC}$	V	
Input Leakage Current	I_{LEAK}	$V_{IN} = GND$ or V_{CC}			± 5	μA	
Input Capacitance	C_{IN}			5		pF	

Anexo K: DataSheet del Caudalímetro YF-S201

Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
Flow Range 100L/H-1800H-L/H		
Flow (L/H)	Freqz (HZ)	±10
120L/H	16	
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
720L/H	90.2	

Connection method:

YIFA the plastics Ltd
Product Introduction

1) Model: F-21
2) Product Name: Hall sensor
3) Flow Range: 1-30L/MIN
4) Connection Method:

5) Voltage Range: 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: F=7Q(L/MIN)
6) Extent of error: ±5%
7) Flow Pulse:
2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5. BOM

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Fastness steel wash	SUS304	1
10			
11			

Anexo L: DataSheet de la Pantalla LCD

1. Features

1. 5x8 dots with cursor
2. 16characters *2lines display
3. 4-bit or 8-bit MPU interfaces
4. Built-in controller (ST7066 or equivalent)
5. Display Mode & Backlight Variations
6. ROHS Compliant

LCD type	<input type="checkbox"/> TN			
	<input type="checkbox"/> FSTN	<input checked="" type="checkbox"/> FSTN Negative		
	<input type="checkbox"/> STN Yellow Green	<input type="checkbox"/> STN Gray	<input type="checkbox"/> STN Blue Negative	
View direction	<input checked="" type="checkbox"/> 6 O'clock		<input type="checkbox"/> 12 O'clock	
Rear Polarizer	<input type="checkbox"/> Reflective		<input type="checkbox"/> Transflective	<input checked="" type="checkbox"/> Transmissive
Backlight Type	<input checked="" type="checkbox"/> LED	<input type="checkbox"/> EL	<input type="checkbox"/> Internal Power	<input checked="" type="checkbox"/> 3.3V Input
		<input type="checkbox"/> CCFL	<input checked="" type="checkbox"/> External Power	<input type="checkbox"/> 5.0V Input
Backlight Color	<input checked="" type="checkbox"/> White	<input type="checkbox"/> Blue	<input type="checkbox"/> Amber	<input type="checkbox"/> Yellow-Green
Temperature Range	<input checked="" type="checkbox"/> Normal		<input type="checkbox"/> Wide	<input type="checkbox"/> Super Wide
DC to DC circuit	<input type="checkbox"/> Build-in			<input checked="" type="checkbox"/> Not Build-in
Touch screen	<input type="checkbox"/> With			<input checked="" type="checkbox"/> Without
Font type	<input checked="" type="checkbox"/> English-Japanese	<input type="checkbox"/> English-Europen	<input type="checkbox"/> English-Russian	<input type="checkbox"/> Other

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

Module size	80.0mm(L)*36.0mm(W)* Max13.5(H)mm
Viewing area	64.5mm(L)*16.4mm(W)
Character size	3.00mm(L)*5.23mm(W)
Character pitch	3.51mm(L)*5.75mm(W)
Weight	Approx.

9. Electrical characteristics

DC characteristics

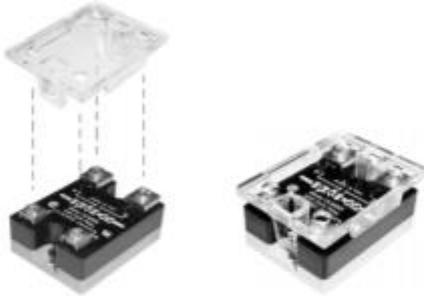
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	$V_{DD}-V_D$	$T_a = 25^\circ C$	-	3.0	-	V
Input voltage	V_{DD}		3.1	3.3	3.5	
Supply current	I_{DD}	$T_a = 25^\circ C, V_{DD} = 3.3V$	-	1.5	2.5	mA
Input leakage current	I_{LKG}		-	-	1.0	uA
"H" level input voltage	V_{IH}		2.2	-	V_{DD}	V
"L" level input voltage	V_{IL}	Twice initial value or less	0	-	0.6	
"H" level output voltage	V_{OH}	LOH=0.25mA	2.4	-	-	
"L" level output voltage	V_{OL}	LOH=1.6mA	-	-	0.4	
Backlight supply voltage	V_F		-	3.0		
Backlight supply current	I_{LED}	$V_{LED} = 3.3V R = 25\Omega$			16	mA

Solid-State Relays

Power Series SSR Accessories

Safety Cover

A plastic safety cover (Opto 22 part number SAFETY COVER) is available for use with Opto 22 Power Series SSRs. The safety cover reduces the chance of accidental contact with relay terminals, while providing access holes for test instrumentation.



An optional plastic safety cover can be installed on a Power Series SSR.

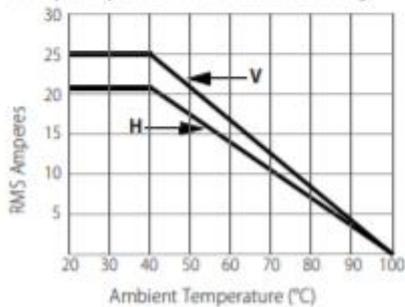
SSR-HS Heatsink

Custom designed for the Power Series SSRs, the SSR-HS heatsink provides excellent heat dissipation when mounted to the SSR with a matching thermal conductive pad, which is used in place of silicon grease. One thermal pad is included with the heatsink. Additional pads may be purchased in packs of 10 (part number SSR-THERMOPAD).

Thermal Ratings

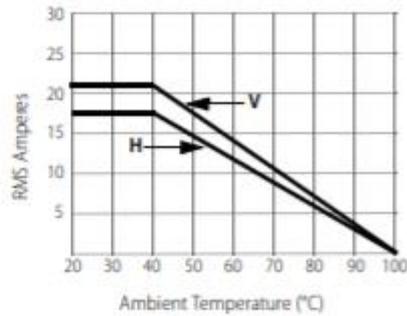
The thermal ratings shown in the following graphs were obtained with an SSR attached to a heatsink using a thermal conductive pad.

45 Amp Relay on SSR-HS Heatsink Derating



V: Heatsink mounted to a **vertical** surface
H: Heatsink mounted to a **horizontal** surface.

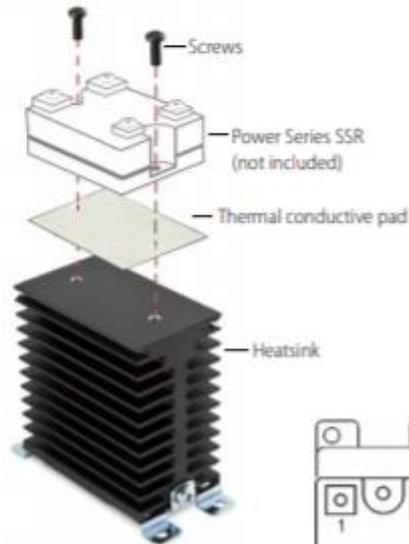
25 Amp Relay on SSR-HS Heatsink Derating



V: Heatsink mounted to a **vertical** surface
H: Heatsink mounted to a **horizontal** surface.

Heatsink Assembly

Before attaching the SSR, remove the protective film from both sides of the thermal pad, then place the pad on the heatsink making sure to align the holes. Secure the SSR to the heatsink with the two 8-32 x 3/8" panhead Phillips screws included in the kit. Use 20 in-lb (2.26 N-m) of torque.



NOTE: To take advantage of the cooling effect of natural air flow, mount the SSR/heatsink assembly to a vertical surface with the Opto 22 logo right side up as shown here.

Anexo N: Programación el algoritmo de control en la plataforma IDE de Arduino.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#define RESTART asm("jmp 0x0000")
#include "max6675.h"
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); //Definimos la pantalla LCD

//INPUTS
int Start = 22;
int Level= 26;

//OUTPUTS
int HotValve = 27;
int ColdValve= 31;
int Inducction=29;
int Motor=3;
int Motor2=33;
int Fan1=51;
int Fan2=53;

//Variables
int Temp;
int TemButtonCounter = 25;
int Tolerancia=3;
int pot;
int SetPoint;
int state=0;

//Config Termocupla
int thermoDO = 4;
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 6;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

//Config Caudalimetro
volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos
int PinSensor = 2; //Sensor conectado en el pin 2
float factor_conversion=7.11; //para convertir de frecuencia a caudal

//---Función que se ejecuta en interrupción-----
void ContarPulsos ()
{
  NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}

//---Función para obtener frecuencia de los pulsos-----
int ObtenerFrecuecia()
```

```
{
  int frecuencia;
  NumPulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
  interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
  delay(1000); //muestra de 1 segundo
  noInterrupts(); //Deshabilitamos las interrupciones
  frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia;
}
```

```
//Timer para control de lectura de Temperatura
```

```
unsigned long PreviousMillis= 0;
```

```
unsigned long CurrentMillis;
```

```
//Animación LCD
```

```
byte p20[8] = {
```

```
  B10000,
```

```
};
```

```
byte p40[8] = {
```

```
  B11000,
```

```
};
```

```
byte p60[8] = {
```

```
  B11100,
```

```
};
```

```
byte p80[8] = {
```

```
  B11110,
```

```
B11110,  
B11110,  
};  
byte p100[8] = {  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
};
```

```
void setup() {
```

```
  //Entradas
```

```
  pinMode(Start, INPUT);
```

```
  pinMode(Level, INPUT);
```

```
  //Salidas
```

```
  pinMode(HotValve, OUTPUT);
```

```
  pinMode(ColdValve, OUTPUT);
```

```
  pinMode(Inducction, OUTPUT);
```

```
  pinMode(Motor, OUTPUT);
```

```
  pinMode(Motor2, OUTPUT);
```

```
  pinMode(Fan1, OUTPUT);
```

```
  pinMode(Fan2, OUTPUT);
```

```
  //LCD
```

```
  lcd.begin(16, 2);    // Fijamos el numero de caracteres y filas
```

```
  lcd.createChar(0, p20);
```

```
  lcd.createChar(1, p40);
```

```
  lcd.createChar(2, p60);
```

```
  lcd.createChar(3, p80);
```

```
  lcd.createChar(4, p100);
```

```
  //Caudalimetro
```

```
  pinMode(PinSensor, INPUT);
```

```
  attachInterrupt(0, ContarPulsos, RISING); // (Interrupción 0 (Pin2), función, Flanco de subida)
```

```
  PreviousMillis=millis();
```

```
  // Espera para estabilizacion del acondicionador
```

```
  digitalWrite(Inducction, LOW);
```

```
  Temp = thermocouple.readCelsius();
```

```
  delay(500);
```

```

}

void loop() {

while(digitalRead(Start)==HIGH){

digitalWrite(Fan1, HIGH);
digitalWrite(Fan2, HIGH);
int InSet=analogRead(A0);
SetPoint=map(InSet, 0, 1024, 9, 46);

CurrentMillis=millis();

if(CurrentMillis>PreviousMillis+60000){
digitalWrite(Inducction, LOW);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Actualizando");
Animacion();
Temp = thermocouple.readCelsius();
digitalWrite(Inducction, HIGH);
PreviousMillis=millis();
}

else{
//Imprimir Datos en LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("T. Actual: C");
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print((char)223);
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print(Temp);

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("T. Deseada: C");
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print((char)223);
lcd.setCursor(12,1);
lcd.print(SetPoint);
delay(200);
lcd.clear();
}

Control(SetPoint, Temp, Tolerancia);

```

```

Fill();

if(SetPoint>=45){
  SetPoint_Up();
  lcd.clear();
}

if(SetPoint<=10){
  SetPoint_Down();
  lcd.clear();
}

}

if(digitalRead(Start)==LOW){

digitalWrite(Fan1, LOW);
digitalWrite(Fan2, LOW);

digitalWrite(HotValve, HIGH);
digitalWrite(ColdValve, HIGH);
digitalWrite(Inducction, LOW);
analogWrite(Motor, 0);
digitalWrite(Motor2, LOW);
delay(250);

Temp = thermocouple.readCelsius();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("System Ready");
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print("Press START");
delay(500);
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print("      ");
delay(500);
lcd.clear();
}

}

void Control(int set, double sensor, int t)
{

int inferior=set-t;

```

```

if (sensor>=set){
    state=1;
}
if (sensor>=(inferior)&& state==1){

    digitalWrite(HotValve, HIGH);
    digitalWrite(ColdValve, HIGH);
    state=1;

}

    else
    {
        digitalWrite(HotValve, LOW);
        digitalWrite(ColdValve, LOW);
        state=0;
    }

if ((set+t)>(sensor))
{
    digitalWrite(Inducction, HIGH);
    digitalWrite(Motor2, HIGH);
    Pump();
}

if ((set+t)<(sensor)){
    digitalWrite(Inducction, LOW);
    analogWrite(Motor, 0);
    digitalWrite(Motor2, LOW);
}
}

void Fill(){

if (digitalRead(Level)==HIGH){

digitalWrite(ColdValve, HIGH);
digitalWrite(HotValve, LOW);
float frecuencia=ObtenerFrecuecia(); //obtenemos la frecuencia de los pulsos en Hz
float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m

// Imprimo la cabecera del sistema
    lcd.clear();
    // Presento los valores a través del LCD 2004
    lcd.se

```

```

// Imprimo el caudal en L/hora
lcd.print("Caudal:");
lcd.print(caudal_L_m);
lcd.print(" L/min");
lcd.setCursor(0,1);
delay(2000000);

if(caudal_L_m<=0){
digitalWrite(Inducction, LOW);
analogWrite(Motor, 0);
digitalWrite(Motor2, LOW);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("ERROR: Revisar");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Entrada de Agua");
delay(200000);
}
asm("jmp 0x0000");

}

}

void SetPoint_Up(){
if (SetPoint>=45){
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("T. Actual: C");
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print((char)223);
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print(Temp);

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("T. Deseada: C");
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print((char)223);
lcd.setCursor(13,1);
lcd.print("MAX");
delay(1000);

}

}

void SetPoint_Down(){

```

```

if (SetPoint<=10){

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("T. Actual:  C");
    lcd.setCursor(13,0);
    lcd.print((char)223);
    lcd.setCursor(11,0);
    lcd.print(Temp);

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("T. Deseada:  C");
    lcd.setCursor(14,1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print("MIN");
    delay(1000);
}

}

void Pump(){

    int pot=analogRead(A1);
    pot=map(pot,0,1024,0,255);
    analogWrite(Motor, pot);

}

void Animacion(){
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("          ");

    for (int i = 0; i<16; i++)
    {

        for (int j=0; j<5; j++)
        {
            lcd.setCursor(i, 1);
            lcd.write(j);
            delay(50);
        }
    }
}
}

```

Anexo O: DataSheet Multimetro AideTek VC977



VC97 3999 B LCD
Auto range
multimeter
Capacitance...



New SMD SMT
0905 1% resistor kit
0 10M ohm 144V
10...



DWIN Oscilloscope
100MHz SDS7102V
1G 8" FFT LAN
VG...

**Aidetek VC97+ (Aidetek exclusive model) 3 3/4 39999
Auto Range digital Multimeter compared with FLUKE 17B**

UK ship by ROYAL MAIL + 1 year warranty

Features:

- 1.New type holster, streamline design;
- 2.Large LCD makes the reading clearly;
- 3.Strong antimagnetic and anti-jamming performance;
- 4.Full function protection,;
- 5.Unit symbol display, very easy to reading;
- 6.Relative value, frequency/duty cycle measuring, data hold.

Specifications:

Basic function	Range	Basic accuracy
DCV	400mV/4V/40V/400V/1000V	±(0.5%+4)
ACV	4V/40V/400V/1000V	±(0.8%+6)
DCA	400uA/4000uA/40mA/400mA/20A	±(1.0%+5)
ACA	400uA/4000uA/40mA/400mA/20A	±(1.5%+5)
Resistance	400Ω/4kΩ/40kΩ/400kΩ/4MΩ/40MΩ	±(0.8%+1)
Capacitance	4nF/40nF/ 400nF/4uF/40uF/200uF	±(3.5%+8)
Frequency	100Hz/1kHz/10kHz/100kHz/1MHz/30MHz	±(0.5%+4)
Centigrade temperature	-40C~1000C	±(0.8%+4)

Special function	VC97
Diode test	√
hFE test	√
Continuity test	Approx. less than 30Ω±0Ω
Low battery indication	Approx less than 2.4V
Duty cycle measuring	√
Data hold	√
Auto power off	Approx.15minutes
Function protect	√
Input impedance	10MΩ
Sampling rate	3times/s
AC frequency response	40-400Hz
Operation way	Manual or auto range
Max. display	4000
LCD size	65x41mm
Battery	3V AAx2
Power dissipation	Quiescent current approx. 2mA

General characteristic

Color	Body: dark grey, holster: orange (pantone No.:1495V)
Weight	290g(including battery)
Meter size	185x93x35mm
Standard accessory	Test leads, battery, manual, TP01 temperature probe

x
Anexo P: Manual de usuario



MANUAL DE USUARIO

*Sistema de sistema prototipo de calentamiento
eficiente de agua potable por inducción
electromagnética*



FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA



ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA E.C.
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES



Contenido

1. Información de seguridad

 DANGER	Advertencia de peligro directo para la salud de las personas. Pasar por alto esta indicación puede traer consecuencia de sufrir heridas de alto riesgo mortal.
 WARNING	Advertencia de peligro directo para la salud de las personas. Pasar por alto esta indicación puede traer consecuencia de sufrir heridas graves.
 CAUTION	Advertencia para manipulación apropiada por personal apto del sistema. Pasar por alto esta indicación puede traer consecuencia de sufrir heridas leves, daños o fallos del equipo.

Notas Fundamentales de Seguridad

El sistema ha sido desarrollado para la manipulación respetando técnicas de seguridad. Sin embargo, el uso inadecuado no acorde a los pasos estipulados en este documento puede provocar lesiones y heridas mortales para el usuario, así como daños a la integridad y funcionamiento de prototipo.

La instalación, mantenimiento y reparación del sistema del prototipo debe ser realizado por personal apto con conocimientos necesarios para comprender el funcionamiento del mismo.

Toda persona involucrada en la utilización del prototipo debe haber leído y entendido este documento siguiendo las instrucciones con exactitud.

Las modificaciones al sistema pueden derivar en daños que inhabiliten el funcionamiento apto o total del prototipo.

Los elementos de protección del sistema no pueden ser modificados, desmontados ni puestos fuera de funcionamiento pues estos aseguran la integridad del prototipo y el usuario en caso de fallas de funcionamiento.

2. Descripción del Prototipo

El Sistema de sistema prototipo de calentamiento eficiente de agua potable por inducción electromagnética tiene la finalidad de calentar agua a la temperatura deseada de hasta 45 °C de manera eficiente, con un mínimo de consumo energético brindando un ahorro económico y contribuyendo a la conservación del medio ambiente. Para su control cuenta



con una sencilla interfaz de usuario mediante la cual el usuario puede ingresar la temperatura deseada del agua.

Todos los elementos y equipos Constituyentes del sistema se encuentran descritos continuación:

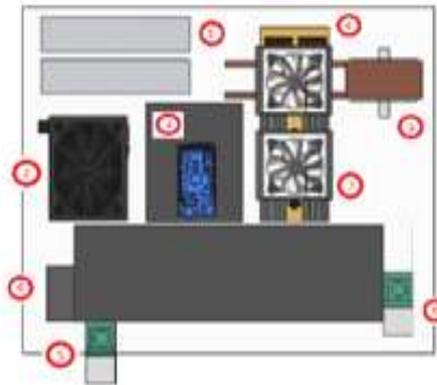
⚠ WARNING	Tenga presente que las conexiones y cableado del sistema están realizadas para el correcto funcionamiento del mismo. La modificación de las conexiones puede conllevar un desperfecto al funcionamiento del prototipo así como riesgo de daño al usuario.
------------------	---

2.1. Datos Técnicos

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	
Voltaje de Entrada	110	Vac	
Corriente máxima	10	A	
Potencia	1,2	kW	
Capacidad	7,5	L	
Eficiencia	<0.8		
Tipo de encendido	Manual		
Tipo de válvulas	Eléctricas		
Caudal Nominal			
Color	Blanco		
Consumo de energía			
Conexión Tubería de entrada	Rosca de 1/2"		
Conexión Tubería de Salida	Rosca de 1/2"		
Dimensiones:	Ancho	60	cm
	Alto	60	cm
	Profundidad	20	cm



2.2. Descripción de elementos |



1. Fuentes para alimentación del Sistema de inducción

Esta fuente de alimentación está constituida por dos fuentes conmutadas de 500 W conectadas en serie y son las encargadas de proveer la energía requerida para el funcionamiento óptimo del sistema de inducción el cual calentara el agua al pasar por la tubería sometida al campo electromagnético.

Características principales:

- Modelo: ALM35
- Fabricante: Nimo
- Potencia Nominal: 998.4 W
- Voltaje de Entrada: 90-132 VCA / 180-264 VCA (seleccionado por Interruptor)
- Voltaje de Salida: 48 VCC
- Corriente nominal de salida: 20.8 A
- Rendimiento: 87%

2. Fuente ATX

Esta Fuente suministra la energía necesaria para todo el sistema de control.

Características principales:



Modelo:
Fabricante: ATX
Potencia nominal: 500 W
Voltaje de Entrada: 110 VAC
Voltaje de salida: 5 VDC, 12 VDC
Corriente Nominal de salida: a 5 Vdc, a 12 Vdc

3. Placa de Control

La placa de control es la encargada de administrar y ejecutar el algoritmo de funcionamiento del prototipo, en la figura 26- 2 se muestra la distribución de elementos teniendo en cuenta la ubicación de sensores y actuadores de manera organizada para su fácil identificación.

- a) Controlador Arduino Mega
- b) Pines para conexión de pantalla LCD 16x2
- c) Potenciómetro de precisión para regulación de brillo de LCD
- d) Acondicionador max6687 para sensor termocupla tipo k
- e) Pines de conexión de Caudalímetro
- f) Bornes de conexión de sensor de Nivel
- g) Bornes de conexión de Switch de inicio
- h) Bornes de conexión de motor de recirculación de agua caliente.
- i) Bornes de conexión para electroválvula de salida de agua
- j) Bornes de conexión para relé control de encendido y apagado de la placa de inducción.
- k) Bornes de conexión para electroválvula de entrada de agua
- l) Bornes de conexión para motor de enfriamiento de bobina
- m) Bornes de conexión para Ventilador
- n) Potenciómetro de precisión para control de velocidad de bomba de recirculación e agua caliente
- o) Bornes de conexión de potenciómetro de selección de temperatura deseada
- p) Conectores para alimentación de placa de control.

4. Bombas de Agua



Existen dos bombas necesarias para la recirculación de agua a través del sistema. Una de las bombas es la encargada de circular un pequeño flujo de líquido por la tubería inducida transfiriendo el calor de la misma al agua desembocando en el contenedor, mientras que la otra bomba tiene la función de hacer circular agua a través de la bobina inductora para enfriarla evitando riesgos de sobrecalentamiento al prototipo.

Características Principales

Voltaje de entrada: 12 VDC

Corriente Nominal: 1 A

Caudal: 4 L/min

5. Válvula Solenoide de Entrada

Permite el paso de agua potable al sistema siempre y cuando el agua en el contenedor descienda por debajo de nivel de llenado de tanque.

Características Principales

- Voltaje de operación: 12V DC
- Corriente de operación: 0.6A
- Potencia consumo: 8W
- Temperatura de funcionamiento: 5°C a 100°C
- Presión de funcionamiento mínima: 0.02 MPa
- Presión de funcionamiento máximo: 0.8 MPa (8 Bar)
- Tiempo de respuesta (apertura): ≤ 0.15 s
- Tiempo de respuesta (cerrado): ≤ 0.3 s
- Conectores: Rosca externa 1/2" NPS Macho
- Normalmente cerrado
- Tipo de válvula: Diafragma

6. Válvula Solenoide de Salida

Permite la salida de agua caliente cuando este alcance la temperatura requerida por el usuario.



Características Principales

- Voltaje de operación: 12V DC
- Corriente de operación: 0.6A
- Potencia consumo: 8W
- Temperatura de funcionamiento: 5°C a 100°C
- Presión de funcionamiento mínima: 0.02 MPa
- Presión de funcionamiento máximo: 0.8 MPa (8 Bar)
- Tiempo de respuesta (apertura): ≤ 0.15 s
- Tiempo de respuesta (cerrado): ≤ 0.3 s
- Conectores: Rosca externa 1/2" NPS Macho
- Normalmente cerrado
- Tipo de válvula: Diafragma

7. Ventiladores

Su función es enfriar la placa de inducción evitando riesgos de sobre calentamiento de la misma.

Características Principales

- Modelo: VN-551
- Fabricante: EVL
- Voltaje de entrada: 12 VDC
- Corriente Nominal: 380 mA

8. Placa de Inducción

La placa de inducción es la encargada de calentar la tubería por donde fluirá el agua transmitiendo el calor al líquido.

Características Principales

- Voltaje de entrada: 48 VDC
- Corriente máxima: 20 A
- Potencia: 1000 W
- Frecuencia de trabajo: 42 kHz
- Inductancia de la bobina 4.85 μ H



9. Tubería inducida

Para asegurar una alta eficiencia la tubería inducida esta diseñada en acero inoxidable AISI 430.

Características Principales

- Material: Acero AISI 430
- Dimensiones: 1 x 1 x 10 cm (ancho x alto x largo)
- Espesor de lámina: 0.08 cm

3. INSTALACIÓN

 CAUTION	La instalación del prototipo debe efectuarse por una persona calificada y que siga las instrucciones aquí descritas.
--	--

El prototipo debe ser instalado en un lugar amplio, aislado de la lluvia.

3.1. Empotramiento

El prototipo cuenta con ángulos de soporte en sus laterales los cuales servirán para fijar al mismo en una pared mediante el uso de tornillos de ¼ por 2 pulgadas.

 CAUTION	Es de suma importancia que el equipo se encuentre nivelado y calibrado para su correcto funcionamiento.
--	---

Pasos:

- Verifique las condiciones de la pared donde se va a instalar el prototipo.
- Ubique en forma transitoria el prototipo a una altura no menor a 1.20 del suelo, nivelado y marque los agujeros de los ángulos de soporte en la pared.
- Retire el aparato con cuidado y proceda a perforar los agujeros anteriormente marcados.
- Coloque tacos fischer para tornillos de ¼ por 2 pulgadas en los agujeros.
- Vuelva a ubicar el prototipo asegurando que los agujeros de los ángulos de soporte coincidan con los agujeros de la pared.
- Finalmente proceda a ajustar los tornillos verificando que el prototipo se encuentre fijo sobre la pared y en perfectas condiciones.



3.2. Conexionado de tuberías|

El prototipo cuenta con una tubería de entrada y una salida las cuales constan de un acople universal para tubería de 1/2 pulgada en la cual se puede conectar de forma rápida y sencilla a las conexiones de agua del lugar a instalar.

3.3. Conexionado de Energía eléctrica

El prototipo cuenta con una entrada para la conexión de un cable de poder en su costado derecho en el cual se debe conectar a la red eléctrica.

⚠ CAUTION

Recuerde que el sistema trabaja a un voltaje de entrada de 110 VAC, conectar a un voltaje mayor provocaría daños irreversibles a los elementos del sistema así como riesgo de lesión al usuario.

4. INSTRUCCIONES DE USO

Una vez colocadas las tuberías de entrada y salida de agua es necesario seguir los siguientes pasos para poner en funcionamiento el sistema de calentamiento de agua:

- Accione el breaker ubicado en el costado derecho del prototipo.
- Aparecerá en la pantalla el mensaje "System Ready Press Start" lo que nos indica que el sistema se encuentra en espera. Cabe indicar que en este estado el agua comenzara a fluir libremente por la tubería de entrada llenando el contenedor para luego salir por la tubería de salida.
- Presione el Switch de encendido lo que cerrara la electroválvula de salida de agua y activara el sistema de inducción aumentando gradualmente la temperatura del agua.
- Con la perilla de la parte frontal seleccione la temperatura deseada para el agua una vez que el agua del contenedor cumpla con las condiciones de temperatura requerida la electroválvula de salida permitirá el paso del líquido.
- Espere a que el agua alcance la temperatura deseada y la válvula de salida se abrirá automáticamente.

⚠ CAUTION

El sistema cuenta con un mecanismo de detección de flujo ingreso de Agua, si en la pantalla se muestra el mensaje "Error: Revisar la entrada de agua" verifique que exista agua en la tubería de no ser así el sistema no iniciara el proceso de calentamiento.