



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

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

TEMA:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PERFIL DE
CALENTAMIENTO Y AGITACIÓN PARA UN TOSTADOR POR
RESISTENCIAS ELÉCTRICAS CON CAPACIDAD DE 25 LIBRAS DE
CAFÉ DE QUINUA”**

AUTOR: LENIN GONZALO POZO BENAVIDES

DIRECTOR: ING. GUSTAVO MOSQUERA

IBARRA – ECUADOR

2016



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003558366		
APELLIDOS Y NOMBRES:	LENIN GONZALO POZO BENAVIDES		
DIRECCIÓN:	CALLE MANTA 8-06 Y PORTOVIEJO (IBARRA)		
EMAIL:	lenin.gb@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	06-2-602-424	TELÉFONO MÓVIL:	980386551

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PERFIL DE CALENTAMIENTO Y AGITACIÓN PARA UN TOSTADOR POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS CON CAPACIDAD DE 25 LIBRAS DE CAFÉ DE QUINUA
AUTOR:	LENIN GONZALO POZO BENAVIDES
FECHA:	13 – 05 - 2016
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. GUSTAVO MOSQUERA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

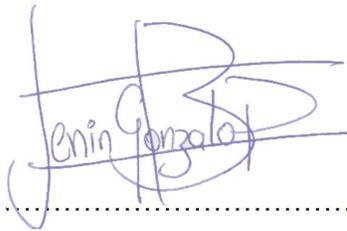
Yo, LENIN GONZALO POZO BENAVIDES, con cédula de identidad Nro. 100355836-6, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de mayo del 2016

EL AUTOR:



.....
Lenin Gonzalo Pozo Benavides



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, LENIN GONZALO POZO BENAVIDES, con cédula de identidad Nro. 100355836-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PERFIL DE CALENTAMIENTO Y AGITACIÓN PARA UN TOSTADOR POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS CON CAPACIDAD DE 25 LIBRAS DE CAFÉ DE QUINUA, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 13 días del mes de mayo de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Lenin Gonzalo Pozo Benavides", is written over a dotted line.

Lenin Gonzalo Pozo Benavides
100355836-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICADO DEL ASESOR

El señor Lenin Gonzalo Pozo Benavides ha trabajado en su totalidad en el desarrollo del proyecto de tesis "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PERFIL DE CALENTAMIENTO Y AGITACIÓN PARA UN TOSTADOR POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS CON CAPACIDAD DE 25 LIBRAS DE CAFÉ DE QUINUA", previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, trabajo que lo realizó con interés profesional y responsabilidad, es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "GUSTAVO MOSQUERA", is written over a horizontal dotted line.

ING. GUSTAVO MOSQUERA

DIRECTOR DEL PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, LENIN GONZALO POZO BENAVIDES, con cédula de identidad 100355836-6, declaro bajo juramento que este trabajo es de autoría propia, ya que no ha sido presentado para ningún trabajo de grado o calificación profesional; certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente trabajo.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte – Ibarra, según establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Lenin Gonzalo Pozo Benavides', written over a dotted line.

Lenin Gonzalo Pozo Benavides

100355836-6

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por haberme dado la vida y la valiosa experiencia dentro de las aulas en la Universidad Técnica del Norte la que me ha permitido obtener un nuevo logro en mi vida.

Un inmenso agradecimiento y gratitud al Ing. Fernando Valencia y al Ing. Gustavo Mosquera, por la guía en este proyecto de tesis, por los conocimientos que me han impartido a lo largo de este camino y sobre todo por su confianza y dedicación, gracias por las palabras de aliento en los momentos de duda.

Quiero agradecer a todos quienes han confiado en mí y quienes me han alentado para salir adelante y ser una persona mejor.

“Un momento de dolor vale toda una vida de gloria”

Louis Zamperini

“Per ardua ad Astra”

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia por su comprensión y el eterno amor que han sabido demostrarme a lo largo de mi vida, por sus enseñanzas y valores, por el gran ejemplo de perseverancia y unidad.

A mi mamá Guadalupe por ser la gestora de mi mayor regalo, la vida, por su entrega y amor, por el grandioso esfuerzo que ha puesto en mi educación, por la paciencia que me ha tenido y la incansable lucha para que sea alguien mejor.

A mis abuelitos, Gonzalo y Lola, por ser mi ejemplo de vida y trabajo; por ser comprensivos y sobre todo por haberme brindado una familia tan genial. Por ser el modelo de entrega y sacrificio.

A mis tías, Marlene y Dalba, por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación, por ser mis mentoras y guías.

A mis primos, Eliana, Fernanda y José, por llenar de locuras y alegrías mí día a día, por sus travesuras, y sobre todo por la confianza que me han tenido.

A mi novia, Jennifer Pamela, por brindarme toda la comprensión y amor que me motivan a salir adelante, a luchar por un mejor futuro. Por su paciencia y cariño, por las alegrías que me brinda; por ser la persona que mejor me conoce y entiende. Por su confianza y palabras de ánimo que han sido la fuerza necesaria para conseguir mis triunfos.

Gracias a ustedes que han sido mi motivación e inspiración.

RESUMEN

En el presente proyecto de tesis se demuestran los resultados de la investigación realizada para determinar si la implementación de un sistema de control para la máquina tostadora de café de quinua permite mejorar la homogeneidad del tostado del producto.

Para el desarrollo de este proyecto se ha realizado una investigación sobre el calentamiento con el uso de resistencias eléctricas para ser implementadas en la máquina tostadora de café de quinua desarrollada por la Srta. Jeniffer Pozo, para que en conjunto se pueda tostar café de quinua con una capacidad de 25 lb con una temperatura de 180°C en un tiempo de 45min.

Con las resistencias eléctricas se puede obtener un calentamiento mucho más preciso y manejable para el procesamiento de productos alimenticios, además con el uso de un sistema de control se puede mejorar las características de calentamiento de la máquina, también se aprovecha las ventajas de la electrónica de potencia moderna, los microcontroladores y sensores.

Disponiéndose así de una potencia de calentamiento de 7.2kW y un sistema de control basado en microcontrolador, un sensor termocupla tipo K además de un actuador relé de estado sólido, y contactores de arranque de la máquina y del motor del sistema de agitación controlado de manera automática.

El presente proyecto es una contribución al desarrollo investigativo y sirve como material bibliográfico para el desarrollo de nuevas investigaciones.

ABSTRACT

In the present thesis project, the results of the investigation are shown to determine if the implementation of a control system for the roaster coffee of quinoa allows improving the homogeneity of the toasting of the product.

For the development of this project has been made a research on global warming with the use of electric heating elements to be implemented in the toaster coffee machine quinoa developed by Miss Jeniffer Pozo, so altogether it can roast coffee of quinoa with a capacity of 25 pounds with a temperature of 180 ° C in a time of 45 min.

With the electric resistances can be warming much more precise and manageable for the processing of food products, in addition to the use of a control system can improve the characteristics of heating of the machine, is also leverages the advantages of modern power electronics, microcontrollers and sensors.

Provided as well a heating power of 7.2kW and a control system based on microcontroller, sensor Thermocouple Type K in addition to an actuator relay solid state, and contactors of starting of the machine and automatically-controlled agitation system engine.

This project is a contribution to the research development and serves as a bibliographic material for the development of new research.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	I
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	III
CERTIFICADO DEL ASESOR	IV
DECLARACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE GENERAL	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIX
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES DEL PROCESO DE TOSTADO DEL CAFÉ DE QUINUA Y CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 INTRODUCCIÓN.....	3
1.4 DESCRIPCIÓN DEL TOSTADO DEL CAFÉ DE QUINUA.....	4
1.4.1 PROPIEDADES Y BENEFICIOS DE CAFÉ DE QUINUA.....	4
1.4.2 PROCESO DE TOSTADO.....	5
1.4.3 MÁQUINA TOSTADORA DE CAFÉ DE QUINUA.....	6
1.5 CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS CALEFACTORAS	8
1.5.1 FUNDAMENTOS DEL CALENTAMIENTO POR RESISTENCIA	9
1.5.2 MÉTODOS DE CALENTAMIENTO	10
1.5.3 CLASIFICACIÓN DE LAS RESISTENCIAS	12
1.6 TRANSFERENCIA DE CALOR EN HORNOS	19
1.7 SISTEMA DE POTENCIA	20

1.7.2	RELÉ DE ESTADO SOLIDO (SSR)	25
1.7.3	MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	28
1.8	CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN.....	31
1.8.1	FUNDAMENTOS DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN.....	31
1.9	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CALENTAMIENTO.....	49
1.10	MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL	50
1.10.1	IDENTIFICACIÓN	51
CAPÍTULO 2		57
DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS.....		57
1.11	CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	58
1.12	SELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	69
1.13	DISEÑO DEL HARDWARE DE POTENCIA	78
1.13.1	CIRCUITO DE SINCRONIZACIÓN	78
1.13.2	CIRCUITO DE DISPARO Y AISLAMIENTO.....	81
1.14	DISEÑO DEL HARDWARE DE CONTROL	87
1.15	SELECCIÓN DE LA FUENTE DE VOLTAJE	89
1.16	SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO LÓGICO PROGRAMABLE	90
1.17	CIRCUITO DE CONTROL	92
1.18	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN.....	93
1.18.1	SELECCIÓN DE FUSIBLE	94
1.18.2	SELECCIÓN DEL CONTACTOR	96
1.18.3	SELECCIÓN DEL RELÉ TÉRMICO.....	97
1.19	SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES PARA EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.....	98
1.20	SELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN GENERAL	100
CAPÍTULO 3		101
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL TOSTADOR POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....		101
1.21	PERFIL DE CALENTAMIENTO	102

1.22 PROCESO DE MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	104
1.22.1 RECOLECCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES.....	104
1.23 IDENTIFICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	107
1.24 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROLADOR.....	112
1.25 SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PID.....	114
1.26 INTERFAZ DE USUARIO.....	118
1.27 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	120
CAPÍTULO 4.....	121
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA	121
1.28 IMPLEMENTACIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	122
1.29 CABLEADO DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	124
1.30 INSPECCIÓN.....	125
1.31 INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL	126
1.31.1 HARDWARE PARA MOTOR.....	126
1.31.2 HARDWARE PARA CALENTADOR.....	127
1.31.3 HARDWARE DE CONTROL	129
1.31.4 PANEL DE CONTROL	130
1.32 PRUEBAS	132
1.32.1 PRUEBA DE CALENTAMIENTO	132
1.32.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL	133
1.33 COSTOS	135
CAPÍTULO 5.....	137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
1.34 CONCLUSIONES.....	137
1.35 RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA.....	141
ANEXOS.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: CAFÉ DE QUINUA	4
FIGURA 1.2: PROCESO DE TOSTADO: (A) TAMIZADO DE HARINAS (B) TUESTE	5
FIGURA 1.3: TUESTE DEL CAFÉ DE QUINUA.....	6
FIGURA 1.4: MÁQUINA TOSTADORA DE CAFÉ DE QUINUA.....	7
FIGURA 1.5: PARTES DE LA MÁQUINA TOSTADORA	8
FIGURA 1.6: SOLDADORA POR RESISTENCIAS	10
FIGURA 1.7: HORNO DE RESISTENCIAS PARA FUNDICIÓN	11
FIGURA 1.8: RESISTENCIA DE SiC EN ESPIRAL TIPO TSR.....	16
FIGURA 1.9: RESISTENCIA DE MoSi2	17
FIGURA 1.10: TUBO RADIANTE ELÉCTRICO SERIE TR	18
FIGURA 1.11: SECCIÓN DE UNA RESISTENCIA BLINDADA	18
FIGURA 1.12: DISPOSICIÓN DE LAS CÁMARAS Y ELEMENTOS CALEFACTORES	20
FIGURA 1.13: CONFIGURACIÓN ANTI PARALELO DEL SCR	21
FIGURA 1.14: VOLTAJE DE SALIDA RESPECTO AL ÁNGULO DE FASE.....	22
FIGURA 1.15: POTENCIA Y CORRIENTE VS. ÁNGULO DE CONDUCCIÓN.....	23
FIGURA 1.16: CICLOS APLICADOS A LA CARGA.....	23
FIGURA 1.17: CICLOS APLICADOS A LA CARGA.....	24
FIGURA 1.18: REPRESENTACIÓN ELECTRÓNICA DEL SSR	25
FIGURA 1.19: CURVA CARACTERÍSTICA DE UN RTD VS. TERMISTOR.....	28
FIGURA 1.20: CIRCUITO EQUIVALENTE TERMOCUPLAS	29
FIGURA 1.21: SENSOR DE TEMPERATURA TIPO K.....	29
FIGURA 1.22: VARIACIÓN DE LA SENSIBILIDAD RESPECTO A LA TEMPERATURA.....	30
FIGURA 1.23: APLICACIONES DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN.....	31
FIGURA 1.24: ANALOGÍA DE UN TRANSFORMADOR CON EL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	32
FIGURA 1.25: DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD DE LA CORRIENTE DE FOUCAULT	34
FIGURA 1.26: CURVA DE EVOLUCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA DIFERENTES MATERIALES	34
FIGURA 1.27: FORMA DE INDUCTOR PARA SISTEMA DE CALENTAMIENTO	35
FIGURA 1.28: CABLE TRENZADO	37
FIGURA 1.29: ESTRUCTURA DE UN CABLE TRENZADO CON LA TRAYECTORIA DE UNA HEBRA DE LONGITUD λ_c	38

FIGURA 1. 30: VISTA TRANSVERSAL DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	38
FIGURA 1. 31: CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR LA BOBINA.....	39
FIGURA 1. 32: DISTRIBUCIÓN DE LA POTENCIA A TRAVÉS DE LA PIEZA DE TRABAJO.....	40
FIGURA 1. 33: FERRITA	41
FIGURA 1. 34: SISTEMA DE POTENCIA PARA EL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN.....	41
FIGURA 1. 35: PERDIDAS POR LA CONMUTACIÓN	42
FIGURA 1. 36: CURVA DE FRECUENCIA	43
FIGURA 1. 37: ESPECTRO AUDIBLE	44
FIGURA 1. 38: CIRCUITOS RESONANTES.....	44
FIGURA 1. 39: CIRCUITO DE POTENCIA CON TOPOLOGÍA DE INVERSOR RESONANTE EN MEDIO PUENTE.....	45
FIGURA 1. 40: SISTEMA DE POTENCIA CON INVERSOR QUASI-RESONANTE.....	46
FIGURA 1. 41: CIRCUITO RESONANTE EQUIVALENTE	47
FIGURA 1. 42: FORMAS DE ONDA DEL CIRCUITO DE POTENCIA	47
FIGURA 1. 43: MODO DE OPERACIÓN 1	48
FIGURA 1. 44: MODO DE OPERACIÓN 2	48
FIGURA 1. 45: MODO DE OPERACIÓN 4	49
FIGURA 1.46: CURVA DE REACCIÓN	52
FIGURA 2.1: ESQUEMA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS.....	57
FIGURA 2. 2: FLUJOS DE CALOR EN LA MÁQUINA TOSTADORA	59
FIGURA 2.3: CAPAS DE LA CÁMARA DE TOSTADO Y CALENTAMIENTO	61
FIGURA 2.4: REPRESENTACIÓN DE LAS RESISTENCIAS TÉRMICAS	61
FIGURA 2.5: ELEMENTOS QUE GENERAN RESISTENCIA EN LAS CÁMARAS	66
FIGURA 2.6: CIRCUITO EQUIVALENTE DE RESISTENCIAS.....	66
FIGURA 2.7: TEMPERATURA MÁXIMA VS. MATERIAL	70
FIGURA 2.8: PASOS PARA LA SELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	73
FIGURA 2.9: POTENCIA SUPERFICIAL VS. POTENCIA LINEAL.....	75
FIGURA 2.10: CONFIGURACIÓN U.....	76
FIGURA 2.11: TERMINAL TIPO AB	77
FIGURA 2.12: RESISTENCIA TIPO U DE ACERO INOXIDABLE	77
FIGURA 2.13: CIRCUITO DE SINCRONIZACIÓN	79
FIGURA 2.14: PULSOS GENERADOR POR EL CIRCUITO DE SINCRONIZACIÓN	79

FIGURA 2.15: RELACIÓN DE LA CORRIENTE TRANSITORIA Y LA CORRIENTE NORMAL	82
FIGURA 2.16: CONEXIÓN DEL SSR Y LA CARGA.....	86
FIGURA 2. 17: CONEXIÓN DEL MAX6675 Y TERMOCUPLA K	88
FIGURA 2. 18: FUENTE DE VOLTAJE MEAN WELL T-50B.....	90
FIGURA 2. 19: CIRCUITO DE CONTROL MÁQUINA TOSTADORA.....	93
FIGURA 2.20: GRÁFICA DE SELECCIÓN PARA CONTACTOR CATEGORÍA AC3	96
FIGURA 2.21: CONTACTOR MC-06B.....	97
FIGURA 2.22: RELÉ TÉRMICO MT32	98
FIGURA 2.23: GRÁFICA DE SELECCIÓN PARA CONTACTOR CATEGORÍA AC1	99
FIGURA 3.1: ETAPAS DEL SISTEMA DE CONTROL	101
FIGURA 3.2: PERFIL DE CALENTAMIENTO PARA EL TOSTADO DE CAFÉ DE QUINUA	103
FIGURA 3. 3: EXTRACCIÓN DEL PRODUCTO	104
FIGURA 3.4: INTERFAZ DE ADQUISICIÓN DE DATOS MATLAB	105
FIGURA 3.5: DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	105
FIGURA 3. 6: CURVA DE REACCIÓN DEL PROCESO DE TOSTADO	107
FIGURA 3. 7: RESULTADOS Y PORCENTAJES DE APROXIMACIÓN MODELOS DE PRIMER ORDEN.....	111
FIGURA 3. 8: RESULTADOS Y PORCENTAJES DE APROXIMACIÓN MODELOS DE SEGUNDO ORDEN.....	111
FIGURA 3.9: GRAFICA DEL PUNTO DE INFLEXIÓN PARA LA SINTONIZACIÓN DE CONTROLADOR	115
FIGURA 3.10: RESPUESTA ANTE LA ENTRADA ESCALÓN CONTROLADORES SINTONIZADOS.....	117
FIGURA 3.11: ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL	118
FIGURA 4.1: DIAGRAMA DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	121
FIGURA 4.2: UBICACIÓN Y COLOCACIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	122
FIGURA 4.3: INSTALACIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS EN EL BASTIDOR DE LA MÁQUINA.....	123
FIGURA 4.4: CONEXIÓN EN PARALELO DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	124
FIGURA 4. 5: CABLEADO DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	125
FIGURA 4.6: PLACA DEL MOTOR WEG ¼ HP	126

FIGURA 4.7: INSTALACIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL PARA MOTOR.....	127
FIGURA 4.8: INSTALACIÓN DE CIRCUITO PARA CALENTADOR	128
FIGURA 4.9: FABRICACIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL	129
FIGURA 4.10: INSTALACIÓN E INSPECCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL	129
FIGURA 4.11: PANEL DE CONTROL	130
FIGURA 4.12: UBICACIÓN DEL PANEL DE CONTROL	131
FIGURA 4.13: INSTALACIÓN DEL CONJUNTO GABINETE - PANEL DE CONTROL.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: CONTENIDO DEL VALOR NUTRITIVO DE LA QUINUA Y OTROS PRODUCTOS.....	5
TABLA 1. 2: CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE NÍQUEL-CROMO	12
TABLA 1. 3: CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE HIERRO-CROMO-ALUMINIO.....	13
TABLA 1.4: RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA ALEACIONES DE FE-CR-AL.....	15
TABLA 1. 5: RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA ALEACIONES DE NI-CR.....	15
TABLA 1. 6: CARACTERÍSTICAS DE LAS RESISTENCIAS CALEFACTORAS	19
TABLA 1.7: TIPOS DE MONTAJE DE SSR Y SUS APLICACIONES	27
TABLA 1. 8: RELACIÓN ENTRE PARTES DEL TRANSFORMADOR Y CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN	33
TABLA 1.9: PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DEL MÉTODO DE CALENTAMIENTO	49
TABLA 1.10: CONSTANTES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS MODELOS	55
TABLA 2. 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS MATERIALES PARA RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	71
TABLA 2. 2: CRITERIOS TÉCNICOS DE LAS RESISTENCIAS METÁLICAS	72
TABLA 2. 3: TEMPERATURA MÁXIMA PARA DIFERENTES MATERIALES DE RESISTENCIAS...	74
TABLA 2.4: VOLTAJE MÁXIMO PARA CADA DIÁMETRO ESTÁNDAR.....	74
TABLA 2.5: PARÁMETROS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA MÁQUINA TOSTADORA.....	81
TABLA 2.6: AMPERAJE RECOMENDADO PARA SSR.....	82
TABLA 2.7: CARACTERÍSTICAS SSR 40AA DE LA MARCA CNC	83
TABLA 2.8: DISIPADORES DISPONIBLES EN EL MERCADO.....	86
TABLA 2.9: VALORES RECOMENDADOS PARA VARISTOR	87
TABLA 2.10: TRANSDUCTORES PARA TERMOCUPLAS TIPO K.....	88
TABLA 2.11: VOLTAJES NECESARIOS PARA EL SISTEMA	89
TABLA 2.12: ESPECIFICACIONES DE LAS SALIDAS DE LA FUENTE MEAN WELL T-50B.....	89
TABLA 2. 13: REQUERIMIENTOS DE HARDWARE	90
TABLA 2. 14: COMPARATIVA ENTRE DISPOSITIVOS DE LAS MARCAS ATMEL Y MICROCHIP.....	92
TABLA 2. 15: CARACTERÍSTICAS MOTOR ELÉCTRICO ¼ HP WEG	94
TABLA 2. 16: FACTOR DE SEGURIDAD PARA FUSIBLES	95
TABLA 2.17: DATOS PARA LA SELECCIÓN DE CONTACTORES	96

TABLA 3. 1: RESULTADOS DE TEMPERATURA EN LA PRUEBA DE CAMPO	103
TABLA 3. 2: PARÁMETROS DE LA PRUEBA PARA IDENTIFICACIÓN DE MODELOS	106
TABLA 3. 3: DATOS EXPERIMENTALES DE LA TEMPERATURA	106
TABLA 3.4: RESULTADOS POR LOS MÉTODOS DE PRIMER ORDEN	109
TABLA 3. 5: RESULTADOS POR LOS MÉTODOS DE SEGUNDO ORDEN.....	110
TABLA 3.6: EFECTOS DEL CONTROL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	112
TABLA 3.7: CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE CONTROL.....	113
TABLA 3.8: APLICACIONES DE LOS TIPOS DE CONTROLADORES	113
TABLA 3. 9: REGLAS DE SINTONIZACIÓN	116
TABLA 3. 10: RESULTADOS DE LA SINTONIZACIÓN PID	116
TABLA 3. 11: PARÁMETROS DE EVALUACIÓN PARA CONTROLADORES SINTONIZADOS...	117
TABLA 3.12: DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL	119
TABLA 4.1: CARACTERÍSTICAS DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS TIPO U.....	122
TABLA 4.2: RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DEL CABLEADO DE LAS RESISTENCIAS.....	125
TABLA 4. 3: CABLE AWG 16.....	127
TABLA 4. 4: CABLE AWG10.....	128
TABLA 4.5: RESULTADOS DEL CALENTAMIENTO SIN CONTROLADOR	132
TABLA 4. 6: RESULTADOS TIEMPO DE CALENTAMIENTO PARA 180°C	133
TABLA 4. 7: RESULTADO DE TEMPERATURA CON CONTROLADOR.....	134
TABLA 4. 8: COSTO DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	135

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1.1: RESISTENCIA ELÉCTRICA DE UN MATERIAL	14
ECUACIÓN 1.2: GANANCIA	54
ECUACIÓN 1.3: CONSTANTE DE TIEMPO	54
ECUACIÓN 1.4: TIEMPO MUERTO	54
ECUACIÓN 2.1: RESISTENCIA TÉRMICA POR CONVECCIÓN	59
ECUACIÓN 2.2: RESISTENCIA TÉRMICA POR CONDUCCIÓN	60
ECUACIÓN 2.3: RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL	61
ECUACIÓN 2.4: RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE LOS FACTORES TÉRMICOS	62
ECUACIÓN 2.5: FLUJO DE CALOR	63
ECUACIÓN 2.6: FLUJO MÁSIICO	63
ECUACIÓN 2.7: CALOR APROVECHADO	64
ECUACIÓN 2.8: RESISTENCIA TOTAL PARA EL CALOR PERDIDO	67
ECUACIÓN 2.9: CALOR PERDIDO	69
ECUACIÓN 2.10: LONGITUD DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA	75
ECUACIÓN 2.11: VOLTAJE DE SALIDA DEL DIVISOR DE VOLTAJE	80
ECUACIÓN 2.12: POTENCIA DISIPADA	84
ECUACIÓN 2.13: RESISTENCIA TÉRMICA DEL DISIPADOR	85
ECUACIÓN 2.14: CORRIENTE DEL FUSIBLE	95
ECUACIÓN 2.15: CORRIENTE MÍNIMA DEL RELÉ TÉRMICO	97
ECUACIÓN 2.16: CORRIENTE MÁXIMA DEL RELÉ TÉRMICO	97
ECUACIÓN 2.17: CORRIENTE DEL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO	100
ECUACIÓN 3.1: FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE PRIMER ORDEN CON TIEMPO MUERTO	108
ECUACIÓN 3.2: GANANCIA ESTÁTICA	108
ECUACIÓN 3.3: CONSTANTE DE TIEMPO	108
ECUACIÓN 3.4: TIEMPO MUERTO APARENTE	108
ECUACIÓN 3.5: FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE SEGUNDO ORDEN DE DOBLE POLO CON TIEMPO MUERTO	110
ECUACIÓN 3.6: FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	112
ECUACIÓN 3.7: GANANCIA K_I	116
ECUACIÓN 3.8: GANANCIA K_D	116

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROCESO DE TOSTADO DEL CAFÉ DE QUINUA Y CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de control por perfil de calentamiento y agitación para una máquina tostadora de resistencias eléctricas para homogeneizar el tostado de 25 libras de café de quinua.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los valores adecuados de temperatura y velocidad de agitación para un tostado homogéneo del café de quinua.
- Diseñar un sistema de calentamiento resistencias que permita tostar de manera adecuada el café de quinua.
- Implementar un sistema de control para los sistemas de calentamiento y agitación.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de calentamiento.
- Realizar pruebas y calibraciones del sistema de control

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la provincia de Imbabura se produce un sustituto de café con un buen aroma y sabor; utilizando como ingrediente principal la harina de quinua en una mezcla con trigo y haba. El proceso para la elaboración de este producto se lo realiza de manera artesanal y sin ninguna protección para la persona, utilizando una estufa de leña y la fuerza humana.

El proceso cuenta con algunas etapas entre las que se destacan el precalentamiento, tostado y enfriado de la mezcla porque tienen mayor influencia en el producto final, afectando directamente al aroma y sabor. En el precalentamiento de la estufa se presenta el problema por el difícil control de la llama por tal razón no se puede mantener una temperatura adecuada ni constante. En la fase de tostado se debe cambiar a una temperatura mayor por lo que se ingresa más leña a la estufa. Y por último se debe enfriar para evitar que la mezcla se queme y se pueda empacar. Se agita la mezcla de manera diferente en cada una de las etapas, para impedir que esta se pegue al recipiente y por consecuencia se queme, lo que implica que el producto no cuente con un sabor uniforme.

Al implementar un sistema de control en el tostador, permitirá mejorar la homogeneidad de tostado del café de quinua siguiendo un calentamiento y agitación adecuados. Esto además disminuirá las pérdidas económicas, y mejorará las condiciones a las que se expone el trabajador.

1.3 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las personas buscan productos que se caractericen por su alto contenido proteínico y que permitan llevar una dieta saludable. Además, la importancia que tiene la quinua por su valor cultural, convierte al café de quinua en un sustituto del café tradicional sin tener que dejar de disfrutar de su aroma y sabor característico.

El uso de productos autóctonos del Ecuador ha llevado a centrarse en la quinua como opción para la producción de derivados manteniendo las características que diferencian a la quinua de otros cereales. El aprovechamiento de la quinua hace que el café de quinua sea apto para todos, desde niños hasta personas con restricciones del consumo de café tradicional.

Para la elaboración de este producto el proceso más importante es el tostado porque este define el color y el aroma que caracteriza a un café. El factor más significativo es la temperatura de tostado, porque es determinante en las características del producto.

Las máquinas facilitan la elaboración u obtención de diferentes productos y suministran una vía más confiable para el control de los factores más relevantes de los procesos. No es una excepción la producción de café de quinua que requiere tecnificar y mejorar la calidad de la elaboración de este producto.

Para poder aprovechar además los beneficios de la tecnología se presenta como alternativa a los sistemas de calentamiento el método de resistencias, que permite beneficiarse de la energía eléctrica como medio de calentamiento. Aunque el

calentamiento por resistencias es un método conocido desde hace mucho tiempo atrás es en la actualidad que se le presta la atención necesaria.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL TOSTADO DEL CAFÉ DE QUINUA

El café de quinua se obtiene luego del procesamiento de las materias primas que lo componen, que son: quinua, trigo y haba. El principal proceso es el tostado y mezcla de los ingredientes, porque este permite obtener el aroma y sabor característico a un café, como se muestra en la **Figura 1.1**.



Figura 1.1: Café de quinua

1.4.1 PROPIEDADES Y BENEFICIOS DE CAFÉ DE QUINUA

El café de quinua se caracteriza especialmente por el aporte nutricional de la harina quinua, según la FAO (2011), esta tiene un aporte entre el 12.81% y 21.9% de proteínas, por tal razón se la considera como un alimento completo.

Además de este beneficio la quinua puede aportar a la seguridad alimentaria mundial por su variabilidad genética, factibilidad de cultivo en diversas condiciones y aplicaciones tradicionales e industriales. (FAO, 2011)

Este producto se ha convertido en un nuevo ingreso para las personas y pueblos que se dedican al cultivo y producción de derivados de la quinua. Su excelente aceptabilidad se debe a las características que esta tiene en comparación con otros productos, como se muestra en la **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1: Contenido del valor nutritivo de la quinua y otros productos.

Componentes (%)	Quinua	Carne	Huevo	Queso	Leche Vacuna	Leche Humana
Proteínas	13,00	30,00	14,00	18,00	3,50	1,80
Grasas	6,10	50,00	3,20		3,50	3,50
Hidratos de carbono	71,00					
Azúcar					4,70	7,50
Hierro	5,20	2,20	3,20		2,50	
Calorías 100 g	350	431	200	24	60	80

Fuente: (FAO, 2011)

1.4.2 PROCESO DE TOSTADO

El proceso de tostado se realiza de manera artesanal y presenta cierta problemática por el uso de recursos caseros, este proceso tiene influencia en el producto final.

El proceso consiste en el tamizado previo de las harinas y tostado, como muestra la **Figura 1.2**.



(a)



(b)

Figura 1.2: Proceso de tostado: (a) tamizado de harinas (b) tueste

El tostado consiste en calentar un recipiente, en este caso una olla de bronce, en una estufa de leña para luego añadir la harina y esta se tuesta, como muestra la **Figura 1.3**. La temperatura es un factor importante porque de esta depende la calidad del producto, si la temperatura no es suficiente la harina no se tuesta y por el contrario si la temperatura es muy elevada el café de quinua se quema y pierde su sabor y aroma característico.



Figura 1.3: Tueste del café de quinua

1.4.3 MÁQUINA TOSTADORA DE CAFÉ DE QUINUA

La máquina tostadora de quinua permite convertir el proceso de artesanal a un mecánico, con el fin de facilitar la producción del café de quinua. La máquina tiene ventajas frente al tostado artesanal, como son: (Pozo, 2016)

- Se obtiene un producto más homogéneo,
- Mejora del proceso y del producto,
- Mayor facilidad de producción,
- Reducción de gases contaminantes,
- Seguridad para el operario.

La tostadora está compuesta básicamente por un recipiente que contiene la mezcla de harinas, y este se calienta para poder dar paso al proceso de tostado. El contenedor gira impulsado por un motor, que permite mantener al café de quinua en constante agitación para evitar que estas se peguen a las paredes y se quemen, como muestra la **Figura 1.4**.



Figura 1.4: Máquina tostadora de café de quinua
Fuente: (Pozo, 2016)

1.4.3.1 Partes de la máquina tostadora

La máquina tostadora de café de quinua consta de tres partes fundamentales para su funcionamiento, estas son la cámara de tostado, cámara de calentamiento y sistema motriz. La **Figura 1.5** muestra las partes de la máquina.

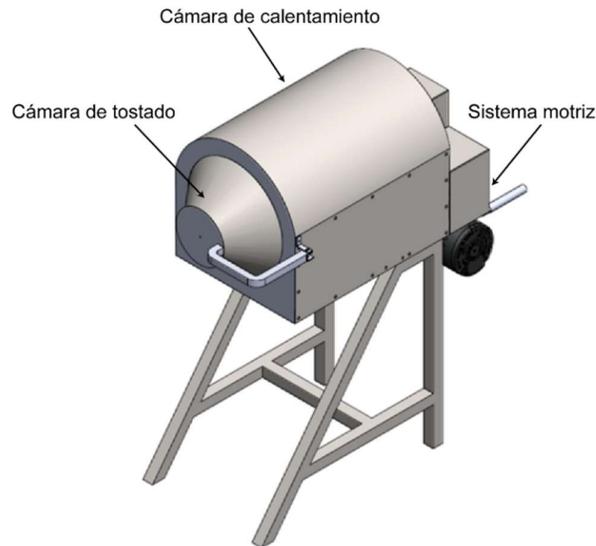


Figura 1.5: Partes de la máquina tostadora

Fuente: (Pozo, 2016)

La cámara de tostado es el lugar donde se encuentra la materia prima para ser tostada, este elemento es básicamente un cilindro con una boca en forma de cono, sus dimensiones son de 0.4m de diámetro y 0.75m de longitud.

La cámara de calentamiento es donde se ubican las resistencias eléctricas que permiten el calentamiento de la cámara de tostado.

El sistema motriz permite generar el movimiento necesario para que la cámara de tostado pueda mover la materia prima dentro de la misma, de esta manera se evita que el producto se queme.

1.5 CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS CALEFACTORAS

Este tipo de calentamiento también es conocido como calentamiento óhmico o de Joule, porque se basa fundamentalmente en la ley de Joule, que describe a una corriente que atraviesa por un conductor y por efectos de la resistencia natural que posee el material conductor se produce calor. (Casini, 2011)

El calentamiento por resistencia tiene un amplio campo de aplicación tanto dentro de la industria como también en ciertas aplicaciones domésticas, entre las principales aplicaciones se tiene:

- Tratamiento térmico de los materiales
- Fusión de metales
- Pre-calentamiento
- Soldadura
- Sinterización
- Revestimiento
- Templado de vidrio
- Cocinas
- Hornos

1.5.1 FUNDAMENTOS DEL CALENTAMIENTO POR RESISTENCIA

Como principal fundamento se tiene los descubrimientos de James Prescott Joule, sobre los efectos de la corriente en un conductor enunciando de esta manera la famosa ley del calentamiento de Joule que dice: (Casini, 2011)

- “La cantidad de calor producido por una corriente que pasa por un conductor, es proporcional al cuadrado de la cantidad de corriente que fluye en el circuito, cuando la resistencia eléctrica del cable y el tiempo que fluye la corriente es constante”
- “La cantidad de calor producido es proporcional a la resistencia eléctrica del cable cuando la corriente en el circuito y el tiempo que fluye la corriente es constante”

- “El calor generado debido al flujo de corriente es proporcional al tiempo que la corriente fluye, cuando la resistencia y la cantidad de corriente son constantes”

1.5.2 MÉTODOS DE CALENTAMIENTO

Con el uso de calentadores eléctricos se tiene dos tipos de calentamiento que puede ser directo o indirecto. Se dividen así por las aplicaciones que permite cada uno de los tipos y en especial sus ventajas.

1.5.2.1 Calentamiento directo

El calentamiento directo se da cuando la corriente eléctrica cruza a través de la pieza de trabajo, de esta manera la misma pieza produce el calor. Este tipo de calentamiento es conveniente para el calentamiento de piezas metálicas con una gran longitud y una sección transversal pequeña tales como varillas, alambres, pletinas y barras. Las aplicaciones más comunes son laminación, forja y conformado en caliente, en la **Figura 1.6** se muestra una aplicación del calentamiento directo.



Figura 1.6: Soldadora por resistencias

Fuente: (Nacimba, 2011)

1.5.2.2 Calentamiento indirecto

El calentamiento indirecto ocurre cuando la corriente que atraviesa por las resistencias calefactoras no tiene contacto con la pieza de trabajo, para que se pueda transmitir el calor hacia la carga se sirve de la radiación, convección o una composición de ambos métodos de transmisión de calor, en la **Figura 1.7** se muestra un ejemplo de calentamiento indirecto.



Figura 1 7: Horno de resistencias para fundición

Fuente: (Hornos del Valles, 2016)

Esta forma de calentamiento es muy utilizada dentro de la industria y en aparatos domésticos, la principal característica de este calentamiento es el tipo de resistencias que se utiliza para cada una de las aplicaciones, así se tiene, por ejemplo:

- Cámaras de calentamiento con resistencias dispuestas en sus paredes que generan calor en la carga.
- Calefacción en donde se dispone de una resistencia calefactora que calienta un fluido generado por un ventilador y es enviado hacia la carga por convección.

1.5.3 CLASIFICACIÓN DE LAS RESISTENCIAS

Las resistencias de calentamiento o calefactoras para el método de calentamiento indirecto se clasifican de la siguiente manera:

1. Metálicas
2. No metálicas
3. Tubos radiantes
4. Resistencias blindadas

1.5.3.1 Resistencias metálicas

Este tipo de resistencias están fabricados principalmente de tres tipos de materiales que son:

1. Aleación de base Ni-Cr: En este grupo existe una gran gama de diferentes porcentajes de aleaciones, es la más utilizada en hornos eléctricos, y su mejor representante es la aleación 80Ni-20Cr que tiene un porcentaje de 80% de níquel y 20% de cromo, en la **Tabla 1.2** muestra diferentes aleaciones en base Ni-Cr y ciertas propiedades.

Tabla 1. 2: Clasificación de las aleaciones de Níquel-Cromo

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Composición aproximada:						
Ni %	80	70	60	37	30	20
Cr %	20	30	15	18	20	25
Fe %	<1	<1	20	40	45	50
Densidad kg/m ³	8.300	8.100	8.200	7.900	7.900	7.800
Temperatura de fusión °C	1.400	1.380	1.390	1.390	1.390	1.380
Temperatura máxima de utilización °C	1.200	1.250	1.150	1.100	1.100	1.050
Calor específico a 20 °C kJ/kg·K	0,45	0,45	0,45	0,46	0,50	0,50
Conductividad térmica W/mk a 20 °C	15	14	13	13	13	13
Coefficiente dilatación lineal 20-1.000 °C/°C ⁻¹	18	18	17	19	19	19
Resistencia a la rotura 20 °C N/mm ²	700	800	700	700	700	700
900 °C N/mm ²	100	100	100	120	120	120
Resistencia al creep 800 °C N/mm ²	15	15	15	20	20	20
1.000 °C N/mm ²	4	4	4	4	4	4

Fuente:(Méndez & Suasnavas, 2012)

2. Aleación de base Fe-Cr-Al: Para esta aleación en la **Tabla 1.3** se muestra sus propiedades.

Tabla 1. 3: Clasificación de las aleaciones de Hierro-Cromo-Aluminio

Aleación	22-6 PM	22-6	22-5	22-4	14-4
Composición química aproximada					
Cr %	22	22	22	22	14
Al %	5,8	5,8	5,3	4,8	4
Fe %	70	70	72	73	80
Densidad kg/m ³	7.100	7.100	7.150	7.250	7.300
Temperatura de fusión °C	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Temperatura máxima utilización °C	1.400	1.400	1.400	1.300	1.100
Calor específico a 20 °C kJ/kg·K	0,46	0,46	0,46	0,46	0,48
Calor específico medio a 0-1.000 °C kJ/kg·K	0,54	0,54	0,54	0,54	0,56
Conductividad térmica a 20 °C W/mK	13	13	13	13	15
Coefficiente dilatación lineal 20-1.000 °C 10 ⁶ °C ⁻¹	15	15	15	15	15
Resistencia a la rotura 20 °C N/mm ²	750	800	800	800	700
900 °C N/mm ²	40	34	37	34	35
Resistencia al creep 800 °C N/mm ²	14	6	8	6	4
1.000 °C N/mm ²	1,8	1	1,5	1	0,8

Fuente:(Méndez & Suasnavas, 2012)

3. Aleaciones para trabajar al vacío: este tipo de resistencia metálica es utilizada en hornos especiales que requieren de alta temperatura, para este propósito se dispone principalmente de tres tipos de componentes: molibdeno, tántalo y tungsteno.

El molibdeno tiene un punto de fusión de 2600°C, este material puede admitir cargas de 15-20 W/m², y por sus características de oxidación opera en vacío o en atmosfera reductora. Su control y estabilización es mucho más compleja por su variación de resistividad frente a la temperatura.

El tántalo tiene un punto de fusión de 3030°C es utilizado especialmente en hornos que trabajan en vacío y se lo dispone en forma de hilos arrollados hasta temperaturas de 2300-2400°C.

El tungsteno permite alcanzar temperaturas de 2500 – 2700 °C y se usan para aplicaciones en hornos de alto vacío. Este tipo de resistencias tienen ciertas desventajas por ser difícil de conformar y casi imposible soldar.

Las resistencias metálicas dependen principalmente de la resistividad eléctrica que presentan los materiales en especial a las variaciones de temperatura y la temperatura ambiente.

1.5.3.1.1 Resistividad en los materiales

Es la capacidad de un material para permitir el paso de la corriente a través de este. Los materiales conductores presentan una resistencia relativa pequeña, en este caso se toma como ejemplo al cobre y la plata que son muy buenos materiales conductores. (Gonzales, 2009)

La resistencia eléctrica de un material está dada por la **Ecuación 1.1**, y está relacionada con la resistividad del material y sus dimensiones.

Ecuación 1.1: Resistencia eléctrica de un material

$$R = \rho * \frac{l}{s}$$

Donde:

R: resistencia eléctrica del material

ρ : resistividad del material

l: longitud del conductor

s: sección transversal del conductor

Para resistencias de tipo metálicas se dispone de las **Tabla 1.4** y **Tabla 1.5** de la resistividad a diferentes temperaturas y están divididas según la clasificación anterior de Fe-Cr-Al y Ni-Cr.

Tabla 1.4: Resistividad eléctrica para aleaciones de Fe-Cr-Al.

Aleación	22-6 PM	22-6	22-5	22-4	14-4
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$.					
Coefficiente de resistividad:					
20 °C	145	145	139	135	125
20 °C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100 °C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01
200 °C	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02
300 °C	1,00	1,00	1,01	1,01	1,03
400 °C	1,00	1,00	1,02	1,02	1,04
500 °C	1,01	1,01	1,03	1,03	1,05
600 °C	1,02	1,02	1,04	1,04	1,07
700 °C	1,02	1,02	1,04	1,05	1,09
800 °C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,11
900 °C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,13
1.000 °C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,14
1.100 °C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,15
1.200 °C	1,04	1,04	1,06	1,08	—
1.300 °C	1,04	1,04	1,06	1,08	—
1.400 °C	1,05	1,05	1,07	—	—

Fuente:(Méndez & Suasnavas, 2012)

Tabla 1. 5: Resistividad eléctrica para aleaciones de Ni-Cr.

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$						
20 °C	112	119	113	105	104	95
100 °C	113	120	114	108	107	99
200 °C	113	122	116	111	111	103
300 °C	114	123	118	114	114	107
400 °C	115	124	120	117	117	111
500 °C	116	125	122	120	120	115
600 °C	115	124	121	122	122	118
700 °C	114	124	121	124	124	120
800 °C	114	124	122	126	126	122
900 °C	114	124	123	128	128	124
1.000 °C	115	124	124	130	130	126
1.100 °C	116	125	125	132	132	126
1.200 °C	117	126	—	—	—	—

Fuente:(Méndez & Suasnavas, 2012)

Las tablas sirven para determinar el comportamiento del material frente a la variación de temperatura, también sirven para la selección correcta del material para las resistencias en diferentes aplicaciones.

1.5.3.2 Resistencias no metálicas

Las resistencias no metálicas están construidas principalmente de cuatro tipos de materiales que son:

1. Carburo de silicio
2. Disiliciuro de molibdeno
3. Grafito en barras
4. Cromita de lantanos

1.5.3.2.1 Carburo de silicio

Es un elemento que tiene sus orígenes en 1800 y fue descubierto por Edward Goodrich Acheson también es llamado carborundo, tiene una estructura de diamante y es tan duro como este. Es un compuesto denominado aleación sólida, es semiconductor y refractario. Se lo utiliza especialmente en trabajos con condiciones de extrema temperatura, voltaje y frecuencia.

Se construyen comúnmente en forma de barras o barretas y tienen una gran estabilidad dimensional por su estructura recristalizada. Se utiliza para temperaturas superiores a 2300°C. La **Figura 1.8** muestra una resistencia de carburo de silicio.



Figura 1.8: Resistencia de SiC en espiral tipo TSR

Fuente: (Blanco, s.f.)

1.5.3.2.2 Resistencias de disiliciuro de molibdeno ($MoSi_2$)

Es un material sinterizado a base de una cerámica refractaria o también es conocido como un compuesto intermetálico, su punto de fusión es de 2030°C. Este tipo de material tiene la propiedad de resistencia a la oxidación a altas temperaturas según la formación de una capa de silicato en la superficie. La **Figura 1.9** muestra una configuración típica de las resistencias a base de disiliciuro de molibdeno.



Figura 1.9: Resistencia de $MoSi_2$
Fuente: (Blanco, s.f.)

1.5.3.2.3 Resistencias de grafito

Su aplicación más común es en hornos de vacío o especiales. El material de cual están construidas las resistencias es un material sintético mecanizado para adaptarse a cualquier tipo de configuración y aplicación, puede alcanzar los 2300°C además la temperatura depende de la atmósfera con la que interactúa.

1.5.3.2.4 Resistencia de cromita de lantano

Este material está conformado por óxido de cromo (Cr_2O_3) y óxido de lantano (La_2O_3), se puede obtener tubos de pared delgada con un espesor de entre 2 y 3 mm y diámetros de 200mm. Permite conseguir temperaturas de 1500°C.

1.5.3.3 Tubos radiantes eléctricos

Se utiliza para atmosferas nocivas en donde es necesario que la resistencia calefactora tenga una protección, esto se puede solucionar con una camisa metálica o cerámica de esta manera la resistencia irradia el calor hacia la carga como se muestra en la **Figura 1.10**. Las atmosferas en las cuales se utilizan tubos radiantes son:

- Atmosferas con alto contenido de dihidrógeno (H_2)
- Atmosferas con contenido de monóxido de carbono (CO) y metano CH_4



Figura 1.10: Tubo radiante eléctrico serie TR

Fuente: <http://www.ciroc.com.ar/>

1.5.3.4 Resistencias blindadas

Una resistencia blindada está recubierta y protegida por fundas metálicas de latón, acero al carbón, inoxidable, refractario y para aplicaciones muy especiales de titanio, la **Figura 1.11** muestra la disposición de una resistencia blindada y sus partes.

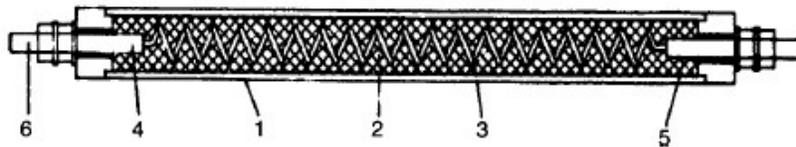


Figura 1.11: Sección de una resistencia blindada

Fuente: (Blanco; s.f.)

Sus principales aplicaciones con el calentamiento de líquidos, baños de lavado, hornos de tratamientos térmicos.

1.5.3.5 Tipo de resistencias existentes

Un factor muy importante es la existencia de los elementos que componen el sistema de calentamiento, por lo cual es necesario determinar el tipo de resistencias que se dispone en el país, además se debe conocer las características de cada una. La **Tabla 1.6**, muestra los tipos de resistencias más comunes en el mercado local.

Tabla 1. 6: Características de las resistencias calefactoras

TIPO/CARACTERISTICA	TEMPERATURA MAXIMA DE TRABAJO	DISPOCISION EN EL SISTEMA	COSTO
RESISTENCIAS PLANAS	Puede alcanzar temperaturas hasta 400 grados centigrados	Pueden estar sobre la superficie a calentar o cerca de esta.	Tiene un costo mayor en comparacion con las tubulares
RESISTENCIAS TUBULARES	Alcanzan temperaturas de 700 grados centigrados	Pueden estar sobre la superficie a calentar o cerca de esta.	Tiene un costo menor en comparacion con las otras opciones
RESISTENCIAS DE CARTUCHO	Pueden generar una temperatura de 800 grados centigrados	Tiene que estar insertado en la superficie por lo que se requiere de grosores grandes de las planchas	Tiene un costo elevado

1.6 TRANSFERENCIA DE CALOR EN HORNOS

La transferencia de calor dentro de la cámara de tostado y la cámara de calentamiento que se muestran en la **Figura 1.12**, se da por los mecanismos termodinámicos, conducción y convección.

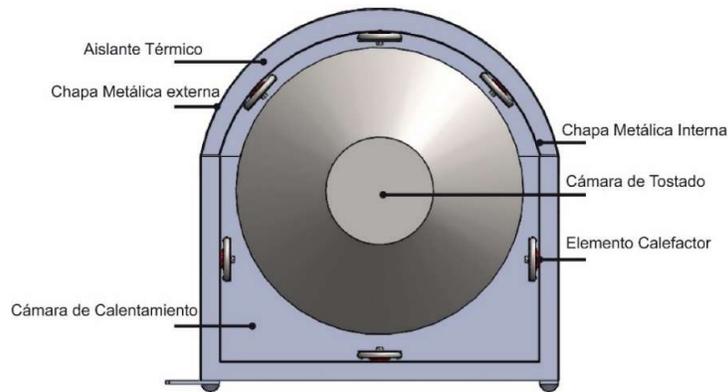


Figura 1.12: Disposición de las cámaras y elementos calefactores

1.7 SISTEMA DE POTENCIA

Para las resistencias calefactoras es necesario disponer de un convertor AC/AC, el cual ayuda a variar el voltaje que se entrega al sistema y de esta manera se puede variar la potencia y temperatura.

Este tipo de convertidores permite conectar una fuente AC con una carga AC mediante un control de voltaje, corriente y potencia RMS. Básicamente lo que hace un convertor AC/AC es cambiar el nivel de voltaje en la carga, también permite la posibilidad de cambiar la frecuencia. Es importante conocer que este tipo de aplicación de electrónica de potencia funciona en sistemas monofásicos y polifásicos (ejemplo bifásico y trifásico). (Mohan, Undelan & Robbins, s.f.)

Para el calentamiento por resistencias se debe disponer de un convertor de voltaje AC/AC monofásico. Para este objetivo se dispone de diferentes modos de conversión y control, entre los cuales se puede destacar: control por ángulo de fase y control por disparo de ráfaga.

1.7.1.1 Control de ángulo de fase

Este tipo de control es muy utilizado para aplicaciones con corrientes menores a 120A, la potencia que se entrega a la carga es controlada por el tiempo de encendido del SCR. Las configuraciones para el control por fase más frecuentes son: control de media onda y control de onda completa.

En el control de media onda se usa un solo dispositivo SCR y permite rectificar la señal sinusoidal únicamente en uno de sus semiciclos.

Y el control de onda completa se utiliza una configuración de SCR en anti paralelo, como se muestra en la **Figura 1.13**, lo que permite que se pueda rectificar toda la onda sinusoidal en dependencia del ángulo de disparo.

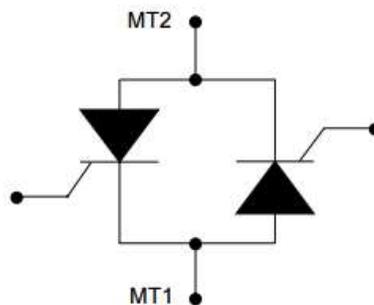


Figura 1.13: Configuración anti paralelo del SCR

Fuente: (Philips Semiconductor, s.f.)

Por medio de la técnica de control de onda completa se logra regular el voltaje de salida, y por medio de este cambio se puede mantener la temperatura de la cámara de tostado con valor adecuado, en la **Figura 1.14** se muestra la variación del voltaje de salida (V_{out}) con respecto al cambio de ángulo de la fase (θ).

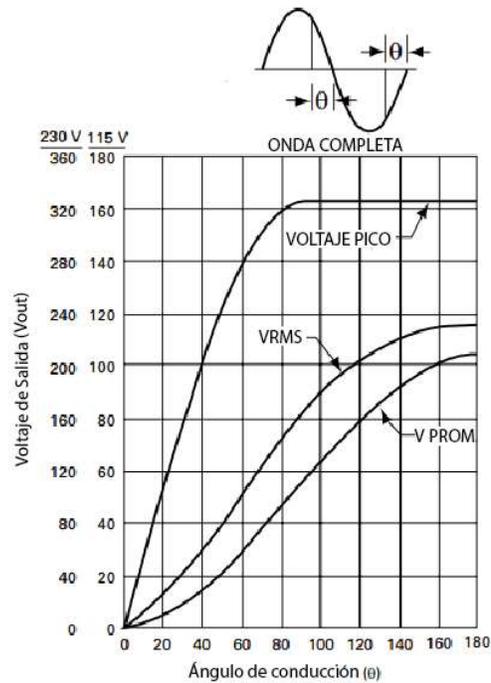


Figura 1.14: Voltaje de salida respecto al ángulo de fase
Fuente: (Littelfuse, 2013)

Como se puede observar en la figura anterior, el voltaje de salida varía respecto a la variación del ángulo de disparo, y esta característica convierte al SCR como un elemento semiconductor adecuado para el control de la potencia de las resistencias calefactoras, como se muestra en la **Figura 1.15**. Y a la configuración de onda completa en el circuito más versátil para la aplicación presente.

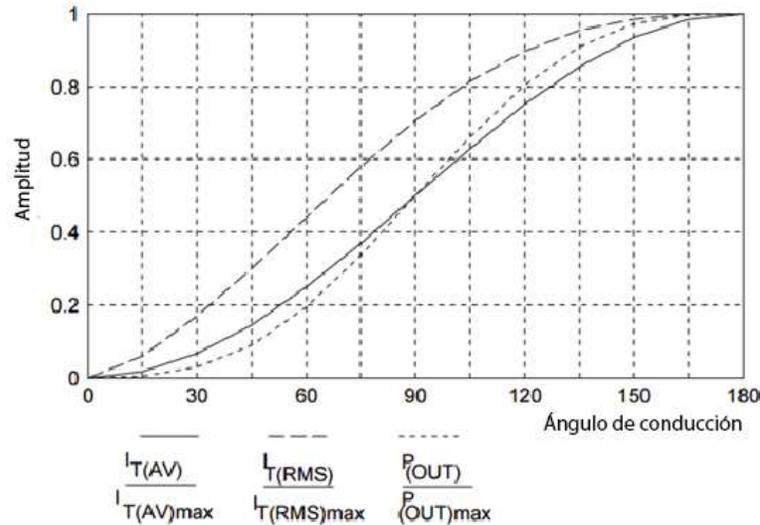


Figura 1.15: Potencia y corriente vs. Ángulo de conducción

Fuente: (Philips Semiconductor, s.f.)

1.7.1.2 Control de Disparo por Ráfaga

Este control proporciona un tren de ciclos AC, y dependiendo del número de pulsos en ON y en OFF se determina la proporción de potencia que se entrega a la carga. Para poder entender la funcionalidad de este tipo de control se utiliza la **Figura 1.16**, que muestra los ciclos AC que se tiene en la carga.

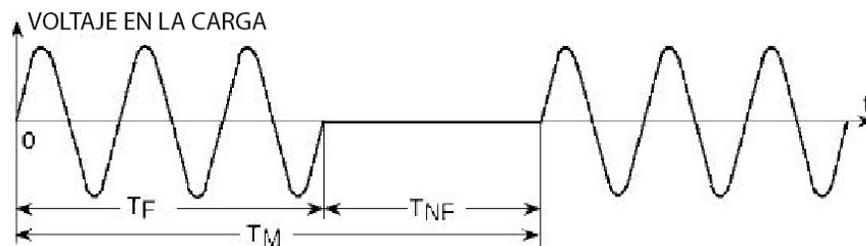


Figura 1.16: Ciclos aplicados a la carga

Fuente: <http://www.winling.com.tw>

El intervalo T_M representa el tiempo de total modulado, T_F es el tiempo de conducción y T_{NF} es el tiempo de no conducción, entonces el control de disparo por ráfaga permite enviar una cierta cantidad de ciclos que es proporcional a la cantidad disponible durante el tiempo total modulado.

Entonces para poder conseguir por ejemplo el 50% de la potencia total disponible se debe enviar una cantidad igual de ciclos en conducción y en no conducción produciendo así la mitad de la potencia. En la **Figura 1.17** se muestra un ejemplo para obtener el 50% de potencia.

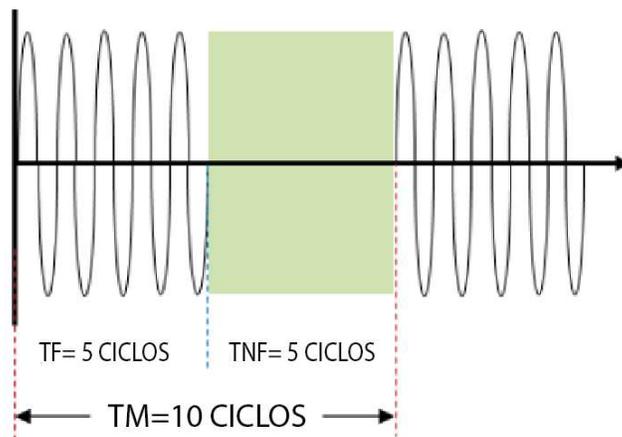


Figura 1.17: Ciclos aplicados a la carga

Fuente: <http://www.winling.com.tw>

El elemento más utilizado para el control de disparo por ráfaga es el Relé de Estado Solido (SSR), que permite generar una interfaz entre un control de bajo voltaje DC (5V) y una carga AC con una alta potencia, además este tipo de elementos no contiene elementos mecánicos por lo cual se reduce los daños por las conmutaciones y no genera ruido eléctrico por no contener bobinas ni elementos activos. Otra de las ventajas es que su capacidad de corriente es alta por lo cual es un elemento muy utilizado dentro de la industria.

Las ventajas del control de disparo por ráfaga son:

- Reduce los armónicos producidos por la conmutación de los elementos, porque la salida está sincronizada con la entrada.
- Se utiliza especialmente con cargas resistivas.

1.7.2 RELÉ DE ESTADO SOLIDO (SSR)

Los relés de estado sólido o más conocidos como SSR por sus siglas en inglés (Solid State Relay), son elementos de conmutación que permiten conectar y desconectar una carga AC por medio de un control en DC, además provee de un medio eficaz de aislamiento entre los circuitos de control y la etapa de potencia. Los SSR estos compuestos básicamente con elementos electrónicos por tal motivo no poseen partes mecánicas y son más efectivos que los relés mecánicos. En la **Figura 1.18** se muestra la representación electrónica del SSR.

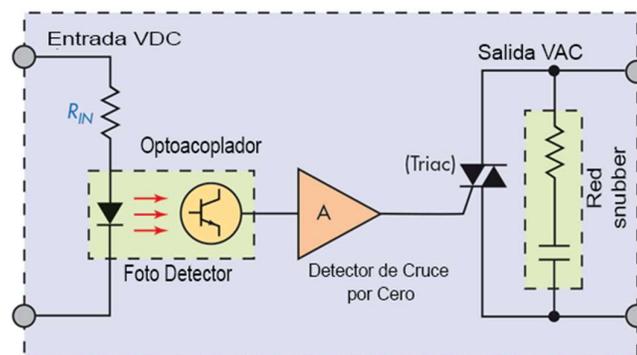


Figura 1.18: Representación electrónica del SSR
Fuente: (Teschler, 2014)

El SSR está compuesto básicamente por un elemento de aislamiento (optoacoplador), un elemento de sincronización (detector de cruce por cero), de potencia (TRIAC, SCR, MOSFET) y una red filtro. El optoacoplador se encarga de aislar el control DC con la carga AC, el detector de cruce sincroniza la salida con la frecuencia de la red, el elemento de potencia permite manejar la carga y el filtro evita daños en los componentes del SSR.

Los SSR poseen ciertas características que los convierten en la alternativa más efectiva antes los relés mecánicos y son:

- **Larga vida útil:** puede ser 50 veces mayor que la de los relés mecánicos porque no posee partes mecánicas.
- **No produce ruido:** al no contener partes móviles no se genera ruido en su operación lo que le hace un elemento ideal para ambientes donde es necesario mantener bajos niveles de ruido.
- **Mínimo ruido eléctrico:** gracias a la sincronización por el detector de cruce por cero no se genera ruido eléctrico.
- **Bajo nivel de consumo:** requieren un bajo nivel de potencia para que puedan operar debido a que posee elementos electrónicos con bajo consumo de energía, se puede controlar cargas de hasta 150A con un consumo de 15mA en la entrada de control.
- **Resistente a vibraciones e impactos:** no cambia su funcionamiento ante la presencia de vibraciones y tiene una resistencia de hasta 10 veces más que los relés convencionales.
- **Ideal para ambientes peligrosos:** el SSR no genera chispas o arcos eléctricos, por tal motivo puede ser utilizado en ambientes nocivos o peligrosos, el campo magnético tiene pequeños efectos sobre el elemento y están diseñados para ambientes contaminados grado 2 según la norma IEC 60664-1. (CRYDOM, s.f.)

- **Alta compatibilidad con sistemas de control:** puede ser controlado con niveles lógicos TTL de microcontroladores o niveles lógicos de PLC por su bajo consumo.
- **Rápida Conmutación:** tienen una velocidad de respuesta menor a 100us con lo cual se puede generar un control de la potencia AC más precisa.

Este tipo de elementos es muy utilizado para diferentes aplicaciones como:

- Control de calentadores
- Control de iluminación
- Control de movimiento
-

Para esta diversidad de aplicaciones se dispone de algunos tipos de SSR que se muestran en la **Tabla 1.7**.

Tabla 1.7: Tipos de montaje de SSR y sus aplicaciones



MONTAJE	PCB	PANEL	RIEL DIN	MODULOS E/S
USO	Equipos médicos	Equipos de procesamiento alimenticio	Maquinaria industrial	Elevadores
	Pequeños actuadores	Iluminación escenográfica	Paneles de control	Máquinas herramientas
	Aire acondicionado	Maquinaria industrial	Ventilación	Interfaz E/S

Fuente: (CRYDOM, s.f.)

1.7.3 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

En algunas aplicaciones es preciso determinar la temperatura que el sistema entrega al recipiente para poder controlar la potencia y así mantener en un nivel estable a la variable.

1.7.3.1 Termoresistencias RTD

Las RTD (Resistance Temperature Detector) son sensores de temperatura basados en el principio de cambio de resistencia eléctrica de los metales puros al ser expuestos a la temperatura. Sus principales características son linealidad (**Figura 1.19**), precisión y estabilidad.

Las limitaciones de las termoresistencias es su costo y el rango de temperatura.

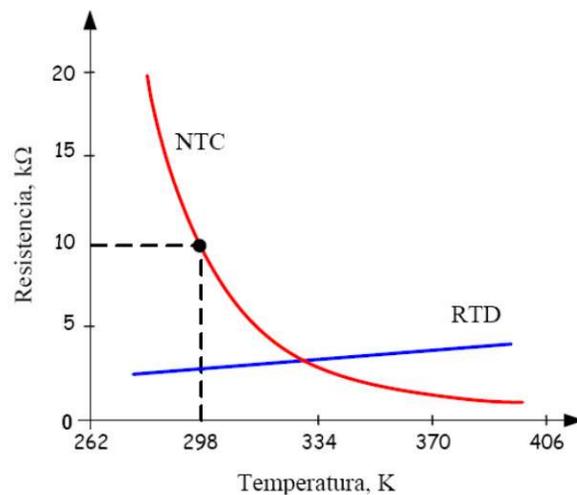


Figura 1. 19: Curva característica de un RTD vs. Termistor

Fuente: (Márquez & Calderón, s.f.)

1.7.3.2 Termocuplas

Las termocuplas están conformadas por dos metales diferentes y unidos en uno de los extremos, llamado unión caliente. Para completar el circuito de las termocuplas en el otro extremo se conecta un circuito de acondicionamiento y lectura, este punto del sensor se llama referencio o unión fría, la **Figura 1.20** muestra la disposición del circuito de las termocuplas.

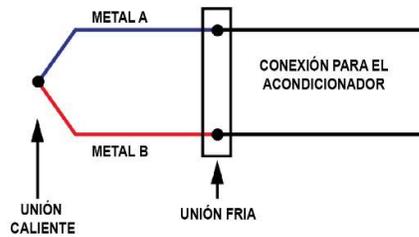


Figura 1.20: Circuito equivalente termocuplas

Fuente: (Duff & Towey, 2010)

La salida de las termocuplas entrega un voltaje que es proporcional a la temperatura medida por la unión caliente, este tipo de sensores son muy utilizados dentro de la industria por sus amplias características y además por ser un método estándar industrial que permite tener una lectura efectiva y con un costo menor.

Entre las termocuplas la más utilizada es el tipo k por su amplio rango de temperatura y además por estar disponible en el mercado local.

1.7.3.2.1 Termocuplas tipo K

Estos sensores tienen una vaina con una envergadura de diferentes longitudes, todo su cuerpo está construido en acero inoxidable, adecuado para aplicaciones alimenticias, y tiene una rosca que permite acoplar a diferentes aplicaciones, la **Figura 1.21**, muestra la disposición física de dicho elemento.



Figura 1.21: Sensor de temperatura tipo K

Una de las ventajas de este tipo de elementos es su robustez en un amplio rango de temperaturas que pueden variar desde 0 a 1000 grados centígrados, la **Figura 1.22** muestra la robustez de los diferentes tipos de termocuplas.

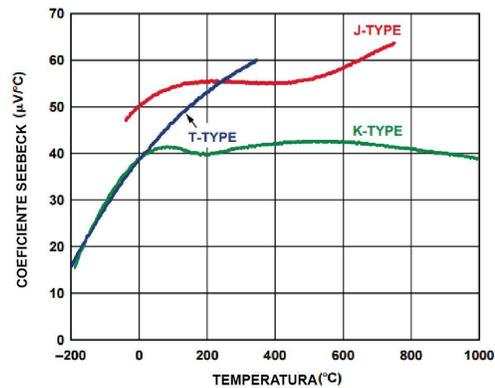


Figura 1.22: Variación de la sensibilidad respecto a la temperatura

Fuente: (Duff & Towey, 2010)

Como se puede observar en la figura anterior las termocuplas tipo K mantiene su sensibilidad dentro de un rango de temperatura más elevado y con variaciones pequeñas respecto a los demás tipos.

Las ventajas de las termocuplas son:

- Alto rango de medición de temperaturas, puede medir temperaturas desde los -200°C hasta los $+2500^{\circ}\text{C}$.
- Son robustas, pueden ser utilizadas en ambientes ruidosos, con vibraciones o tóxicos.
- Rápida respuesta, por su tamaño permite que la respuesta de voltaje sea rápida ante cambios rápidos de temperatura.
- No existe auto calentamiento.

1.8 CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN

El calentamiento por inducción obedece a principios físicos de la teoría electromagnética, detallándose como la interacción de la bobina de calentamiento, la que produce un campo magnético variable en el tiempo, y la pieza de trabajo o recipiente de calentamiento.

Esta tecnología es un método de calentamiento sin contacto, conocida desde hace más de 100 años. Siendo el primer campo de aplicación el sector industrial, especialmente el metalúrgico o de fundición de metales, como se muestra en la **Figura 1.23**.



Figura 1. 23: Aplicaciones del calentamiento por inducción
Fuente: www.ambrell.com

1.8.1 FUNDAMENTOS DEL CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN

Como principal fundamento se tiene los descubrimientos de Michel Faraday en 1831, sobre la inducción electromagnética para sistemas de calentamiento, que describen como un fenómeno en el cual una corriente circula por un circuito cerrado inducido por la fluctuación de corriente en otro circuito cercano. (Fairchild, 2013)

Otro de los aportes principales para este tipo de calentamiento son los descubrimientos sobre las corrientes de torbellino por León Foucault, que define como las corrientes que enfrenta un campo magnético en una masa ferromagnética debido a la presencia de un campo magnético variable, y puede ser comparado con el efecto Joule. (Fagor, 2014)

1.8.1.1 Principios de trabajo del calentamiento por inducción

Todos los fundamentos antes descritos permiten determinar que el calentamiento por inducción se desarrolla al momento que un material ferromagnético está en presencia de un campo magnético variable, que es alimentado por una fuente de corriente alterna de alta frecuencia. Este proceso es equivalente al de un transformador. (Fairchild, 2013)

1.8.1.1.1 Analogía con un Transformador

El calentamiento por inducción se compara con el circuito de un transformador, por estar fundamentada en el mismo principio enunciado por Michel Faraday.

En la **Figura 1.24** se muestra la equivalencia del transformador a un sistema de calentamiento por inducción, se indica además la relación entre cada una de las partes constitutivas.

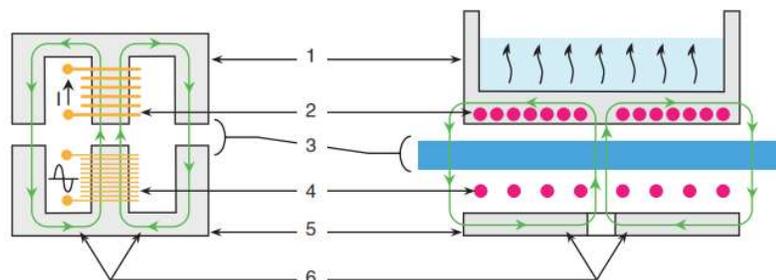


Figura 1. 24: Analogía de un transformador con el calentamiento por inducción

Fuente: (Fagor, 2014)

Cada una de las partes del transformador está relacionada directamente con las partes del sistema de calentamiento por inducción cómo se describe en la **Tabla 1.8**.

Tabla 1. 8: Relación entre partes del transformador y calentamiento por inducción

No. Parte	TRANSFORMADOR	CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN
1	Núcleo bobina secuandaria	Recipiente ferromagnetico
2	Bobina secundaria	Recipiente ferromagnetico
3	Entrehierro	Espacio entre inductor y recipiente
4	Bobina primaria	Inductor
5	Nucleo bobina primaria	Ferrita
6	Campo magnético	Campo magnético

1.8.1.1.2 *Efecto piel y penetración*

En el calentamiento por inducción se toma como una parte fundamental el llamado efecto piel. Este fenómeno hace que las corrientes de Foucault que son inducidas en el material de trabajo fluyan en la capa superficial, el 86% de la energía inducida está concentrada en este sector. (Rudnev, 2008)

Para la determinación de la profundidad de este efecto intervienen las propiedades del material como: resistividad eléctrica, densidad y permeabilidad relativa magnética y la frecuencia.

La **Figura 1.25** muestra cómo actúa el efecto piel sobre una pieza de trabajo, permitiendo conocer la penetración de las corrientes de Foucault.

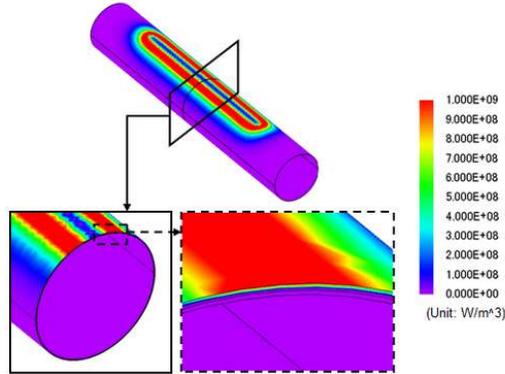


Figura 1. 25: Distribución de la densidad de la corriente de Foucault

Fuente: www.jmag-international.com

La penetración permite determinar la frecuencia de trabajo dependiendo del material sobre el cual se va a trabajar, que puede ser ferromagnético y no ferromagnético. La **Figura 1.26**, muestra la evolución de la profundidad de penetración dependiendo a la frecuencia de ciertos materiales.

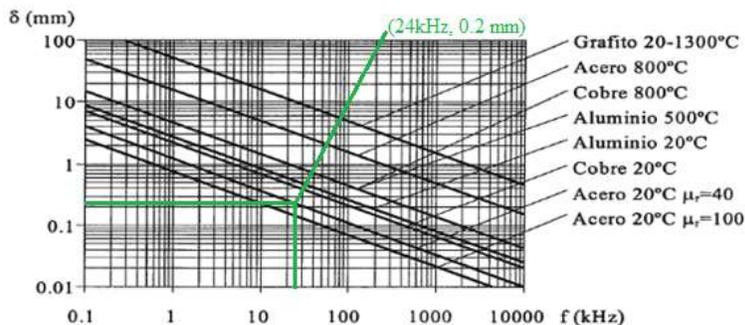


Figura 1. 26: Curva de evolución de la profundidad de penetración en función de la frecuencia para diferentes materiales

Fuente: (Esteve, 1999)

La frecuencia es un factor determinante en un sistema de calentamiento por inducción, porque es la que determina la profundidad de penetración, como se

puede observar en el grafico anterior mientras más alta sea la frecuencia, la penetración será menor, por eso en un proceso en donde se necesita solo calentar la superficie de la pieza de trabajo es más recomendable trabajar en alta frecuencia.

1.8.1.1.3 *Requerimientos de funcionamiento*

Para un funcionamiento correcto y más eficiente de un sistema de calentamiento por inducción, según Shina (2012), se necesita las siguientes características:

1. Conmutación dentro del rango de la frecuencia de radio
2. Factor de potencia cercana a la unidad (0.99)
3. Amplia gama de potencia
4. Confiabilidad

Además, se debe tener en cuenta ciertos requerimientos en la parte física del sistema de calentamiento por inducción. Para el calentamiento se utiliza una bobina de tipo espiral plana como la **Figura 1.27**, un disco de ferrita para mejorar el factor de acoplamiento y reducir la resistencia del conductor, el espacio entre la bobina y el recipiente o pieza de trabajo tiene que ser lo más pequeña para obtener el máximo flujo magnético pero el necesario para la ventilación. (Shina, 2012)

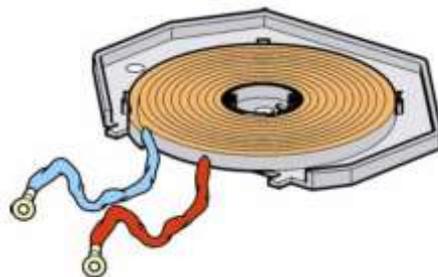


Figura 1. 27: Forma de Inductor para sistema de calentamiento

Fuente: (Fagor, 2014)

1.8.1.2 Fundamentos para el diseño de la bobina de calentamiento

La bobina de calentamiento es una pieza importante en el sistema de calentamiento porque se encarga de generar el campo magnético, responsable de crear el calor para el sistema. Para esta se toma en cuenta los parámetros que se detallan a continuación, según Gonzales, Aller, Láslo & Horvart (2013):

1. Material de la bobina,
2. Transferencia de energía,
3. Espacio entre la bobina y la pieza de trabajo,
4. Concentrador de flujo.

La bobina de calentamiento constituye el principal elemento para la generación de la inducción y así lograr el calentamiento de la pieza de trabajo, para cumplir con este objetivo se necesita que la bobina de calentamiento sea eficiente y ayude a generar la potencia requerida para la aplicación.

1.8.1.2.1 *Material para la bobina*

La bobina se la debe realizar de un arreglo de cable trenzado, como se muestra **Figura 1.28**, el que permite disminuir el efecto piel interno. Además de esta importante ventaja este tipo de configuración del cable ofrece otras mejoras para el sistema de calentamiento como: (Shina, 2012)

1. Distribución uniforme de la corriente total,
2. Mínimo calentamiento de la bobina,
3. Reducción del tamaño de la bobina,
4. Protección efectiva contra fluctuaciones en la red eléctrica.



Figura 1. 28: Cable Trenzado
Fuente: (IHS Engineering 360, s.f.)

Un cable trenzado cuenta con ciertas características para la implementación de electrónica de potencia tales como: baja resistencia y soporte de alta corriente en frecuencias en el rango de los KHz. (Sullivan Charles, Zhang Richard, s.f.)

La disminución de pérdidas debidas a la corriente que circula por un conductor y su resistencia es uno de los principales objetivos al momento de diseñar un sistema de potencia, cuando se trabaja en alta frecuencia estas pérdidas son grandes y causan algunos daños al sistema. Por tal motivo los cables trenzados se establecen como una de las soluciones más convenientes para este tipo de problemas, además de las razones expuestas anteriormente. (Carretero C., Acero J. & Alonso R., 2012)

La estructura interna de un cable trenzado está constituida por un numero definido de hebras (n) de cable que por lo general es de cobre o aluminio, agrupados en una estructura trenzada que permita minimizar las pérdidas de potencia. Esta estructura distribuye de forma uniforme la corriente, como se muestra en la **Figura 1.29**. (Carretero, Acero & Alonso, 2012)

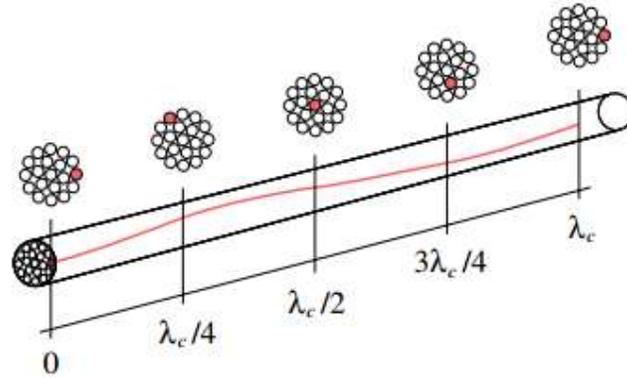


Figura 1. 29: Estructura de un cable trenzado con la trayectoria de una hebra de longitud λ_c

Fuente: (Carretero, Acero & Alonso, 2012)

1.8.1.2.2 Espacio entre la bobina y la pieza de trabajo

Este factor se lo toma muy en cuenta por su importancia para evitar que la bobina o inductor se caliente en el proceso de inducción, por eso Shina (2012), determina que el espacio entre la bobina y la pieza de trabajo (recipiente) deberá ser el mínimo para aprovechar el máximo flujo magnético, pero también lo suficiente para permitir aislar y ventilar la bobina como se muestra en la **Figura 1.30**.

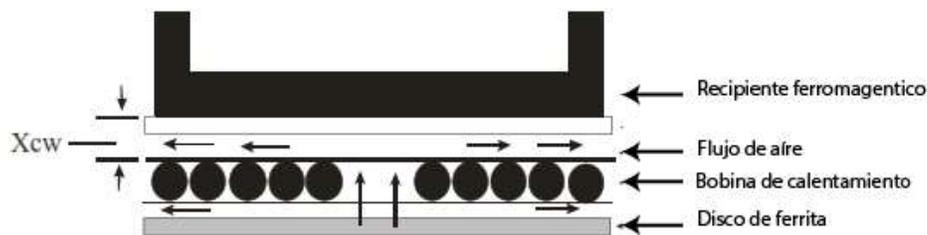


Figura 1. 30: Vista transversal de un sistema de calentamiento por inducción

Fuente: (Shina, 2012)

1.8.1.2.3 Concentrador de flujo magnético

Un concentrador de flujo permite variar el campo magnético generado por una bobina, con lo que se puede conseguir modificar el patrón de calentamiento, o simplemente para evitar que elementos auxiliares situados junto a la bobina no se calienten y concentrar el campo en la pieza de trabajo, como se muestra en la **Figura 1.31**. (Zinn Stanley., Semiatin Lee., 2002)

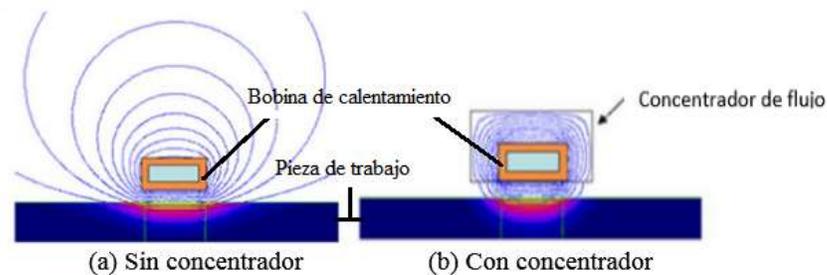


Figura 1. 31: Campo magnético generado por la bobina

Fuente: www.magneto.pl

Por lo general los concentradores de flujo están contruidos con materiales ferromagnéticos por su excelente permeabilidad magnética, tienen un valor de 100 o 1000 veces el valor de la permeabilidad relativa del aire. (Zinn, Semiatin, 2002)

Estos ayudan a generar una vía fácil de canalización del flujo magnético desde la bobina hacia la pieza en una forma perfectamente definida, logrando mejorar el acoplamiento electromagnético de las partes. (Rudnev, 2008)

En las aplicaciones de calentamiento el uso de concentradores de flujo magnético puede mejorar la eficiencia del sistema, como demuestra Equihua (2011), en un 75% frente a un 51% al no utilizar un concentrador, la **Figura 1.32** muestra estos datos.

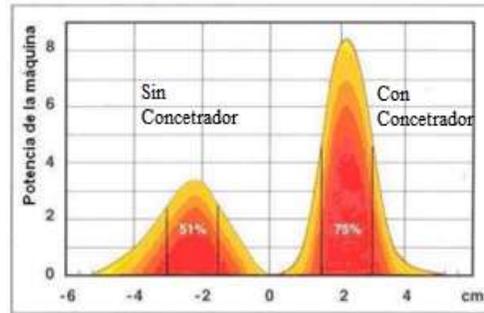


Figura 1. 32: Distribución de la potencia a través de la pieza de trabajo.

Fuente: (Equihua, 2011)

En aplicaciones de calentamiento es importante la eficiencia del sistema térmico, por tal motivo es necesario utilizar un concentrador, porque de esta manera se asegura que el valor de eficiencia sea mayor y además permite crear un campo magnético con una forma adecuada para el recipiente.

1.8.1.2.4 *Materiales para concentradores*

Los materiales para la construcción de concentradores se resumen básicamente en el tipo para materiales con rangos de frecuencias altos, incluyendo radio frecuencia, como ferrita y combinaciones de polvo de hierro, (Zinn, Semiatin, 2002)

La ferrita es una estructura cerámica que se deriva de la mezcla de varios materiales con óxido ferroso (FeO), tiene una alta permeabilidad magnética relativa ($\mu_r = 2000$). También es un material muy versátil al momento de trabajar en altas frecuencias. La **Figura 1.33** muestra la ferrita en forma de barras. (Rudnev, Loveless, Cook & Black, 2003)



Figura 1. 33: Ferrita
Fuente: www.dxengineering.com

1.8.1.3 Fundamentos para el diseño del sistema de potencia

Un sistema de calentamiento por inducción se alimenta por la energía suministrada desde una fuente principal de voltaje (red eléctrica), que se rectifica en un puente rectificador, para luego ser convertida en una onda sinusoidal con una alta frecuencia. (Shina, 2012)

La **Figura 1.34**, muestra los elementos principales del suministro de energía en la bobina de calentamiento.

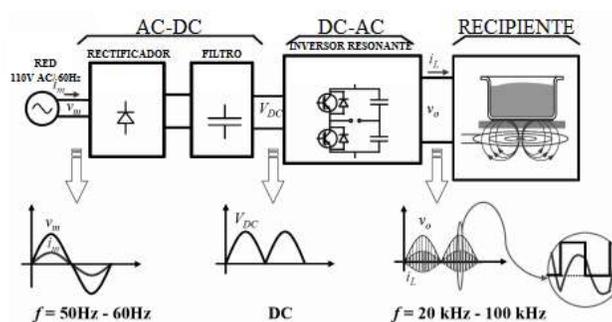


Figura 1. 34: Sistema de potencia para el calentamiento por inducción.
Fuente: (Hincapié, Trejos, Moncada & Escobar, 2013)

1.8.1.3.1 Sistema de alimentación eléctrica

Dependiendo de la potencia y la aplicación que se esté realizando, la red eléctrica puede tener voltajes de 110, 220 o voltajes mayores en aplicaciones industriales con la frecuencia de red de 50Hz o 60Hz. (Cushicondor, 2009)

1.8.1.3.2 Etapa de rectificación

Convierte la corriente alterna (AC) suministrada por la red eléctrica en una corriente continua (DC), con el uso de puentes rectificadores, que básicamente están constituidos por diodos. (Cushicondor, 2009)

1.8.1.3.3 Inversores Resonantes

Para generar un campo variable y de alta frecuencia se necesita una red RLC, esto es posible con el uso de inversores resonantes. Porque permiten obtener la mayor eficiencia en la conversión de energía, porque reduce las pérdidas por conmutación. Esto se debe a que los semiconductores al someterse a un trabajo en modo de conmutación, por la alta frecuencia que deben manejar generan pérdida como se muestra en la **Figura 1.35**. Lo que también puede causar un problema de Interferencia Electromagnética (EMI por sus siglas en inglés). (Fairchild, 2013)

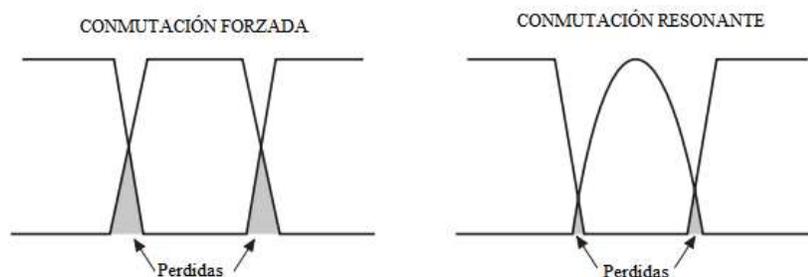


Figura 1. 35: Pérdidas por la Conmutación

Fuente: (Bilgen, s.f.)

La resonancia ocurre cuando la bobina y el capacitor, denominado circuito tanque, intercambian energía, la energía total almacenada en el circuito durante la resonancia permanece sin cambios. La frecuencia y la corriente de salida se relacionan directamente, como se puede apreciar en la **Figura 1.36**, la corriente de salida toma su mayor valor cuando se trabaja en la frecuencia de resonancia. (Fairchild, 2013)

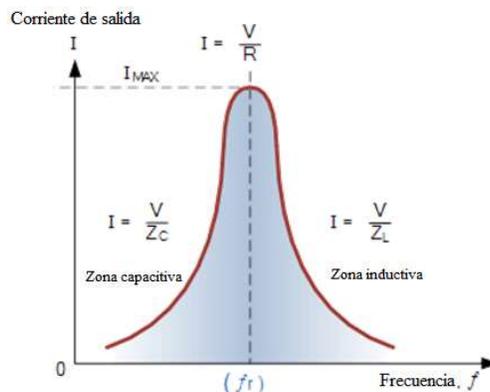


Figura 1. 36: Curva de Frecuencia

Fuente: www.electronics-tutorials.ws

La curva de frecuencia también demuestra como la energía generada está inversamente relacionada con la variación de frecuencia, al aumentar la frecuencia la impedancia crece y la energía disminuye (zona inductiva) y cuando la frecuencia decrece, la impedancia también lo hace, por tanto, la energía que se genera es mayor (zona capacitiva). (Fairchild, 2013)

Los inversores resonantes presentan una ventaja muy notoria frente a otros tipos de convertidores, se basa en la suavización de la conmutación y la presencia de ondas sinusoidales, lo que permite disminuir los niveles de interferencia electromagnética mejorando la compatibilidad de este tipo de equipos. (Cushicondor, 2009)

1.8.1.3.4 Frecuencia de trabajo

La frecuencia de trabajo para sistemas de calentamiento por inducción depende del tipo de aplicación que se desee implementar, en aplicaciones industriales la frecuencia está en el rango de 1 kHz a 100 kHz y para sistemas de cocción de 20 kHz a 100 kHz. (Nitai Pal, Pradip kumar & Atanu Bandyopadhyay, 2012)

Para sistemas de cocción por inducción la frecuencia debe cumplir también con la condición de estar fuera del espectro audible. El rango de frecuencias del espectro audible se muestra en la **Figura 1.37**.

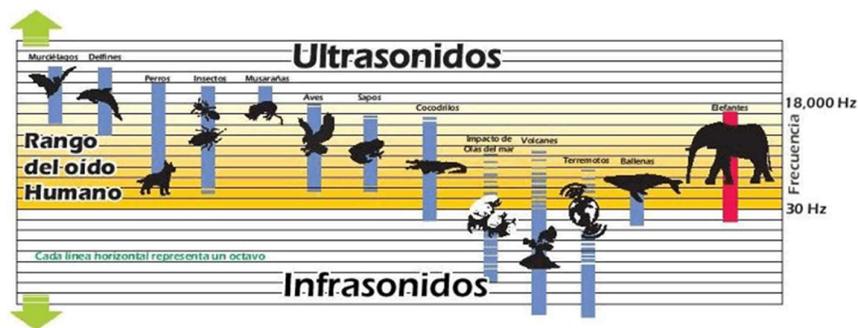
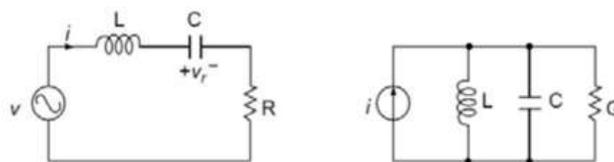


Figura 1. 37: Espectro audible

Fuente: (Solís, 2014)

1.8.1.3.5 Topologías de inversores resonantes

Existen dos topologías de inversores resonantes: circuitos resonantes en serie y circuitos resonantes en paralelo. La **Figura 1.38**, muestra los dos tipos de circuitos. (Fairchild, 2013)



(a) Circuito Serie

(b) circuito paralelo

Figura 1. 38: Circuitos resonantes

Fuente: (Fairchild, 2013)

En aplicaciones domesticas los inversores resonantes en serie son los más utilizados por su versatilidad al momento de implementar un sistema de calentamiento por inducción. Existen dos configuraciones que son las más comunes dentro de este campo: (1) inversor en medio puente e (2) inversor quasi-resonante. (Fairchild, 2013)

Inversor en medio puente

Este tipo de inversor se caracteriza porque la bobina y un condensador están conectados en serie, también son más simples que los inversores en paralelo. En el inversor en medio puente se destacan algunas ventajas: (Hincapié *et al*, 2013)

1. Conmutación estable,
2. Relativo bajo costo,
3. Diseño dinámico,
4. Baja presión interna en el circuito.

La **Figura 1.39**, muestra un diagrama de bloques del sistema de potencia y la configuración básica de un inversor en medio puente.

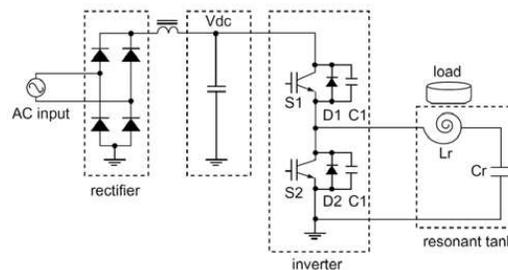


Figura 1. 39: Circuito de potencia con topología de inversor resonante en medio puente.

Fuente: (Fairchild, 2013)

El circuito resonante está conformado por una inductancia (L_r) y un capacitor resonante (C_r), el inversor formado por los elementos semiconductores de conmutación S_1 y S_2 . El rectificador se encarga de convertir el voltaje alterno (AC) en un voltaje continuo, pero con una frecuencia del doble que el de la red.

Inversor quasi-resonante

Esta configuración se la denomina como híbrida de un circuito resonante con un conversor PWM. Que presenta las siguientes ventajas para aplicaciones de calentamiento por inducción:

1. Necesita solo un elemento de conmutación,
2. Ocupa menos espacio,
3. Necesita un disipador de calor más pequeño,
4. El sistema de tierra puede ser compartido.

La **Figura 1.40**, muestra el diagrama de un inversor quasi-resonante con sus componentes principales.

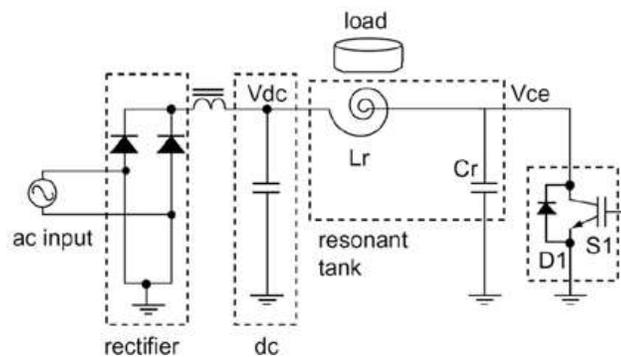


Figura 1. 40: Sistema de potencia con inversor quasi-resonante.

Fuente: (Fairchild, 2013)

En los últimos años este tipo de circuito es el más utilizado en la fabricación de sistemas de potencias para cocinas de inducción. Porque tiene un costo relativamente menor y además este tipo de aplicación no necesita manejar grandes niveles de potencia.

El modo de operación de un inversor se puede explicar de mejor manera tomando en cuenta sus formas de onda en puntos específicos transformando el circuito quasi-resonante (a) a un circuito equivalente como muestra la **Figura 1.41**.

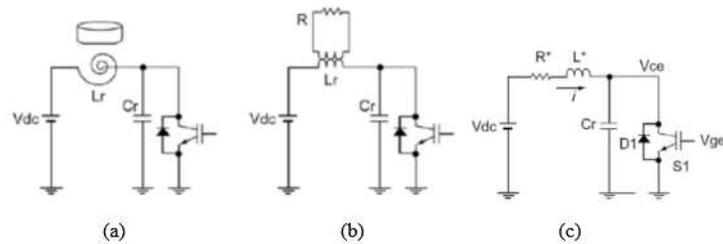


Figura 1. 41: Circuito resonante equivalente

Fuente: (Fairchild, 2013)

En la figura 1. (b) el recipiente está representado por la resistencia R y la inductancia L propios del material ferromagnético utilizado, y en la figura 1. (c) se determina la inductancia equivalente de la interacción entre la bobina de trabajo L_r y el circuito equivalente al recipiente. (Cushicondor, 2009)

La **Figura 1.42**, representa las formas de onda para el voltaje de control en la compuerta de semiconductor de conmutación (V_{ge}), el voltaje en el capacitor resonante (V_{ce}) y la corriente que circula por el inductor (i). (Fairchild, 2013)

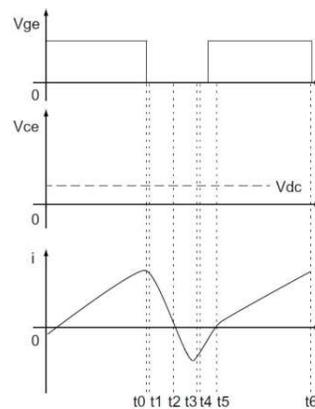


Figura 1. 42: Formas de onda del circuito de potencia

Fuente: (Fairchild, 2013)

El funcionamiento se basa en cuatro modos de operación del circuito y son:
(Fairchild, 2013)

Modo 1 (t_0 - t_1): el conmutador se pone en estado off y el capacitor incrementa su voltaje hasta que toma el valor V_{dc} en el tiempo t_1 . Y la energía almacenada en el inductor es transferida al capacitor, el circuito equivalente a este modo se muestra en la **Figura 1.43**.

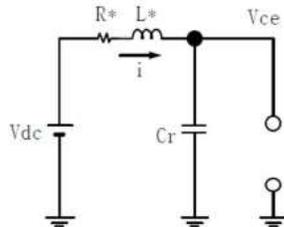


Figura 1. 43: Modo de operación 1

Fuente: (Fairchild, 2013)

Modo 2 (t_1 - t_4): el capacitor inicia su descarga de energía hacia el inductor, que permite disminuir el voltaje resonante hasta el nivel mínimo y la corriente se incrementa, la **Figura 1.44**, muestra el circuito del modo 2.

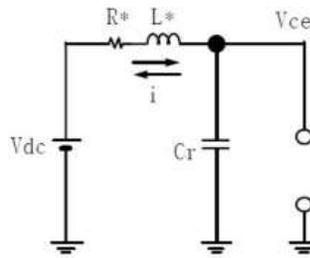


Figura 1. 44: Modo de operación 2

Fuente: (Fairchild, 2013)

Modo 4 (t_5 - t_6): la corriente cambia de dirección y circula a través de la bobina, y en este instante este almacena la energía, representado por la **Figura 1.45**. El tiempo de conmutación de la compuerta establece el nivel pico del voltaje resonante, este puede ser controlado por cualquier técnica de modulación de pulsos como: PWM, PDM y PFM.

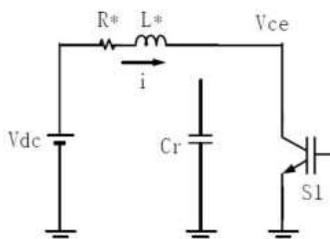


Figura 1. 45: Modo de operación 4

Fuente: (Fairchild, 2013)

1.9 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CALENTAMIENTO

Para determinar el tipo de sistema de calentamiento es necesario determinar la factibilidad de la implantación de cada uno de los métodos (Resistencias e Inducción), los parámetros que se evalúan para este propósito se muestran en la

Tabla 1.9.

Tabla 1.9: Parámetros de evaluación de factibilidad del método de calentamiento

PARÁMETRO	RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	INDUCCIÓN ELECTROMAGNETICA
EFICIENCIA	80%	85%
DISEÑO	MEDIO	COMPLEJO
INSTALACIÓN	FACIL	COMPLEJO
DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO LOCAL	Se encuentra en el mercado local diversos tipos de resistencias	Los materiales como la ferrita y el cable necesitan un alto grado de pureza y no se encuentra en el mercado local
COSTO	BAJO	ALTO

Como se puede observar el método de calentamiento por resistencias eléctricas es más factible su implementación debido a que en el país se dispone de empresas proveedoras de diversos tipos de resistencias con costos bajos en comparación al método de inducción.

La implementación de un sistema de calentamiento por inducción es compleja porque en el país no se dispone de algunos de los materiales necesarios como la ferrita y los módulos IGBT, y el precio para la adquisición de estos es elevado debido a que tienen que ser importados, otras de las complicaciones es el costo de la construcción de la bobina de calentamiento que por la naturaleza del proyecto y por la potencia se necesita una etapa de enfriado para mantener a una temperatura estable la bobina. Con estas consideraciones se elige un método de calentamiento por resistencias eléctricas.

1.10 MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el modelamiento del sistema de control es necesario conocer cómo se comporta físicamente, esta información se puede recopilar por medio de muestreo de datos del sistema en ciertas condiciones, luego se realiza una interacción con modelos matemáticos que permiten ajustar ciertos valores para que el sistema funcione de manera adecuada.

Para la correcta instalación de un sistema de control se tiene que conocer la dinámica del proceso al que se va a controlar de esta manera se puede determinar los parámetros óptimos para un controlador. A este proceso se le denomina sintonización. (Alfaro, 2001)

El proceso de sintonización está compuesto por dos etapas que son: identificación y sintonización.

1.10.1 IDENTIFICACIÓN

El proceso de identificación permite conocer el comportamiento real de la máquina tostadora, y en especial del proceso de calentamiento. Para poder recopilar la información necesaria para determinar un modelo matemático se debe excitar al proceso real, de esta manera se puede registrar los datos de la respuesta generada. Y se determina la ganancia, constante de tiempo y tiempo muerto.

Para esto es necesario recolectar datos de manera experimental, y luego utilizar un método que permita reconocer el modelo dinámico del proceso, para realizar esta etapa existen algunos métodos que son según Alfaro, (2001).

- Métodos con base en la curva de reacción
- Métodos de oscilación mantenida
- Métodos de realimentación con relé
- Métodos de control P

El método de la curva de reacción está fundamentado en el lazo abierto, mientras que los demás son métodos de lazo cerrado por tal motivo necesitan la realimentación y la presencia del controlador en funcionamiento automático, por eso no se pueden utilizar en esta etapa del proyecto.

1.10.1.1 Métodos con base en la curva de reacción

En estos métodos el principal recurso es la curva de reacción del proceso en estudio, la que se obtiene por medio de la recolección de datos experimentales, estos datos deben ser producidos por una señal escalón en lazo abierto, con esto se puede conocer el comportamiento de las resistencias eléctricas a lo largo del tiempo.

Los métodos que se encuentran en esta categoría son:

- Métodos de la tangente (Miller, Ziegler y Nichols)
- Métodos de dos puntos (Alfaro, Broida, Chen y Yan, Smith, Viteckova)

1.10.1.1.1 Métodos de la tangente

Son métodos que se basan en el trazo de una recta tangente sobre la gráfica de la curva de reacción en el punto de inflexión o con la máxima pendiente. Con esto se puede determinar los parámetros principales del sistema. Una de las condiciones principales es que la curva de reacción debe tener la forma de una S o deber ser un sistema con un punto de estabilidad, como se muestra en la **Figura 1.46**.

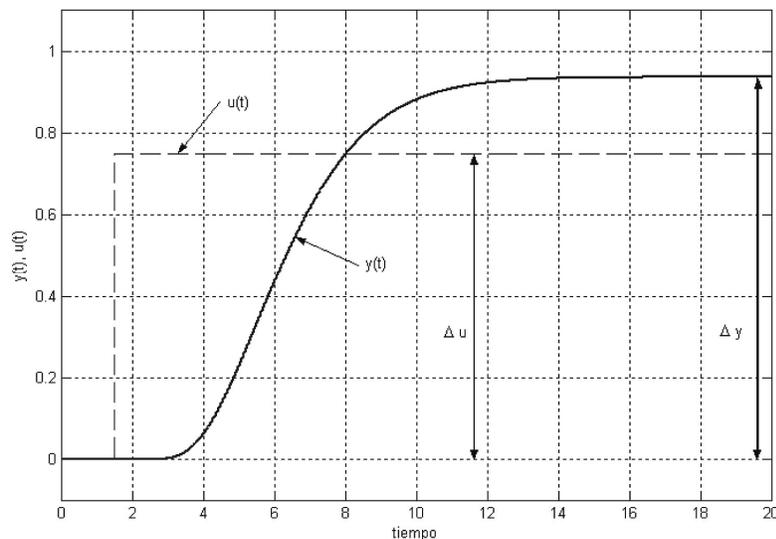


Figura 1.46: Curva de reacción
Fuente: (Alfaro, 2001)

Donde $u(t)$ es la señal escalón de excitación aplicada al sistema real y $y(t)$ es la respuesta obtenida.

- Método de Ziegler y Nichols

Lleva el nombre se sus desarrolladores quienes determinaron los parámetros de un sistema de primer orden por medio del trazo de la recta tangente en la curva de reacción, los parámetros que se deben identificar son la ganancia (kp), constante de tiempo (τ) y si existe tiempo muerto (tm). La ventaja de este método es que permite determinar el modelo de manera fácil, pero presenta la desventaja de que los datos no deben tener ruido o deben ser lo más precisos posible.

- Método de Miller

Miller genera una variante en el método de Ziegler Nichols y determina que el punto de interés se encuentra al 63.2% del cambio total a partir del inicio de la curva de reacción y de esta manera se asegura que el modelo identificado coincida en por lo menos un punto.

1.10.1.1.2 Métodos de dos puntos

Estos métodos permiten determinar los parámetros del sistema de manera analítica en combinación con el método gráfico de la curva de reacción, de esta manera se puede obtener dos ecuaciones con dos incógnitas las cuales aseguran que el modelo identificado y el sistema real coincidan con al menos dos puntos.

El modelo general para este método se basa en tomar los datos de dos puntos dentro de la curva de reacción, están ubicados en t_1 y t_2 los cuales corresponden a los puntos p_1 y p_2 que son valores porcentuales en la respuesta del sistema, con los valores obtenidos y la **Ecuación 1.2**, **Ecuación 1.3** y **Ecuación 1.4** se puede determinar los parámetros del sistema.

Ecuación 1.2: Ganancia

$$k_p = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Ecuación 1.3: Constante de tiempo

$$\tau = a * t1 + b * t2$$

Ecuación 1.4: Tiempo muerto

$$t_m = c * t1 + d * t2$$

Donde:

k_p : Ganancia

Δy : Variación total de la salida

Δu : Variación total de la entrada

τ : Constante de Tiempo

a: Valor constante de cada método

b: Valor constante de cada método

c: Valor constante de cada método

d: Valor constante de cada método

t1: tiempo al que se alcanza el porcentaje menor de cada método

t2: tiempo al que se alcanza el porcentaje mayor de cada método

Los métodos que se basan en el proceso de dos puntos son:

- Smith
- Alfaro
- Broida
- Chen y Yang
- Ho *et al.*
- Viteckova *et al.*

Cada uno de estos métodos se nombran por sus desarrolladores quienes han determinado valores de porcentaje para obtener los dos puntos necesarios, y también los valores de las constantes cada uno de estos basados en experimentación que permiten asegurar la identificación del modelo. La **Tabla 1.10** muestra los valores para cada método propuesto.

Tabla 1.10: Constantes para la identificación de los modelos

MÉTODO	%P1(t1)	%P2(t2)	a	b	c	d
Alfaro	25	75	-0,91	0,91	1,262	-0,262
Broida	28	40	-5,5	5,5	2,8	-1,8
Chen y Yang	33	67	-1,4	1,4	1,54	-0,54
Ho <i>et al.</i>	35	85	-0,67	0,67	1,3	-0,29
Smith	28,3	63,2	-1,5	1,5	1,5	-0,5
Vitecková <i>et al.</i>	33	70	-1,245	1,245	1,498	-0,498

Fuente: (Alfaro, 2006)

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS

Los sistemas de calentamiento por resistencias dependen de ciertos factores para su diseño que son: potencia, voltaje de entrada, circuito de potencia y circuito de control, la **Figura 2.1** muestra un esquema del sistema.

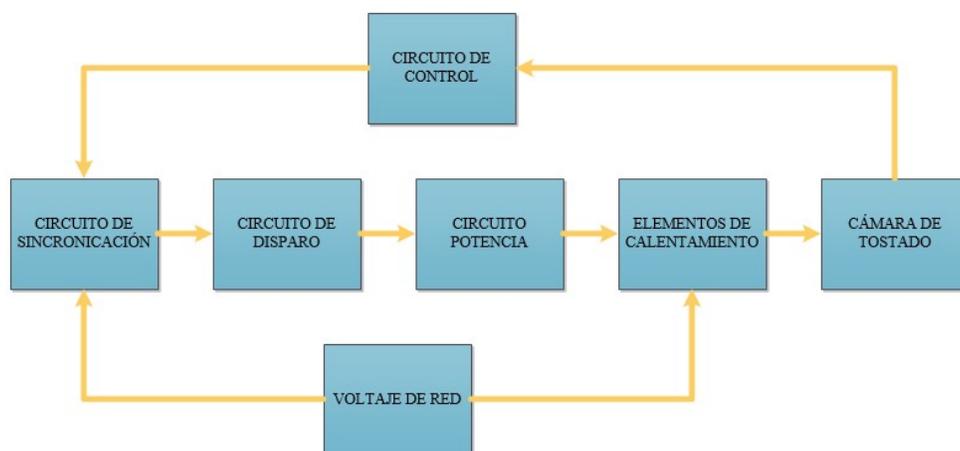


Figura 2.1: Esquema del sistema de calentamiento por resistencias

El sistema consta de los siguientes elementos para poder generar el calentamiento por inducción en la cámara de tostado:

Circuito de potencia: está constituido principalmente por un circuito que permite convertir un voltaje AC a un voltaje AC con un valor de voltaje menor y de igual frecuencia, de esta manera se puede variar la potencia del sistema.

Elemento de calentamiento: es el que permite generar calor por medio de un conductor dispuesto dentro de la cámara de calentamiento.

Cámara de tostado: es el recipiente que recibe el calor generado por la resistencia calefactora y sirve para el tostado del café de quinua.

Circuito de control: ayuda a controlar las variables del sistema y permite mantenerlo estable.

Circuito de sincronización: Permite sincronizar la onda de entrada y la de salida. Por medio de este circuito se puede determinar la frecuencia de la onda de sinusoidal.

Circuito de disparo: es una interfaz entre el circuito de control y el convertidor AC/AC, este circuito es importante porque minimiza los daños del circuito y posibles sobre voltajes en la tarjeta de control.

Voltaje de Red: entrega el voltaje AC necesario para alimentar a las resistencias, sincronización y disparo.

1.11 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Para poder entregar calor a la cámara de tostado se debe realizar un análisis termodinámico, específicamente de la transferencia de calor que se lleva a cabo dentro de la cámara de calentamiento y de tostado.

Como se revisó en el capítulo anterior la transferencia de calor que ocurre dentro de la máquina tostadora se presenta por los fenómenos de conducción y convección; el análisis de transferencia por calor por conducción es unidireccional en estado estable, lo cual permite determinar las temperaturas superficiales. Dentro

de la cámara de calentamiento se suscita dos flujos de calor que son: calor aprovechado y calor perdido.

El calor aprovechado se concentra en la cámara de tostado, mientras el calor perdido se dirige hacia los exteriores del sistema, la **Figura 2.2** muestra estos flujos dentro de la máquina tostadora.

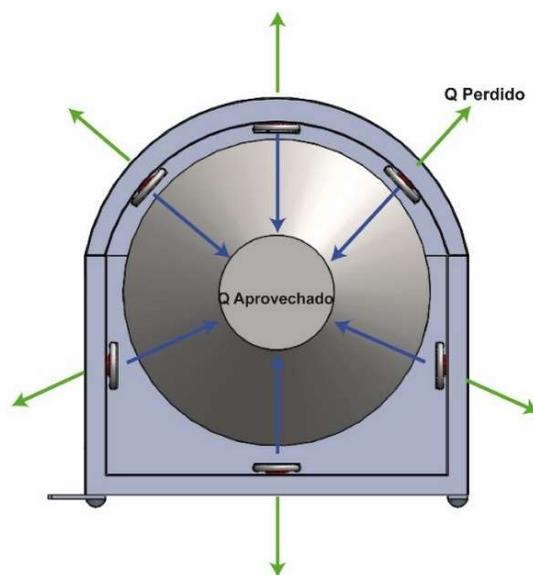


Figura 2. 2: Flujos de calor en la máquina tostadora

En el cálculo de los flujos de calor intervienen las ecuaciones de la resistencia térmica para conducción y convección, que se muestran en las **Ecuación 2.1** y **Ecuación 2.2**. (Rolle, 2006)

Ecuación 2.1: Resistencia térmica por convección

$$R_{conveccion} = \frac{1}{h * A}$$

Donde:

$R_{conveccion}$: resistencia termica por conveccion, $[\frac{^{\circ}C}{W}]$

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

A : Area transversal al flujo de calor, $[m^2]$

Ecuación 2.2: Resistencia térmica por conducción

$$R_{conduccion} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 * \pi * K * L}$$

Donde:

$R_{conduccion}$: resistencia termica por conduccion, $[\frac{^{\circ}C}{W}]$

r_{ext} : Radio exterior de la camara de tostado, [m]

r_{int} : Radio interior de la camara de tostado, [m]

L : longitud de la camara de tostado, [m]

K : conductividad termica del material, $[\frac{W}{m * ^{\circ}C}]$

Para poder determinar el calor aprovechado dentro de la cámara de tostado, es necesario identificar los componentes del sistema térmico como se representa en la **Figura 2.3**.

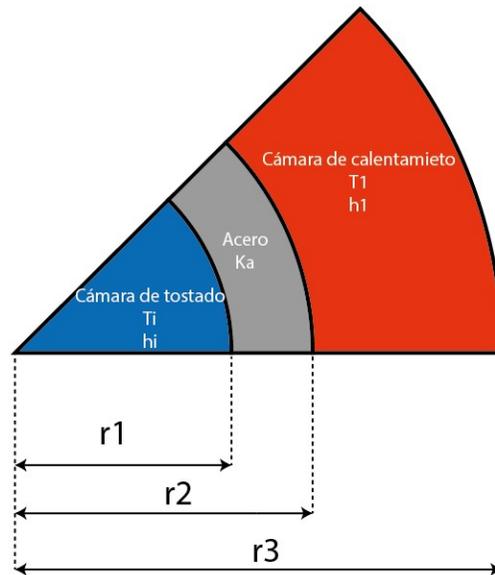


Figura 2.3: Capas de la cámara de tostado y calentamiento

Con esto se puede identificar cada una de las resistencias térmicas y para poder entender de mejor manera el proceso es necesario realizar un sistema análogo al térmico. Se puede crear una analogía con los sistemas eléctricos como muestra la **Figura 2.4**.

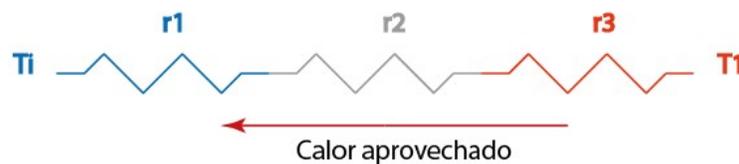


Figura 2.4: Representación de las resistencias térmicas

De esta manera y como se puede observar las resistencias térmicas están tienen una configuración en serie, y tomando en cuenta la analogía con una resistencia eléctrica, la resistencia total se puede calcular con la suma de las resistencias individuales, como se indica en la **Ecuación 2.3**.

Ecuación 2. 3: Resistencia térmica total

$$R_{CT} = r1 + r2 + r3$$

Donde:

R_{CT} : resistencia total

r_1 : resistencia por conveccion interior de la camara de tostado

r_2 : resistencia por conduccion en la pared del cilindro tostador

r_3 : resistencia por conveccion en el exterior de la camara de tostado

Se reemplaza cada resistencia (r_1 , r_2 , r_3) por las Ec.2.1 y Ec.2.2 como corresponda para poder determinar la resistencia total, y de esta manera se tiene la **Ecuación 2.4**.

Ecuación 2. 4: Resistencia en función de los factores térmicos

$$R_{CT} = \frac{1}{h_i * A_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{2\pi * K_a * L} + \frac{1}{h_1 * A_2}$$

Donde:

h_i : coeficiente de conveccion en la camara de tostado, $18\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]^1$

h_1 : coeficiente de conveccion en la camara de calentamiento, $5\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$

K_a : Conductividad termica para el acero inoxidable AISI 304, $21\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$

A_1 : Area transversal al flujo de calor en la pared interna de la camara de tostado

A_2 : Area transversal al flujo de calor en la pared externa de la camara de tostado

r_1 : Radio interior de la lamina de acero inoxidable

r_2 : Radio exterior de la lamina de acero inoxidable

Se reemplaza los valores mencionados en la Ecuación 2.4 y se obtiene la resistencia total.

$$R_{CT} = 0.0204 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Este valor permite determinar el flujo de calor necesario para calentar la cámara de tostado y para este fin se dispone de la **Ecuación 2.5**. (Rolle, 2006)

Ecuación 2. 5: Flujo de calor

$$q = \frac{\Delta T}{R_{CT}}$$

Donde:

q = Flujo de Calor, [W]

ΔT = Variacion de temperatura, [$^{\circ}\text{C}$]

R_{CT} : resistencia termica total en la camara de tostado [$\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$]

Pero para poder calcular el flujo de calor se tiene que determinar el flujo másico para el café de quinua, y la **Ecuación 2.6** permite determinar ese valor.

Ecuación 2. 6: Flujo másico

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t}$$

Donde:

\dot{m} : Flujo masico del cafe de quinua, [$\frac{Kg}{s}$]

m: Masa de cafe de quinua a tostar, [Kg]

Δt = Variacion de tiempo, [s]

Se tiene una masa de aproximadamente 12kg y un tiempo de 10 minutos (600s) para que se dé inicio al proceso de tostado del café de quinua.

Se reemplaza y se calcula el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{12 \text{ kg}}{600s}$$

$$\dot{m} = 0.02 \frac{\text{kg}}{s}$$

Una vez determinado el flujo másico se puede determinar la cantidad de energía que se requiere para poder tostar los 12 kg de café de quinua, se toma en cuenta el calor específico a presión constante del café de quinua, y la temperatura necesaria para le tueste. La **Ecuación 2.7** ayuda con el cálculo de la energía.

Ecuación 2.7: Calor Aprovechado

$$q_{aprovechado} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{amb})$$

Donde:

$q_{aprovechado}$: Calor necesario para el tueste, [W]

\dot{m} : Flujo masico del cafe de quinua, [$\frac{Kg}{s}$]

C_p : calor especifico a presión constante del café de quinua, $2.05 [\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}]$

T_i : Temperatura necesaria para el tueste, $180[^{\circ}C]$

T_{amb} : : Temperatura ambiente, $21[^{\circ}C]$

Con los valores se reemplaza y se calcula:

$$q_{*aprovechad} = 0.02 \frac{kg}{s} * 2.05 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * (180^{\circ}C - 21^{\circ}C)$$

$$q_{aprovechad} = 6500 W$$

Con este valor se puede determinar la temperatura en la cámara de calentamiento y que es transmitida a la cámara de tostado, para esto se reemplaza los valores en la Ecuación 2.5.

$$q_{aprovechad} = \frac{(T1 - T_i)}{R_{CT}}$$

Se despeja T1 que es la temperatura de la cámara de calentamiento:

$$T1 = q_{aprovechado} * R_{CT} + T_i$$

$$T1 = 2164W * 0.0204 \frac{^{\circ}C}{W} + 180^{\circ}C$$

$$T1 = 310.38^{\circ}C$$

Para determinar la potencia real que necesita el sistema se debe tomar en cuenta las pérdidas de calor que se dan en las paredes de la cámara de calentamiento y sus alrededores. Para determinar esa cantidad de energía perdida es necesario definir cuáles son las resistencias térmicas que se encuentran involucradas, la **Figura 2.5** muestra dichos elementos.

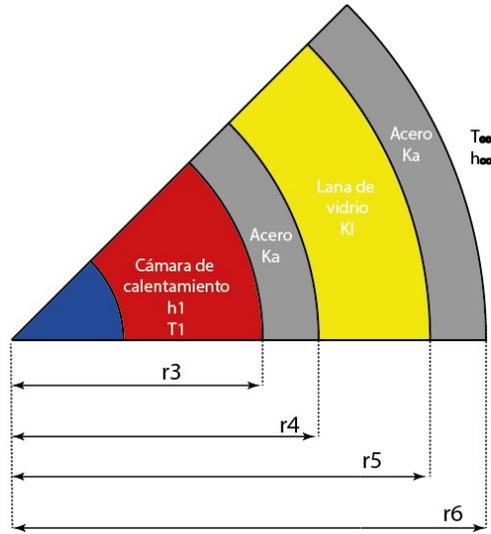


Figura 2.5: Elementos que generan resistencia en las cámaras

De igual manera que cuando se determinó el calor aprovechado, es más fácil entender el proceso de pérdida mediante un circuito equivalente, que se muestra en la **Figura 2.6**, este circuito representa las capas de las cámaras de la máquina como resistencias eléctricas en conexión serie.

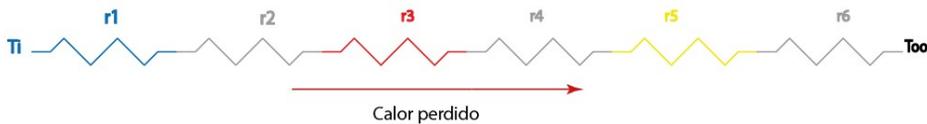


Figura 2.6: Circuito equivalente de resistencias

Mediante la **Ecuación 2.8** se puede determinar la resistencia total, además se reemplaza cada resistencia con su respectiva ecuación según el tipo de transferencia.

Ecuación 2.8: Resistencia total para el calor perdido

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

Donde:

R_T : Resistencia Total, $[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}]$

r_1 : resistencia por conveccion en el interior de la camara de tostado

r_2 : resistencia por conduccion en la pared del cilindro tostador

R_3 : resistencia por conveccion en el exterior de la camara de tostado

R_4 : resistencia por conduccion en la pared interna de la cámara de calentamiento

R_5 : resistencia por conduccion en el aislante térmico

R_6 : resistencia por conveccion hacia el ambiente

Para obtener el valor de la resistencia se reemplaza las Ecuaciones 2.1 y Ecuaciones 2.2 en Ecuación 2.8.

$$R_T = \frac{1}{h_i * A_1} + \frac{\ln(\frac{r_4}{r_3})}{2\pi * K_a * L} + \frac{\ln(\frac{r_5}{r_4})}{2\pi * K_l * L} + \frac{\ln(\frac{r_6}{r_5})}{2\pi * K_a * L} + \frac{1}{(h_{\infty} + h_r) * A_2}$$

Donde:

hi: coeficiente de conveccion en la camara de tostado, $18 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

h ∞ : coeficiente de convección del aire a la temperatura ambiente, $5 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

hr: coeficiente de radiación del aire a la temperatura ambiente, $5 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

Ka: Conductividad térmica para el acero inoxidable AISI 304, $21 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

Kl: Conductividad térmica de la lana de vidrio, $0.046 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]^3$

A1: Área transversal al flujo de calor en la pared interna de la cámara

A2: Area transversal al flujo de calor en la pared externa de la cámara

r3: Radio interior de la lamina de acero inoxidable interna

r4: Radio exterior de la lamina de acero inoxidable interna

r5: Radio interior de la lamina de acero inoxidable externa

r6: Radio exterior de la lamina de acero inoxidable externa

L: Longitud de la camara de calentamiento

Se reemplaza los valores en la ecuación y se obtiene:

$$R_T = \frac{1}{18 * 1.413} + \frac{\ln\left(\frac{0.2}{0.1985}\right)}{2\pi * 21 * 0.60} + \frac{\ln\left(\frac{0.225}{0.2}\right)}{2\pi * 0.046 * 0.60} + \frac{\ln\left(\frac{0.25}{0.225}\right)}{2\pi * 21 * 0.60} + \frac{1}{(5 + 5) * 1.57}$$

$$R_T = 0.724 \left[\frac{^\circ C}{W} \right]$$

Con la **Ecuación 2.9** se puede determinar la cantidad de calor perdido en los alrededores de la máquina.

Ecuación 2. 9: Calor perdido

$$q_{perdido} = \frac{(T1 - T\infty)}{R_T}$$

Donde:

$q_{perdido}$: Calor perdido en los alrededores de la máquina, [W]

$T1$: Temperatura dentro de la cámara de calentamiento, 310.38[°C]

$T\infty$: Temperatura ambiente, 21[°C]

Se reemplaza y se obtiene:

$$q_{perdido} = \frac{(310.38 - 21)^{\circ\text{C}}}{0.724 \frac{\circ\text{C}}{\text{W}}}$$

$$q_{perdido} = 400W$$

Con los valores del calor aprovechado y el calor perdido se obtiene una potencia total requerida de 6900W.

1.12 SELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Para poder determinar los elementos de calentamiento o resistencias eléctricas es necesario determinar ciertos parámetros necesarios como el material de la resistencia y la forma que la resistencia debe tener. Como parámetros iniciales tenemos la temperatura que tiene que soportar con un valor de 310.38°C y una potencia de 6900W.

Con estos valores se puede determinar el material del cual va estar construida la resistencia, para este propósito MacGinnis (s.f.), propone la selección tomando en cuenta la temperatura máxima que debe soportar en el proceso, la **Figura 2.7** muestra los diferentes tipos de materiales para resistencias y sus temperaturas máximas.

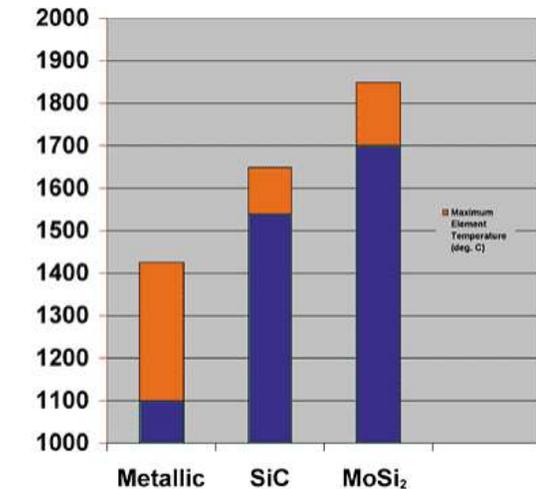


Figura 2.7: Temperatura máxima vs. Material

Fuente: (MacGinnis, s.f.)

Como se puede observar todos los materiales propuestos pueden soportar y sobrepasar la temperatura máxima del proceso de tostado, entonces es necesario determinar un material de acuerdo a sus ventajas y disponibilidad en el mercado local. Para esto la **Tabla 2.1** da a conocer las principales ventajas de los diferentes materiales.

Tabla 2. 1: Características de los distintos materiales para resistencias eléctricas

CARACTERISTICAS/TIPO	METALICAS	CARBURO DE SILICIO	DISILICIO DE MOLIBDENO
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	Puede soportar temperaturas hasta aproximadamente 1400 C	Soporta altas temperaturas hasta 1600C	Trabaja en altas temperaturas sobre los 1800 C
DIMENSIONES Y FORMAS	Se puede encontrar en forma de barras y tiras, pueden ser fabricadas con tecnicas convencionales de formado de metales con una variedad de formas y dimensiones	Disponible en varias dimensiones y formas	Disponible en varias dimensiones y formas
SISTEMA DE POTENCIA	Puede operar con el voltaje de la red de distribucion	Necesita sistemas de transformaci3n	Necesita sistemas de transformaci3n
COSTO	Tienen un precio mas bajo en comparacion con los otros tipos	Necesita de un control de potencia mas costoso	Tiene un costo elevado el tipo de material

Fuente: (MacGinnis, s.f.)

De esta manera se puede determinar que las resistencias metálicas pueden satisfacer las necesidades del sistema de calentamiento para la máquina tostadora y además su facilidad de control, alimentación eléctrica y su costo le convierten en el candidato perfecto para ser implementado.

Una vez seleccionado el material para los elementos de calentamiento se tiene que elegir la forma de que estos deben tener para esto se utiliza la **Tabla 2.2**, donde se muestra ciertas características de las resistencias metálicas existentes en el mercado local.

Tabla 2. 2: Criterios técnicos de las resistencias metálicas

CRITERIO TÉCNICO Y OPERACIONAL	RESISTENCIA TUBULAR	RESISTENCIA DE CARTUCHO	RESISTENCIA TIPO ABRAZADERA
APLICACIONES	Se utiliza principalmente en maquinas, hornos, estufas y tostadores.	Calentamiento de Matrices y moldes para la industria automotriz, plastica y petroquímica.	Maquinas de extrusión, inyectoras, sopladoras y cañerías.
TEMPERATURA DE TRABAJO	Temperatura de operación de alrededor de 450°C.	Opera hasta los 700°C.	Soporta temperaturas hasta 700°C.
CONEXIÓN ELÉCTRICA	Se puede conectar con borneras de acero niquelado o cables para altas teneperaturas.	Salida con protección de malla, terminales de niquel o Cobre.	Tornillo y tuerca en Bronce o Acero Inoxidable.
MALEABILIDAD	Se puede obtener diversas formas, lo que le permite ser versatil en diferentes aplicaciones.	Su forma no puede ser modificada porque vienen en cartuchos.	Tiene forma de abrazadera y difenrentes medidas.
COSTO	Menor	Alto	Medio

Con estos criterios técnicos se puede determinar que las resistencias tubulares son las indicadas para ser implementadas en el sistema de calentamiento de la tostadora para café de quinua, este tipo de resistencia permite obtener cualquier forma que se requiera para la aplicación, su costo es otro factor para su elección.

Para poder determinar ciertas características de las resistencias como el diámetro, área de calentamiento y resistencia, es necesario aplicar las formulas estandarizadas para el cálculo de las resistencias tubulares y además se dispone de una guía para la selección de estos elementos, como se muestra en el **ANEXO**

III.

El primer paso es tener en cuenta una potencia de 6900W, la densidad de potencia de 5 W/cm^2 , la temperatura de trabajo (310.3°C) y el voltaje de la red (220V). Con estos datos se procede a la selección conforme a los pasos propuestos en la **Figura 2.8**.

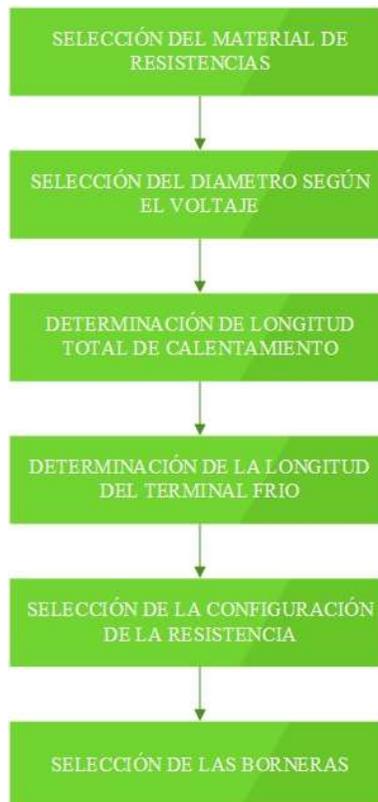


Figura 2.8: Pasos para la selección de las resistencias eléctricas

Fuente: (Caloritech, s.f.)

- Los materiales que se disponen para las resistencias son cobre, bundy, incoloy, acero inoxidable y acero. Para seleccionar el tipo de material se toma en cuenta la temperatura máxima permisible del material en comparación con la temperatura de trabajo. La **Tabla 2.3** muestra la temperatura para cada material.

Tabla 2. 3: Temperatura máxima para diferentes materiales de resistencias

MATERIAL	TEMPERATURA MÁXIMA °C
COBRE	177
BUNDY	400
INCOLOY	815
ACERO INOXIDABLE	760

Fuente: (Caloritech, s.f.)

De esta manera se selecciona el acero inoxidable como material para las resistencias porque puede soportar la temperatura de trabajo y además está disponible en el mercado local.

- Para la selección del diámetro es necesario saber el voltaje al cual se quiere trabajar, en este caso 220V monofásico, y con la **Tabla 2.4** se puede determinar un diámetro estándar.

Tabla 2.4: Voltaje máximo para cada diámetro estándar

DIAMETRO ESTANDAR (mm)	VOLTAJE PERMISIBLE (V)
6,6	250
8,0	600
10,9	600
12,1	600

Fuente: (Caloritech, s.f.)

Así se puede seleccionar un diámetro de 6.6 mm el cual puede superar el voltaje que se va a suministrar a la resistencia eléctrica.

- Para calcular la longitud total de calentamiento se tiene un dato de $5 W/cm^2$ para la densidad de potencia que requiere el sistema y con la **Figura 2.9** se puede relacionar el diámetro seleccionado y la densidad de potencia que se requiere.

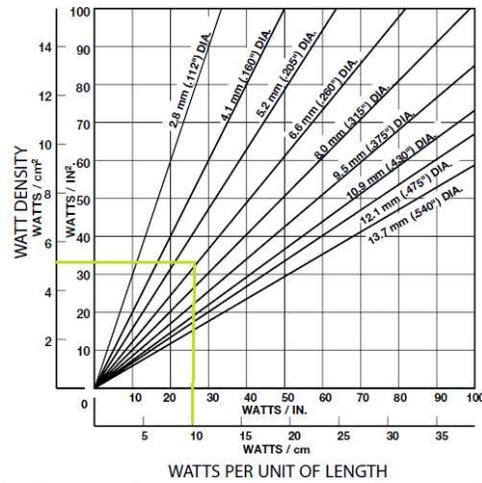


Figura 2.9: Potencia superficial vs. Potencia lineal
Fuente: (Caloritech, s.f.)

Al determinar los watts por unidad de longitud ($10W/cm$) se puede calcular la longitud necesaria de la resistencia eléctrica con la **Ecuación 2.10**.

Ecuación 2.10: Longitud de la resistencia eléctrica

$$l = \frac{P}{LW}$$

Donde:

l: Longitud necesaria. [cm]

P: Potencia del sistema, [W]

LW: Watts por unidad de longitud, [$\frac{W}{cm}$]

Se reemplaza los valores y se obtiene:

$$l = \frac{6900W}{10 \frac{W}{cm}}$$

$$l = 690cm$$

Con esto se determina que la longitud mínima necesaria es de 6.9 metros de resistencia que va dispuesta alrededor de la cámara de calentamiento. Y por cuestiones de disponibilidad en el mercado local esta longitud tiene que ser dividida en seis elementos con lo cual se distribuye tres en la parte superior de la cámara de calentamiento y tres en la parte inferior, además la potencia disponible es de 1200W para cada elemento con lo cual se asegura la potencia requerida para el calentamiento de la cámara de tostado.

- La longitud de terminado no debe ser menor a 0.04 metros para la longitud de resistencia según recomendaciones de la guía de selección.
- Con estos valores se puede determinar la forma de la resistencia eléctrica, para lo cual se selecciona la forma U, que ofrece una distribución más uniforme del calor a lo largo de la cámara de tostado. De esta manera se distribuye la longitud total para cada resistencia, dividiendo la longitud para el número de resistencias. La configuración y las dimensiones se muestran en la **Figura 2.10**.

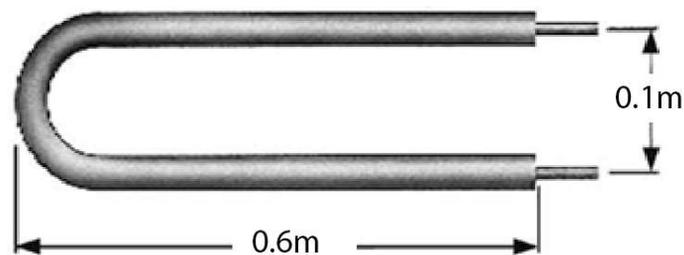


Figura 2.10: Configuración U

Fuente: (Caloritech, s.f.)

- Y una vez determinado todos los valores y forma de la resistencia se debe seleccionar la bornera necesaria para conectar las resistencias, y se selecciona un terminal tipo AB, como se muestra en la **Figura 2.11**, este terminal soporta 600V y 400°C. La tabla de propiedades de los conectores y sus esquemas se muestran en el **ANEXO IV**.

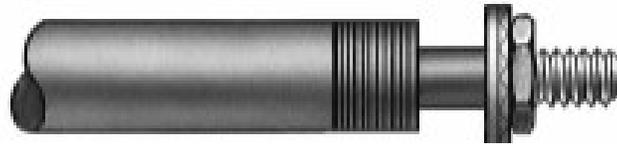


Figura 2.11: Terminal tipo AB

Fuente: (Caloritech, s.f.)

La **Figura 2.12** muestra la resistencia utilizada para el calentamiento de la cámara de tostado. Se puede observar que es necesario utilizar aisladores de 25mm para poder sujetar la resistencia en las paredes de la máquina tostadora.

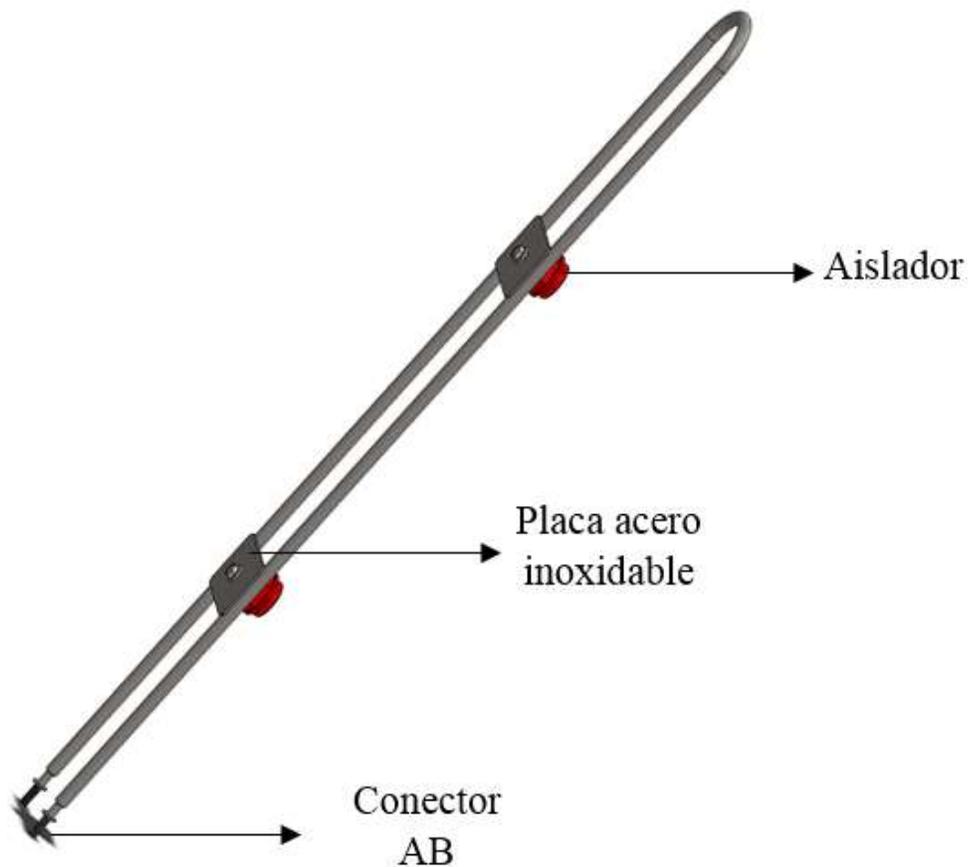


Figura 2.12: Resistencia tipo U de acero inoxidable

1.13 DISEÑO DEL HARDWARE DE POTENCIA

El circuito de potencia es muy importante para que las resistencias eléctricas puedan generar calor, además es necesario para poder controlar el voltaje que se entrega al sistema de calentamiento y así lograr variar la temperatura de la cámara de tostado.

Como circuito de potencia se dispone de un conversor AC/AC por control de fase, con este tipo de circuitos se puede recortar el voltaje sinusoidal de la red y esto permite que se pueda regular el voltaje en la carga.

1.13.1 CIRCUITO DE SINCRONIZACIÓN

El circuito de sincronización sirve para determinar cuando la onda sinusoidal cruza por cero, de esta manera se puede detectar cuando inicia la onda y así puede generar el pulso de disparo para el SSR de manera coordinada con la red eléctrica, que permite disminuir perturbaciones por la rápida conmutación del SSR.

El circuito de sincronización es básicamente un detector de cruce por cero, el cual consta de un transformador, que permite reducir el nivel de voltaje, un divisor de voltaje de comparación y un circuito comparador el cual se encarga de determinar cuando el voltaje de la onda sinusoidal es igual al voltaje de comparación y este puede brindar un acondicionamiento de la señal para generar un nivel TTL admitido por el microcontrolador. La **Figura 2.13** muestra el circuito implementado como detector de cruce.

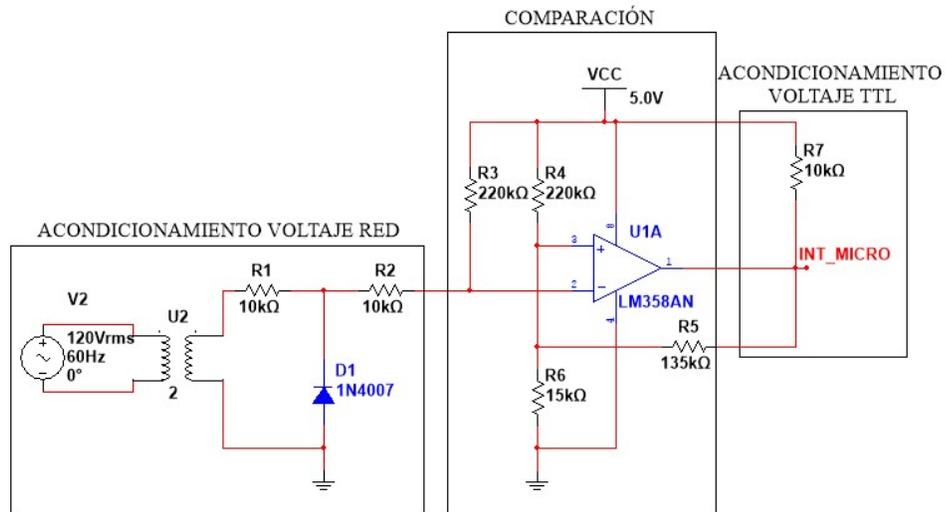


Figura 2.13: Circuito de Sincronización

Con el circuito podemos obtener una salida de pulsos la cual es enviada al microcontrolador y su recurso llamado Interrupción Externa, podemos crear un circuito el cual pueda detectar cada semi-ciclo de la onda sinusoidal, la **Figura 2.14** muestra los pulsos que se genera con el circuito de sincronización y los que ingresan al microcontrolador.

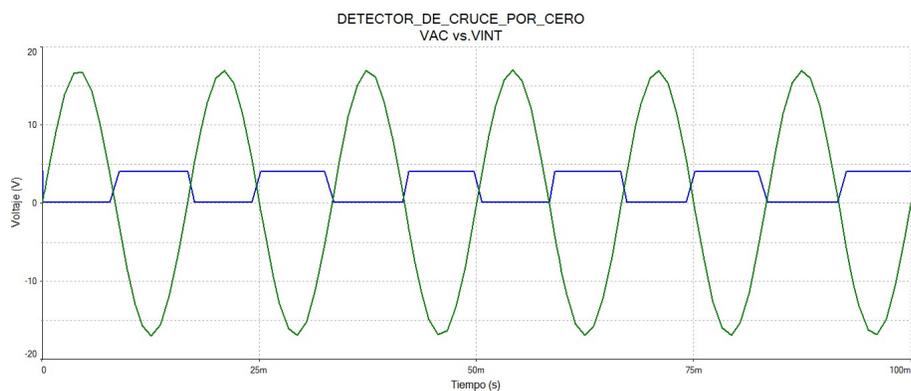


Figura 2.14: Pulsos generador por el circuito de sincronización

El comparador tiene en sus entradas el voltaje que proviene del transformador U2 y esta acondicionado con las resistencias R1, R2 y el diodo D1 que sirve para rectificar el valor del voltaje AC en DC, de esta manera se compara con el voltaje de 0.3V que genera el divisor de voltaje formado por las resistencias R4 y R6, para determinar el valor de estas resistencias se tiene la **Ecuación 2.11**.

Ecuación 2. 11: Voltaje de salida del divisor de voltaje

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R6}{R4+R6}$$

Donde:

V_{out} : Voltaje de salida del divisor de voltaje, [V]

V_{in} : Voltaje de entrada al divisor de voltaje, 6[V]

R4 y R6: resistencias que conforman el divisor, [Ω]

Se despeja R6, se asume una resistencia de 220K para R4 y se obtiene:

$$6 = V_{out} * \frac{R4}{V_{in} - V_{out}}$$

$$R6 = 14042 \Omega$$

Se selecciona una resistencia de 15K que es el valor más cercano al calculado y por ser un valor comercial y disponible en el mercado local.

1.13.2 CIRCUITO DE DISPARO Y AISLAMIENTO

El circuito de disparo es muy importante para el sistema porque es el que se encarga de generar los pulsos para activar el SSR, además estos pulsos son generados de acuerdo al control de temperatura implementado, porque según este valor será el porcentaje de voltaje de la red que se entrega a la carga resistiva.

1.13.2.1 Selección del SSR

Para una correcta selección del relé de estado sólido (SSR), es importante tomar en cuenta ciertos parámetros como la máxima corriente que circula en el calentador, el tipo de carga, el voltaje de alimentación y el tipo de control, y los parámetros del sistema a controlar se muestran en la **Tabla 2.5**. Se dispone de seis resistencias de 1200W cada una.

Tabla 2.5: Parámetros del sistema de calentamiento de la máquina tostadora

PARÁMETRO	VALOR
POTENCIA	7200W
TIPO DE CARGA	Resistiva
CORRIENTE	32A
VOLTAJE	220V
TIPO DE CONTROL	TTL microcontrolador

Una vez determinados las características más importantes se procede a seleccionar el SSR más adecuado para la aplicación, y para esto se debe tener en cuenta el transitorio de corriente de entrada, y con este fin se utiliza la **Figura 2.15**, en la cual se detalla la relación entre la corriente transitoria y la corriente normal.

TIPO DE CARGA	SOLENOIDE	INCANDESCENTE	MOTOR	RELÉ	CAPACITIVO	RESISTIVO
CT/CN	10 VECES	10 - 15 VECES	5 - 10 VECES	2 - 3 VECES	20 - 50 VECES	1 VEZ
FORMA DE ONDA	<p>El gráfico muestra una onda de corriente que comienza con un pico alto (corriente transitoria) y luego se estabiliza en un nivel más bajo (corriente normal). El eje vertical está etiquetado como 'Corriente transitoria' y 'Corriente normal'.</p>					

Figura 2.15: Relación de la corriente transitoria y la corriente normal
Fuente: (Omron, s.f.)

Mediante el gráfico anterior se puede determinar que la corriente que circula por el sistema de calentamiento no contiene picos en el arranque del sistema entonces se puede seleccionar un SSR con la corriente máxima, pero se tiene que tomar en consideración algunas recomendaciones de los fabricantes para tomar una buena decisión al momento de elegir el módulo SSR. Para esto se dispone de la **Tabla 2.6** que muestra los valores recomendados de corriente de SSR para diferentes potencias de cargas resistivas.

Tabla 2.6: Amperaje recomendado para SSR

AMPERAJE SSR	110 VAC	220 VAC
10A	900W	1,8KW
25A	2KW	4KW
40A	3,6KW	7,2KW
75A	6,5KW	13KW

Fuente: (WRCAKRON, s.f.)

De esta manera se determina un SSR con un amperaje de 40A con el cual se puede manejar de manera correcta la carga de 7.2KW del sistema de calentamiento, además el voltaje de trabajo es de 220V, la entrada debe tener la posibilidad de ser manejada por medio de los puertos digitales del microcontrolador de esta manera se selecciona un SSR 40AA de la marca CNC disponible en el mercado local y con las características que se detallan en la **Tabla 2.7**, además en el **ANEXO V** se adjunta la hoja de datos para este dispositivo.

Tabla 2.7: Características SSR 40AA de la marca CNC

PARÁMETRO	VALOR SSR	VALOR REQUERIDO
VOLTAJE	48-240 VAC	220 VAC
CORRIENTE	40A	40A
VOLTAJE DE CONTROL	3-32 VDC	5VDC

Fuente: (NAINPA, 2015)

1.13.2.2 Disipador de calor

Para que el módulo SSR pueda funcionar correctamente y además pueda mantener la temperatura adecuada es necesario dimensionar un disipador de calor, lo cual permite evacuar el calor generado por las conmutaciones del SSR en el encapsulado.

Para transferir este calor hacia el elemento disipador se puede dar por conducción, convección o radiación. El método más común es la transferencia de calor por convección por medio de disipadores de aluminio.

La selección del disipador de calor se basa en cuatro parámetros que se pueden obtener del elemento de potencia y la aplicación en la cual se utiliza, estos datos son: (Lee, s.f.)

- Q : La cantidad de calor que se genera por el elemento semiconductor, [W].
- T_j : Temperatura máxima permisible en la unión, [$^{\circ}C$].
- T_a : temperatura ambiente, [$^{\circ}C$].
- R_{SSR} : resistencia térmica del SSR [$^{\circ}C/W$].
- El tipo de enfriamiento, [natural o forzado].
-

Para determinar la cantidad de calor se utiliza la **Ecuación 2.12**, que permite determinar la potencia disipada (P_{dis}) en el módulo SSR. (Crydom, 2009)

Ecuación 2.12: Potencia Disipada

$$P_{dis} = I_{max} * V_{drop}$$

Donde:

P_{dis} : Potencia disipada, [W]

I_{max} : Corriente máxima, [32A]

V_{drop} : Caída de voltaje, [V]

El valor de la caída de voltaje se encuentra en la hoja de datos del módulo SSR, y para este caso se utiliza 1.6V. Y se obtiene el siguiente resultado:

$$P_{dis} = 32 A * 1.6 V$$

$$P_{dis} = 51.2 W$$

Luego se determina la temperatura máxima permisible, temperatura ambiente y la resistencia del SSR.

$$T_j = 125 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_A = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{SSR} = 0.63 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Y con estos valores y la **Ecuación 2.13** se puede determinar resistencia térmica del disipador (R_{sh}).

Ecuación 2.13: Resistencia térmica del disipador

$$R_{sh} = \frac{T_j - T_a}{P_{dis}} - (R_{SSR} + R_a)$$

Donde:

R_{sh} : impedancia térmica, [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

T_j : temperatura máxima permisible, [125°C]

T_a : temperatura máxima ambiente, [25°C]

P_{dis} : Potencia disipada, [51.2W]

R_{SSR} : resistencia térmica del SSR, [$0.63^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

R_a : resistencia térmica del aislante, [$0.05^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

$$R_{sh} = \frac{125^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{51.2\text{W}} - (0.63 + 0.05)^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{sh} = 1.27 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

De esta manera se elige un disipador con un valor menor al cálculo, en la **Tabla 2.8** se muestra los diferentes disipadores disponibles en el mercado.

Tabla 2.8: Disipadores disponibles en el mercado

RESISTENCIA TERMICA	USO
2,4 C/W	SSR 10-15A
1,1 C/W	SSR 20-25A
0,6 C/W	SSR 40-50A

Fuente: (NAINPA, 2015)

De esta manera se elige un disipador de calor con una resistencia térmica de $0.6^{\circ}\text{C}/\text{W}$, por estar disponible en el mercado local y además con este se logra mantener la temperatura de operación del SSR en un estado normal.

1.13.2.3 Conexión del SSR

Una vez seleccionado el módulo de potencia que permite manejar la carga resistiva, se define el circuito a utilizar, en este caso al poseer el SSR una entrada de control que permite ser manejada con un voltaje de 5 VDC facilita el circuito de control de este dispositivo. La **Figura 2.16** muestra el circuito utilizado para la aplicación.

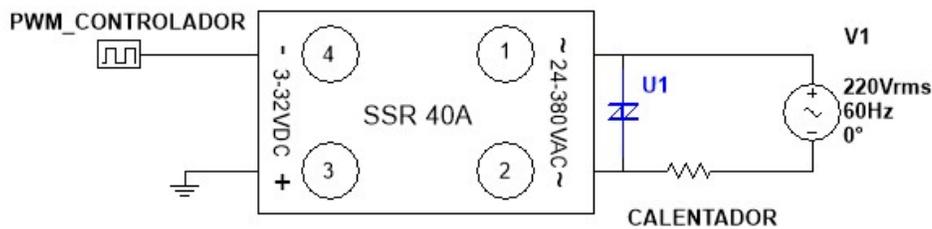


Figura 2.16: Conexión del SSR y la carga

Como se muestra en la figura anterior el voltaje de control (PWM_CONTROLADOR) ingresa directamente al módulo SSR, porque el circuito interno del SSR contiene un opto acoplador que permite una interfaz directa con la tarjeta de control.

Además, se observa el varistor U1 que permite proteger al módulo SSR de sobre voltajes que se pueden provocar por causas externas al funcionamiento del calentador. Para determinar el valor adecuado para la aplicación se utiliza la **Tabla 2.9**.

Tabla 2.9: Valores recomendados para varistor

VOLTAJE	VOLTAJE VARISTOR	AMPERAJE
100 a 120 VAC	240 a 270 V	1000 A min.
200 a 240 VAC	440 a 470 V	
380 a 480 VAC	820 a 1000 V	

Fuente: (OMRON, s.f.)

De esta manera se elige un varistor de 440 V con un amperaje de 1200A, disponible en el mercado.

1.14 DISEÑO DEL HARDWARE DE CONTROL

Para la medición de temperatura se utiliza un sensor termocupla tipo K por sus características, que se describen en el **ANEXO VI**. Para obtener una lectura más precisa de la temperatura de la cámara de tostado se debe usar un circuito acondicionador, que permite ajustar los valores de voltaje que entrega el sensor con los requerimientos del sistema de control.

El circuito de acondicionamiento permite transformar el voltaje que entrega el sensor en una señal entendible para la tarjeta controladora, para este caso se tiene dos tipos de transductores disponibles en el mercado local que se detallan en la **Tabla 2.10**.

Tabla 2.10: Transductores para Termocuplas tipo K

TRANSDUCTOR	TIPO DE SALIDA	RESOLUCIÓN
MAX6675	Digital	12 bits
AD595	Analoga	10 bits

Para la lectura de la temperatura se elige un MAX6675 por su mayor resolución además porque su enlace con la tarjeta de control es digital lo cual disminuye la interferencias o ruido que se puede inyectar a la señal del sensor. El transductor MAX6675 permite una comunicación SPI de tres hilos lo cual permite obtener el dato de la temperatura de manera digital con una resolución de 12 bits, lo cual permite lecturas con incrementos de 0.25°C.

Para la conexión del MAX6675 se necesita de un voltaje que se puede suministrar directamente de la tarjeta de control y además los pines van conectados directamente a la tarjeta como muestra la **Figura 2.17**. La hoja de datos se adjunta en el **ANEXO VII**.

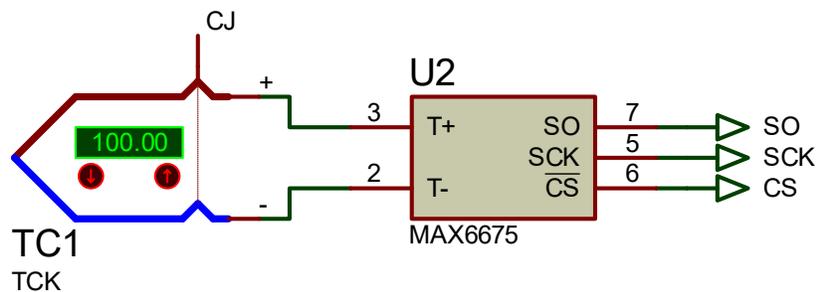


Figura 2. 17: Conexión del MAX6675 y termocupla K

1.15 SELECCIÓN DE LA FUENTE DE VOLTAJE

Para poder alimentar los diferentes circuitos que componen el sistema electrónico de la máquina tostadora es necesario una fuente de voltaje que satisfaga las necesidades de cada circuito, para poder determinar la fuente de alimentación correcta se tiene que delimitar que voltajes se necesitan, la **Tabla 2.11** muestra los niveles de voltaje necesarios.

Tabla 2.11: Voltajes necesarios para el sistema

CIRCUITO	VOLTAJE
SENSOR DE TEMPERATURA	5V
	12V
	-12V
SISTEMA DE CONTROL	5V
CIRCUITO DE SINCRONIZACION	5V

Para obtener los tres niveles de voltaje necesarios para el sistema se utiliza una fuente de voltaje tipo industrial Mean Well T-50B, sus características se pueden encontrar en el **ANEXO VIII**. La fuente de voltaje tiene una entrada de 110/220V lo que hace que la fuente sea más versátil para el desarrollo del sistema. Las especificaciones que tiene la fuente se muestran en la **Tabla 2.12**.

Tabla 2.12: Especificaciones de las salidas de la Fuente Mean Well T-50B

PARAMETRO	CANAL 1	CANAL 2	CANAL 3
VOLTAJE	5V	12V	-12V
CORRIENTE	5A	1A	1A
VOLTAJE AJUSTABLE	4.75 - 5.5V	-	-

La **Figura 2.18** muestra el aspecto físico de la fuente de voltaje empleada para la alimentación de los circuitos electrónicos del sistema de calentamiento de la máquina tostadora.



Figura 2. 18: Fuente de voltaje Mean Well T-50B

1.16 SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO LÓGICO PROGRAMABLE

El dispositivo lógico programable es un componente muy importante porque es en donde se almacenan las instrucciones para que el sistema funcione de manera correcta. Para la selección de este dispositivo es necesario conocer los requerimientos de hardware del proyecto, en la **Tabla 2.13** se muestra los requerimientos del proyecto.

Tabla 2. 13: Requerimientos de hardware

REQUEMIENTOS	CANTIDAD
Convertor Analogo-Digital	3
Salidas PWM	1
Comunicacion Serial	1
I/O Digitales	8
Temporizadores	1

En el mercado existen muchas marcas de dispositivos lógicos programables por lo cual es necesario determinar ciertos criterios de selección como son: arquitectura de la memoria, disponibilidad, tamaño, compatibilidad, software y costo.

- **Arquitectura de la memoria:** cumple un rol muy importante la memoria porque es en donde se almacena datos y las instrucciones que se ejecutan para el proceso, en este caso un criterio muy importante es la capacidad y la flexibilidad de programación y modificación que puede tener el dispositivo.
- **Disponibilidad:** es un criterio muy importante porque permite definir si el proyecto a lo largo de su vida útil puede disponer de recambios, además es necesario conocer la disponibilidad en el mercado local.
- **Tamaño:** se define como la cantidad de pines que tiene el dispositivo, es importante porque permite visualizar la cantidad de hardware que ofrece el dispositivo.
- **Compatibilidad:** es la disponibilidad que existe para reemplazar el dispositivo en caso de la inexistencia del componente original, además es importante la compatibilidad de pines para no exista la necesidad reprogramar el sistema y cambiar el hardware.
- **Software:** es muy importante disponer del software necesario para la compilación del código y la programación del dispositivo, además un parámetro importante del software es que sea fácil de utilizar y de adquirir.
- **Costo:** el parámetro más importante es el costo que representa la adquisición del dispositivo y los utilitarios necesarios para el desarrollo del sistema.

En la **Tabla 2.14** se muestra la comparativa entre diferentes dispositivos disponibles en el mercado local y se detalla ciertas características.

Tabla 2. 14: Comparativa entre dispositivos de las marcas ATMEL y MICROCHIP.

CRITERIO/DISPOSITIVO	ATMEGA 324PA	PIC 18F4550
REQUERIMIENTOS	8 canales ADC, 6 canales PWM, 2 canales Seriales, 32 I/O Digitales, 3 Temporizadores	13 canales ADC, 1 canal PWM, 1 canal Seriales, 32 I/O Digitales, 4 Temporizadores
ARQUITECTURA DE MEMORIA	Tiene una memoria tipo Flash de 32k, RAM 2048 bytes, EEPROM 1K	Memoria de 32k, SRAM 2048 bytes, EEPROM 256
DISPONIBILIDAD	Existe en el mercado local	Existe en el mercado local
TAMAÑO	Tiene 40 pines	Tiene 40 pines
COMPATIBILIDAD	Tiene compatibilidad con ATmega164, ATmega1644 y ATmega1284	Tiene compatibilidad con PIC18F4455
SOFTWARE	ATMEL proporciona el software ATMEL Studio de manera gratuita en su sitio web, en su interfaz tiene integrado tanto el lenguaje ensamblador como C.	MICROCHIP ofrece un software gratis pero esta limitado a lenguaje ensamblador (Mplab X) y para poder programar en C es necesario adquirir el CCS Compiler que tiene un costo de 500 dolares.
COSTO	\$10 + \$100(Programador AVR Dragon)	10 USD+\$95.90(Programador Pic Kit 3)

Luego de analizar los diferentes criterios se selecciona al microcontrolador ATmega324PA, porque tiene ciertas ventajas sobre su competidor que son: tiene 3 dispositivos compatibles y el software se lo encuentra de forma gratuita en la web.

1.17 CIRCUITO DE CONTROL

De esta manera se obtiene el circuito completo de control con cada uno de sus componentes, que permiten controlar la temperatura y el accionar del motor de agitación, la **Figura 2.19** muestra el circuito completo.

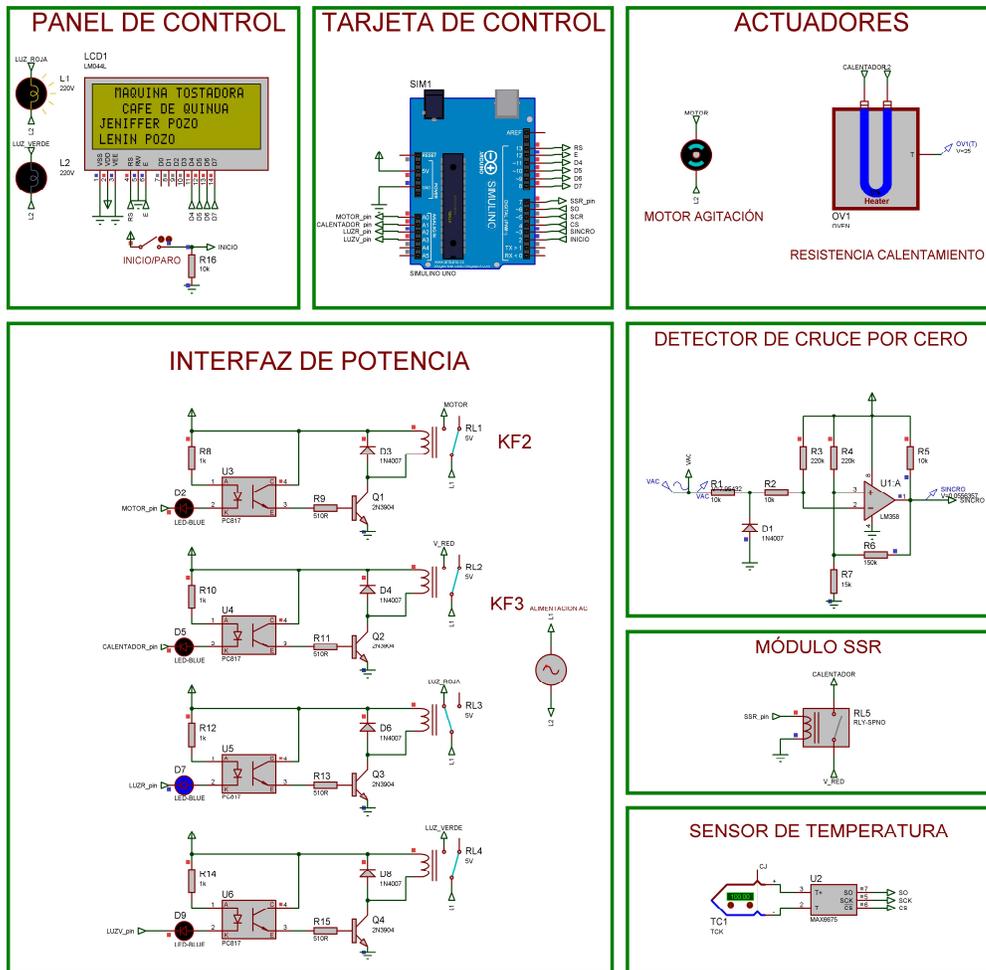


Figura 2. 19: Circuito de control máquina tostadora

1.18 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN

Para el buen funcionamiento del sistema de agitación de la máquina tostadora de café de quinua, es necesario que el motor que acciona el mecanismo de agitación este provisto de ciertas protecciones, las cuales permiten disminuir los riesgos mecánicos y eléctricos y de esta manera la máquina mejora su seguridad para el usuario.

Para poder seleccionar de manera correcta cada una de las protecciones es necesario conocer las características del motor, las cuales se muestran en la **Tabla 2.15**, el motor empleado en el sistema de agitación es de la marca WEG de ¼ de HP como menciona Pozo, 2016.

Tabla 2. 15: Características motor eléctrico ¼ HP WEG

PARÁMETRO	VALOR
POTENCIA	1/4 HP
VOLTAJE	110/220V
CORRIENTE	5/2,5A
CORRIENTE PARA EL FACTOR DE SERVICIO	5,80/2,90A
FACTOR DE SERVICIO	1,35

Estos datos se los encuentra en la placa de la carcasa del motor, otras características del motor seleccionado, se muestran en el **ANEXO IX**. Con esto se pueden determinar las características de las protecciones del motor.

Las principales protecciones que se deben tener en cuenta para el arranque y funcionamiento de motores son: fusibles, contactor y relé térmico; estos elementos permiten un correcto funcionamiento del sistema eléctrico del motor.

1.18.1 SELECCIÓN DE FUSIBLE

Los fusibles permiten cortar el paso de la corriente cuando esta supera el límite permitido por el conductor del fusible, de esta manera se puede evitar daños en el motor por sobre cargas o en los demás elementos del sistema.

Para obtener el amperaje del fusible es necesario conocer el factor de seguridad para este elemento, la **Tabla 2.16** permite conocer dicho factor para diferentes tipos de motores.

Tabla 2. 16: Factor de seguridad para fusibles

TIPO DE MOTOR	FACTOR DE SEGURIDAD
MONOFÁSICO	1,75
TRIFÁSICO	1,75
SINCRÓNICO	1,75
ROTOR BOBINADO	1,5
CORRIENTE DIRECTA DC	1,5

Fuente: (Parmar, 2013)

Con este dato se puede encontrar la corriente del fusible, para esto se utiliza la **Ecuación 2.14.**

Ecuación 2. 14: Corriente del fusible

$$I_F = FS * I_{SFA}$$

Donde:

I_F : Corriente del fusible, [A]

FS: factor de seguridad

I_{SFA} : corriente a plena carga, [A]

Se reemplaza los valores y se obtiene:

$$I_F = 1.75 * 2.5A$$

$$I_F = 4.375A$$

Se elige un fusible de 6A por ser el inmediato superior al valor calculado, es un valor estándar y disponible en el mercado local.

1.18.2 SELECCIÓN DEL CONTACTOR

Para la selección del contacto se debe tener en cuenta el tipo de la carga, la potencia nominal, la categoría de servicio y el factor de seguridad, la **Tabla 2.17** muestra los datos necesarios para el contactor.

Tabla 2.17: Datos para la selección de contactores

PARÁMETRO	VALOR
POTENCIA NOMINAL	0,25 HP
VOLTAJE	220 V
CORRIENTE NOMINAL	2,9 A
CATEGORÍA DE SERVICIO	AC3
TIPO DE CARGA	INDUCTIVA

La categoría de servicio depende del tipo de carga con la que se está trabajando, en este caso una carga inductiva, por tal motivo el valor del parámetro es AC3 según la norma IEC 60947-4-1. Con esto se recurre a las gráficas de selección de contactores categoría AC3, que se muestra en la **Figura 2.20**.

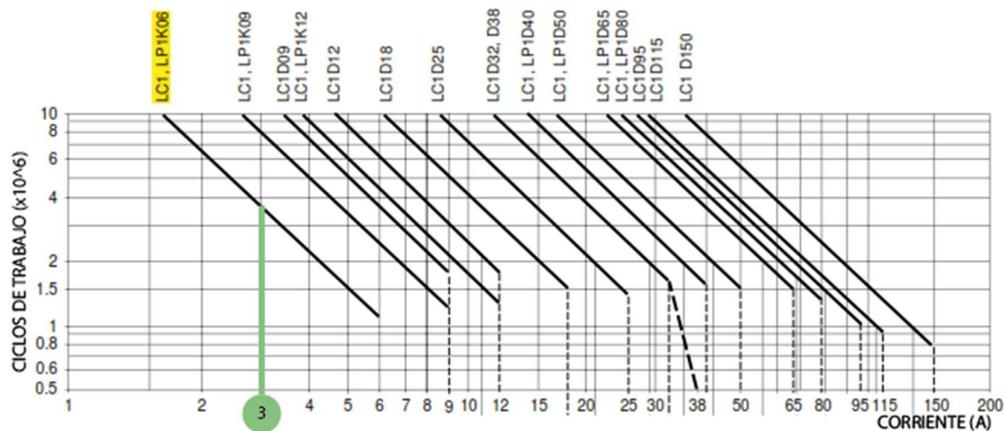


Figura 2.20: Gráfica de selección para contactor categoría AC3

Fuente: (Telemecanique, s.f.)

Con este dato se selecciona un contactor LC1K06 que cumple los requerimientos de diseño, los datos técnicos se muestran en el **ANEXO X**, y la **Figura 2.21** muestra la forma física del contactor seleccionado.



Figura 2.21: Contactor MC-06b

1.18.3 SELECCIÓN DEL RELÉ TÉRMICO

Para elegir correctamente el relé térmico para la protección del motor se debe tomar en cuenta la corriente mínima (I_{min}) y la corriente máxima (I_{max}), para determinar estos parámetros se tiene la **Ecuación 2.15** y **Ecuación 2.16**.

Ecuación 2. 15: Corriente mínima del relé térmico

$$I_{min} = 0.7 * I_{SFA}$$

Ecuación 2. 16: Corriente máxima del relé térmico

$$I_{max} = 1.2 * I_{SFA}$$

Se reemplaza los valores y se obtiene:

$$I_{min} = 0.7 * 2.9A$$

$$I_{min} = 2.03A$$

$$I_{max} = 1.2 * 2.9A$$

$$I_{max} = 3.48A$$

Con estos valores se selecciona un relé térmico de 2A a 4A de la marca METASOL (MT-12), disponible en el mercado local, en el **ANEXO XI** se adjunta las características de dicho elemento. La **Figura 2.22** muestra el relé térmico utilizado.



Figura 2.22: Relé térmico MT12

1.19 SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES PARA EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Para que el sistema de calentamiento tenga un buen funcionamiento además de los elementos de potencia y control se tiene que disponer de elementos que protejan al sistema y permita que se trabaje con total seguridad y de esta manera de vida riesgos tanto para los componentes de la máquina como al operario. Para determinar las protecciones necesarias se debe tener en cuenta la corriente y el tipo de carga que caracterizan al calentador.

$$P = 7.2 \text{ KW}$$

$$I_n = 32 \text{ A}$$

$$V = 220 \text{ VAC}$$

Como protección del sistema de calentamiento es necesario disponer de un fusible y de un contactor el que sirve para la conexión y desconexión de las resistencias calefactoras a la red eléctrica. Para la selección del fusible se considera la corriente nominal y se busca un valor estándar para este elemento, seleccionando así un fusible de 32A siendo el valor comercial más alto y disponible.

Para determinar el valor de contactor se usa los datos del sistema y la gráfica de selección que proporciona TELEMECANIQUE, **Figura 2.23**, para esto se determina que para cargas resistivas se debe utilizar contactores de categoría AC1, como recomienda la norma IEC 60947-4-1. Luego se ubica la corriente nominal (I_n) en el eje horizontal y se determina el contactor.

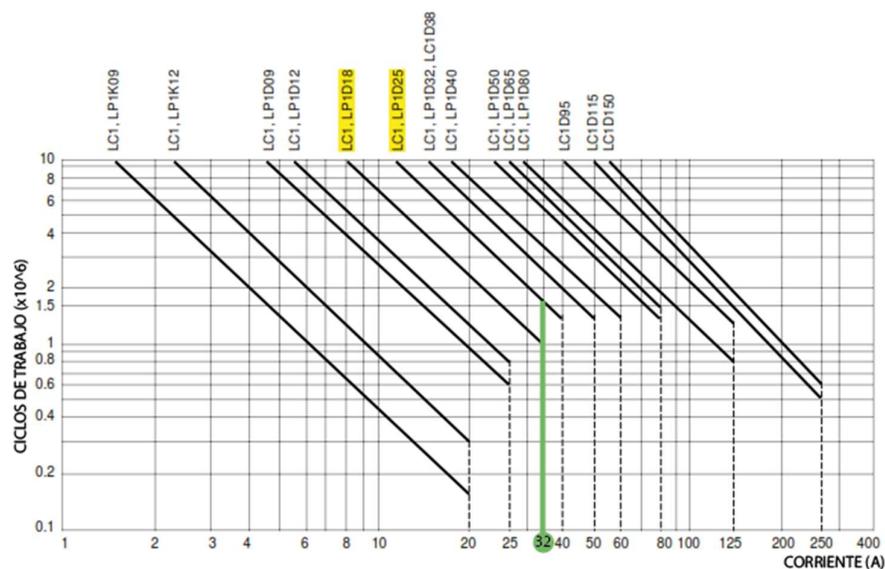


Figura 2.23: Gráfica de selección para contactor categoría AC1
Fuente: (Telemecanique, s.f.)

De esta manera se puede seleccionar entre un contactor LC1D18 y LC1D25, se elige el contactor LC1D18 porque permite tener un mayor rango de ciclos de trabajo, aproximadamente 1 millones de maniobras y además permite un soporte de corrientes hasta los 32A con lo cual se asegura un trabajo más fiable. Sus características se muestran en el ANEXO XII.

1.20 SELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN GENERAL

Como protección general se tiene que disponer de un interruptor termo magnético o más conocido como interruptor automático, este permite proteger todos los elementos del circuito eléctrico, y los actuadores. Además, evita que se ocasione incendios o riesgos eléctricos para las personas. Para seleccionar el interruptor más adecuado se debe tomar en cuenta un factor de seguridad de 2.5 para las cargas inductivas, teniendo así la **Ecuación 2.17**.

Ecuación 2.17: Corriente del interruptor automático

$$I_{ia} = 2.5 * I_{n.motor} + I_{n.resistencias}$$

Donde:

I_{ia} : corriente del interruptor automático, [A]

$I_{n.motor}$: Corriente nominal a plena carga del motor, [2.9 A]

$I_{n.resistencias}$: Corriente nominal resistencias electricas calefactoras, [32 A]

$$I_{ia} = 2.5 * 2.9A + 32A$$

$$I_{ia} = 39.25A$$

Se elige un interruptor de 40A por ser un valor estándar y asequible en el mercado local, las características de este componente se adjuntan en el **ANEXO XIII**.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL TOSTADOR POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Un sistema de control permite aprovechar de mejor manera la energía que se consume además permite desarrollar un proceso de manera eficiente porque ayuda a que el sistema ocupe los recursos necesarios y no se desperdicie en este caso calor o potencia eléctrica. Además, es importante el control de los sistemas porque ayudan a que el proceso se desarrolle con mayor precisión y se mejora la calidad del producto manteniendo la uniformidad.

En la máquina tostadora de café de quinua es muy importante un sistema de control que permita mantener la temperatura de la cámara de tostado según los requisitos del perfil de calentamiento, la **Figura 3.1** muestra las etapas del sistema de control.

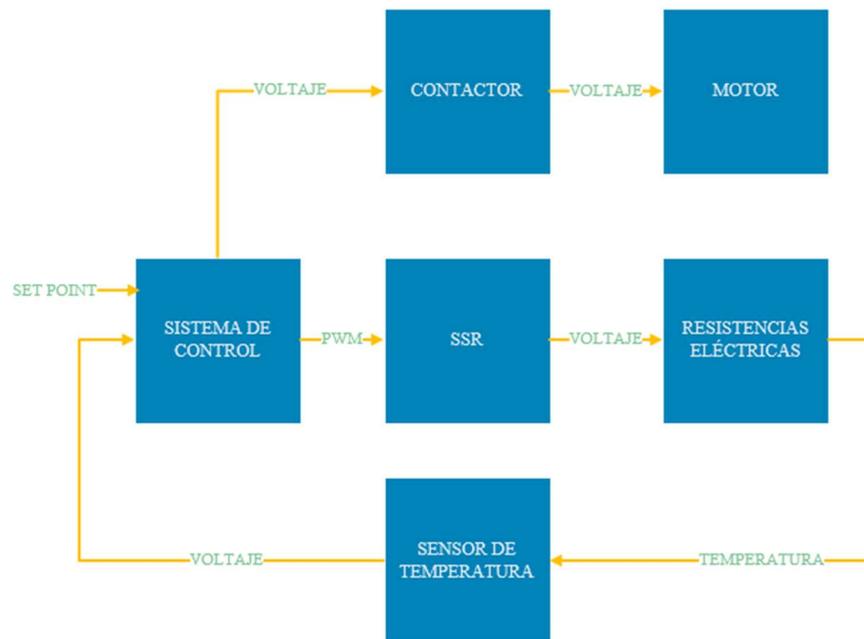


Figura 3.1: Etapas del sistema de control

El sistema de control se encarga de controlar el calor que entregan las resistencias eléctricas a la cámara de tostado, para que esto sea viable es necesario conocer la temperatura dentro de la cámara de tostado, para esto es necesario ubicar un sensor de temperatura, con esto el sistema puede cambiar el ángulo de disparo del SSR que se encarga de entregar el voltaje a las resistencias. De esta manera para la temperatura se tiene un sistema de control en lazo cerrado.

Para el control de la agitación, es importante tomar en cuenta los datos obtenidos por POZO, 2016, quien determina que la velocidad ideal para el tostado tiene que ser de 10 RPM y mantenerse constantes para una mejor uniformidad. Para este objetivo se implementa un sistema mecánico de reducción de velocidad por medio de reductor de velocidad y poleas, este sistema mecánico es desarrollado por Pozo Jeniffer en sus tesis siendo el presente proyecto complementario a dicho trabajo. Para la agitación el sistema de control se encarga únicamente de encender y apagar el motor en los momentos necesarios.

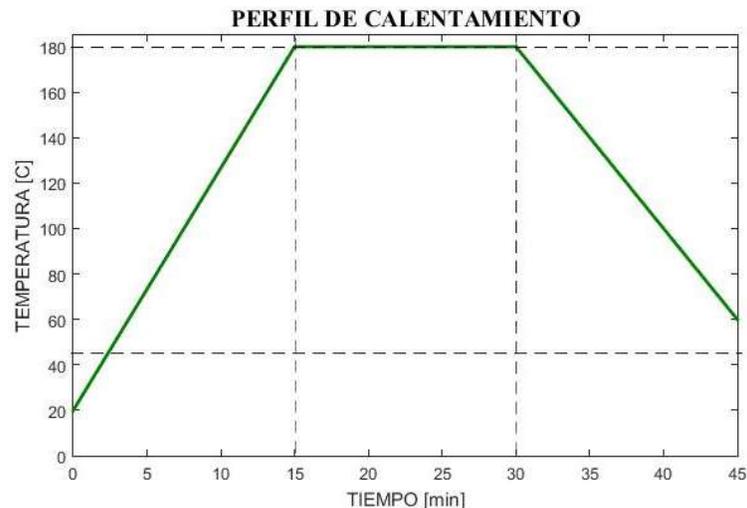
1.21 PERFIL DE CALENTAMIENTO

Para poder determinar el perfil de calentamiento es necesario tomar los datos de temperatura en una prueba de campo, para esto se realizó el tostado de media libra de café de quinua, con lo cual se pudo obtener los datos que se muestran en la **Tabla 3.1.**

Tabla 3. 1: Resultados de temperatura en la prueba de campo

Tiempo	Temperatura	Observacion
10 min	150 C	Se da inicio al proceso de tostado
15 min	180 C	El café toma un color café claro
30 min	180 C	El café toma un color café oscuro y adquiere el olor característico
	>180 C	Cuando la temperatura llega a 200 grados el café empieza a quemarse
Si la temperatura se eleva rapidamente se forma pequeñas bolas en el café lo cual impide que se tueste uniformemente		

Con estos datos se puede determinar el perfil de calentamiento el cual tiene una forma de rampa, para esto se puede observar los datos en la **Figura 3.2**.

**Figura 3.2: Perfil de calentamiento para el tostado de café de quinua**

El perfil de agitación son las ordenes de encendido y apagado del motor, el inicio de la agitación da lugar cuando inicia el calentamiento de la cámara de tostado, y la agitación termina cuando el operador indica que se ha terminado el proceso, cabe anotar que el proceso termina cuando se vacía el café de quinua sobre un recipiente, para el vaciado se utiliza el mismo sistema de agitación la **Figura 3.3**, muestra el sistema de vaciado y agitación en funcionamiento.



Figura 3. 3: Extracción del producto

1.22 PROCESO DE MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Para determinar el modelo del proceso de calentamiento es necesario seguir los pasos de identificación y luego el reconocimiento mediante los métodos para este objetivo, entonces el primer paso es determinar la curva de reacción del proceso, para lo cual se tiene que recolectar datos experimentales que permitan construir la gráfica deseada, luego se procesa los datos y se valida el modelo determinado.

1.22.1 RECOLECCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

Para la recolección de datos se utiliza un sistema de adquisición conformado por un microcontrolador que permite realizar las medidas de las variables y enviarlos hacia el software Matlab, la comunicación está establecida mediante un puerto serial y una interfaz GUI que permite recolectar, visualizar y almacenar los datos. La interfaz para adquisición se muestra en la **Figura 3.4**, el código fuente de la aplicación se puede encontrar en el **ANEXO XIV**.

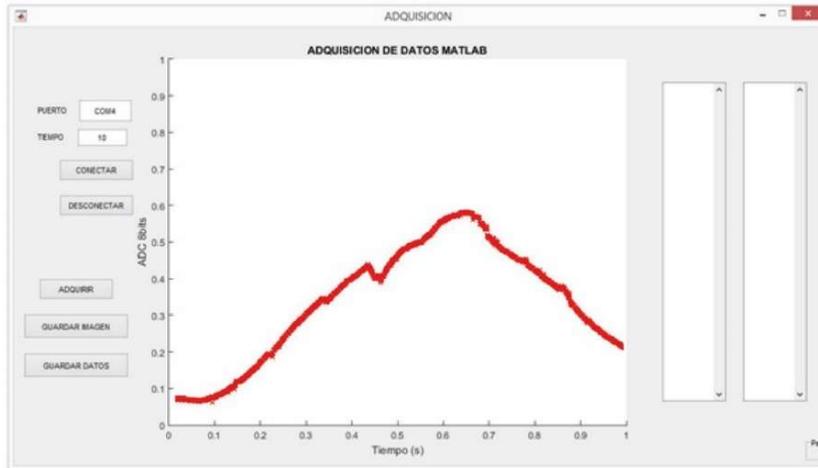


Figura 3.4: Interfaz de adquisición de datos Matlab

La variable que se mide es la temperatura con respecto al tiempo, para poder entender de mejor manera el proceso de recolección de datos en la **Figura 3.5**, se muestra un flujograma del proceso de adquisición de datos para la máquina tostadora de café de quinua.



Figura 3.5: Diagrama de flujo del sistema de adquisición de datos

Por medio de la tarjeta de adquisición de datos se recolecta una cantidad considerable con lo que se obtiene los resultados para poder determinar el modelo del proceso.

Para determinar el modelo se toma a partir de una señal escalón y un tiempo prudente para poder recolectar la mayor cantidad de datos, en la **Tabla 3.2** se muestra las condiciones en la que se desarrolla la prueba para la identificación del modelo.

Tabla 3. 2: Parámetros de la prueba para identificación de modelos

PARÁMETRO	VALOR
Señal Escalón	220V
Velocidad de Agitación	10 RPM
Temperatura Inicial	T. ambiente
Tiempo Total de Prueba	25 min (1500 seg)
Tiempo de Muestreo	2 seg

Con estas condiciones se obtiene la temperatura máxima de operación de la máquina, los datos recolectados se muestran en la **Tabla 3.3**.

Tabla 3. 3: Datos experimentales de la temperatura

TIEMPO (seg)	TEMPERATURA °C						
0	20,75	472	97,75	944	221,00	1416	290,75
8	20,00	480	99,75	952	222,50	1424	291,50
16	20,00	488	102,25	960	224,50	1432	292,75
24	20,00	496	104,75	968	225,75	1440	293,20
32	20,00	504	107,00	976	227,50	1448	294,25
40	22,75	512	108,75	984	229,00	1456	295,00
48	20,00	520	111,75	992	230,25	1464	296,00
56	19,50	528	113,75	1000	232,00	1472	297,25
64	20,00	536	116,00	1008	233,75	1480	298,50
72	20,00	544	119,00	1016	235,00	1488	299,50
80	20,00	552	121,50	1024	236,00	1496	300,00
88	20,25	560	123,75	1032	237,50	1504	300,25
96	20,25	568	125,50	1040	238,75	1512	300,00
104	20,50	576	128,25	1048	239,50		
112	20,50	584	131,00	1056	241,50		
120	21,25	592	133,75	1064	242,50		
128	24,00	600	135,75	1072	244,25		
136	21,75	608	138,00	1080	246,50		
144	22,25	616	140,00	1088	249,00		
152	23,25	624	142,50	1096	250,00		
160	23,25	632	144,50	1104	251,50		
168	24,75	640	147,75	1112	253,00		
176	25,50	648	149,75	1120	253,00		
184	26,25	656	152,00	1128	253,25		
192	27,25	664	155,25	1136	255,00		
200	27,00	672	157,25	1144	256,50		
208	29,00	680	158,50	1152	256,00		
216	30,50	688	160,50	1160	259,00		
224	31,75	696	162,50	1168	260,50		
232	32,75	704	163,75	1176	261,50		
240	34,00	712	165,75	1184	262,75		
248	35,25	720	167,75	1192	264,25		
256	36,75	728	169,25	1200	265,50		
264	38,75	736	171,52	1208	266,75		
272	40,75	744	173,75	1216	267,50		
280	42,25	752	175,75	1224	268,25		
288	44,75	760	178,50	1232	269,75		
296	46,75	768	180,25	1240	270,25		
304	48,75	776	182,00	1248	271,25		
312	50,50	784	184,25	1256	273,00		
320	52,75	792	186,25	1264	274,00		
328	55,50	800	188,50	1272	275,25		
336	57,00	808	191,00	1280	276,50		
344	60,00	816	194,00	1288	277,50		
352	62,50	824	195,00	1296	278,25		
360	65,00	832	196,50	1304	279,25		
368	67,25	840	198,50	1312	280,25		
376	69,50	848	200,00	1320	281,25		
384	71,75	856	201,25	1328	283,00		
392	73,75	864	202,75	1336	284,25		
400	76,00	872	205,00	1344	285,75		
408	77,75	880	206,25	1352	285,50		
416	81,00	888	208,25	1360	286,50		
424	83,00	896	210,50	1368	286,25		
432	85,50	904	212,00	1376	286,25		
440	88,00	912	214,50	1384	286,75		
448	90,50	920	215,50	1392	288,00		
456	92,75	928	217,25	1400	288,75		
464	95,00	936	219,50	1408	289,50		

Con estos datos se obtiene la curva de reacción del proceso, para esto se construye una gráfica de Temperatura vs Tiempo, la **Figura 3.6** muestra el resultado obtenido.

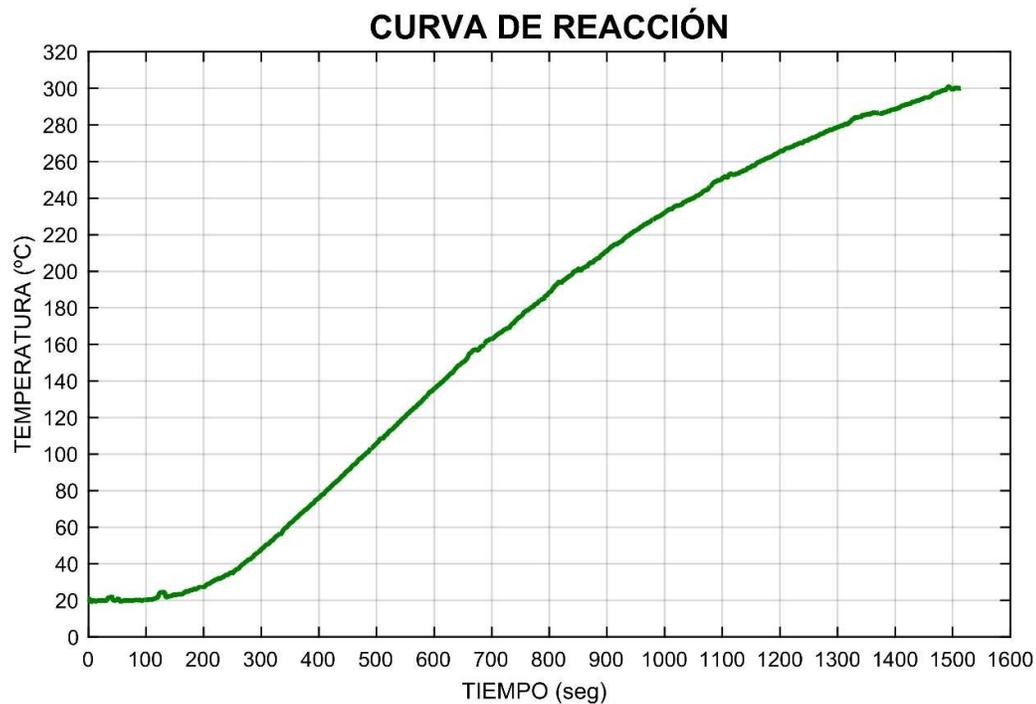


Figura 3. 6: Curva de reacción del proceso de tostado

Como se puede observar la curva de reacción tiene la forma S, con lo cual se puede identificar el modelo del proceso por medio de los métodos basados en la curva de reacción, para esta etapa se procede a utilizar los métodos mencionados en el Capítulo 1.

1.23 IDENTIFICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

La identificación es muy importante porque permite determinar un modelo matemático que represente al proceso, para esto se dispone de métodos basados en la curva de reacción. Se utiliza los siguientes métodos recomendados por Alfaro (2001): Ho et al (primer orden), Alfaro (primer orden), Chen y Yang (primer orden), Ho et al (segundo orden), Vitecková et al (segundo orden).

La primera aproximación que se realiza es con la de un modelo de primer orden con tiempo muerto, porque por medio de la observación se determina que en la curva de reacción existe un tiempo de retardo, en este método se tiene que determinar los puntos ubicados a diferentes porcentajes del valor máximo de la salida.

Se utiliza la **Ecuación 3.1**, con la cual se puede identificar los parámetros que se tienen que determinar a partir de la curva de reacción.

Ecuación 3.1: Función de transferencia de primer orden con tiempo muerto

$$G(s) = \frac{k_p}{\tau s + 1} * e^{-t_m s}$$

Donde:

k_p : Ganancia estática

τ : Constante de tiempo

t_m : Tiempo muerto aparente

Se tiene que determinar los siguientes parámetros: ganancia estática, constantes de tiempo y el tiempo muerto aparente. Para encontrar estos datos se utiliza la **Ecuación 3.2, Ecuación 3.3 y Ecuación 3.4.**

Ecuación 3. 2: Ganancia estática

$$k_p = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Ecuación 3. 3: Constante de tiempo

$$\tau = a * t1 + b * t2$$

Ecuación 3. 4: Tiempo muerto aparente

$$t_m = c * t1 + d * t2$$

Donde:

Δy : Variación total de la salida

Δu : Variación total de la entrada

a: Valor constante

b: Valor constante

c: Valor constante

d: Valor constante

t1: tiempo del P1

t2: tiempo del P2

Con las ecuaciones antes mencionadas se obtiene los resultados se muestran en la **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4: Resultados por los métodos de primer orden

MÉTODO	%P1	%P2	TEMP. P1	TEMP. P2	t1	t2	kp	τ	tm
Ho et al	35	85	125,5	275,25	566	1276	1,4	457,7	182,6
Chen y Yang	33	67	99,25	201,25	478	850	1,4	520,8	277,12
Alfaro	25	75	75	225,5	396	964	1,4	516,88	247,18

De esta manera se obtiene las siguientes funciones de transferencia por este método para lo cual se utiliza la **Ecuación 3.1**.

$$G_{Ho}(s) = \frac{1.4}{457.7s + 1} * e^{-182.6s}$$

$$G_{Chen\ y\ Yang}(s) = \frac{1.4}{520,8s + 1} * e^{-277,12s}$$

$$G_{Alfaro}(s) = \frac{1.4}{516,88s + 1} * e^{-247,18s}$$

Para el método de segundo orden se utiliza la **Ecuación 3.5**, esta función de transferencia se caracteriza por ser de doble polo, además los parámetros se determinan con las mismas ecuaciones que los modelos de primer orden.

Ecuación 3. 5: Función de transferencia de segundo orden de doble polo con tiempo muerto

$$G(s) = \frac{k_p}{(\tau s + 1)^2} * e^{-t_m s}$$

Con estos datos se determina los siguientes resultados que se muestran en la **Tabla 3.5**.

Tabla 3. 5: Resultados por los métodos de segundo orden

MÉTODO	%P1	%P2	TEMP. P1	TEMP. P2	t1	t2	kp	τ	tm
Ho et al	35	85	125,5	275,25	566	1276	1,4	328,73	158,46
Vitecková et al	33	70	99	210,5	478	896	1,4	335,55	126,22

Con estos datos se obtiene se determina las funciones de transferencia para estos métodos.

$$G_{Ho(so)}(s) = \frac{1.4}{(328.73s + 1)^2} * e^{-158.46s}$$

$$G_{Viteckova}(s) = \frac{1.4}{(335.55s + 1)^2} * e^{-126.22s}$$

Con estas funciones de transferencia se procede a evaluar el porcentaje de aproximación que tiene cada uno de los modelos determinados con los datos experimentales para cumplir con este objetivo se utiliza la herramienta System Identification (Ident) Toolbox del Software Matlab, con lo cual se obtiene los siguientes resultados que se muestran en la **Figura 3.7** y **Figura 3.8**.

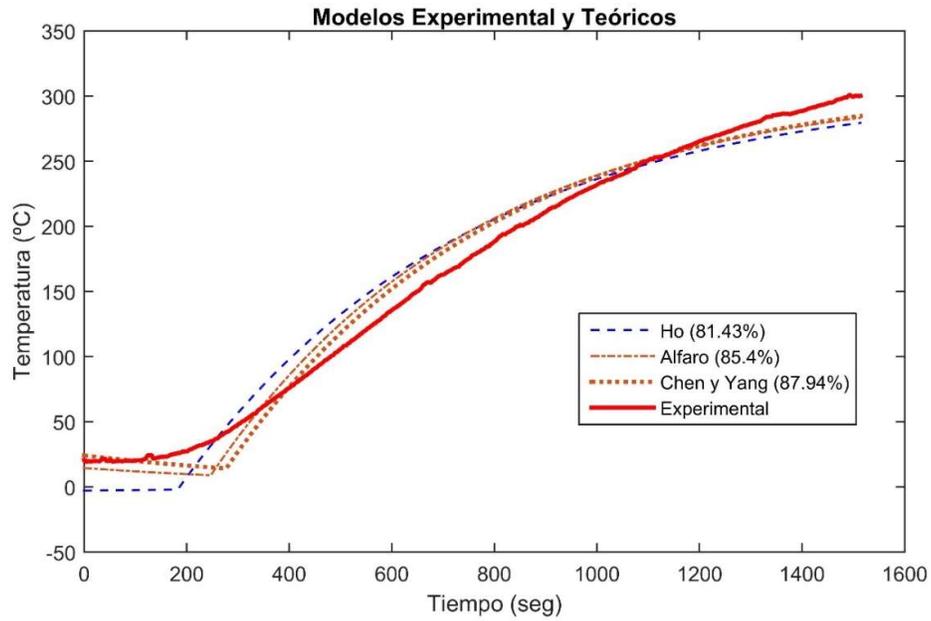


Figura 3. 7: Resultados y porcentajes de aproximación modelos de primer Orden

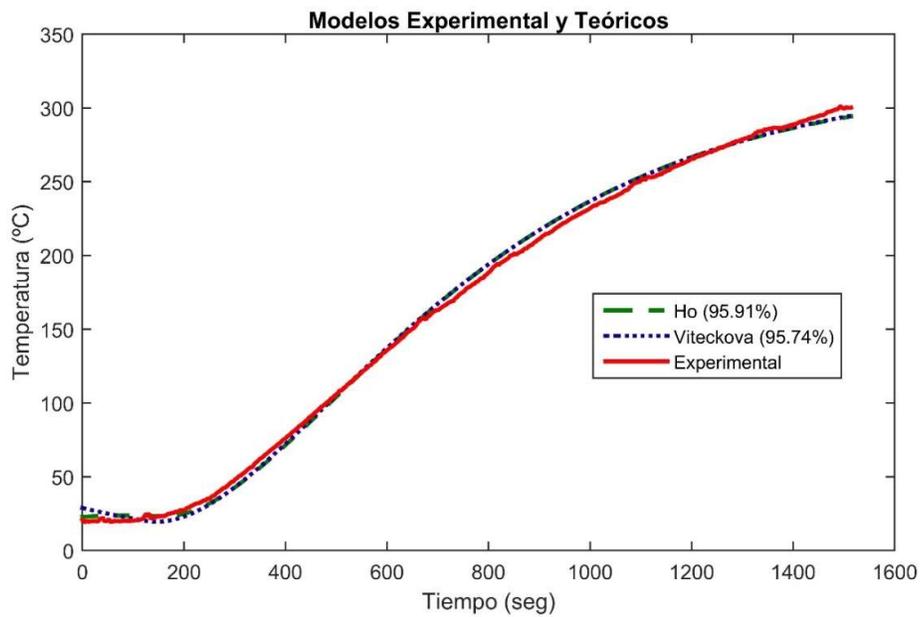


Figura 3. 8: Resultados y porcentajes de aproximación modelos de segundo orden

Con estos resultados se puede determinar que el modelo más aproximado al modelo experimental es el identificado por el método de Ho para modelos de segundo orden con polo doble, con un porcentaje del 95.91% de similitud. Entonces el modelo que se utiliza para describir el proceso de tostado es el que se muestra en la **Ecuación 3.6**.

Ecuación 3.6: Función de Transferencia del Sistema de Calentamiento

$$G(s) = \frac{1.4}{(328.73s + 1)^2} * e^{-158.46s}$$

1.24 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROLADOR

El diseño del sistema de control se enfoca en mejorar la respuesta que tiene el sistema. Las acciones de control principales son: proporcional, integral y derivativa, estas acciones permiten mejorar ciertas características de la dinámica de la planta o proceso para obtener una mejor respuesta del sistema. Para entender los efectos de cada uno de los controles la **Tabla 3.6**, muestra como varían los siguientes parámetros del sistema: Tiempo de estabilización, Tiempo de subida, Error de estado estable, Sobre impulso.

Tabla 3.6: Efectos del control sobre las características del sistema

ACCIÓN DE CONTROL	T. Estabilización	T. Subida	Error E. E.	Sobre Impulso
Proporcional (Kp)	No cambia	Decrementa	Decrementa	Incrementa
Integral (Ki)	Incrementa	Decrementa	Se elimina	Incrementa
Derivativa (Kd)	Decrementa	No cambia	No cambia	Decrementa

Fuente: (Carnieg Mellon, 1996)

Como estrategias de control se tiene las combinaciones de las acciones de control, lo que permite combinar los beneficios de estas acciones y ayuda a que el control sea más eficiente y versátil, como principales estrategias de control se tiene: Proporcional (P), Proporcional – Integrativo (PI), Proporcional – Derivativo (PD) y Proporcional – Integrativo – Derivativo (PID).

Estos tipos de controladores se caracterizan por la acción que cumplen sobre las características del sistema y por consecuencia mejoran estos parámetros. En la **Tabla 3.7** se muestran las características de cada uno de los tipos de control.

Tabla 3.7: Características de los tipos de control

	CONTROL P	CONTROL PI	CONTROL PD	CONTROL PID
TIEMPO DE SUBIDA	Pequeña reducción	Reduce	Pequeño cambio	Combina las mejores características del control PI y PD
SOBRE IMPULSO	Incrementa	Incrementa	Reduce	
AMORTIGUAMIENTO	Reduce	Reduce	Incrementa	
TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN	Pequeño cambio	-	-	
ERROR DE ESTADO ESTABLE	Disminuye	Mejora	Pequeño cambio	
TIPO DE SISTEMA	Igual	Incrementa	Igual	
MARGEN DE GANANCIA Y DE FASE	-	Mejoran	Mejoran	

Fuente: (Hernández, 2010)

Entonces con estas características se puede determinar el tipo de controlador a usar en el sistema de calentamiento, se tiene en cuenta los mejores parámetros y se elige el controlador PID, también se tiene que tomar en cuenta el uso que se les da a cada uno de estos controladores dentro de los procesos industriales como explica Hernández (2010), y se muestran en la **Tabla 3.8**.

Tabla 3.8: Aplicaciones de los tipos de controladores

CONTROLADOR	APLICACIÓN
P	Nivel
PI	Flujo
PD	Presión de líquidos
PID	Temperatura

Una vez complementada la información y características de cada uno de los tipos de controladores se elige un controlador PID, por sus buenas prestaciones.

1.25 SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PID

La sintonización es determinar los valores correspondientes a las acciones proporcional, integrativa y derivativa, para que el controlador cumpla con las funciones de mejorar y estabilizar el proceso. Para la sintonización existen algunos métodos que se basan en reglas determinadas por experimentación.

El principal recurso para la sintonización es la curva de reacción que debe cumplir con la condición de tener la forma de S, como el proceso de calentamiento cumple con esta condición entonces si es propicio utilizar los métodos de sintonización en lazo abierto.

Como principales métodos de sintonización se cuenta con: Ziegler Nichols, Cohen Coon y AMIGO (Método de ajuste por respuesta al escalón).

Entonces el primer paso para poder determinar los valores del controlador PID, se tiene que encontrar los valores de la Constante de Tiempo (T_{ao}), el tiempo de retardo (L) y la pendiente de la recta (m), para encontrar estos valores se tiene que realizar una aproximación lineal, y se debe encontrar el punto de inflexión, al cual se traza una recta tangente y se determina de manera gráfica los parámetros mencionados.

En la **Figura 3.9** se muestra la gráfica realizada sobre la curva de reacción del sistema identificado, con la cual se determina los parámetros K , T_{ao} y L .

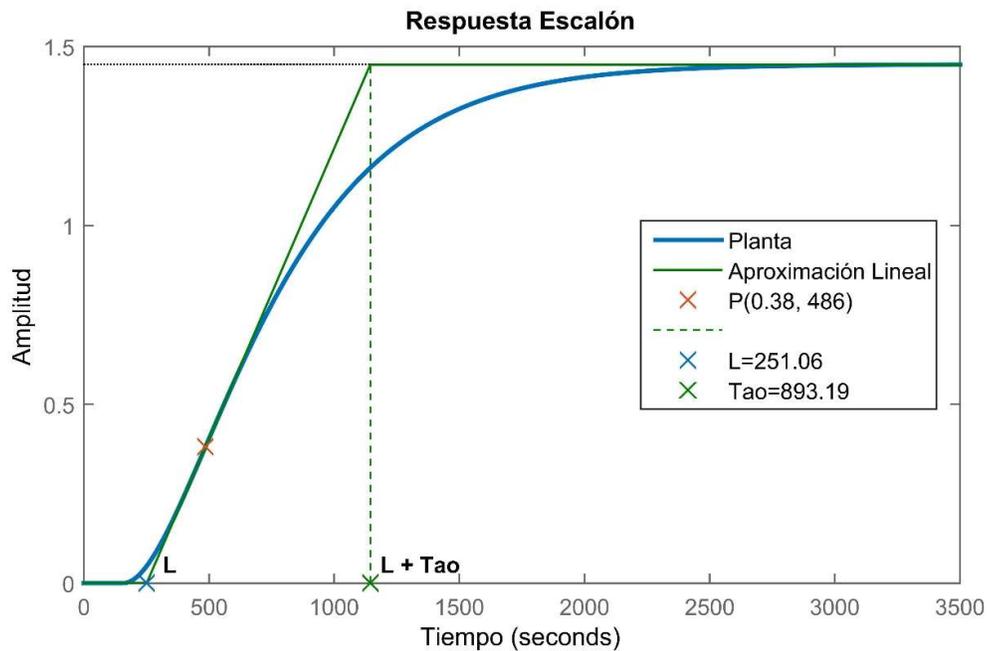


Figura 3.9: Grafica del punto de inflexión para la sintonización de controlador

Como se observa en la figura los valores son:

$$Tao = 893.19$$

$$L = 251.06$$

$$m = 0.0016$$

Con estos valores y las reglas de cada uno de los métodos de sintonización se puede determinar los valores del controlador PID. Para encontrar los valores de K_p , K_i y K_d se utiliza las reglas de los métodos que se muestran en la **Tabla 3.9**.

Tabla 3. 9: Reglas de sintonización

MÉTODO	Kp	Ti	Td
Ziegler Nichols	$\frac{1.2}{L * m}$	$2 * L$	$0.5 * L$
Cohen Coon	$\frac{Tao}{1.45 * L} * \left(1.33 + \left(\frac{L}{4 * Tao} \right) \right)$	$L * \frac{32 + 6 * \frac{L}{Tao}}{13 + 8 * \frac{L}{Tao}}$	$4 * \frac{L}{11 + 2 * \frac{L}{Tao}}$
AMIGO	$\left(\frac{1}{1.45} \right) * \left(0.2 + 0.45 * \left(\frac{Tao}{L} \right) \right)$	$L * \frac{0.4 * L + 0.8 * Tao}{L + 0.1 * Tao}$	$\frac{0.5 * L * Tao}{0.3 * L + Tao}$

Con estas ecuaciones se determinan los valores para cada parámetro por los diferentes métodos, además se utiliza la **Ecuación 3.7** y **Ecuación 3.8**.

Ecuación 3. 7: Ganancia Ki

$$Ki = Kp / Ti$$

Ecuación 3. 8: Ganancia Kd

$$Kd = Kp * Td$$

Además, se utiliza la herramienta PID Tuner de Matlab, que permite obtener los parámetros de forma automática para el controlador mediante el modelo matemático del proceso de calentamiento. Los valores obtenidos se muestran en la **Tabla 3.10**.

Tabla 3. 10: Resultados de la sintonización PID

MÉTODO	Kp	Ti	Ki	Td	Kd
Ziegler Nichols	2,94	502,13	0,0059	125,53	369,06
Cohen Coon	3,15	549,66	0,0057	86,46	272,35
AMIGO	1,14	568,85	0,0020	114,93	131,02
PID TUNER MATLAB	1,41	677,5	0,0020	150,3	212,90

Con estos valores se evalúa el comportamiento del controlador más la planta por medio de un análisis ante una entrada escalón, en donde principalmente se debe evaluar los valores de sobre impulso, el tiempo de subida, tiempo de establecimiento y la estabilidad. En la **Figura 3.10** se muestra los resultados del análisis de la entrada escalón.

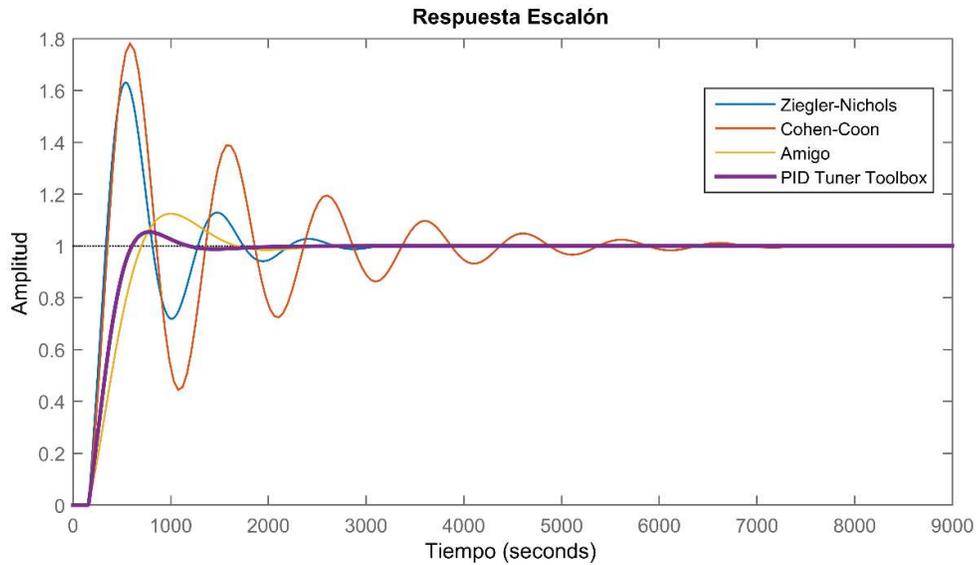


Figura 3. 10: Respuesta ante la entrada escalón controladores sintonizados

Con estas gráficas y el uso del software Matlab se determina los parámetros para evaluar cada uno de los controladores. Los resultados se muestran en la **Tabla 3.11**.

Tabla 3. 11: Parámetros de evaluación para controladores sintonizados

PARÁMETRO	PLANTA	ZIEGLER NICHOLS	COHEN COON	AMIGO	PID TUNER TOOLBOX
Sobreimpulso (%)	0	63,10	78,10	12,40	5,40
Tiempo de Subida (seg)	1100	141	152	401	316
Tiempo de Estabilización (seg)	2080	2520	5710	1540	1030
Estabilidad	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable

Los resultados demuestran que los métodos AMIGO y PID TUNER de Matlab, proveen una forma conservadora y robusta de diseño de controladores PID, además como se observa el método de PID TUNER permite tener un sobre pico máximo de 5.4% con lo cual se puede evitar que el café de quinua se queme. Por tal motivo se elige los valores de PID generados con el método de PID Tuner con lo cual se puede controlar de manera correcta al sistema, y queda con los siguientes valores:

$$Kp = 1.41$$

$$Kd = 0.0020$$

$$Ki = 212.9$$

Estos valores tienen que ser programados en el microcontrolador para poder controlar el sistema de calentamiento.

1.26 INTERFAZ DE USUARIO

Para que el operario pueda manejar la máquina de manera correcta esta debe alertar y permitir visualizar ciertos datos e información la cual debe ser relevante, por tal motivo el panel de control posee selectores, luces y pantalla como se muestra en la **Figura 3.11**.

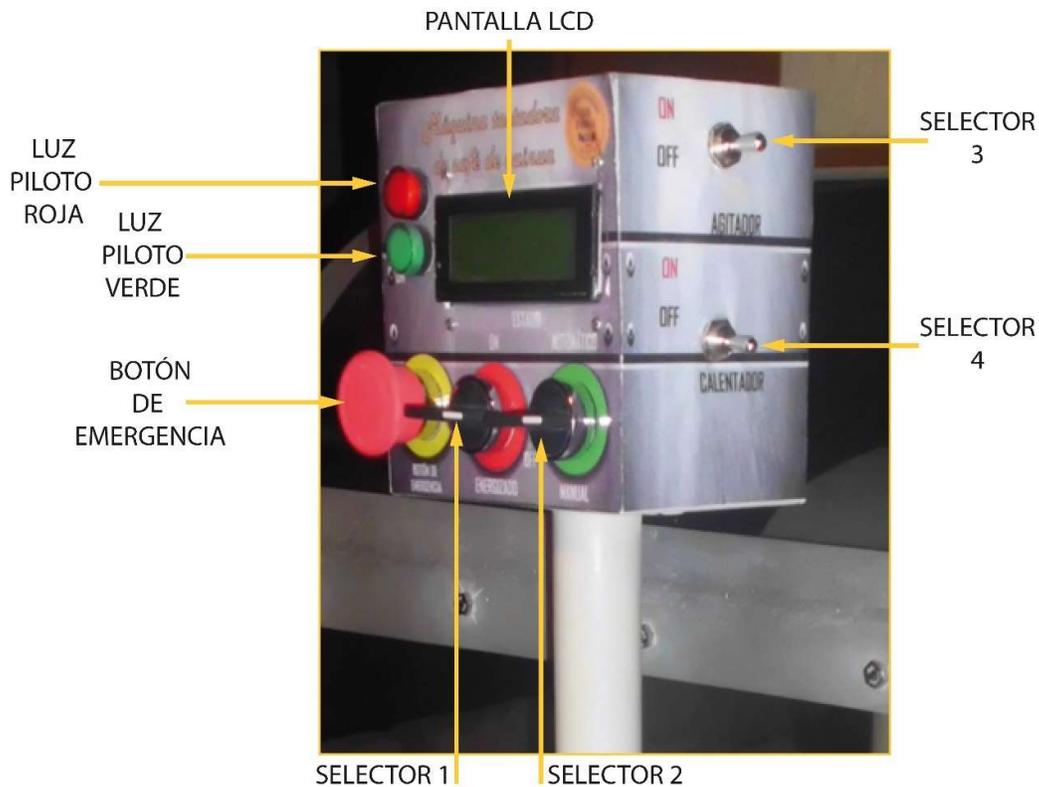


Figura 3.11: Elementos del panel de control

El panel permite el control de la máquina de manera eficaz y en la **Tabla 3.9** se detalla la función de cada uno de los elementos que lo conforman.

Tabla 3.12: Descripción de los elementos del panel de control

ELEMENTO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
SELECTOR 1	ENCENDIDO MÁQUINA	Energiza todo los circuitos y elementos
SELECTOR 2	MODO DE FUNCIONAMIENTO	Selecciona entre el modo manual y el automático
BOTÓN DE PARO	DESCONEXIÓN DE EMERGENCIA	Elemento de emergencia que desconecta todo el sistema de potencia y mantiene encendido el de control
LUZ PILOTO VERDE	ALARMA ENCENDIDO	Se enciende cuando la máquina esta encendida y lista para ser usada
LUZ PILOTO ROJA	ALARMA EMERGENCIA	Se activa cuando se apaga la maquina por algun fallo
PANTALLA LCD	VISUALIZACIÓN DE DATOS	Permite visuzalizar el estado de la máquina, la temperatura y el tiempo de trabajo
SELECTOR 3	AGITADOR MODO MANUAL	Enciendo/Apaga el motor del sistema de agitación en el modo manual
SELECTOR 4	CALENTADOR MODO MANUAL	Enciendo/Apaga el motor del sistema de calentamiento en el modo manual

Con esto el operario puede operar la máquina de manera segura y además está informado sobre el estado de la máquina y el proceso de tostado, otra característica del panel de control es que permite iniciar el proceso de manera fácil y sin muchas maniobras que puedan confundir al operario.

El panel de control además de controlar la energización e inicio del proceso, sirve para mostrar información que es útil para el operario, para que la información sea mostrada en la pantalla es necesario programar el microcontrolador.

1.27 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Para que la máquina funcione de acuerdo con los parámetros establecidos, tanto en tiempos y sincronización de encendido y apagado de motor y resistencias es necesario el desarrollo del programa para el microcontrolador tomando en cuenta todos los datos disponibles para el sistema y sus requerimientos.

La programación del microcontrolador se basa en el diagrama flujo y el código de programación que se adjunta en el **ANEXO XV**.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

La implementación de los elementos del sistema de calentamiento tiene una gran importancia porque en esta etapa del proyecto se puede corroborar los datos teóricos con el funcionamiento real, además la etapa de pruebas permite conocer el comportamiento de la máquina en pleno funcionamiento y se puede identificar ciertos parámetros importantes dentro de la investigación.

El proceso de implementación se lo debe realizar de manera ordenada y sistematizada para lo cual se debe seguir un flujograma de procesos que se muestra en la **Figura 4.1**, de esta manera se logra obtener los mejores resultados al momento del montaje de las resistencias eléctricas.



Figura 4.1: Diagrama del proceso de implementación del sistema de calentamiento

1.28 IMPLEMENTACIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Para la implementación del sistema de calentamiento se utiliza seis resistencias eléctricas en forma de U debido a la estandarización y disponibilidad de estas en el mercado local, la **Tabla 4.1** muestra las características de las resistencias seleccionadas.

Tabla 4.1: Características de las Resistencias Eléctricas tipo U

PARÁMETRO	VALOR
POTENCIA	1200W
VOLTAJE	220V
CORRIENTE	5,45A
RESISTENCIA	40,40 Ohms
DIMENSIONES	DIAMETRO: 6,6mm
	LONGITUD: 600 mm
MATERIAL	Acero Inoxidable

De esta manera con seis resistencias se obtiene una potencia de 7200W, la instalación se la realiza dentro de la cámara de calentamiento con una distribución equitativa, tres resistencias en la tapa superior de la cámara de tostado y tres resistencias en el bastidor de la cámara. Con esto se puede distribuir de mejor manera el calor proporcionado por las resistencias eléctricas. En la **Figura 4.2** se muestra la ubicación de las resistencias eléctricas en la tapa superior.



Figura 4.2: Ubicación y colocación de las resistencias eléctricas

La **Figura 4.3** muestra la instalación de las resistencias eléctricas en el bastidor de la máquina tostadora de esta manera se distribuye el calor uniformemente dentro de la cámara de calentamiento y por consecuencia se obtiene el calentamiento de la cámara de tostado.



Figura 4.3: Instalación de las resistencias eléctricas en el bastidor de la máquina

Para poder colocar las resistencias en las paredes de la cámara de calentamiento se debe utilizar aisladores cerámicos, o en caso de las resistencias seleccionadas son asiladas de la capa externa de la interna de esta manera la corriente no fluye por la capa externa y por tal razón las paredes al estar en contacto con las resistencias no existe continuidad eléctrica, o en otras palabras por el chasis no recorre la corriente y así se puede evitar corto circuitos o daños a las personas por exposición a la corriente eléctrica.

1.29 CABLEADO DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

El cableado es un proceso que tiene una alta importancia porque de esta depende el buen funcionamiento de las resistencias. Lo primero que se debe decidir es el tipo de conexión que se realizara en este caso se utiliza una conexión paralela para las resistencias de esta manera se obtiene una resistencia equivalente con una potencia de 7200W, la **Figura 4.4** muestra la conexión que se debe realizar.

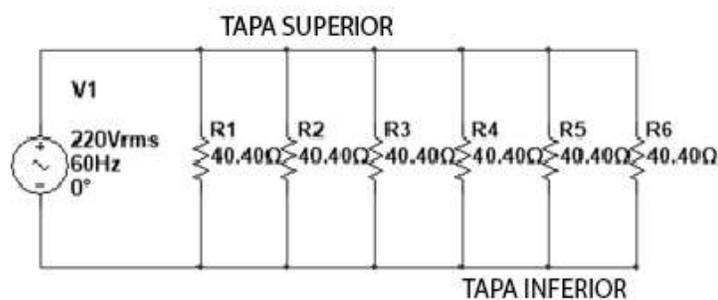


Figura 4.4: Conexión en paralelo de las resistencias eléctricas

Para la conexión de las resistencias se debe utilizar un cable que soporte tanto la corriente que circula por las resistencias como la temperatura dentro de la cámara de calentamiento, con estas condicionantes se selecciona un cable recubierto de fibra de vidrio de calibre AWG 10, que se puede encontrar disponible en el mercado local.

La fibra de vidrio del cable permite aislar el conductor de las paredes y de las resistencias, además permite aislar térmicamente al conductor, este tipo de cable está diseñado para temperaturas extremas dentro de hornos y cámaras de tostado.

Para facilitar la conexión se conecta en dos grupos de tres resistencias en paralelo de esta manera se puede tener independiente las resistencias superiores y las

inferiores, en la **Figura 4.5** se muestra el proceso de cableado de las resistencias eléctricas.



Figura 4. 5: Cableado de las resistencias eléctricas

1.30 INSPECCIÓN

Una vez que se ha realizado la instalación y el cableado de las resistencias es necesario revisar ciertos parámetros para determinar el estado de la conexión. Para poder determinar la calidad de la resistencia se debe medir la resistencia que tiene cada una de las resistencias y la resistencia equivalente al final de la conexión, en la **Tabla 4.2** se muestra los parámetros calculados y los medidos.

Tabla 4.2: Resultados de la inspección del cableado de las resistencias

PARÁMETRO	VALOR CALCULADO	VALOR MEDIDO
RESISTENCIA POR ELEMENTO	40,40 Ohms	40 Ohms
RESISTENCIA EN PARALELO TAPA SUPERIOR	13,46	13,33
RESISTENCIA EN PARALELO BASTIDOR	13,46	13,33
RESITENCIA TOTAL EN PARALELO	6,73	6,67

1.31 INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

El tablero de control contiene todos los componentes electrónicos y las protecciones necesarias para la máquina, por tal motivo la instalación de este elemento se divide en cinco partes: hardware para motor, hardware para resistencias eléctricas, hardware de control, protección y panel de control.

1.31.1 HARDWARE PARA MOTOR

El hardware para el motor comprende los elementos de arranque y protección, para su instalación es muy importante tomar en cuenta el consumo de corriente que tiene el sistema de agitación para poder seleccionar el cable apropiado para las conexiones. Para esto se utiliza los datos de la placa del motor, la **Figura 4.6** muestra la placa del motor.

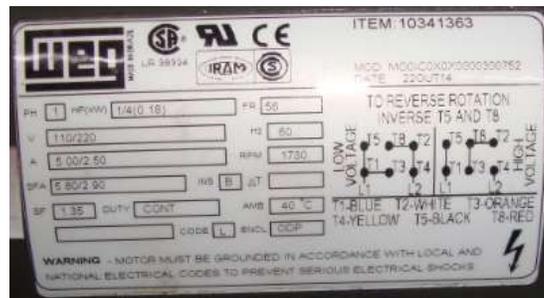


Figura 4.6: Placa del motor WEG ¼ hp

Con el valor de la corriente del motor del sistema de agitación se puede seleccionar un cable AWG16 para las conexiones, en la **Tabla 4.3** se muestra los datos técnicos del cable, en el **ANEXO XVI** se muestra las características para los diferentes calibres de cable disponibles en el mercado.

Tabla 4. 3: Cable AWG 16

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION No. de Hilos por diámetro en mm.	ESPEJOR		DIAM. EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
			AISLAM. mm	CHAQUETA mm			Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
16	1.31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	17,95	20	15	TFN	A,B
14	2.08	19 x 0,38	0,38	0,10	2,86	23,80	35	25	THHN	A,B
12	3.31	19 x 0,47	0,38	0,10	3,31	35,70	40	30	THHN	A,C
10	5.26	19 x 0,60	0,51	0,10	4,22	56,20	55	40	THHN	A,D
8	8.37	7 x 1,23	0,76	0,13	5,47	93,70	80	55	THHN	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55	0,76	0,13	6,43	141,30	105	75	THHN	A,E
4	21.15	7 x 1,96	1,02	0,15	8,22	227,60	140	95	THHN	A,E
2	33.62	7 x 2,47	1,02	0,15	9,75	348,10	190	130	THHN	A,E
1	42.36	7 x 2,78	1,27	0,18	11,24	446,20	220	150	THHN	A,D,E

Fuente: (DISENSA, s.f.)

Una vez seleccionado el cable para las conexiones e identificados los elementos necesarios para arranque y protección del motor se instala en el tablero eléctrico como se muestra en la **Figura 4.7**.

**Figura 4.7: Instalación de elementos de control para motor**

1.31.2 HARDWARE PARA CALENTADOR

El circuito para el funcionamiento del calentador está conformado por un módulo SSR, un contactor de arranque y un fusible de protección. Los cuales deben ser ubicados en el tablero de control de manera que puedan ser manipulados de manera correcta y fácil acceso.

Para la instalación de las líneas que suministran el voltaje y la corriente a las resistencias de calentamiento se utiliza cable AWG10 que permite soportar la carga resistiva perfectamente, en la **Tabla 4.4**, se muestra las especificaciones del cable.

Tabla 4. 4: Cable AWG10

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION		ESPESOR AISLAM. mm	ESPESOR CHAQUETA mm	DIAM. EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm.						Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
16	1.31	19 x 0,30		0.38	0.10	2.46	17.95	20	15	TFN	A,B
14	2.08	19 x 0,38		0.38	0.10	2.86	23.80	35	25	THHN	A,B
12	3.31	19 x 0,47		0.38	0.10	3.31	35.70	40	30	THHN	A,C
10	5.26	19 x 0,60		0.51	0.10	4.22	56.20	55	40	THHN	A,D
8	8.37	7 x 1,23		0.76	0.13	5.47	93.70	80	55	THHN	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55		0.76	0.13	6.43	141.30	105	75	THHN	A,E
4	21.15	7 x 1,96		1.02	0.15	8.22	227.60	140	95	THHN	A,E
2	33.62	7 x 2,47		1.02	0.15	9.75	348.10	190	130	THHN	A,E
1	42.36	7 x 2,78		1.27	0.18	11.24	446.20	220	150	THHN	A,D,E

Fuente: (DISENSA, s.f.)

En la **Figura 4.8** se muestra la disposición de los elementos en el tablero de control.



Figura 4.8: Instalación de circuito para calentador

1.31.3 HARDWARE DE CONTROL

La primera etapa para la instalación de la tarjeta de control es la fabricación de las placas que componen el circuito, para lo cual se construye por etapas cada una de las placas para el control de la máquina. La **Figura 4.9** muestra la construcción de la tarjeta de control con sus diferentes componentes.



Figura 4.9: Fabricación de la tarjeta de control

Cuando se termina con el proceso de fabricación se procede a la instalación e inspección de la tarjeta de control en el tablero de control para lo cual la **Figura 4.10** muestra el proceso de instalación.



Figura 4.10: Instalación e inspección de la tarjeta de control

1.31.4 PANEL DE CONTROL

El panel de control contiene los mandos y alarmas que permiten accionar y monitorear el proceso de tostado, para poder lograr esto se dispone de un selector de encendido de la máquina, un selector de inicio del proceso, un botón de paro de emergencia, luces piloto ON/OFF y una pantalla para visualizar datos más relevantes. Como se muestra en la **Figura 4.11**.



Figura 4. 11: Panel de control

La característica principal del panel de control es su accesibilidad y el fácil manejo para poder obtener estos dos parámetros se tiene que modificar y adaptar un panel que este ubicado de manera correcta para que el usuario pueda manipular la máquina. Como solución a esto se opta por unir el panel de control con el gabinete principal por medio de un tubo redondo, el que, además, sirve para ubicar el cableado necesario para el panel y todo está ubicado en el bastidor de la máquina. En la **Figura 4.12** se muestra una vista de la solución planteada.



Figura 4.12: Ubicación del panel de control

Para obtener el panel de control se tiene que recurrir a la soldadura para poder unir las tres piezas y obtener un solo gabinete. Y finalmente se instala el gabinete y el panel de control en la máquina, como se muestra en la **Figura 4.13**.



Figura 4. 13: Instalación del conjunto gabinete - panel de control

1.32 PRUEBAS

Una vez instalados todos los componentes se procede a realizar pruebas las cuales permiten comprobar el funcionamiento del sistema de control montado en la máquina tostadora de café de quinua además se corrobora con los datos obtenidos teóricamente.

1.32.1 PRUEBA DE CALENTAMIENTO

Para comprobar el comportamiento de la máquina tostadora se le realiza una serie de pruebas las que permiten determinar ciertos datos técnicos, la primera prueba que se realiza es la de calentamiento en este caso sin el controlador, así se logra determinar la temperatura máxima que puede alcanzar la máquina, estos resultados se muestran en la **Tabla 4.5**.

Tabla 4.5: Resultados del calentamiento sin controlador

Nro. PRUEBA	TIEMPO DE PRUEBA (min)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
1	25 min	21	302
2	25 min	21	300
3	25 min	20	275
4	25 min	19,5	301
5	25 min	20	295
TEMPERATURA PROMEDIO			294,6

Con este resultado se determina que la máquina puede alcanzar una temperatura máxima promedio de 295°C en un tiempo de 25 min.

Una vez determinada la temperatura máxima que se puede alcanzar sin el controlador se debe determinar el tiempo que se demora en alcanzar la temperatura necesaria para tostar el café de quinua. Los resultados se muestran en la **Tabla 4.6**.

Tabla 4. 6: Resultados tiempo de calentamiento para 180°C

Nro. PRUEBA	TEMPERATURA PRUEBA (°C)	TIEMPO (min)
1	180	12,8
2	180	14
3	180	12
4	180	13
5	180	13
TIEMPO PROMEDIO		12,96

Entonces el tiempo promedio que le toma a la máquina para que se caliente a una temperatura de 180°C es de 13 min. Con lo cual se determina que los 7.2 KW cumplen con el objetivo calculado en la transferencia de calor.

1.32.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL

En esta etapa se realiza pruebas con el controlador lo que permite determinar cómo se comporta este y también como mantiene una temperatura de referencia de 180°C, en la **Tabla 4.7** se muestra los resultados.

Tabla 4. 7: Resultado de Temperatura con controlador

TIEMPO (min)	PRUEBA Nro 1 (°C)	PRUEBA Nro 2 (°C)	PRUEBA Nro 3 (°C)	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)
1	19,25	20,25	22,00	20,50
2	21,25	21,25	22,50	21,67
3	25,50	24,00	26,00	25,17
4	34,00	32,00	34,00	33,33
5	48,50	45,00	49,25	47,58
6	65,00	67,00	63,00	65,00
7	82,00	81,20	82,00	81,73
8	99,75	99,00	98,75	99,17
9	117,25	117,00	116,50	116,92
10	135,75	133,00	134,25	134,33
11	154,25	154,50	153,75	154,17
12	167,75	169,00	168,75	168,50
13	185,50	184,00	186,00	185,17
14	182,25	183,50	183,00	182,92
15	180,00	181,00	180,50	180,50
16	180,00	180,00	180,25	180,08
17	182,00	179,00	183,00	181,33
18	183,00	180,00	179,75	180,92
19	181,00	179,75	179,25	180,00
20	180,00	180,25	180,25	180,17
21	179,00	179,75	180,00	179,58
22	177,00	180,50	180,75	179,42
23	179,00	180,75	180,50	180,08
24	180,00	180,25	180,00	180,08
25	182,00	180,25	180,50	180,92
26	184,00	180,50	180,50	181,67
27	182,00	180,00	179,50	180,50
28	180,00	179,75	180,50	180,08
29	180,00	180,00	180,25	180,08
30	180,00	180,00	180,50	180,17
31	181,00	180,50	180,75	180,75
32	182,00	180,25	180,00	180,75
33	183,00	179,50	180,00	180,83
34	184,00	179,75	179,50	181,08
35	182,00	180,00	180,25	180,75
36	181,00	180,25	181,25	180,83
37	180,00	181,00	180,75	180,58
38	180,00	180,75	181,00	180,58
39	179,00	180,25	180,00	179,75
40	178,00	180,00	179,50	179,17
41	180,00	179,75	179,75	179,83
42	180,50	180,00	179,50	180,00
43	180,50	180,00	180,00	180,17
44	179,75	180,00	180,25	180,00
45	182,00	181,00	179,00	180,67

Con estos resultados se comprueba que el sistema de control de temperatura permite mantener la temperatura en un valor estable ayudando así para que el proceso de tostado sea más homogéneo y eficiente. Una vez que el sistema alcanza la temperatura de 180°C

1.33 COSTOS

Un punto fundamental dentro de la implementación del sistema de control es el costo de los elementos empleados para este propósito además que permite conocer el costo del desarrollo del proyecto. En la **Tabla 4.8** se muestra el precio de cada uno de los elementos utilizados para el desarrollo del sistema de calentamiento y el de control de la máquina tostadora.

Tabla 4. 8: Costo de los materiales utilizados

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1	INTERRUPTOR AUTOMATICO 40A	10,90	10,90
1	CONTACTOR LCD 50AC1	21,31	21,31
1	CONTACTOR LCD 40AC1	19,96	19,96
1	GABINETE IP65	50,40	50,40
1	CONTACTOR 6A	15,00	15,00
1	RELE TERMICO 4-6 A	15,00	15,00
1	FUSIBLE 6A	0,94	0,94
1	FUSIBLE 32A	0,94	0,94
2	PORTAFUSIBLE RIEL DIN	1,95	3,90
1	RIEL DIN	5,00	5,00
1	CANALETA	6,60	6,60
1	CABLES	15,00	15,00
SUBTOTAL			164,95

SISTEMA DE CONTROL			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1	TERMOCUPLA TIPO K BAYONETA	13,44	13,44
1	SSR 40A	39,20	39,20
1	DISIPADOR DE CALOR SSR 0,6 C/W	35,06	35,06
1	PLACA MICROCONTROLADOR	70,00	70,00
1	MAX6675	25,00	25,00
1	MODULO RELES X4	15,00	15,00
1	CABLES SISTEMA DE CONTROL	20,00	20,00
SUBTOTAL			217,70

PANEL DE CONTROL			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1	LCD	24,0	24,0
2	LUZ PILOTO	2,20	4,4
1	BOTON DE EMERGENCIA	2,24	2,24
2	SELECTORES	2,24	4,48
1	ESTRUCTURA GABINETE	22,4	22,4
SUBTOTAL			57,50

SISTEMA DE CALENTAMIENTO			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO
6	RESISTENCIAS 1.2kW	30	180
1	CABLES SISTEMA DE CALENTAMIENTO	20	20
SUBTOTAL			200

TOTAL	640,14
-------	--------

El costo de la implementación del sistema de control es de 640.14 dólares, que muestra la factibilidad de la instalación de un control para la máquina tostadora de café de quinua.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.34 CONCLUSIONES

- En la optimización del proceso de tostado de café de quinua se determinó un perfil de calentamiento con una temperatura máxima de 180°C, una velocidad de agitación constante de 10 RPM y un tiempo de 45 minutos, para el tueste de 25 libras de café de quinua, con lo cual se mejora la producción y homogeneidad del producto que se obtenía mediante el proceso artesanal que se demoraba 90 minutos para tostar 10 libras.
- Para obtener un calentamiento eficiente se utilizó el método calentamiento por resistencias eléctricas tubulares en forma de U, con una potencia de 7.2 kW. Y se distribuyó la potencia en seis resistencias de 1.2kW cada una y repartidas alrededor de la cámara de calentamiento.
- Para el diseño del sistema de control fue necesario realizar la identificación del modelo matemático del proceso de calentamiento de la cámara de tostado, se obtuvo un resultado del 95.91% de aproximación al utilizar el método de identificación de Ho para segundo orden.
- Para mantener la temperatura estable a 180°C se utilizó un controlador PID programado en un microcontrolador y se obtuvo las mejores características al utilizar el método de sintonización PID Tuner de Matlab, que permitió alcanzar un sobre pico del 5.4%.
- Las pruebas realizadas al sistema de calentamiento permitieron determinar la temperatura máxima que alcanza la máquina que es de 295°C en un tiempo de 25 min.

- Con las pruebas realizadas se determina que el sistema de control mantiene la temperatura en el valor preestablecido de 180°C y con la velocidad de agitación se logra un tostado uniforme, además para evitar que el producto se queme el agitador se acciona cuando la temperatura supera los 50°C.

1.35 RECOMENDACIONES

- Para que la máquina tenga un buen funcionamiento y de acuerdo con las especificaciones técnicas se debe leer y estudiar el manual de usuario y mantenimiento, lo cual también ayudará en el adiestramiento del operario.
- El sistema de control está preestablecido para el tostado estrictamente de café de quinua, en caso de existir la necesidad de realizar ajustes de los parámetros de funcionamiento deberá recurrir al soporte técnico.
- Se debe evitar por todos los medios el contacto de las resistencias eléctricas con líquidos, debido a que esto puede provocar daños severos a estas y también se puede generar una descarga eléctrica al operario.
- Es recomendable instalar un interruptor termo magnético adicional de 50 amperios justo antes del tomacorriente que tiene que ser específicamente para uso industrial, y se utilizará para cortar la corriente de manera remota en caso de ser necesario.
- Como factor de seguridad no se debe grabar en el microcontrolador programas sin la autorización y supervisión del técnico calificado.
- Se debe tomar en cuenta las normas de seguridad y utilizar la indumentaria adecuada para el uso de la máquina.
- No se tiene que utilizar la máquina con el sensor fuera de la cámara de tostado, porque ocasiona una lectura errónea de la temperatura y el sistema de control forzará el calentamiento y el producto se quemará.
- Para evitar interferencias electromagnéticas ocasionadas por el accionamiento de las bobinas de los contactores se recomienda utilizar un módulo de SSR para realizar la interfaz entre el sistema de control y el de potencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Pozo Enríquez, J. P. (2016). *Diseño y construcción de un tostador por resistencias eléctricas para la elaboración de café de quinua con capacidad de 25 libras* (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>
- Nacimba Nacimba, D. A. (2011). *Automatización de una soldadora de punto estática* (Tesis inédita de ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Hornos del Valles. (2016). *Horno ZETA 5 resistencias*. Recuperado de <http://www.tecnopiro.com/LinkClick.aspx?link=ZETA+ATR-902+02-16.pdf&tabid=210&mid=1074>
- Mendez Altamirano, J. P. & Suasnavas Flores, W. P. (2012). *Diseño y construcción de un horno eléctrico para el secado de bobinados de motores de hasta 10 HP* (Tesis inédita de ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Blanco Alvarez, F. (2005). *Leccion 10: Hornos de resistencias*. Recuperado de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.HornosResistencia.RESISTENCIAS.CALENTAMIENTO.pdf>
- CIROCO. (2015). *Tubo radiante*. Recuperado de <http://www.ciroc.com.ar/productos/fichas-tecnicas/tubo-radiante.html>
- Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P. (s.f.). *Electrónica de Potencia: Convertidores, aplicaciones y diseño* (3ra ed.). Mexico: McGrawHill.
- Philips Semiconductor. (s.f.). *Power Control with Thyristors and Triacs*. Recuperado de http://www.nxp.com/documents/application_note/APPCHP6.pdf

- Littelfuse. (2013). *Phase Control Using Thyristors*. Recuperado de http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/LittelfuseTecnor_53/PDF/LFT_AN1003.pdf?redirected=1
- Winling Technology. (2002). *Power Controls*. Recuperado de <http://www.winling.com.tw>
- Teschler, L. (2014). *Engineering Essentials: Relays and Contactors*. Recuperado de <http://machinedesign.com/engineering-essentials/engineering-essentials-relays-and-contactors>
- CRYDOM. (s.f.). *Why Use Solid State Relays?*. Recuperado de https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Crydom_172/PDF/crydom-why-use-ssr.pdf?redirected=1
- Creus Solé, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (8va ed.). Mexico: Alfaomega Grupo Editor.
- Duff, M. & Towey, J. (2010). *Two Ways to Measure Temperature Using Thermocouples Feature Simplicity, Accuracy, and Flexibility*. Recuperado de <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/44-10/thermocouple.pdf>
- Alfaro, V. M. (2001). Identificación de Procesos Sobre amortiguados Utilizando Técnicas de Lazo Abierto. *Electrónica*, (11). Recuperado de http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/documentos/pub_inv/articulos/valfaro01A.pdf
- Alfaro, V. M. (2001). Identificación de Modelos de Orden Reducido a Partir de la Curva de Reacción del Proceso. *Ciencia y Tecnología*, (24). Recuperado de <http://www.ppgel.net.br/mazzini/ident-alfaro.pdf>
- Ambrell. (2015). *Process Applications*. Recuperado de <http://www.ambrell.com/using-induction-heating>
- Fairchild Semiconductor. (2013). *Induction Heating System Topology Review*. Recuperado de <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-9012.pdf>

- Fagor. (2014). *Induction Hobs*. Recuperado de <http://www.lcd-television-repair.com/newsletter/16-12-2014/Fagor-Induction-HOB.pdf>
- Jmag international. (2013). *48 High – Frequency Induction Heating Analysis of a Printer Roller: Eddy Current Loss Density Distribution*. Recuperado de https://www.jmag-international.com/catalog/48_PrinterRoller_InductionHeating.html
- Esteve, V. (1999). *Influencia de los componentes parásitos en el análisis y diseño de inversores resonantes paralelo para aplicaciones de calentamiento por inducción* (Tesis inédita de ingeniería). Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Shina, D. (2012). *Some Studies on Energy Efficient Induction Heater* (Tesis inédita de doctorado). Indian School of Mines, Dhanbad, India.
- Rudnev, V. I. (2004). An objective assessment of magnetic flux concentrators. *Professor Induction*. Recuperado de http://inductoheat.eu/wp-content/uploads/sites/15/2015/04/Flux_Concentrators.pdf
- Gonzales, W. (2008). *Diseño y Construcción de bobina de calentamiento por inducción para fundición de titanio* (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Simon Bolivar, Sartenejas, Venezuela. Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000140657.pdf>
- IHS Engineering 360. (s.f.). *RF Inductors Information*. Recuperado de http://www.globalspec.com/learnmore/electrical_electronic_components/electronic_components_passives/inductors/rf_inductors
- Sullivan, R. C. & Zhang, R. Y. (2014). *Simplified Design Method for Litz Wire*. Recuperado de http://web.mit.edu/ryz/www/pdf/simplitz_apec2014.pdf
- Carretero, C., Acero, J. & Alonso, R. (2012). Tm-Te Decomposition of Power Losses in Multi-Stranded Litz-Wires Used in Electronic Devices. *Progress in Electromagnetics Research* (123). Recuperado de <http://www.jpier.org/PIER/pier123/06.11091909.pdf>

Zinn, S. & Semiatin, S. L. (2002). *Elements of Induction Heating: Design, Control, and Applications* (6ta ed.). Estados Unidos: Carnes Publication Services.

Magneto. (s.f.). Concentrador Fluxtrol. Recuperado de <http://www.magneto.pl/spzoo/118>

Equihua Leon, M. (2011) Diseño de un concentrador de energía magnética utilizado en temples superficiales por inducción. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/6355/1/DISE%C3%91ODEUNCONCENTRADORDEENERGIAMAGNETICAUTILIZANDOENTEMPLESSUPERFICIALESPORINDUCCION.pdf>

Rudnev, V., Loveless, D., Cook, R. & Black, M. (2003). *Handbook of Induction Heating*. Estados Unidos: Marcel Dekker.

DX Engineering. (2015). *Feedline Bead Ferrite*. Recuperado de <http://www.dxengineering.com/>

Hincapie, J. N., Trejos, A., Moncada, M. E., Escobar, A. (2013). Electronica de potencia para el calentamiento por inducción domestico revisión del estado de arte. *Ingeniería y Ciencia* (18). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83529050014>

Cushicondor Collaguazo, E. A. (2009). *Diseño y construcción de un prototipo de una cocina de inducción electromagnética* (Tesis inédita de ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Electronics Tutorials. (2015). *The Series Resonance Circuit*. Recuperado de <http://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/series-resonance.html>

Solís, M. (2014). *Física II: Sonido*. Recuperado de <http://msolisalderonn.blogspot.com/2014/03/sonido.html>

Pal, N., Kumar, P., Bandyopadhyay, A. (2012). Selection of Switching Frequency for H. F. Mirror Inverter Employed in Industrial Induction Heating. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*.

- McGinnis, M. (s.f.). *Selecting Heating Elements for Electrically Heated Furnaces & Kilns*. Recuperado de http://www.keithcompany.com/documents/WhitePapers_Electric_Heating_Elements.pdf
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica* (6ta ed.). Mexico: Pearson Educación.
- Caloritech. (s.f.). *Tubular Heaters – HX and IX*. Recuperado de http://www.ccithermal.com/documentation/Caloritech/productDocumentation/Caloritech/Catalog/HX_IX_Catalog.pdf
- WRCAKRON. (s.f.). *Solid State Relays: Applications*. Recuperado de http://www.wrcakron.com/catalog/10b_SSR_Applications.pdf
- NAINPA. (2015). *Automatización y Control: Catálogo de Productos*.
- Lee, S. (s.f.). *How to Select a Heat Sink*. Recuperado de <https://www.aavid.com/sites/default/files/technical/papers/how-to-select-heatsink.pdf>
- CRYDOM. (2009). *Heat Sinks & SSR Assemblies*. Recuperado de https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Crydom_172/PDF/Crydom_Heatsinks_SSR_Assemblies.pdf?redirected=1
- OMRON. (s.f.). *Solid State Relays Common Precautions*. Recuperado de https://www.omron.com/ecb/products/pdf/precautions_ssr.pdf
- Parmar, J. (2015). *Calculation of Size of Transformer, Fuse and Circuit Breaker*. Recuperado de <http://electrical-engineering-portal.com/download-center/electrical-software/calculation-of-size-of-transformer-fuse-and-circuit-breaker>
- Telemecanique. (s.f.). *TeSys IEC-Style: Contactors and Starters*. Recuperado de <http://www.farnell.com/datasheets/720108.pdf>
- Carnegie Mellon. (1996). *Control Tutorials for Matlab: PID Control*. Recuperado de http://www.ee.usyd.edu.au/tutorials_online/matlab/PID/PID.html

Hernández Gaviño, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB* (1er Ed). México: Pearson Educación.

DISENSA. (s.f.). *Conductores de cobre tipo THWN Y THHN – 600 v.90°C*. Recuperado de <http://www.disensa.com/html/catalogo/cables/THHN-600-V.90C.pdf>

Astrom, K. J., Hagglund, T. (2004). Revisiting the Ziegler – Nichols step response method for PID control. *Journal of Process Control*, (14).

ANEXOS

ANEXO I

MANUAL DE USUARIO Y
MANTENIMIENTO

Máquina Tostadora de Café de Quinua



by
Plp tech

Manual de usuario y mantenimiento

AVISO

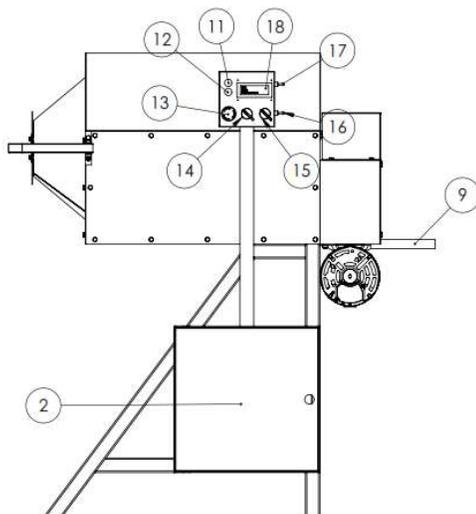
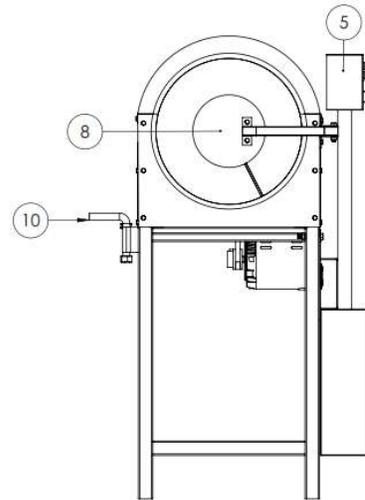
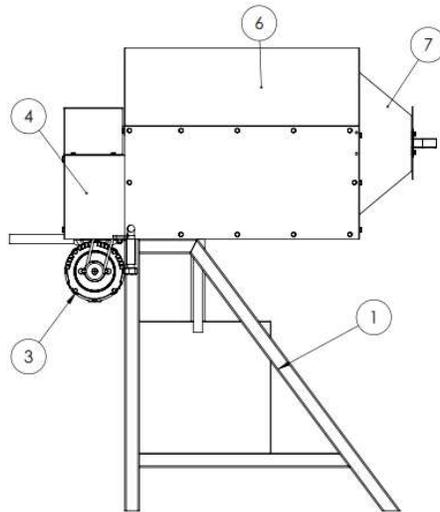
Antes de utilizar la Maquina Tostadora de Café de Quinoa debe leer atentamente este manual, es la guía para conocer el buen manejo de la máquina, además de sus ventajas lo cual permitirá utilizarla con mayor eficiencia y potencialidad.



ADVERTENCIAS GENERALES

- Asegúrese de la integridad de la máquina.
- Antes de utilizar la maquina debe asegurarse que los datos técnicos correspondan a los de la red eléctrica y las normas.
- La instalación debe ser realizada por personal calificado y preparado, caso contrario se puede causar daños a personas, cosas o animales.
- Esta máquina deberá ser usada únicamente para lo que ha sido fabricada, tome en cuenta la capacidad de la misma y sus datos técnicos.
- Para un buen funcionamiento lea atentamente el apartado de mantenimiento y siga estrictamente las indicaciones.
- Para el uso de esta máquina se debe tomar en cuentas las siguientes normas de seguridad.
 - ✓ No tocar el aparato con las manos o pies mojados o húmedos.
 - ✓ No utilizar sin calzado.
 - ✓ No tirar del cable para desconectar la máquina.
 - ✓ No dejar la maquina expuesta en el exterior.
 - ✓ No debe ser utilizada por niños o personas sin previa capacitación.

DESCRIPCIÓN



PARTES	
1	BASTIDOR
2	GABINETE ELÉCTRICO
3	SISTEMA MOTRIZ
4	GUARDA DE SEGURIDAD
5	PANEL DE CONTROL
6	CÁMARA DE CALENTAMIENTO
7	CÁMARA DE TOSTADO
8	TAPA FRONTAL SENSOR
9	MANIJAS
10	SEGURO
11	LUZ ROJA
12	LUZ VERDE
13	PARO DE EMERGENCIA
14	SELECTOR DE ENCENDIDO
15	SELECTOR DE MODO
16	ENCENDIDO MANUAL CALENTADOR
17	ENCENDIDO MANUAL MOTOR
18	PANTALLA DE ESTADO

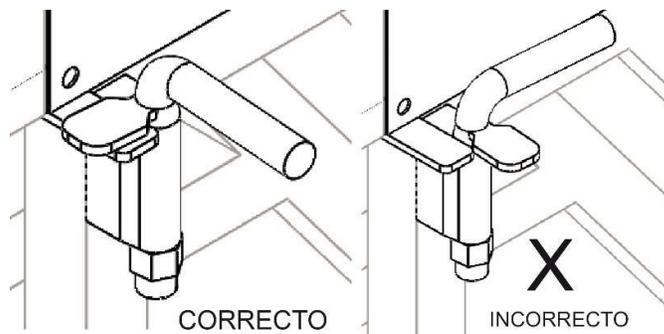
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PARÁMETROS	TÍPICO
DIMENSIONES	<i>Alto:</i> 126 cm
	<i>Largo:</i> 111 cm
	<i>Ancho:</i> 78cm
CAPACIDAD	25 lb
POTENCIA	7,2kW
ALIMENTACIÓN	220V
TEMPERATURA DE TRABAJO	180 °C
PESO	90kg

FUNCIONAMIENTO

Se tiene que seguir los siguientes pasos para que el funcionamiento de la maquina sea adecuado y conforme a la configuración de la misma.

1. Debe ubicar la cámara de calentamiento en posición horizontal, hasta que este apoyada sobre el bastidor.
2. Con el seguro, sujete la máquina para que esta mantenga la posición horizontal, este debe mantener la ubicación que se indica en la figura.

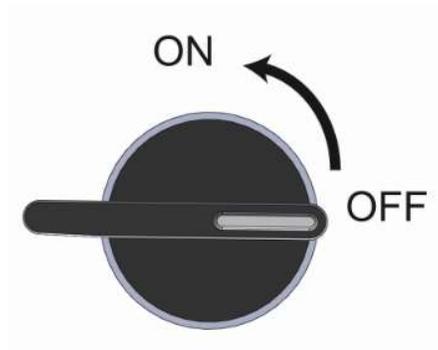


3. Una vez cumplido con los pasos 1 y 2, proceda a abrir la tapa del sensor, y ubique la mezcla para el café.
4. Cierre la tapa del sensor y asegure.

5. Revise que el cable de alimentación este enchufado en el tomacorriente.
6. Asegúrese que los selectores de ENCENDIDO (14) este en OFF y MODO (15) en MANUAL

ENCENDIDO DE LA MAQUINA

1. Para el encendido de la máquina debe seguir el siguiente procedimiento.
 - ✓ Mueva el SELECTOR DE ENCENDIDO (14) como indica la imagen.



- ✓ Al finalizar esta maniobra se encenderá el indicador LUZ VERDE (12), y en la PANTALLA DE ESTADO (18) se mostrará los siguientes mensajes con una duración de 3 segundos.



- ✓ Luego se muestra la pantalla de estado de la máquina, esto corresponde al MODO MANUAL.



MODO MANUAL

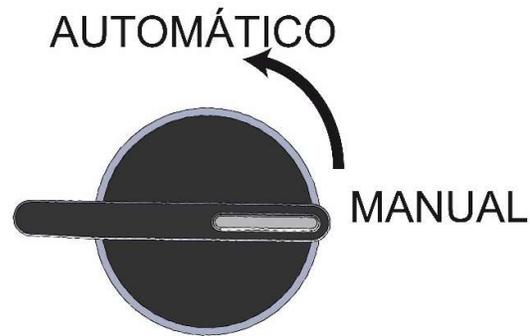
1. Cuando se haya encendido la máquina, en modo manual se activa.
2. Para activar el AGITADOR mueva el switch de ENCENDIDO MANUAL AGITADOR (16) a la posición ON, y en la PANTALLA DE ESTADO se mostrará el siguiente mensaje.



3. Para activar el CALENTADOR mueva el switch de ENCENDIDO MANUAL CALENTADOR (17) a la posición ON, y en la PANTALLA DE ESTADO se mostrará el siguiente mensaje.

MODO AUTOMÁTICO

2. Una vez encendida la máquina y cuando el operario decida el inicio del proceso de tostado deberá seguir el siguiente procedimiento.
 - ✓ Mueva el SELECTOR DE MODO (15) como indica la imagen.



- ✓ Cuando se haya finalizado esta maniobra en la pantalla LCD (15) se deberá mostrar el siguiente mensaje de estado, correspondiente al proceso.

PRECALENTADO: Cuando la temperatura es menor a 150°C.

TOSTADO: Cuando la temperatura es mayor a 150°C y el TIEMPO REST: es menor a 45 minutos.

TIEMPO REST: muestra un contador en retroceso del tiempo de tostado.

TEMP. ACT.: temperatura dentro de la Cámara de Tostado (7).

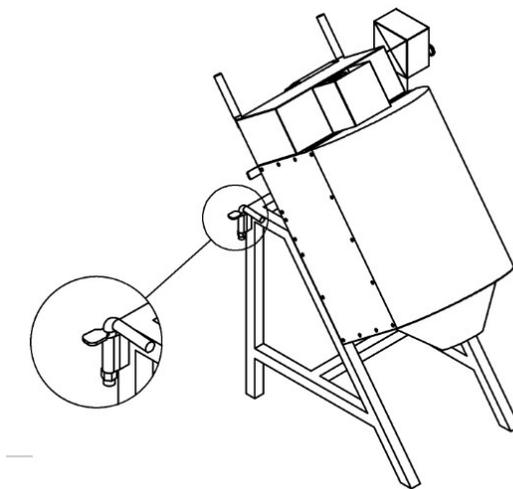


- ✓ El SISTEMA MOTRIZ (3) se enciende al superar los 50°C de temperatura, con lo cual se evita que el producto se queme y además el motor se accione de manera dependiente a la temperatura y no al tiempo de tueste.
- ✓ Cuando el tiempo haya transcurrido y tome el valor 00:00, el calentador se apagará, mientras que el motor continuará funcionando hasta que el operario mueva el SELECTOR DE MODO (15) a

MANUAL o la temperatura sea menor a 50°C. El proceso de tostado habrá finalizado.

3. Posterior a las acciones anteriores el operario deberá retirar el producto de la máquina.

- ✓ Retire la tapa del sensor.
- ✓ Afloje el seguro del Bastidor
- ✓ Tome la máquina por las MANIJAS (9) y ubíquela en la posición inclinada hasta que tope con las patas del bastidor. Como indica la imagen.



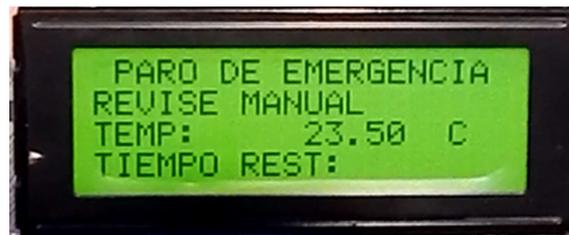
- ✓ Cuando se haya terminado de extraer todo el producto, mueva el SELECTOR DE MODO (15) a la posición de MANUAL, una vez realizada esta acción la máquina habrá terminado su proceso y el motor se pagará automáticamente.
4. Para apagar la máquina tiene que mover el SELECTOR DE ENCENDIDO (14), a la posición OFF.
5. Finalmente ubique la máquina en la posición inicial (Pasos del 1 al 5).

BOTÓN DE EMERGENCIA

Como seguridad cuando la máquina no tenga un buen funcionamiento durante el proceso de tostado, presione el botón PARO DE EMERGENCIA (13), lo cual apagará los componentes de potencia (AGITADOR y CALENTADOR).



El sistema de control continuara trabajando, con lo cual se puede observar el tiempo que ha trabajado y también la temperatura a la cual se encuentra la máquina, además se encenderá la LUZ ROJA (11) y se mostrar el siguiente mensaje como advertencia de fallo en la máquina.



Si en caso de que el producto se encuentre dentro de la máquina retire inmediatamente como medida de seguridad para que el producto no se queme, y como sugerencia realice el proceso de tostado con el modo MANUAL de la máquina.

Luego compruebe que los componentes de la máquina estén en su lugar correspondiente y revise el apartado de *ANÁLISIS DE FALLOS Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS*.

REINICIO DE LA MAQUINA LUEGO DE UN FALLO

Una vez comprobado todo y solucionado el problema siga los siguientes pasos:

1. Ubique los switches del AGITADOR (16) y CALENTADOR (17) en la posición de OFF, el SELECTOR DE MODO (15) en MANUAL, siga este orden si saltarse los pasos.

2. Mueva el SELECTOR DE ENCENDIDO (14) en OFF, con lo cual se apagará la máquina y el sistema de control.
3. Por ultimo gire el botón de PARO DE EMERGENCIA (13) para que se desenclave el botón y la maquina retornara al modo MANUAL.



ANÁLISIS DE FALLOS Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
EL MOTOR NO ENCIENDE	<ul style="list-style-type: none"> • No hay alimentación eléctrica • El cable de conexión entre el motor y el panel esta desconectado o dañado • Fallas internas del motor 	<ul style="list-style-type: none"> • Conectar la máquina a una fuente de energía de 220V • Revisar la continuidad de cable y reemplazarlo si amerita • Limpieza y mantenimiento del motor
NO EXISTE MOVIMIENTO EN LA CÁMARA DE TOSTADO	<ul style="list-style-type: none"> • Avería en el motor • Bandas no tensionadas correctamente • Falta de sujeción de los prisioneros en las poleas 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar, realizar mantenimiento y suministra corriente eléctrica • Tensionar correctamente las bandas • Ajustar los pernos
RODAMIENTOS NO FUNCIONAN CORRECTAMENTE	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecargas en la cámara de tostado • Presencia de fricción y desgaste en el interior de los rodamientos • Falta de sujeción de los prisioneros y de los pernos de la base 	<ul style="list-style-type: none"> • Suministrar la cantidad de 25 lb en la cámara de tostado • Lubricar con grasa de grado alimenticio (Clarion, No.2) • Ajustar prisioneros y pernos
	<ul style="list-style-type: none"> • Desalineación del eje de 	<ul style="list-style-type: none"> • Alinear correctamente el eje de transmisión

ROZAMIENTO ENTRE LA CÁMARA DE TOSTADO Y LA CÁMARA DE CALENTAMIENTO	transmisión con las unidades de rodamiento <ul style="list-style-type: none"> • Incorrecta colocación de la cubierta frontal 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar correctamente la cubierta frontal
VIBRACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de sujeción de los pernos • Vibraciones del motor • Mala alineación de las bandas • Ubicación de la maquina en una superficie irregular 	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar correctamente los pernos • Revisión y mantenimiento del motor • Alinear correctamente las bandas • Ubicar en una superficie firme y nivelada
LAS RESISTENCIA ELÉCTRICAS NO ENCIENDEN	<ul style="list-style-type: none"> • No hay alimentación eléctrica • El cable de conexión entre las resistencias eléctricas y el panel de control esta desconectado o dañado • El fusible de las resistencias está dañado • Falla del componente • Sensor de temperatura dañado 	<ul style="list-style-type: none"> • Conectar a una fuente de energía de 220 V • Revisar la continuidad de cable y reemplazarlo si lo requiere • Revisar y reemplazar el fusible si lo precisa • Revisar el estado de las resistencias y si amerita reemplazarlas. • Sistema de control des configurado
	<ul style="list-style-type: none"> • Pantalla LCD y luces pilotos desconectadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y conectar correctamente

<p>EL PANEL DE CONTROL NO INDICA LOS MENSAJES DE ESTADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Averías en los componentes • Sistema de control dañado 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y Reemplazar • acudir a la asistencia técnica
--------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Los problemas antes mencionados son para uso exclusivo de referencia. Si se produce algún fallo, no utilice el equipo y reporte a los técnicos para comprobar y reparar.

MANTENIMIENTO

Antes de iniciar el mantenimiento o limpieza a la máquina tostadora se debe asegurar que este fría en su totalidad y desconectada de la fuente de energía.

- Al finalizar la tandadas de tueste, se debe limpiar la cámara de tostado, por medio de un limpión.
- Utilizar las herramientas adecuadas para la sujeción de los pernos del motor y el reductor de velocidad en la base de la estructura metálica.
- Por ningún motivo se debe retirar la cámara de calentamiento, porque se encuentra recubierto en su interior de aislante térmico y además sirve como base de sujeción del sistema de calentamiento.
- La lubricación de las unidades de rodamiento se debe hacer cada 8.000 horas de trabajo, para asegurar un correcto funcionamiento de la máquina tostadora y evitar costos por cambios anticipados.
- La revisión de la tensión de la banda debe ser mensual para asegurar el movimiento giratorio de la cámara de tostado y cumplir con la velocidad establecida.

REVISIÓN DE COMPONENTES	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL
Limpieza de la máquina tostadora			X		
Limpieza de la cámara de tostado	X				
Tensión de las banda			X		
Ajustes de prisioneros de poleas			X		
Motor					X
Lubricación de las unidades de rodamiento				X	
Ajustes de pernos de la cámara de calentamiento		X			
Ajuste de pernos de sujeción del motor			X		
Ajuste de pernos de sujeción del reductor			X		
Ajuste de pernos de sujeción de las unidades de rodamiento			X		
Revisión del cableado		X			
Revisión del panel de control			X		
Comprobación de las resistencias eléctricas			X		
Limpieza del sensor	X				

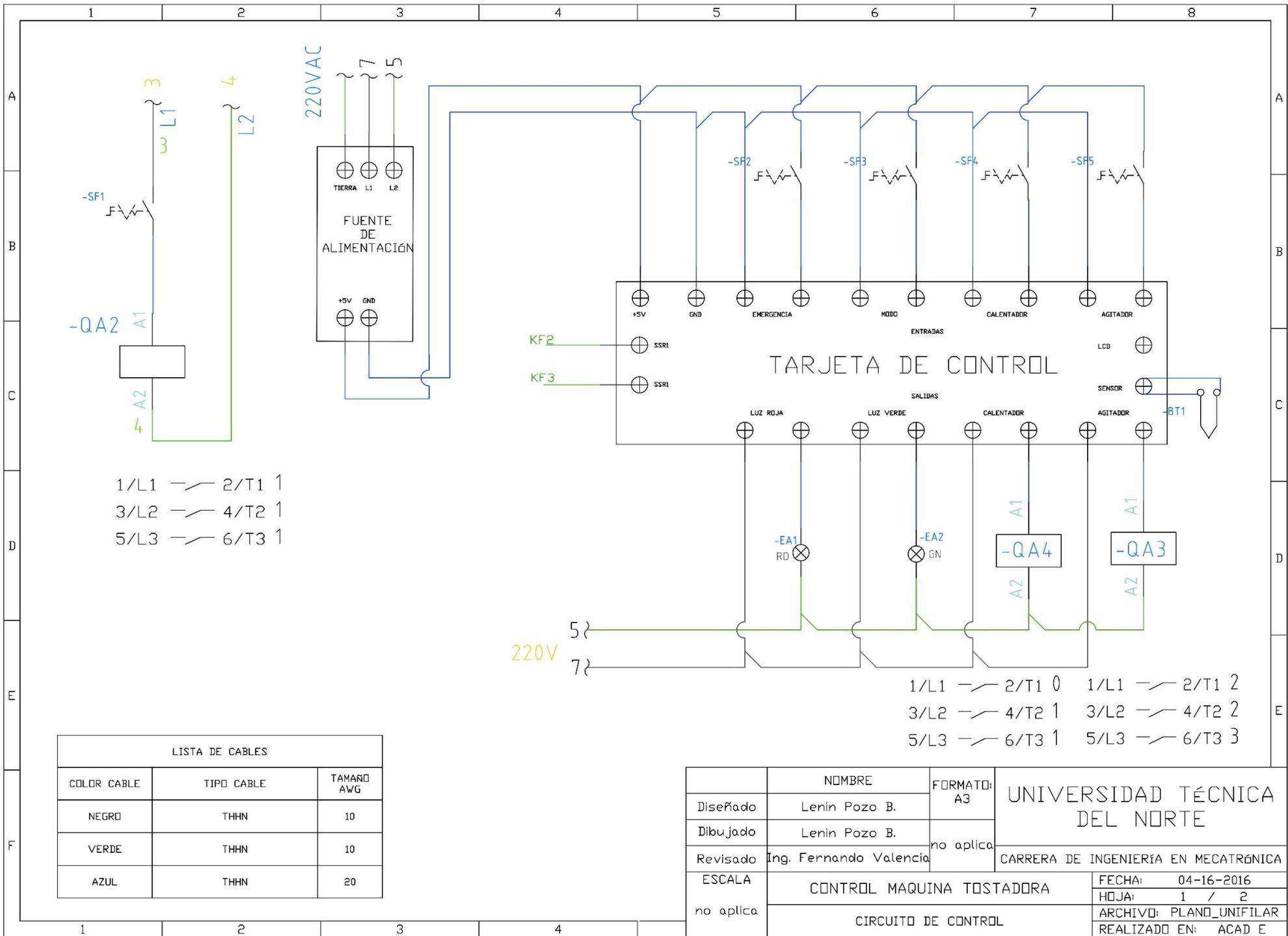


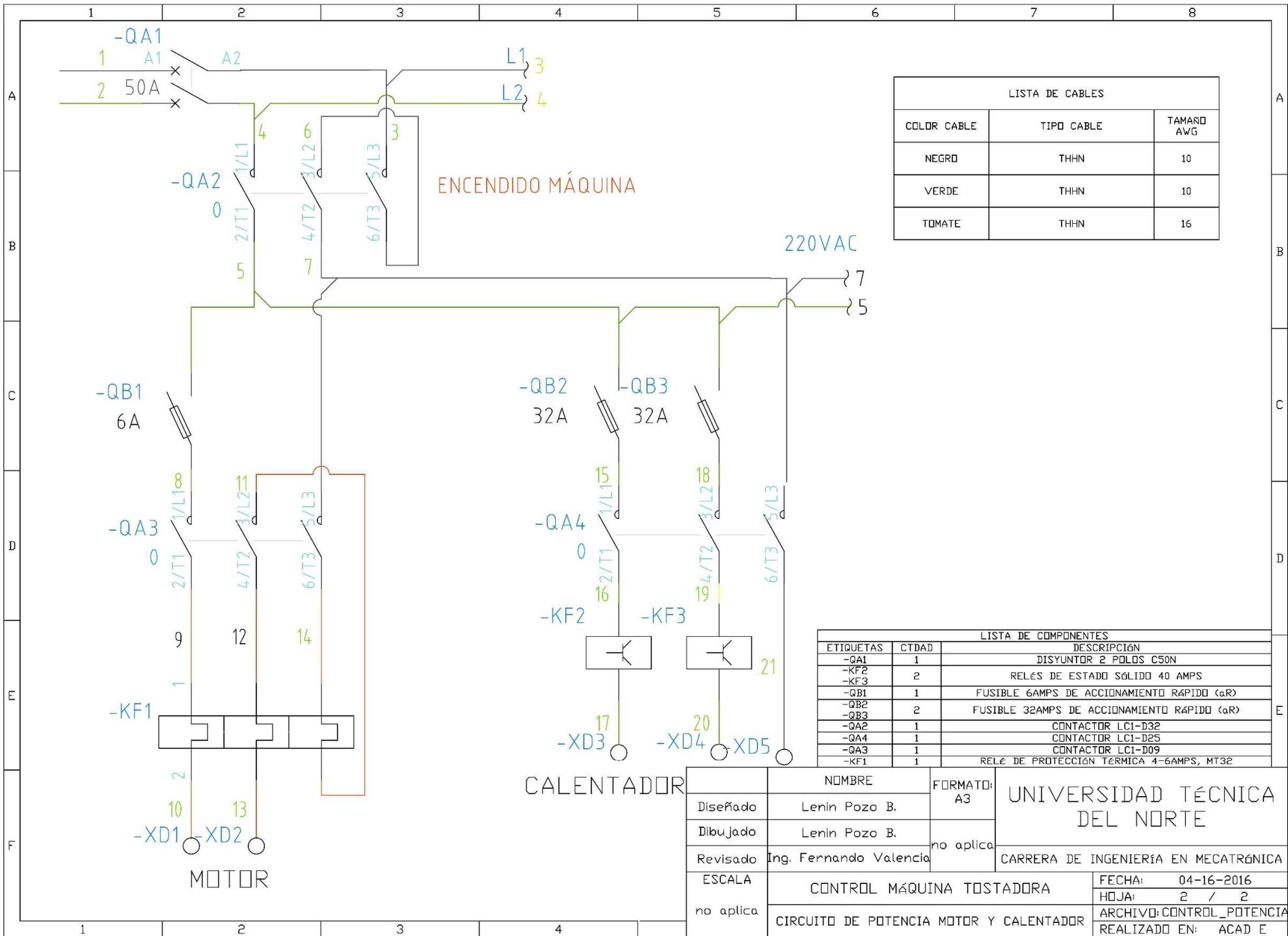
Para soporte técnico comuníquese al siguiente
contacto:

maquinatostadoracq@outlook.com

ANEXO II

PLANOS

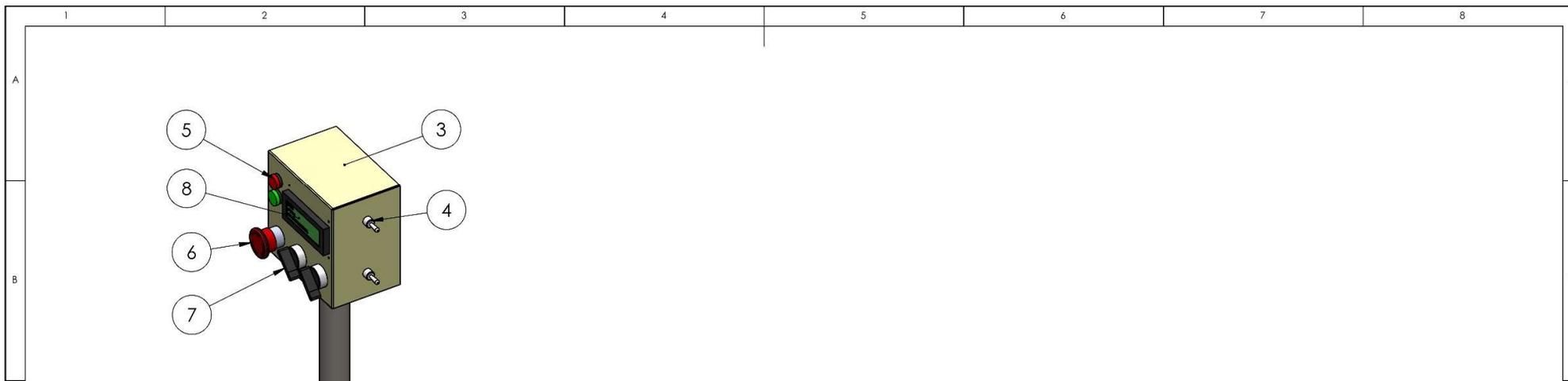
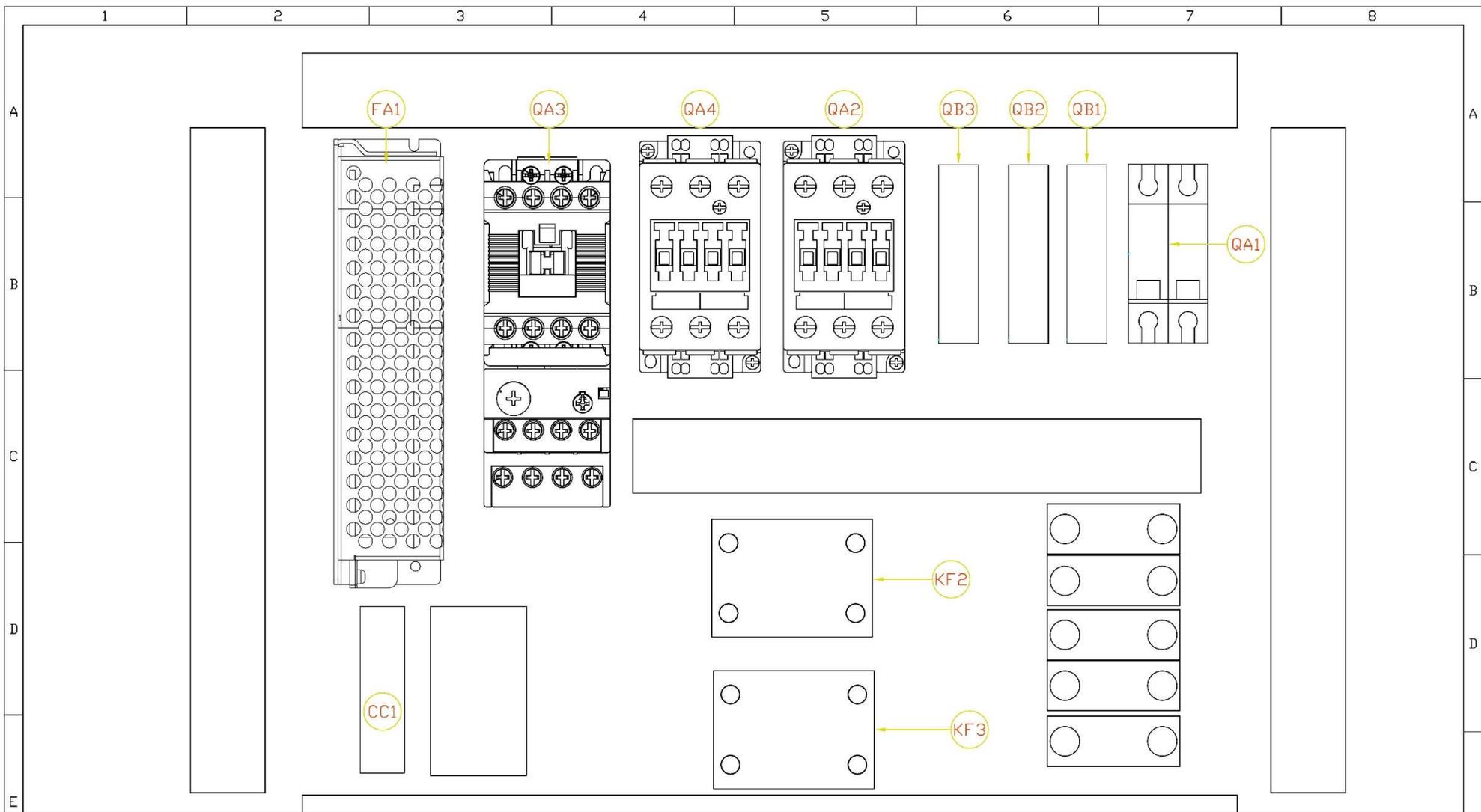




LISTA DE CABLES		
COLOR CABLE	TIPO CABLE	TAMAÑO AWG
NEGRO	THHN	10
VERDE	THHN	10
TOMATE	THHN	16

LISTA DE COMPONENTES		
ETIQUETAS	CTDAD	DESCRIPCIÓN
-QA1	1	DISYUNTOR 2 POLOS C50N
-KF2	2	RELÉS DE ESTADO SÓLIDO 40 AMPS
-QB1	1	FUSIBLE 6AMPS DE ACCIONAMIENTO RÁPIDO (aR)
-QB2	2	FUSIBLE 32AMPS DE ACCIONAMIENTO RÁPIDO (aR)
-QA2	1	CONTACTOR LC1-D32
-QA4	1	CONTACTOR LC1-D25
-QA3	1	CONTACTOR LC1-D09
-KF1	1	RELÉ DE PROTECCIÓN TÉRMICA 4-6AMPS, MT32

Diseñado	Lenin Pozo B.	FORMATO: A3	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
	Dibujado		
Revisado	Ing. Fernando Valencia	no aplica	CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
ESCALA	CONTROL MÁQUINA TOSTADORA		FECHA: 04-16-2016
no aplica	CIRCUITO DE POTENCIA MOTOR Y CALENTADOR		HOJA: 2 / 2
			ARCHIVO: CONTROL_POTENCIA REALIZADO EN: ACAD E

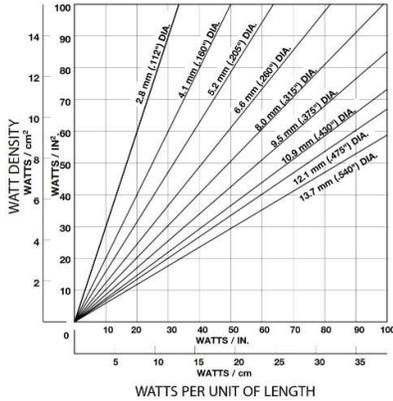


ANEXO III

GUIA DE SELECCIÓN DE RESISTENCIAS TUBULARES

Step 6 - Determination of total required heated length.
 Using the maximum allowable watt density from Step 5 and the selected diameter from Step 4 refer to Figure 1 below to determine the wattage per unit of length.

Figure 1 Surface Watts vs Linear Watts



Next divide this number into the required wattage as determined in Step 1. This gives you the total heated length required.

Step 7 - Determination of the cold end length
 Ideally, the cold end should not be less than 1-1/2" (40 mm) for sheath lengths up to 80" (2000 mm) and 2-1/2" (65 mm) for sheath lengths over 80" (2000 mm). It shall not terminate within a bent section of the element. For immersion, the cold end must always terminate below the minimum liquid level. For higher temperature, "clamp-on", or air heating applications, increasing the cold length will result in lower terminal temperatures.

Step 8 - Determination of element configuration and total sheath length.
 Refer to page A8 for some of the more common shapes for elements. For other shapes, forward to us a hand sketch showing all critical dimensions. In selecting an element shape you may have to use more than one element to meet the following conditions:

- to distribute heat over a large surface or tank;
- if required sheath length is greater than maximum available length shown in Table 4;
- if element heated length, voltage and wattage selected are outside of minimum and maximum ohms per unit of length as shown in Table 4.

$$\text{OHMS/UNIT LENGTH} = \frac{\text{VOLTS}^2}{\text{WATTS} \times \text{HEATED LENGTH}}$$

TABLE 4 Sheath Diameter vs. Maximum Length and OHMS/Unit Length

SHEATH DIAMETER in (mm)	MAXIMUM LENGTH in (mm)	OHMS PER MINIMUM OHMS/in (mm)	HEATED LENGTH MAXIMUM OHMS/in (mm)
.112 (2.8)	55 (1400)	.300 (.0118)	3.2 (.126)
.160 (4.1)	120 (3050)	.230 (.0090)	9.0 (.354)
.205 (5.2)	155 (3940)	.170 (.0066)	12.0 (.472)
.260 (6.6)	102 (2590)	.056 (.0022)	10.0 (.395)
.315 (8.0)	106 (2700)	.035 (.0014)	13.0 (.512)
.375 (9.5)	146 (3710)	.040 (.0016)	13.0 (.512)
.430 (10.9)	285 (7240)	.025 (.0010)	14.0 (.551)
.475 (12.1)	285 (7240)	.025 (.0010)	14.0 (.551)
.540 (13.7)	106 (2700)	.025 (.0010)	14.0 (.551)

NOTES:
 (1) .260" (6.6 mm) & .315" (8.0 mm) Diam. elements are available in lengths up to 285" (7240 mm) in low volume runs (check factory).
 (2) Lengths beyond maximums shown above can be increased by splicing. Check factory for limitations.

Step 9 - Selection of element terminal and optional hardware.
 Refer to page A12 for standard element terminal types and to page A16 for optional hardware.

Types AA and AB terminals can be supplied with 1" (25 mm) length on request.

When Ordering Specify

- number of elements
- element voltage
- element wattage
- sheath diameter
- sheath length
- sheath material
- length of cold ends
- terminal type
- optional hardware
- forming dimensions (send sketch)

HX and IX

ANEXO IV

TABLA DE SELECCIÓN DE TERMINALES

ANEXO V

HOJA DE DATOS SSR 40A



Single phase DC to AC Solid State Module

SSR-DA series

CE, RoHS, UL

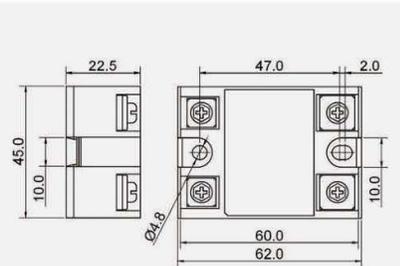
■ Specification [Rated current corresponding to Resistive load]

Type	型式	Standard type / 標準型				
Model	型號	SSR - 10DA	SSR - 25DA	SSR - 40DA	SSR - 50DA	SSR - 75DA
Rated current	額定電流	10A max.	25A max.	40A max.	50A max.	75A max.
I ² t for fuse	熔斷電流	144A ² S	259A ² S	664A ² S	518A ² S	1328A ² S
Surge current	耐突波電流	135A	275A	410A	550A	820A
Peak voltage	耐突波電壓	1200VAC min.				
Output voltage	輸出電壓	24 ~ 380VAC				

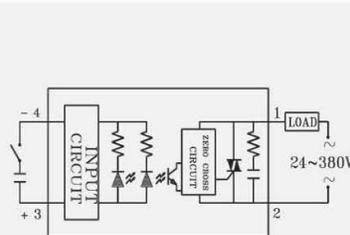
Type	型式	High voltage type / 高壓型				
Model	型號	SSR - 10DA-H	SSR - 25DA-H	SSR - 40DA-H	SSR - 50DA-H	SSR - 75DA-H
Rated current	額定電流	10A max.	25A max.	40A max.	50A max.	75A max.
I ² t for fuse	熔斷電流	144A ² S	259A ² S	664A ² S	518A ² S	1328A ² S
Surge current	耐突波電流	135A	275A	410A	550A	820A
Peak voltage	耐突波電壓	1200VAC min.				
Output voltage	輸出電壓	90 ~ 480VAC				

General specification / 共同規格		
Input voltage	輸入電壓	4 ~ 32 VDC
Turn off voltage	關閉電壓	< 3.5 VDC
Trigger current	觸發電流	12.0mA max.
Control method	控制方式	Zero cross
Leakage current	洩漏電流	5 mA max.
Response time	反應時間	8.3 ms (60Hz)
Input immunity	輸入耐突波	2 KV (EN61000-4-4)
Isolation strength	電介強度	4 KVrms (EN60950/VDE0805)
Insulation strength	絕緣強度	100MΩ / 500VDC (EN60950/VDE0805)
Housing material	外殼材質	防火ABS (UL: 94V0)
Circumstance	工作環境	-40°C ~ +80°C ; 35 ~ 85%RH

■ Outline dimension / 外形尺寸



■ Connection / 接線圖



www.fotek.com.tw

05

ANEXO VI

HOJA DE ESPECIFICACIONES
TERMOCUPLA TIPO K

TERMOCUPLA "J" o "K"



APLICACIÓN:

Las termocuplas de acople rápido o tipo bayoneta se usan especialmente para medir temperatura en sólidos, moldes y mandíbulas de soldaduras en sólidos, moldes y mandíbulas de soldaduras.

Las aplicaciones incluyen hornos, maquinas inyectoras extrusoras, sopladoras de plástico y otros equipos que tengan conexión tipo bayoneta" o hilo M-6x1.

CARACTERÍSTICAS:

TERMOCUPLA BAYONETA ESTÁNDAR

- * Resorte Diámetro 5 mm x 70 mm de largo.
- * Empalme y configuración de junta fría simple.
- * Tubo protector metálico 5mm x 14 mm L, acero inoxidable 316.
- * Bayoneta m10x1.5 mm.
- * Cable malla metálica 2 mts punta del cable con terminales.



TERMOCUPLA CON HILO

- * Junta fría diámetro 4,5 mm.
- * Hilo m6x1.
- * Cable malla metálica 2 mts punta del cable con terminales.

Nota:

El Cable compensado es conveniente para el uso en áreas secas dentro del rango de temperatura admitido por el aislante.

La vaina metálica protege al sensor mecánicamente y lo libra del ataque de los medios agresivos.

DIMENSIONES:

Termocupla para entrega inmediata.

Temp. Máx.	Conexión	Largo	Modelo	Cable	Sensor
300°C	M10X1.5 mm	2 MT	Bayoneta	Fibra Blanco	"J"
350°C	M10X1.5 mm	2 MT	Bayoneta	Malla metálica	"J"
350°C	M6X1 mm	2 MT	Hilo	Fibra Blanco	"J"
350°C	M6X1 mm		Hilo	Malla metálica	"J"
350°C	1/4"	2 MT	Hilo	Malla metálica	"J"
350°C	M6	2 MT	Hilo	Malla metálica	"K"
350°C	6X100	2 MT	Tipo Cartucho	Cable comp.	"K"
350°C	6X25 mm	1 MT.	Bayoneta	Malla metálica	"K"
350°C	1/4"	2 MT	Hilo	Malla metálica	"K"

ANEXO VII

HOJA DE DATOS MAX6675

19-2235; Rev 1; 3/02



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

MAX6675

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

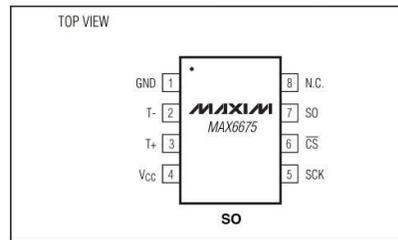
Ordering Information

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

Applications

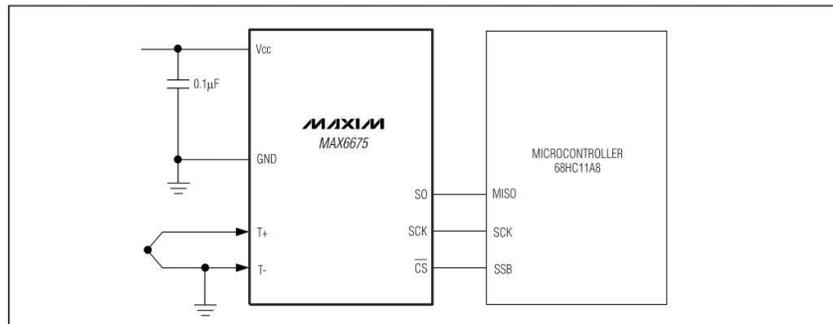
Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



Maxim 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 (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)	±2000V	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°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°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)	V _{CC} = +3.3V	-5	+5	LSB
			V _{CC} = +5V	-6	+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-8	+8	
			V _{CC} = +5V	-9	+9	
T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-17	+17			
	V _{CC} = +5V	-19	+19			
Thermocouple Conversion Constant			10.25			μV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°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			kΩ
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 x V _{CC}		V
Input High Voltage	V _{IH}		0.7 x V _{CC}			V
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or V _{CC}		±5		μA
Input Capacitance	C _{IN}			5		pF

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

MAX6675

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

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

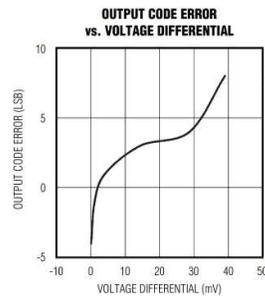
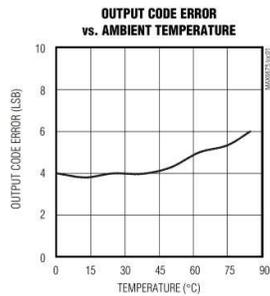
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V _{OH}	I _{SOURCE} = 1.6mA	V _{CC} - 0.4			V
Output Low Voltage	V _{OL}	I _{SINK} = 1.6mA			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f _{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t _{CH}		100			ns
SCK Pulse Low Width	t _{CL}		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t _{CSS}	C _L = 10pF	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t _{DV}	C _L = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t _{TR}	C _L = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t _{DO}	C _L = 10pF			100	ns

Note 1: All specifications are 100% tested at T_A = +25°C. Specification limits over temperature (T_A = T_{MIN} to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = +3.3V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)



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

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	VCC	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	\overline{CS}	Chip Select. Set \overline{CS} low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{OUT} = (41\mu\text{V} / ^\circ\text{C}) \times (T_R - T_{AMB})$$

Where:

V_{OUT} is the thermocouple output voltage (µV).

T_R is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T_{AMB} is the ambient temperature (°C).

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

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

Applications Information

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force \overline{CS} low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing \overline{CS} low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing \overline{CS} high.

Force \overline{CS} low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T- must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1 μ F ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

MAX6675

MAX6675

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

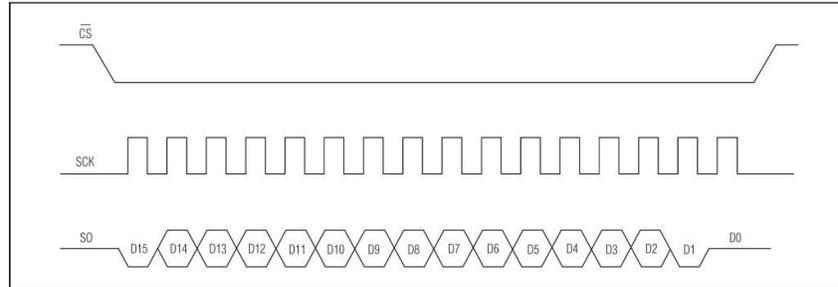


Figure 1a. Serial Interface Protocol

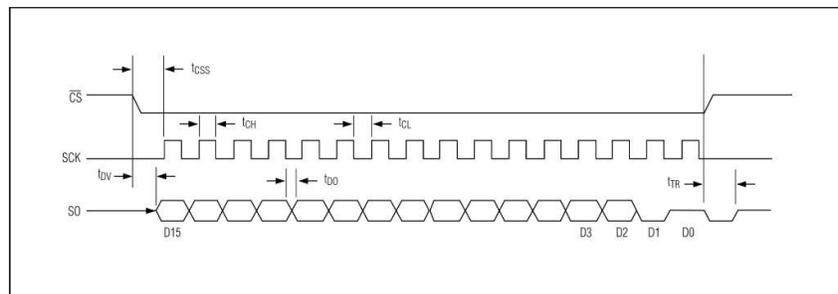


Figure 1b. Serial Interface Timing

BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING												THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

ANEXO VIII

HOJA DE DATOS FUENTE DE
VOLTAJE MEAN WELL T 50



50W Triple Output Switching Power Supply

T-50 series



- Features :
 - AC input range selectable by switch
 - Protections: Short circuit/Over load
 - Cooling by free air convection
 - 100% full load burn-in test
 - Fixed switching frequency at 24KHz I/P-O/P:Rated
 - Low cost
 - High reliability
 - 1 year warranty

SPECIFICATION

MODEL	T-50A			T-50B			T-50C			T-50D			
OUTPUT	OUTPUT NUMBER	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3
	DC VOLTAGE	5V	12V	-5V	5V	12V	-12V	5V	15V	-15V	5V	12V	24V
	RATED CURRENT	7A	1A	1A	5A	1A	1A	4A	1A	1A	3A	1A	1A
	CURRENT RANGE	0.6 ~ 7A	0.2 ~ 1A	0.2 ~ 1A	0.6 ~ 5A	0.2 ~ 1A	0.2 ~ 1A	0.6 ~ 4A	0.2 ~ 1A	0.2 ~ 1A	0.6 ~ 4A	0.2 ~ 1.2A	0.2 ~ 1.2A
	RATED POWER	52W			49W			50W			51W		
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	100mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	50mVp-p	120mVp-p	120mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	CH1:4.75 ~ 5.5V			CH1:4.75 ~ 5.5V			CH1:4.75 ~ 5.5V			CH1:4.75 ~ 5.5V		
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±5.0%	±5.0%	±2.0%	±5.0%	±5.0%	±2.0%	±5.0%	±5.0%	±2.0%	±6.0%	±6.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±1.0%	±1.0%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±4.0%	±4.0%	±1.0%	±4.0%	±4.0%	±1.0%	±4.0%	±4.0%	±1.0%	±5.0%	±5.0%
SETUP, RISE TIME	200ms, 100ms at full load												
HOLD TIME (Typ.)	16ms at full load												
INPUT	VOLTAGE RANGE	85 ~ 132VAC/170 ~ 264VAC selected by switch						240 ~ 370VDC					
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz											
	EFFICIENCY (Typ.)	66%			69%			71%			72%		
	AC CURRENT (Typ.)	1.6A/115VAC			0.8A/230VAC								
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 20A/115VAC 40A/230VAC											
	LEAKAGE CURRENT	<0.5mA / 240VAC											
PROTECTION	OVER LOAD	105 ~ 150% rated output power Protection type : Fold back current limiting, recovers automatically after fault condition is removed											
	WORKING TEMP.	20 ~ 90% RH non-condensing											
ENVIRONMENT	WORKING HUMIDITY	-10 ~ +65 °C (Refer to output load derating curve), 20 ~ 90% RH											
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85 °C, 10 ~ 95% RH											
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50 °C) on +5V output											
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, period for 60min. each along X, Y, Z axes											
SAFETY & EMC	SAFETY STANDARDS	Design refer to UL1012											
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:1.5KVAC			I/P-FG:1.5KVAC			O/P-FG:0.5KVAC					
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms/500VDC											
OTHERS	MTBF	470.2K hrs min. MIL-HDBK-217F (25 °C)											
	DIMENSION	159*97*38mm (L*W*H)											
	PACKING	0.54Kg; 24pcs/14Kg/0.75CUFT											
NOTE	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25 °C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uF & 47uF parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.												

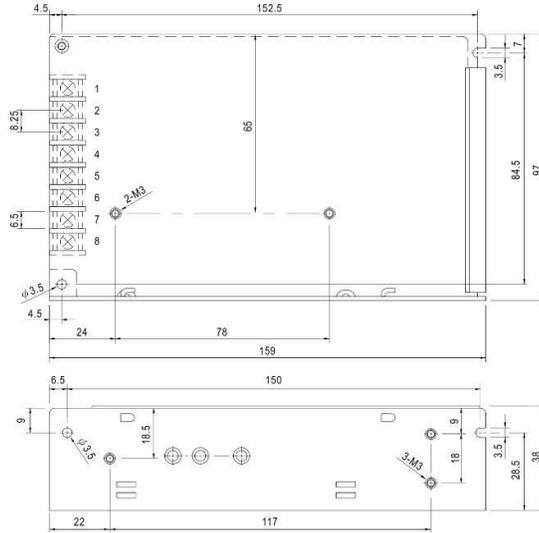


50W Triple Output Switching Power Supply

T-50 series

■ Mechanical Specification

Case No. 901 Unit:mm

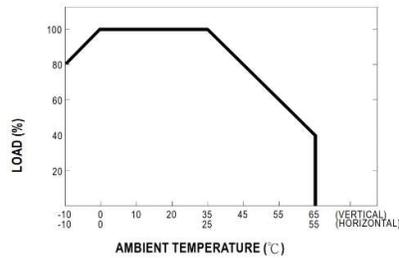


Terminal Pin. No Assignment

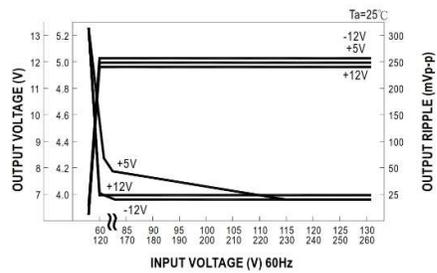
Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	AC/L	4	DC OUTPUT	8	DC OUTPUT +V1
2	AC/N	5,7	DC OUTPUT COM		
3	FG \oplus	6	DC OUTPUT +V2		

MODEL	T-50A	T-50B	T-50C	T-50D
Pin No. 4	-5V	-12V	-15V	+24V

■ Output Derating



■ Static Characteristics (B)



ANEXO IX

HOJA DE DATOS MOTOR WEG
 $\frac{1}{4}$ HP

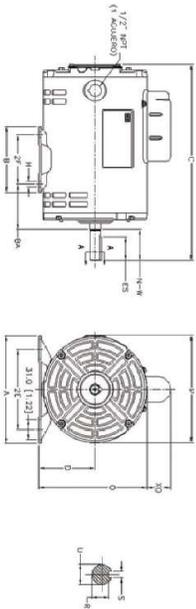
Datos Electricos

Potencia HP kW	Factor de Servicio	Poles	Amplanch	Código de Referencia	Tensión V	RFM Nominal m ²	Corriente Nominal A	Factor de Servicio	Cave KVA/HP	Eficiencia %	Factor de Potencia
0,25 0,187	1,35	2	56	2530051P96C	127/220	3510	6,292/2,5	6,50/2,0	P	52,5	0,44
0,25 0,187	1,35	4	56C	2510051P96C	127/220	1746	5,50/2,50	6,50/2,50	P	50,5	0,52
0,25 0,187	1,35	2	56C	3330051P96C	127/220	3510	7,21/2,70	7,40/3,10	P	53,0	0,57
0,25 0,187	1,35	4	56C	3310051P96C	127/220	1750	6,40/2,50	7,00/3,00	P	52,5	0,57
0,25 0,187	1,35	2	56C	5000051P96C	127/220	3515	8,10/3,20	8,70/4,60	N	59,5	0,58
0,25 0,187	1,35	4	56C	5000051P96C	127/220	1740	6,00/3,80	6,70/4,80	N	57,5	0,63
0,75 0,560	1,25	2	56C	2750051P96C	127/220	3500	11,50/5,00	12,50/5,95	M	62,0	0,61
0,75 0,560	1,25	4	56C	2750051P96C	127/220	1750	12,5/5,50	13,10/6,10	P	59,5	0,59
1,0 0,746	1,25	2	56C	00115051P96C	127/220	3515	13,00/6,20	14,00/7,30	M	64,0	0,70
1,5 1,119	1,15	2	56C	00115051P96C	127/220	3500	16,50/8,00	17,50/8,62	M	62,0	0,65
1,5 1,119	1,15	4	56C	00105051P96C	127/220	1730	20,00/9,37	21,50/10,00	M	60,0	0,66
1,5 1,119	1,15	2	56C	00105051P96C	127/220	3500	17,50/9,00	18,50/10,00	M	62,0	0,66
2,0 1,492	1,15	4	56C	00215051P96C	127/220	1750	25,00/13,50	26,50/15,50	M	70,0	0,57

Datos Mecanicos

Potencia HP kW	Factor de Servicio	Código de Referencia	D	ZE	ZF	BA	H	U	H-W	R	ES	S	C	P	O	MO
0,25 0,187	4	56	2530051P96C										387100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	2510051P96C										387100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	3330051P96C										327100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	3310051P96C										327100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	5000051P96C										287111	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	5000051P96C										287111	51,47	62	6,81
0,75 0,560	4	56C	2750051P96C	88,8	14,50	70,0	66,80	14,50	14,72	13,10	81,4	47,72	287111	51,47	62	6,81
0,75 0,560	4	56C	2750051P96C	88,8	14,50	70,0	66,80	14,50	14,72	13,10	81,4	47,72	287111	51,47	62	6,81
1,0 0,746	2	56C	00115051P96C										312122	106,8	57,17	16,3
1,5 1,119	4	56C	00115051P96C										322122	106,8	57,17	16,3
1,5 1,119	4	56C	00105051P96C										322122	106,8	57,17	16,3
2,0 1,492	4	56C	00215051P96C										352122	106,8	57,17	16,3

Nota: Para obtener información sobre el motor, consulte el manual de instrucciones.



4 | Motores Monofásicos

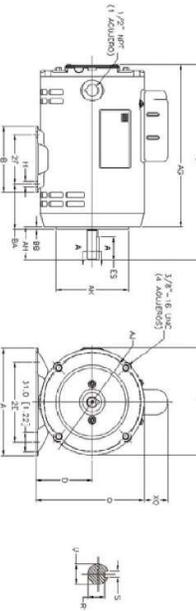
Datos Electricos

Potencia HP kW	Factor de Servicio	Poles	Amplanch	Código de Referencia	Tensión V	RFM Nominal m ²	Corriente Nominal A	Factor de Servicio	Cave KVA/HP	Eficiencia %	Factor de Potencia
0,25 0,187	1,35	2	56C	2530051P96C	127/220	3510	6,292/2,5	6,50/2,0	P	52,5	0,44
0,25 0,187	1,35	4	56C	2510051P96C	127/220	1746	5,50/2,50	6,50/2,50	P	50,5	0,52
0,25 0,187	1,35	2	56C	3330051P96C	127/220	3510	7,21/2,70	7,40/3,10	P	53,0	0,57
0,25 0,187	1,35	4	56C	3310051P96C	127/220	1750	6,40/2,50	7,00/3,00	P	52,5	0,57
0,25 0,187	1,35	2	56C	5000051P96C	127/220	3515	8,10/3,20	8,70/4,60	N	59,5	0,58
0,25 0,187	1,35	4	56C	5000051P96C	127/220	1740	6,00/3,80	6,70/4,80	N	57,5	0,63
0,75 0,560	1,25	2	56C	2750051P96C	127/220	3500	11,50/5,00	12,50/5,95	M	62,0	0,61
0,75 0,560	1,25	4	56C	2750051P96C	127/220	1750	12,5/5,50	13,10/6,10	P	59,5	0,59
1,0 0,746	1,25	2	56C	00115051P96C	127/220	3515	13,00/6,20	14,00/7,30	M	64,0	0,70
1,5 1,119	1,15	2	56C	00115051P96C	127/220	3500	16,50/8,00	17,50/8,62	M	62,0	0,65
1,5 1,119	1,15	4	56C	00105051P96C	127/220	1730	20,00/9,37	21,50/10,00	M	60,0	0,66
1,5 1,119	1,15	2	56C	00105051P96C	127/220	3500	17,50/9,00	18,50/10,00	M	62,0	0,66
2,0 1,492	1,15	4	56C	00215051P96C	127/220	1750	25,00/13,50	26,50/15,50	M	70,0	0,57

Datos Mecanicos

Potencia HP kW	Factor de Servicio	Código de Referencia	D	ZE	ZF	BA	H	U	H-W	R	ES	S	C	P	O	MO
0,25 0,187	4	56C	2530051P96C										387100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	2510051P96C										387100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	3330051P96C										327100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	3310051P96C										327100	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	5000051P96C										287111	51,47	62	6,81
0,25 0,187	4	56C	5000051P96C										287111	51,47	62	6,81
0,75 0,560	4	56C	2750051P96C	88,8	14,50	70,0	66,80	14,50	14,72	13,10	81,4	47,72	287111	51,47	62	6,81
0,75 0,560	4	56C	2750051P96C	88,8	14,50	70,0	66,80	14,50	14,72	13,10	81,4	47,72	287111	51,47	62	6,81
1,0 0,746	2	56C	00115051P96C										312122	106,8	57,17	16,3
1,5 1,119	4	56C	00115051P96C										322122	106,8	57,17	16,3
1,5 1,119	4	56C	00105051P96C										322122	106,8	57,17	16,3
2,0 1,492	4	56C	00215051P96C										352122	106,8	57,17	16,3

Nota: Para obtener información sobre el motor, consulte el manual de instrucciones.



5 | Motores Monofásicos

ANEXO X

ESPECIFICACIONES
CONTACTOR 6A AC3



Contactors (22AF)

Description

- 3-pole(NO) main contact
- Finger proof design
- DIN rail or screw mountable
- AC or DC control in different physical size
- Front/side mountable accessories available
- Direct mountable overload relay available Rating



MC-22b□

Rating

Conductor type			MC-6b		MC-9b		MC-12b		MC-18b		MC-22b	
			kW	A	kW	A	kW	A	kW	A	kW	A
AC duty	AC3	200/240V	2.2	9	2.5	11	3.5	13	4.5	18	5.5	22
		380/440V	3	7	4	9	5.5	12	7.5	18	11	22
		500/550V	3	6	4	7	7.5	12	7.5	13	15	20
		690V	3	4	4	5	7.5	9	7.5	9	15	18
	AC4	200/240V	1.5	7	1.5	8	2.2	11	3.7	16	3.7	18
		380/440V	2.2	5	2.2	6	4	9	4	11	5.5	13
	AC1		25		25		25		32		40	
DC1 duty (L/R=1ms)	2-pole	24V		18		18		18		18		32
		in series		48V		17		17		17		30
			110V		12		12		12		12	
	3-pole	24V		20		20		20		20		32
		in series		48V		20		20		20		32
			110V		15		15		15		15	
DC 2,4 duty (L/R=15ms)	2-pole	24V		15		15		15		15		25
		in series		48V		12		12		12		20
			110V		8		8		8		8	
	3-pole	24V		18		18		18		18		30
		in series		48V		15		15		15		30
			110V		12		12		12		12	
Directly mountable Overload relay					MT-12						MT-32	
Conductor size (solid, stranded)		AWG	18-10		16-10		16-8		14-8		14-8	
(the max. number of conducts : 2)		mm²	1-4		1.5-4		1.5-10		2.5-10		2.5-10	
Conductor type			65/75°C: Cu-wire only									



Coil voltage



AC	50Hz	24, 32, 42, 48, 80, 100, 110, 220, 230, 240, 380, 400, 500, 550V
	60Hz	24, 48, 110, 110, 12, 200, 208, 220, 230, 240, 277, 380, 480, 600V
DC	DC	12, 20, 24, 48, 60, 80, 100, 110, 125, 200, 220, 250V

Certification

- CE(IEC)
- UL508
- CCC

ANEXO XI

ESPECIFICACIONES
PROTECCIÓN DE
SOBRECARGA

Contactors directly mountable with overload relays

Overload relay		Contactor
Type	Setting range	Type
MT-12	0.1-18A	MC-6a
		MC-9a
		MC-12a
		MC-18a
		MC-6b
		MC-9b
		MC-12b
		MC-18b
MT-32	0.1-22A	MC-22b
		MC-32a
		MC-40a
MT-63	4-65A	MC-50a
		MC-65a
MT-95	7-100A	MC-75a
		MC-85a
		MC-100a



Environment and auxiliary circuit

Environment		
Standards	IEC/EN 60947-1, IEC/EN 60947-4-1	
Certifications	CE, CSA, UL	
Rated operation voltage	Max. 690V	
Rated insulation voltage	690V	
Rated frequency	50/60Hz	
Degree of protection (Conforming to IEC 60 529)	IP 20	
Ambient air temperature	Storage	-55 ~ +80°C
	Operation	-5 ~ +60°C
Mounting position	Vertical plane	
Shock resistance (Conforming to IEC 68-2-7)	15gn - 11ms	
Vibration resistance (Conforming to IEC68-2-6)	6G	
Insulation strength (Conforming to IEC 255-5)	6kV	
Rated impulse withstand voltage (Conforming to IEC 801-5)	6kV	
Auxiliary contacts characteristics		
Composition	1a1b (1NO +1NC)	
Rated thermal current	5A	
Rated operation current	C600, R300	
	AC15 duty	120V
	(C600)	240V
		380V
		480V
		500V
		600V
	DC13 duty	120V
	(R300)	240V
Connecting conductor	Size	18AWG /1mm ²
Connection to screw clamp terminals	Type	65/75°C Cu-wire

ANEXO XII

ESPECIFICACIONES
CONTACTOR 40A AC1

TeSys™ IEC-Style Contactors and Starters Selection Guide
Contactors Selection for Utilization Category AC-1

Maximum Operational Current (Open-mounted Device)

Contactor Size			LC1	LC1	LC1	LC1	LC1	LC1	LC1	LC1	LC1		
			LC1	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1	
			K09	K12	D09	D12	D18	D25	D32	D38	D40		
Maximum operating rate operating cycles/hour			600	600	600	600	600	600	600	600	600		
Cabling to IEC 60947-1	cable c.s.a	mm ² (AWG)	4 (#12)	4 (#12)	4 (#12)	4 (#12)	6 (#10)	6 (#10)	10 (#8)	10 (#8)	16 (#6)		
	bar c.s.a.	mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Operational current in A, in AC-1 according to the ambient temperature to IEC 60947-1			≤ 40 °C (104 °F)	A	20	20	25	25	32	40	50	50	60
			≤ 55 °C (131 °F)	A	20	20	25	25	32	40	50	50	60
			≤ 70 °C (158 °F)	A (to Vc)	♦	♦	17	17	22	28	35	35	42
Maximum operational power ≤ 55 °C			220/230 Vac	kW	8	8	9	9	11	14	18	18	21
			240 Vac	kW	8	8	9	9	12	15	19	19	23
			380/400 Vac	kW	14	14	15	15	20	25	31	31	37
			415 Vac	kW	14	14	17	17	21	27	34	34	41
			440 Vac	kW	15	15	18	18	23	29	36	36	43
			500 Vac	kW	17	17	20	20	23	33	41	41	49
			660/690 Vac	kW	22	22	27	27	34	43	54	54	65
1000 Vac	kW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70		

♦ Please consult our local representatives or agents.

ANEXO XIII

ESPECIFICACIONES
INTERRUPTOR
TERMOMAGNÉTICO C40

Interrupidores termomagnéticos MBW

Tabla de Selección

In (A)	1 polo		2 polos		3 polos		3 polos + Neutro
	Curva B	Curva C	Curva B	Curva C	Curva B	Curva C	Curva C
2	-	MBW-C2	-	MBW-C2-2	-	MBW-C2-3	-
4	-	MBW-C4	-	MBW-C4-2	-	MBW-C4-3	-
6	MBW-B6	MBW-C6	MBW-B6-2	MBW-C6-2	MBW-B6-3	MBW-C6-3	MBW-C6-3N
10	MBW-B10	MBW-C10	MBW-B10-2	MBW-C10-2	MBW-B10-3	MBW-C10-3	MBW-C10-3N
16	MBW-B16	MBW-C16	MBW-B16-2	MBW-C16-2	MBW-B16-3	MBW-C16-3	MBW-C16-3N
20	MBW-B20	MBW-C20	MBW-B20-2	MBW-C20-2	MBW-B20-3	MBW-C20-3	MBW-C20-3N
25	MBW-B25	MBW-C25	MBW-B25-2	MBW-C25-2	MBW-B25-3	MBW-C25-3	MBW-C25-3N
32	MBW-B32	MBW-C32	MBW-B32-2	MBW-C32-2	MBW-B32-3	MBW-C32-3	MBW-C32-3N
40	MBW-B40	MBW-C40	MBW-B40-2	MBW-C40-2	MBW-B40-3	MBW-C40-3	MBW-C40-3N
50	MBW-B50	MBW-C50	MBW-B50-2	MBW-C50-2	MBW-B50-3	MBW-C50-3	MBW-C50-3N
63	MBW-B63	MBW-C63	MBW-B63-2	MBW-C63-2	MBW-B63-3	MBW-C63-3	MBW-C63-3N

Ejemplo de código



Nota: para los interruptores de 1 polo no es necesario informar el número de polos.

Dados Técnicos

Normas	NBR IEC 60898, NBR IEC 60947-2, IEC 60947-2, IEC 60898 y VDE 0641		
Tensión máxima de servicio (Vca)	440Vca - 50/60Hz		
Tensión máxima de servicio (Vcc)	60Vcc		
Corrientes nominales	2 hasta 63A		
Frecuencia	50/60Hz		
Temperatura ambiente (°C)	-20 hasta +50		
Curvas de disparo según IEC 60 898	Curva B (3 hasta 5 veces In) Curva C (5 hasta 10 veces In)		
Vida eléctrica	10.000 maniobras		
Vida mecánica	20.000 maniobras		
Grado de protección	IP 20		
Sección de conductores (mm ²)	0,75 hasta 25		
Posición de montaje	indistinta		
Fijación	riel DIN 35mm		
Capacidad de interrupción			
CA	NEMA AB1	120/240V	10kA
	IEC 60 947-2	230/400V	6kA
	IEC 60 898	230/400V	3kA
Peso (kg)	1 polo		0,100
	2 polos		0,197
	3 polos		0,302
	3 polos + neutro		0,401

ANEXO XIV

CODIGO FUENTE PARA GUI DE
ADQUISICIÓN DE DATOS

27/10/15 08:42 PM C:\Users\LENIN\OneDrive...\ADQUISICION.m 1 of 7

```

function varargout = ADQUISICION(varargin)
% ADQUISICION MATLAB code for ADQUISICION.fig
%   ADQUISICION, by itself, creates a new ADQUISICION or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = ADQUISICION returns the handle to a new ADQUISICION or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   ADQUISICION('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in ADQUISICION.M with the given input arguments.
%
%   ADQUISICION('Property','Value',...) creates a new ADQUISICION or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before ADQUISICION_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to ADQUISICION_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help ADQUISICION

% Last Modified by GUIDE v2.5 01-May-2015 18:56:06

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ADQUISICION_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ADQUISICION_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before ADQUISICION is made visible.
function ADQUISICION_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

27/10/15 08:42 PM C:\Users\LENIN\OneDrive...\ADQUISICION.m 2 of 7

```

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ADQUISICION (see VARARGIN)

% Choose default command line output for ADQUISICION
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Temperatura (oC)')
title('ADQUISICION DE DATOS MATLAB')
clc
clear all

% UIWAIT makes ADQUISICION wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = ADQUISICION_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(
(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

27/10/15 08:42 PM C:\Users\LENIN\OneDrive...\ADQUISICION.m 3 of 7

```

        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
    end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global puerto_serial
delete(instrfind({'Port'}, {'COM5'}));
puerto=get(handles.edit, 'String');
puerto_serial=serial(puerto);
puerto_serial.BaudRate=9600;
warning('off', 'MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');
fopen(puerto_serial);

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global puerto_serial
fclose(instrfind);
delete(puerto_serial);
clear all;

% --- Executes on selection change in DATOS.
function DATOS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DATOS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject, 'String')) returns DATOS contents as cell array
%         contents{get(hObject, 'Value')} returns selected item from DATOS

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function DATOS_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DATOS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: listbox controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'), get(
(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
global puerto_serial T
clc
muestras=str2num(get(handles.edit5, 'String'));

```

27/10/15 08:42 PM C:\Users\LENIN\OneDrive...\ADQUISICION.m 4 of 7

```

l1 = line(nan,nan, 'Color','r','LineWidth',2);
puerto_serial.Timeout=1;
hold off
axes(handles.axes1);
a=zeros(1,muestras);
b=zeros(1,muestras);
plot(a,b);
x=zeros(1,muestras);
y=zeros(1,muestras);
z=zeros(1,muestras);
cont=1;
drawnow
hold on
t=0;
tic
while t<muestras

    ylim([0 300]);
    xlim([0 t+5]);
    valor=fscanf(puerto_serial, '%4i');
    t=toc;
    y(cont)=valor(1);
    %%z(cont)=valor(2);
    x(cont)=t(1);
    set(handles.DATOS, 'String',y);
    set(handles.listbox2, 'String',x);
    plot(t,y(cont), 'X-r');
    hold on
    %%plot(t,z(cont), 'X-b');
    drawnow
    cont=cont+1;
end
T = table(x',y', 'VariableNames', {'Tiempo', 'Temperatura'});
hold off
h = msgbox('PUEDE GUARDAR LOS RESULTADOS');

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)

```

27/10/15 08:42 PM C:\Users\LENIN\OneDrive...\ADQUISICION.m 5 of 7

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(
(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(
(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in listBox2.
function listBox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to listBox2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns listBox2 contents as cell
array
% contents(get(hObject,'Value')) returns selected item from listBox2

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function listBox2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to listBox2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

27/10/15 08:42 PM C:\Users\LENIN\OneDrive...\ADQUISICION.m 6 of 7

```

% Hint: listbox controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(
(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)

formatos = {'*.jpeg','JPEG (*.jpeg)'};

[nomb,ruta] = uiputfile(formatos,'GUARDAR GRAFICA');

if nomb==0, return, end

% Crear nueva figura
figura = figure;

% Unidades y posición
unidades = get(handles.axes1,'Units');
posicion = get(handles.axes1,'Position');
objeto_2 = copyobj(handles.axes1,figura);

% Modificar la nueva figura
set(objeto_2,'Units',unidades);
set(objeto_2,'Position',[15 5 posicion(3) posicion(4)]);

% Ajustar la nueva figura
set(figura,'Units',unidades);
set(figura,'Position',[15 5 posicion(3)+30 posicion(4)+10]);

% Guardar la grafica
saveas(figura,[ruta nomb]);
close(figura)
h = msgbox('Operacion completada');
%Cerrar figura

```

27/10/15 08:42 PM C:\Users\LENIN\OneDrive...\ADQUISICION.m 7 of 7

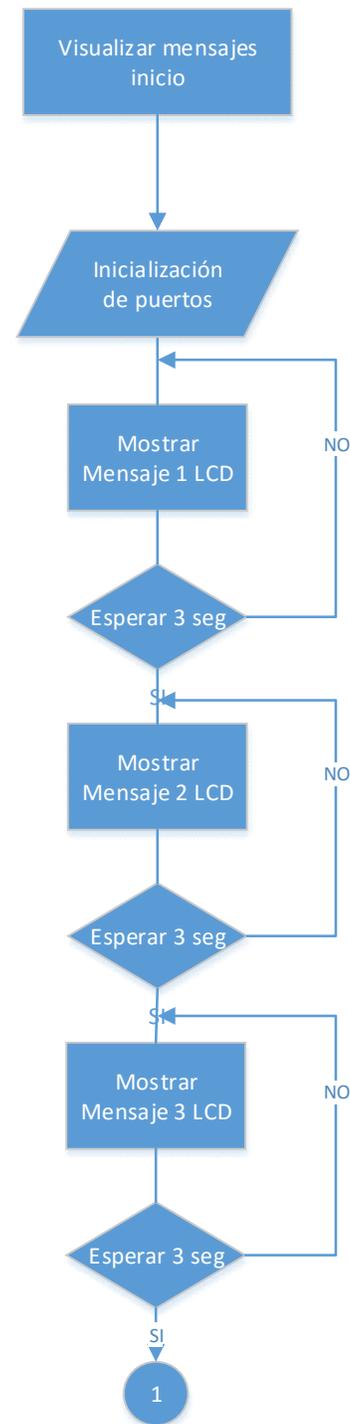
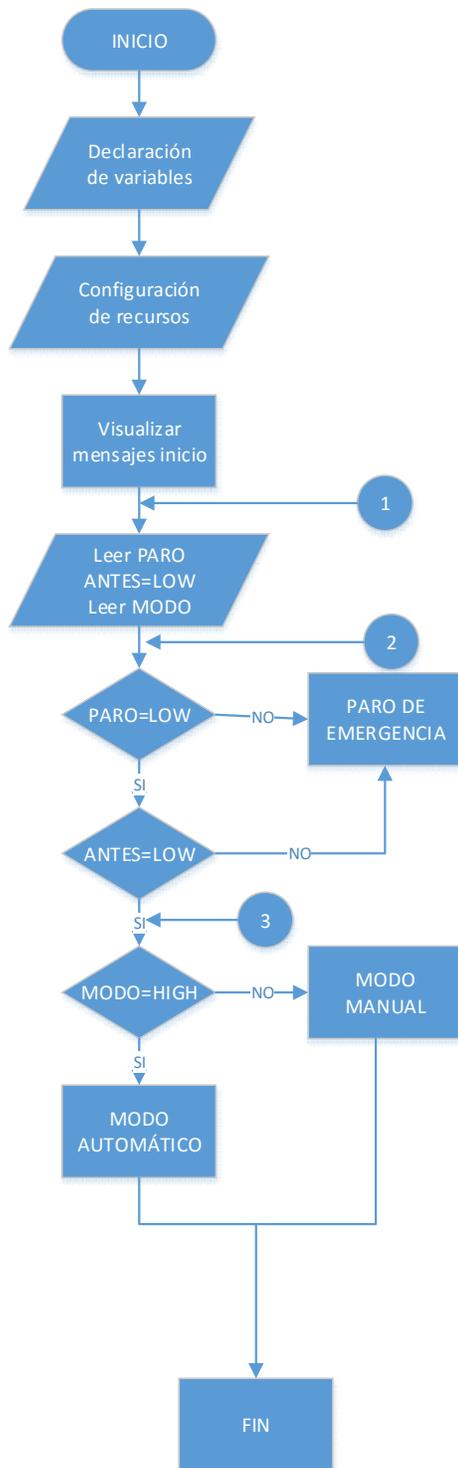
```
% --- Executes on button press in pushbutton5.  
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)  
global T  
formatos = {'*.xlsx', 'XLSX (*.xlsx)'};  
[nomb,ruta] = uiputfile(formatos, 'GUARDAR DATOS');  
writetable(T,[ruta,nomb]);  
h = msgbox('Operacion completa');
```

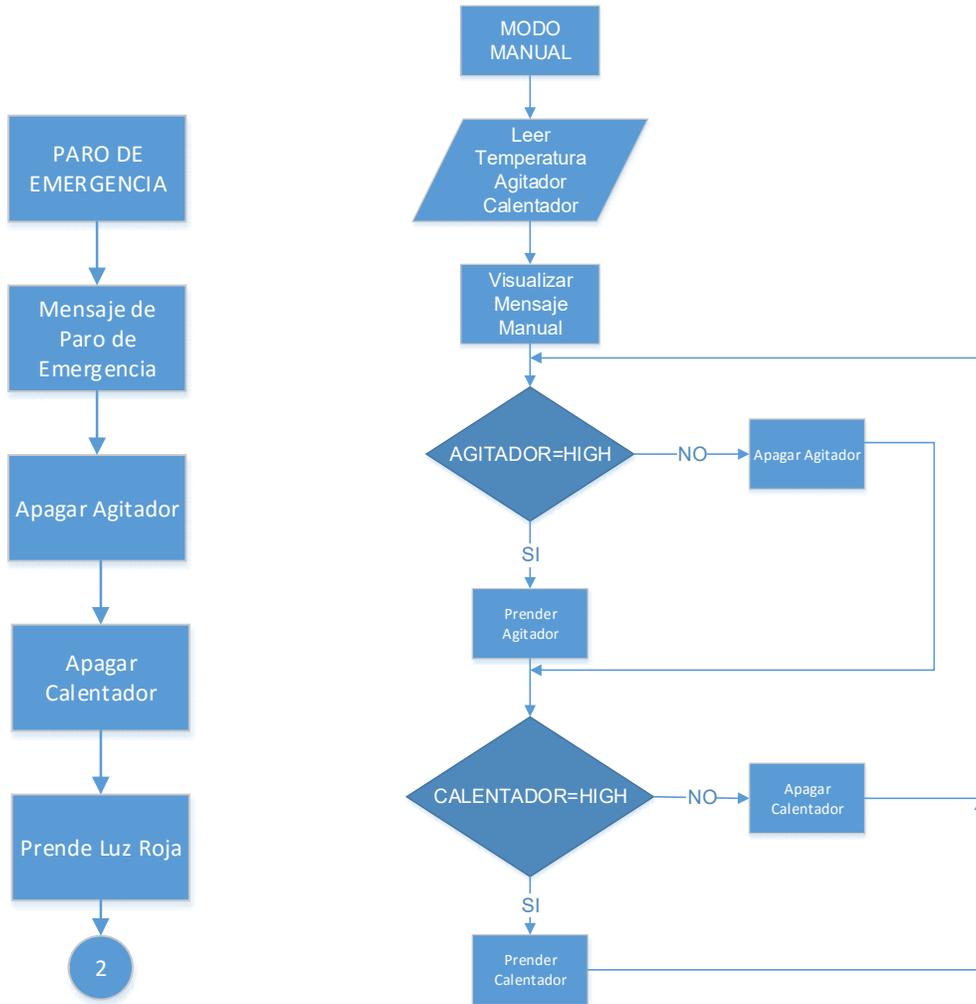
ANEXO XV

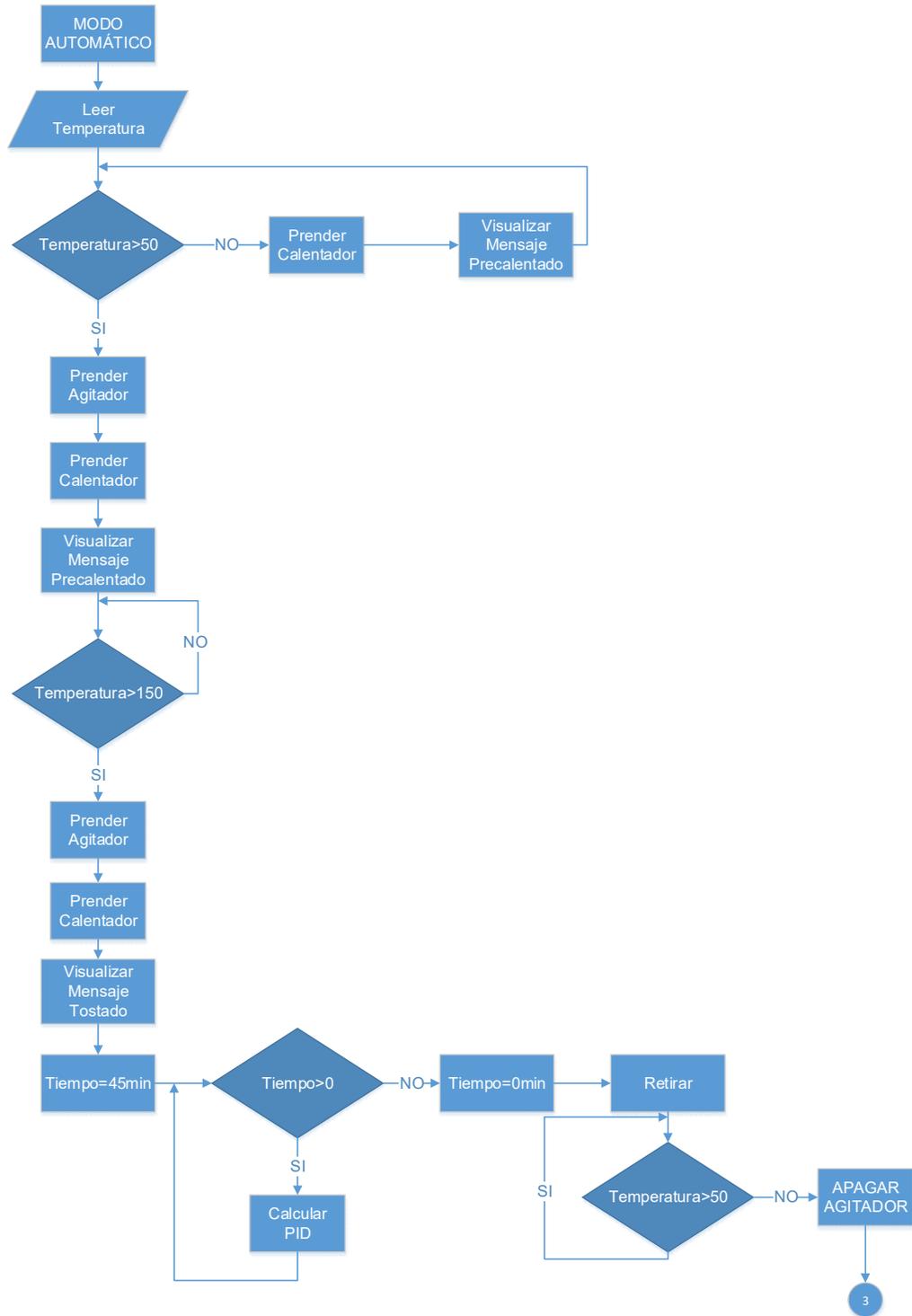
DIAGRAMA DE FLUJO

Y

CODIGO DEL
MICROCONTROLADOR







// PROGRAMA PARA CONTROL PID DE TEMPERATURA DE LA MAQUINA TOSTADORA V1.0

```

// VARIABLE DE ENTRADA: TEMPERATURA (SENSOR TERMOCUPLA K, Y TRASNDUCTOR
MAX6675)
// SALIDA SSR (RELE DE ESTADO SOLIDO PWM 40A)
// TEMPERATURA REQUERIDA 180C EN UN TIEMPO DE 30MIN

//*****LIBRERIAS DE INICIALIZACION*****
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h> //Libreria para conexion
#include <max6675.h> //Libreria lectura transductor MAX6675

//*****ASIGNACION DE PINES*****
#define SSR_Pin 3 //Pin para la salida PWM de control
#define MAX_DO 6 //Pin de conexion MAX6675 (Ver diagrama de conexion)
#define MAX_CLK 5 //Pin de conexion MAX6675 (Ver diagrama de conexion)
#define MAX_CS 4 //Pin de conexion MAX6675 (Ver diagrama de conexion)
#define ON_pin 2 //Pin de encendido del sistema
#define MOTOR_pin A2 //Pin de control motor
#define CALENTADOR_pin A3 //Pin de control calentador
#define LUZV_pin A0 //Pin de control luz verde
#define LUZR_pin A1 //Pin de control luz roja
int vccPin = 9;
int gndPin = 8;

//*****VARIABLES*****
int ESTADO = 0; // Condicion de estado de la maquina
long int TIEMPO_TUESTE = 2700; // Tiempo de tueste
long int TIEMPO_ACTUAL; // Tiempo
long int INICIO; // Tiempo en que inicia el proceso
int MIN, MINu = 0, MINd = 0; // Variables para visualizar tiempo
int SEG, SEG_u = 0, SEG_d = 0;

//*****CONTTROL PID*****
unsigned long TiempoUltimo;
double Entrada=0, Salida, Setpoint=180, Salida1; //Variables para PID
double ITerm, UltimoEntrada;
double kp, ki,kd; //Valores para PID
double salidaMin, salidaMax;
int TiempoMuestreo=1000;
int Limite=2000;
unsigned long InicioLimite;
long ahora_salida;

int PARO_EMERGENCIA=0;
int MODO_AUTOMATICO=0;
int MODO_MANUAL=0;
int AGITACION=0;
int CALENTADOR=0;
int EST_EMERGENCIA=0;
int TEMPERATURA_MIN=50;
int TEMPERATURA_REQ=150;
//*****INICIALIZACION DE MODULOS*****
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); //Pines LCD
MAX6675 thermocouple(MAX_CLK, MAX_CS, MAX_DO); //Pines Modulo Termocupla

void setup() {
//*****CONFIGURACION DE RECURSOS*****
lcd.begin ();
//I/O digitales
Serial.begin(9600);

```

```

//LCD y interfaz de usuario
//lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);

lcd.setBacklight(HIGH);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" UNIVERSIDAD TECNICA");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" DEL NORTE");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("*****");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print(" FICA / CIME");
delay(300);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" MAQUINA TOSTADORA ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" CAFE DE QUINUA ");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("JENIFFER POZO");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("LENIN POZO");
delay(300);
pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

pinMode(SSR_Pin, OUTPUT);
digitalWrite(SSR_Pin, LOW);

pinMode(LUZV_pin, OUTPUT);
digitalWrite(LUZV_pin, HIGH);

pinMode(LUZR_pin, OUTPUT);
digitalWrite(LUZR_pin, LOW);

pinMode(MOTOR_pin, OUTPUT);
digitalWrite(MOTOR_pin, LOW);

pinMode(CALENTADOR_pin, OUTPUT);
digitalWrite(CALENTADOR_pin, LOW);

pinMode(2, INPUT_PULLUP);

pinMode(10, INPUT_PULLUP);

pinMode(9, INPUT_PULLUP);

pinMode(8, INPUT_PULLUP);

ConfiguracionPID(1.416,0.02,212.9);
ConfiguracionLimitesSalida(0,Limite);

TCCR2A = 0;
TCCR2B = 1<<CS22 | 1<<CS21 | 1<<CS20;
TIMSK2 |= 1<<TOIE2;

TIEMPO_ACTUAL = TIEMPO_TUESTE;
}

```

```

void loop() {

  PARO_EMERGENCIA=digitalRead(10);
  MODO_AUTOMATICO=digitalRead(2);
  AGITACION=digitalRead(9);
  CALENTADOR=digitalRead(8);

  if ((PARO_EMERGENCIA==LOW) && (MODO_AUTOMATICO==HIGH) &&
  (EST_EMERGENCIA==LOW))
  {
    Serial.println("MODO AUTOMATICO");
    MODO_AUTO();
  }
  else if ((PARO_EMERGENCIA==HIGH)||((EST_EMERGENCIA==HIGH))
  {
    Serial.println("ERROR PARADA DE EMERGENCIA ACTIVADA");
    EMERGENCIA_AUTO();
  }

  }

  if ((PARO_EMERGENCIA==LOW) && (MODO_AUTOMATICO==LOW) &&
  (EST_EMERGENCIA==LOW))
  {
    Serial.println("MODO MANUAL");
    LCDMANUAL();
    Entrada=(thermocouple.readCelsius());
    VisualizarTempManual();
    if ((AGITACION==LOW))
    {
      Serial.println("AGITADOR ON");
      PRENDER_AGITADOR();
    }
    else
    {
      Serial.println("AGITADOR OFF");
      APAGAR_AGITADOR();
    }
    if ((CALENTADOR==LOW))
    {
      Serial.println("CALENTADOR ON");
      PRENDER_CALENTADOR();
    }
    else
    {
      Serial.println("CALENTADOR OFF");
      APAGAR_CALENTADOR();
    }
    delay(500);
  }

  else if ((PARO_EMERGENCIA==HIGH)||((EST_EMERGENCIA==HIGH))
  {
    Serial.println("ERROR PARO DE EMERGENCIA ACTIVADO");
    EMERGENCIA_AUTO();
  }
  }

  //FUNCIONES NECESARIAS

```

```
void AUTOLCD_Precalentado()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" TOSTADORA UTN");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("ESTADO:");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("TEMP. ACT:");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("TIEMPO REST:");
  lcd.setCursor(7, 1);
  lcd.print("PRECALENTADO ");
  digitalWrite(LUZR_pin, LOW);
  digitalWrite(LUZV_pin, HIGH);
}

void AUTOLCD_Tostando() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" TOSTADORA UTN");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("ESTADO:");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("TEMP. ACT:");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("TIEMPO REST:");
  lcd.setCursor(9, 1);
  lcd.print("TOSTANDO ");
  digitalWrite(LUZR_pin, LOW);
  digitalWrite(LUZV_pin, HIGH);
}

void AUTOLCD_Apagado() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" TOSTADORA UTN ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("ESTADO: ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("TEMP. ACT:");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("TIEMPO REST:--:--min");
  lcd.setCursor(9, 1);
  lcd.print("APAGADO ");
  digitalWrite(LUZR_pin, LOW);
  digitalWrite(LUZV_pin, HIGH);
}

void AUTOLCD_Emergencia() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" PARO DE EMERGENCIA");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("REVISE MANUAL");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("TEMP:");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("TIEMPO REST:");
  digitalWrite(LUZR_pin, HIGH);
}
```

```

digitalWrite(LUZV_pin, LOW);
}

void LCDMANUAL()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("MODULO MANUAL");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("MOTOR: ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("CALENTADOR:");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("TEMP. ACT.:");
  lcd.setCursor(12, 1);
  if (AGITACION==1)
  {lcd.print("OFF "); }
  else
  {lcd.print("ON"); }
  lcd.setCursor(12, 2);
  if (CALENTADOR==1)
  {lcd.print("OFF "); }
  else
  {lcd.print("ON"); }

  digitalWrite(LUZR_pin, LOW);
  digitalWrite(LUZV_pin, HIGH);

}

void VisualizarTemp() {
  lcd.setCursor(10, 2);
  lcd.print(thermocouple.readCelsius());
  lcd.setCursor(17, 2);
  lcd.print("C");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  //Serial.println(analogRead(A1));
}

void VisualizarTempManual() {
  lcd.setCursor(10, 3);
  lcd.print(thermocouple.readCelsius());
  lcd.setCursor(17, 3);
  lcd.print("C");
}

//*****ARRANQUE DE MOTOR Y RESISTENCIAS*****

void PRENDER_AGITADOR()
{
  digitalWrite(MOTOR_pin, HIGH);
}

void APAGAR_AGITADOR()
{
  digitalWrite(MOTOR_pin, LOW);
}

```

```

void PRENDER_CALENTADOR()
{
  Salida=Limite;
  digitalWrite(CALENTADOR_pin, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(SSR_Pin, HIGH);
}

void APAGAR_CALENTADOR()
{
  Salida=0;
  digitalWrite(SSR_Pin, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(CALENTADOR_pin, LOW);
}

//*****FUNCION PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE TUESTE*****
void Temporizador() {

  MIN = (TIEMPO_ACTUAL) / 60;           //Calculo de Minutos
  MINu = MIN % 10;                     //Unidades de minuto
  MINd = (MIN - MINu) / 10;            //Decenas de minuto
  SEG = (TIEMPO_ACTUAL) % 60;         //Calculo de Segundos
  SEGu = SEG % 10;                    //Unidades de segundo
  SEGd = (SEG - SEGu) / 10;           //Decenas de segundo
  lcd.setCursor(13, 3);               // Visualizar en LCD
  lcd.print(MINd);
  lcd.print(MINu);
  lcd.print(":");
  lcd.print(SEGd);
  lcd.print(SEGu);
}

void EMERGENCIA_AUTO()
{
  AUTOLCD_Emergencia();
  VisualizarTemp();
  APAGAR_AGITADOR();
  delay(500);
  APAGAR_CALENTADOR();
  EST_EMERGENCIA=HIGH;
}

void MODO_AUTO()
{
  Entrada=(thermocouple.readCelsius());

  while(Entrada<TEMPERATURA_REQ && PARO_EMERGENCIA==LOW)
  {
    PRENDER_CALENTADOR();

    AUTOLCD_Precalentado();
    VisualizarTemp();
    Entrada=(thermocouple.readCelsius());
    delay(1000);
    if(Entrada>50)
    {
      PRENDER_AGITADOR();
      PRENDER_CALENTADOR();
    }
  }
}

```

```

    }

    else if(Entrada<50)
    {
        APAGAR_AGITADOR();
        PARO_EMERGENCIA=digitalRead(10);
        MODO_AUTOMATICO=digitalRead(2);
    }

if(Entrada>=TEMPERATURA_REQ && PARO_EMERGENCIA==LOW)
{
    PRENDER_CALENTADOR();
    PRENDER_AGITADOR();
    TIEMPO_ACTUAL = TIEMPO_TUESTE;
    AUTOLCD_Tostando();
    delay(300);
    INICIO = millis(); //Calcula cuando inicia el proceso
    InicioLimite=millis();

while (TIEMPO_ACTUAL > 0 && PARO_EMERGENCIA==LOW)
{

    TIEMPO_ACTUAL = TIEMPO_TUESTE - ((millis() - INICIO) / 1000); //Calculo del tiempo
    restante/actual
    CalcularPID();
    Temporizador(); //Muestra el Tiempo restante con formato
    MM:SS
    PARO_EMERGENCIA=digitalRead(10);
    MODO_AUTOMATICO=digitalRead(2);
}

    TIEMPO_ACTUAL=0;

    while (TIEMPO_ACTUAL<=0 && PARO_EMERGENCIA==LOW && Entrada > 50 &&
MODO_AUTOMATICO==HIGH)
    {
        APAGAR_CALENTADOR();
        Entrada=(thermocouple.readCelsius());
        VisualizarTemp();
        PARO_EMERGENCIA=digitalRead(10);
        MODO_AUTOMATICO=digitalRead(2);
    }
    Entrada=(thermocouple.readCelsius());
    while (TIEMPO_ACTUAL<=0 && PARO_EMERGENCIA==LOW && Entrada < 50 &&
MODO_AUTOMATICO==HIGH)
    {
        Entrada=(thermocouple.readCelsius());
        APAGAR_CALENTADOR();
        APAGAR_AGITADOR();
        VisualizarTemp();
        PARO_EMERGENCIA=digitalRead(10);
        MODO_AUTOMATICO=digitalRead(2);
    }

}

}

void CalcularPID()

```

```

{
  unsigned long ahora=millis();
  int dTiempo=(ahora-TiempoUltimo);
  if (dTiempo>=TiempoMuestreo)
  {
    Entrada=(thermocouple.readCelsius());
    VisualizarTemp();
    Serial.println(Entrada);
    double error=Setpoint-Entrada;
    ITerm+=(ki*error);
    if (ITerm>salidaMax)
    {
      ITerm=salidaMax;
    }
    else if(ITerm<salidaMin)
    {
      ITerm=salidaMin;
    }

    double dEntrada=(Entrada-UltimoEntrada);
    Salida1=kp*error+ITerm-kd*dEntrada;
    Salida=kp*error+ITerm-kd*dEntrada;

    if (Salida>salidaMax)
    {
      Salida=salidaMax;
    }
    else if(Salida<salidaMin)
    {
      Salida=salidaMin;
    }

    UltimoEntrada=Entrada;
    TiempoUltimo=ahora;
  }
  //Serial.println(Salida);
}

void ConfiguracionPID( double Kp, double Ki, double Kd)
{
  double TiempoMuestreoSeg=((double)TiempoMuestreo)/1000;
  kp=Kp;
  ki=Ki*TiempoMuestreoSeg;
  kd=Kd/TiempoMuestreoSeg;
}

void ConfiguracionLimitesSalida(double Min, double Max)
{
  if(Min>Max) return;
  salidaMin=Min;
  salidaMax=Max;

  if (Salida>salidaMax)
  {
    Salida=salidaMax;
  }
  else if(Salida<salidaMin)
  {
    Salida=salidaMin;
  }
}

```

```
if (ITerm>salidaMax)
{
ITerm=salidaMax;
}
else if(ITerm<salidaMin)
{
ITerm=salidaMin;
}
}

ISR(TIMER2_OVF_vect)
{
SALIDASSR();
}

void SALIDASSR()
{
ahora_salida = millis();
//Set the output
//"on time" is proportional to the PID output
if(ahora_salida - InicioLimite>Limite)
{ //time to shift the Relay Window
InicioLimite += Limite;
}
if((Salida>100)&&(Salida > (ahora_salida - InicioLimite)))
{
digitalWrite(SSR_Pin,HIGH);
}
else
{
digitalWrite(SSR_Pin,LOW);
}
}
```


ANEXO XVI

ESPECIFICACIONES CABLES THHN

Cables



ESPECIFICACIONES TECNICAS

Todos los conductores fabricados por ELECTROCABLES C.A. cumplen con holgura las especificaciones establecidas en las normas de fabricación existentes para cada tipo y que son las siguientes:

Aislante de Material termoplástico, PVC 600 V. - 90 °C
Chaqueta de Nylon

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION No. de Hilos por diámetro en mm.	ESPESOR AISLAM. mm	ESPESOR CHAQUETA mm	DIAM. EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
							Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
20	0.519	1 x 0.813	0.38	0.10	1.77	7.07	15	10	TFN	A,B
18	0.823	1 x 1,02	0.38	0.10	1.98	10.94	15	10	TFN	A,B
16	1.31	1 x 1,29	0.38	0.10	2.25	16.48	20	15	TFN	A,B
14	2.08	1 x 1,63	0.38	0.10	2.59	23.17	35	25	THHN	A,B
12	3.31	1 x 2,05	0.38	0.10	3.01	34.16	40	30	THHN	A,C
10	5.26	1 x 2,59	0.51	0.10	3.81	55.04	55	40	THHN	A,D
8	8.34	1 x 3,26	0.76	0.13	5.04	91.22	80	55	THHN	A,B
16	1.31	19 x 0,30	0.38	0.10	2.46	17.95	20	15	TFN	A,B
14	2.08	19 x 0,38	0.38	0.10	2.86	23.80	35	25	THHN	A,B
12	3.31	19 x 0,47	0.38	0.10	3.31	35.70	40	30	THHN	A,C
10	5.26	19 x 0,60	0.51	0.10	4.22	56.20	55	40	THHN	A,D
8	8.37	7 x 1,23	0.76	0.13	5.47	93.70	80	55	THHN	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55	0.76	0.13	6.43	141.30	105	75	THHN	A,E
4	21.15	7 x 1,96	1.02	0.15	8.22	227.60	140	95	THHN	A,E
2	33.62	7 x 2,47	1.02	0.15	9.75	348.10	190	130	THHN	A,E
1	42.36	7 x 2,78	1.27	0.18	11.24	446.20	220	150	THHN	A,D,E
1/0	53.49	19 x 1,89	1.27	0.18	12.35	553.30	260	170	THHN	D,E,Z
2/0	67.43	19 x 2,12	1.27	0.18	13.50	688.70	300	195	THHN	D,E,Z
3/0	85.01	19 x 2,39	1.27	0.18	14.85	856.80	350	225	THHN	D,E,Z
4/0	107.20	19 x 2,68	1.27	0.18	16.30	1069.50	405	260	THHN	D,E,Z
250	127.00	37 x 2,09	1.52	0.20	18.07	1263.00	455	290	THHN	Z
300	152.00	37 x 2,29	1.52	0.20	19.47	1502.00	505	320	THHN	Z
350	177.00	37 x 2,47	1.52	0.20	20.73	1743.00	570	350	THHN	Z
400	203.00	37 x 2,64	1.52	0.20	21.92	1981.00	615	380	THHN	Z
500	253.00	37 x 2,95	1.52	0.20	24.09	2457.00	700	430	THHN	Z
600	304.00	37 x 3,23	1.78	0.23	26.63	2960.00	780	475	THHN	Z
650	329.00	37 x 3,37	1.78	0.23	27.61	3221.00	820	500	THHN	Z
700	355.00	37 x 3,49	1.78	0.23	28.45	3453.00	855	520	THHN	Z

Conductor elaborado bajo normas:
NEMA WC -5, ICEA S -61-402, ASTM B3, B8, UL STANDARD 83, INEN

ANEXO XVII

FOTOS

Inspección de las resistencias eléctricas y del espacio en la cámara de calentamiento



Instalación de soportes para resistencias eléctricas



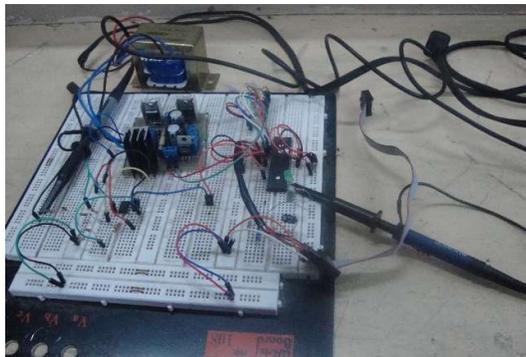
Cableado de las resistencias eléctricas



Instalación de las resistencias eléctricas en la cámara de calentamiento



Armado del prototipo de la tarjeta de control



Prueba del sistema de calentamiento



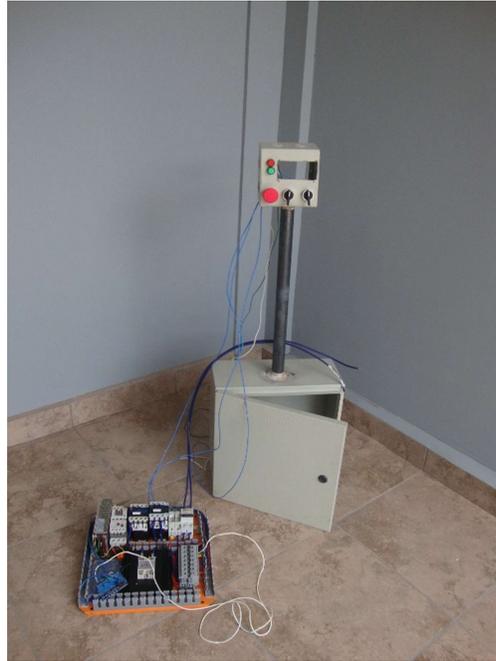
Construcción del Gabinete de control



Instalación de elementos en el tablero eléctrico



Prueba del tablero eléctrico



Instalación del tablero de control en la maquina tostadora



Cableado del panel de control



Comprobación de las instalaciones en el tablero eléctrico



Programación del dispositivo lógico



Defensa Privada del proyecto de Tesis



● **DESARROLLO** / La UTN empeñada en el cambio de la matriz productiva del país

Máquina tostadora de café, aporte al desarrollo

BLANCA ROSITA MORETA
blmoreta@elnorte.ec
@BlancaRositaMoreta

IBARRA

No solo el apellido es común en Jeniffer Pozo y Lenin Pozo, les une muchas cosas en común: son apasionados por la robótica.

Están a punto de conseguir el título de ingenieros en Mecatrónica, en la Universidad Técnica del Norte, de Ibarra. Para la consecución de su carrera universitaria han diseñado una máquina tostadora, que puede servir para granos, café y otros.

El diseño de esta máquina, partió luego de mirar como una familia que tiene un microemprendimiento de producción de café de quinua. Lo hacen de forma artesanal, como es usar la cocina de leña, un tiesto para cocer las especias y el tiempo que implica esta actividad que casi no resulta rentable, explica Lenin Pozo.

Apegados a las necesidades de ellos, decidimos diseñar la maquinaria que no llevé más de un año, cuenta Jeniffer Pozo.

DESARROLLO

Este trabajo consiste en diseñar e implementar un tostador de resistencias eléctricas para una capacidad única de 25 libras de café de quinua. Las harinas son colocadas de forma manual en una cuba cilíndrica, con las proporciones ya establecidas. La máquina permite precalentar, tostar, enfriar y extraer la mezcla con el uso de un calentamiento por resistencias eléctricas y un sistema de agitación por paletas.

Las resistencias eléctricas tienen una potencia adecuada para poder alcanzar las temperaturas requeridas. El sistema de agitación es accionado por un motor y servirá tanto para revolver la mezcla en el tostado y enfriado, como para la extracción de la mezcla al momento de terminar el proceso.

El sistema será capaz de controlar el calentamiento por resistencias eléctricas y el sistema de agitación, permitiendo mantener la temperatura determinada.

Para el calentamiento se utilizará una etapa de medición de temperatura de la mezcla, la que servirá



Gustavo Mosquera (i), Jeniffer Pozo y Lenin Pozo, creadores de la tostadora de café. Foto: Eduardo Celi

Máquina tostadora



● La tostadora permite precalentar, tostar, enfriar y extraer la mezcla con el uso del calentamiento por resistencias eléctricas y un sistema de agitación por paletas.

● El café de quinua es un emprendimiento de una familia del sector El Tejar en el cantón Pimampiro que lo elabora y produce de forma artesanal. Esta máquina ayudará con el tostado.



La máquina tostadora requiere 220 voltios de energía para su funcionamiento. Su vida útil es de 10 años.

únicamente para controlar el calor proporcionado por el calentador de resistencias y así cumplir con los valores establecidos.

IMPACTOS

Este trabajo se justifica por los siguientes impactos que se generaran: Se contri-

buye con los artesanos de café de quinua por lograr simplificar el proceso de tostado y que este sea autónomo, permitiendo que se ocupe el tiempo en la demás actividad necesaria para el sustento familiar.

Esto además fomentará el uso de la quinua como ingrediente principal en la elaboración de alimentos y productos saludables.

El remplazo de la leña como medio de calentamiento beneficiará al artesano disminuyendo los riesgos como quemaduras, sofocación y problema respiratorios, mejorando la seguridad y la salud del individuo.