



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRONICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL
QUEMADOR PELLASX, MEDIANTE LA REGULACIÓN DEL
SUMINISTRO DE PELLETS DE MADERA Y AIRE”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al Grado Académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

KEVIN JOSUE OJEDA AGUILAR

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRONICA Y AUTOMATIZACIÓN

**SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL
QUEMADOR PELLASX, MEDIANTE LA REGULACIÓN DEL
SUMINISTRO DE PELLETS DE MADERA Y AIRE.**

Trabajo De Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al Grado Académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: KEVIN JOSUE OJEDA AGUILAR

DIRECTOR: Ing. PABLO EDUARDO LOZADA YANEZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Kevin Josue Ojeda Aguilar

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

Yo, Kevin Josue Ojeda Aguilar, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 03 de Mayo de 2023



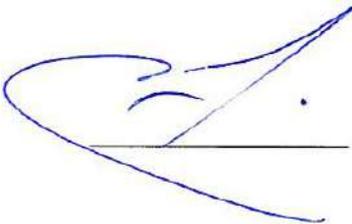
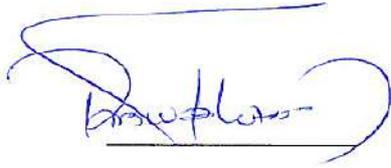
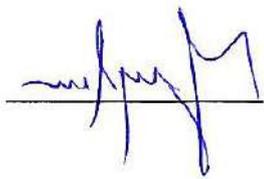
Kevin Josue Ojeda Aguilar
235015957-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL QUEMADOR PELLASX, MEDIANTE LA REGULACIÓN DEL SUMINISTRO DE PELLETS DE MADERA Y AIRE**, realizado por el señor: **KEVIN JOSUE OJEDA AGUILAR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Viteri Barrer PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-03
Ing. Pablo Eduardo Lozada Yanez DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-03
Ing. Jorge Vicente Yuquilema Illapa ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-03

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Integración Curricular se la dedico a Dios, quien ha estado conmigo, siendo luz durante toda la carrera, haberme guiado por el camino correcto y cuidado de mí y mi familia, especialmente para mis padres Nelson Pablo Ojeda y Viviana Lorena Aguilar, quienes han sido mi pilar durante todo mi proceso de crecimiento académico, y me alentaron para nunca rendirme y alcanzar mis metas. Además, a mis hermanos Estefanía, Pablo y Benjamín, por el cariño y apoyo incondicional que he recibido a lo largo de mi vida, en especial a mi hermana Estefanía quien es mi ejemplo para seguir, por su pasión a su profesión y constancia ante cualquier circunstancia. También, agradezco a mis Tíos Ingrith, Pilar, José y Freddy por sus consejos y guías para no desfallecer, a mi abuelita Rosa Veloz, que siempre ha estado pendiente de mí, y dándome consejos de vida a lo largo del camino universitario, a mis primos, en especial a Diego Montero y Richi Arequipa, quienes han sido otra inspiración a lo largo de mi carrera universitario; finalmente a una persona especial para mí, Niurka García, por su amor, su apoyo y su compañía.

Kevin Josue Ojeda Aguilar

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, por haberme brindado la fortaleza y la sabiduría necesaria para completar mi tesis. Su amor incondicional y su guía constante han sido mi mayor apoyo en todo momento. También quiero agradecer a mis padres por su amor, paciencia y sustento incondicional en este largo camino. Gracias por creer en mí y por animarme en todo momento, incluso cuando las cosas se pusieron difíciles. Asimismo, deseo agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Electrónica y Automatización, por contar con excelentes docentes que compartieron sus conocimientos en estos años de preparación académica. En particular, quiero agradecer al ingeniero Pablo Eduardo Lozada Yáñez por su discernimiento, paciencia y orientación durante todo este proceso. Gracias por compartir su conocimiento y experiencia conmigo, y por ayudarme a alcanzar mi máximo potencial. Sobre todo, agradezco a Santiago y Andrés Gamboa, por el apoyo que me han ofrecido durante la ejecución de la tesis, confianza al abrirme las puertas de su fábrica y seguridad que han tenido en mí durante esta trayectoria. Una vez más, agradezco a todos por su amor, apoyo y motivación constante. Sin su ayuda, este logro no hubiera sido posible.

Kevin Josue Ojeda Aguilar

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLA.....	XII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
INDICE DE ECUACIONES.....	XVIII
RESUMEN.....	XIX
SUMMARY.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	3
1.1	Antecedentes.....	3
1.2	Planteamiento del problema	4
1.3	Justificación.....	5
<i>1.3.1</i>	<i>Justificación Teórica</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Justificación Aplicativa</i>	<i>6</i>
1.4	Objetivos.....	7
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>7</i>

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	Antecedentes de investigación	8

2.2	Sistemas de control de temperatura.....	9
2.2.1	<i>Control ON/OFF</i>	9
2.2.2	<i>Control Proporcional.....</i>	9
2.2.3	<i>Control Proporcional Integral.....</i>	10
2.2.4	<i>Control Proporcional Derivativo.....</i>	10
2.2.5	<i>Proporcional Integral Derivativo</i>	10
2.2.6	<i>Control inteligente</i>	10
2.2.6.1	<i>Lógica Borrosa.....</i>	11
2.2.6.2	<i>Redes Neuronales</i>	11
2.3	Unidad de control para el quemador PellasX	12
2.3.1	<i>Microprocesadores.....</i>	12
2.3.1.1	<i>Controlador lógico programable PLC</i>	12
2.3.2	<i>Lógica cableada</i>	13
2.3.3	<i>Análisis comparativo de los sistemas de control.....</i>	14
2.4	Actuadores.....	16
2.4.2	<i>Motores eléctricos de corriente alterna.....</i>	16
2.5	Sensor de Temperatura.....	17
2.5.1	<i>Tipos de sensores de temperatura implementados en quemadores de biomasa</i>	17
2.5.1.1	<i>Termistores.....</i>	17
2.6	Hornos Industriales	19
2.6.1	<i>Tipos de Hornos Industriales según su combustible</i>	19
2.6.2	<i>Componentes de un Horno Industrial</i>	20
2.7	Quemadores Industriales	21
2.7.1	<i>Tipos de quemadores</i>	21
2.7.1.1	<i>Quemadores pirotubulares.....</i>	21
2.7.1.2	<i>Quemador a GLP.....</i>	21
2.7.1.3	<i>Quemadores mixtos o multicomcombustibles</i>	21
2.7.1.4	<i>Quemador de Biomasa</i>	22
2.7.2	<i>Tipos de quemadores de biomasa según su combustible.....</i>	22

2.7.3	<i>Características y componentes de los quemadores de biomasa</i>	22
2.8	Combustibles renovables	23
2.8.2	<i>Caracterización de biocombustible</i>	24
2.8.2.1	<i>Pellets de biomasa</i>	24
2.9	Descripción de requerimientos y funcionamiento del quemador de biomasa	24
2.9.1	<i>Requerimientos del sistema</i>	24
2.10	Concepción general de la arquitectura	26

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	28
3.1	Tipos de investigación	28
3.2	Métodos de investigación	29
3.3	Sistema Mecánico	29
3.3.1	<i>Estructura mecánica del Quemador Pellas X Mini</i>	29
3.3.2	<i>Propuesta de mecanismo para el quemador PellasX Mini</i>	30
3.3.3	<i>Selección de elementos del sistema Mecánico</i>	32
3.3.3.1	<i>Motores Monofásicos SPG</i>	32
3.3.3.2	<i>Reductor de velocidad para motores SPG</i>	33
3.3.3.3	<i>Ventilador Monofásico de la marca EMC</i>	34
3.3.3.4	<i>Resistencia Eléctrica o Bujía cerámica</i>	35
3.4	Diseño Eléctrico y de control del quemador Pellas X Mini	36
3.4.1	<i>Selección de componentes eléctricos para el quemador PellasX</i>	36
3.4.1.1	<i>Controlador lógico programable Delta DVP16ES200R</i>	36
3.4.1.2	<i>Interfaz Humano-Maquina</i>	37
3.4.1.3	<i>Controlador de temperatura DTB 4848 RVE</i>	38
3.4.1.4	<i>Fuente de poder conmutada MDR-60-24</i>	40

3.4.1.5	<i>Botonera de control</i>	41
3.4.2	<i>Medidas de seguridad y protección para el sistema de control del quemador</i>	42
3.4.2.1	<i>Dimensionamiento de conductores eléctricos</i>	42
3.4.2.2	<i>Gabinete Metálico S. Liviano</i>	44
3.4.2.3	<i>Canaleta ranurada</i>	45
3.4.2.4	<i>Riel Din Acero Reforzada</i>	46
3.4.2.5	<i>Disyuntor termomagnético ABB</i>	47
3.4.2.6	<i>Disyuntor termomagnético para control</i>	48
3.4.2.7	<i>Selector interruptor candado ON/OFF 4P</i>	49
3.4.2.8	<i>Cálculo de la corriente de cortocircuito</i>	51
3.4.3	<i>Esquema de conexiones para el tablero eléctrico del quemador PellasX</i>	53
3.4.3.2	<i>Ubicación de elementos en el tablero para el quemador PellasX</i>	56
3.4.3.3	<i>Esquema de conexiones de entradas y salidas del DVPI6ES200R</i>	58
3.5	<i>Sistema Electrónico</i>	59
3.5.1	<i>Selección de componentes para activar cargas inductivas con 24VDC a 220VAC.</i>	60
3.5.1.1	<i>Optoacoplador MOC3021</i>	60
3.5.1.2	<i>TRIAC BT137</i>	61
3.5.1.3	<i>Diseño de una red Snubber</i>	62
3.5.1.4	<i>Fusible de vidrio</i>	62
3.5.2	<i>Diseño de relé de estado sólido para la activación de cargas inductivas</i>	63
3.5.3	<i>Selección de componentes para el circuito regulador de velocidad o dimmer</i>	65
3.5.3.1	<i>Potenciómetro de precisión</i>	66
3.5.3.2	<i>Triac BTA26</i>	66
3.5.4	<i>Diseño de variador de potencia dimmer</i>	68
3.5.4.1	<i>Relé electromagnético de 24VDC</i>	69
3.6	<i>Identificación de variables a medir</i>	70
3.6.1	<i>Temperatura</i>	71
3.6.2	<i>Pellets de madera</i>	71
3.7	<i>Diseño del software</i>	71

3.7.1	<i>Programación PLC. DELTA DVP16ES209R</i>	72
3.7.2	<i>Diagrama grafset del modo automático del quemador PellasX</i>	72
3.7.3	<i>Diagrama grafset del modo manual del quemador PellasX</i>	75
3.7.4	<i>Parámetros de comunicación en el software ISPSOFT</i>	76
3.7.5	<i>Interfaz humano-máquina (HMI)</i>	78

CAPÍTULO IV

4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	85
4.1	Pruebas de funcionamiento de las etapas del quemador PellasX	85
4.1.1	<i>Evaluación de etapa de limpieza</i>	85
4.1.2	<i>Evaluación de etapa de encendido</i>	88
4.1.2.2	<i>Evaluación del tiempo de fallo de encendido</i>	91
4.1.3	<i>Evaluación de etapa de apagado</i>	92
4.2	Pruebas de lazo de instrumentación para el quemador PellasX	93
4.3	Caracterización de pellets de madera	94
4.3.1	<i>Normalidad de datos del peso del pellet en muestras de 10 seg</i>	95
4.4	Evaluación de tiempos de trabajo del quemador PellasX	98
4.5	Evaluación de etapa de modulación de potencia	100
4.6	Parametrización del sensor de temperatura PT100 de 3 Hilos	102
4.6.1	<i>Sensor de temperatura PT100 3 hilos</i>	103
4.6.2	<i>Relación ente temperatura y resistencia</i>	104
4.6.2.2	<i>Autocalentamiento y corriente de extracción</i>	108
4.7	Puesta en marcha del sistema de control del quemador PellasX	108
4.8	Análisis económico	110

CAPÍTULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
5.1	CONCLUSIONES	112
5.2	RECOMENDACIONES	114

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1-2:	Análisis comparativo entre la lógica cableada y lógica programable (PLC)	15
Tabla 2-2:	Análisis comparativo entre PLCs Delta, Loco y Zelio Logic	15
Tabla 3-2:	Tipos de actuadores.....	16
Tabla 4-2:	Características de los tipos de termistores.....	18
Tabla 5-2:	Tipos de hornos en función al tipo de combustible que utiliza	19
Tabla 6-2:	Componentes principales de un Horno Industrial	20
Tabla 7-2:	Tipos de Biomasa.....	22
Tabla 8-2:	Partes características del quemador.....	23
Tabla 9-2:	Características de Biocombustible sólido.	23
Tabla 1-3:	Dimensiones del quemador Pellas X Mini.....	30
Tabla 2-3:	Datos técnicos del quemador Pellas X Mini 5-26Kw.	30
Tabla 3-3:	Elementos del esquemático mecánico propuesto.	31
Tabla 4-3:	Datos técnicos de los motores SPG.....	33
Tabla 5-3:	Datos técnicos del reductor de velocidad para los motores SPG.	34
Tabla 6-3:	Datos técnicos del ventilador EMC.....	35
Tabla 7-3:	Datos técnicos del elemento PLC Delta DVP16ES200R.....	37
Tabla 8-3:	Datos técnicos del elemento HMI Kinco GL043E.....	38
Tabla 9-3:	Datos técnicos del controlador DTB4848 RVE	40
Tabla 10-3:	Datos técnicos de la fuente conmutada Mean Well	41
Tabla 11-3:	Datos técnicos de los pulsadores de la marca CHiNT.....	42
Tabla 12-3:	Elementos del gabinete metálico liviano de control del quemador.....	45
Tabla 13-3:	Características del riel DIN	47
Tabla 14-3:	Datos técnicos del elemento disyuntor termomagnético ABB.....	48
Tabla 15-3:	Datos técnicos del elemento disyuntor termomagnético CHiNT	49
Tabla 16-3:	Elementos del Selector LW28GS-20A	50
Tabla 17-3:	Datos técnicos del interruptor tipo candado LW28GS.....	50
Tabla 18-3:	Elementos del esquema de conexiones de la propuesta del quemador PellasX ..	54
Tabla 19-3:	Elementos del esquema y distribución del tablero eléctrico	57
Tabla 20-3:	Elementos del esquema de conexiones de borneras del tablero eléctrico	58
Tabla 21-3:	Descripción de etiquetas para el cableado de entradas y salidas del PLC.....	59
Tabla 22-3:	Datos técnicos del MOC3021	61
Tabla 23-3:	Datos técnicos del transistor TIP41C.....	68
Tabla 24-3:	Datos técnicos del relé electromagnético de 24VDC.....	70

Tabla 25-3:	Denominación de entradas y salidas.	72
Tabla 1-4:	Evaluación de etapa de limpieza encendido.....	86
Tabla 2-4:	Evaluación de etapa de limpieza apagado.....	86
Tabla 3-4:	Evaluación en la etapa de encendido con la turbina al 30%	88
Tabla 4-4:	Evaluación en la etapa de encendido con la turbina al 50%	89
Tabla 5-4:	Evaluación en la etapa de encendido con la turbina al 100%	90
Tabla 6-4:	Evaluación de etapa de apagado.....	92
Tabla 7-4:	Pruebas de lazo de instrumentación para el quemador PellasX	94
Tabla 8-4:	Muestras de pellets en 10 seg. cada 1 min.	95
Tabla 9-4:	Relación temperatura / Resistencia, $R0 = 100,00 \Omega$	105
Tabla 10-4:	Prueba t de Shapiro-Wilk.	107
Tabla 11-4:	Evaluación económica del sistema de control para el quemador de biomasa... ..	110
Tabla 12-4:	Comparación del sistema de control propuesta entre el control RControl EM890.	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	PLC DVP16ES200R de la marca Delta.	13
Ilustración 2-2:	Ejemplo de lógica cableada en tablero de control.....	14
Ilustración 3-2:	Diagrama de termistor de temperatura RTD.	19
Ilustración 4-2:	Concepción general del proyecto.	26
Ilustración 1-3:	Dimensiones en mm del quemadore PellasX Línea X Mini 5-26Kw.	30
Ilustración 2-3:	Diagrama del diseño del quemador industrial de biomasa PellasX.	31
Ilustración 3-3:	Dimensiones en mm del motor SPG Reversible.	32
Ilustración 4-3:	Dimensiones en mm del reductor de velocidad para el motor SPG.....	34
Ilustración 5-3:	Dimensiones en mm del ventilador de la marca EMC.....	35
Ilustración 6-3:	Diseño de bujía cerámica.	36
Ilustración 7-3:	PLC Delta DVP16ES200R.....	37
Ilustración 8-3:	HMI Kinco GL043E.	38
Ilustración 9-3:	HMI Kinco GL043E.	39
Ilustración 10-3:	Fuente conmutada NVVV de 24V DC.	40
Ilustración 11-3:	Pulsadores eléctricos de la marca CHiNT.	41
Ilustración 12-3:	Gabinete liviano de 40x30x20	44
Ilustración 13-3:	Gabinete liviano de 40x30x20	46
Ilustración 14-3:	Diseño esquemático de riel DIN.	47
Ilustración 15-3:	Disyuntor magnético ABB.....	48
Ilustración 16-3:	Disyuntor magnético CHiNT	49
Ilustración 17-3:	Gabinete liviano de 40x30x20	50
Ilustración 18-3:	Esquema eléctrico de conexiones para el quemador PellasX Mini.....	54
Ilustración 19-3:	Esquema eléctrico del quemador Pellas X Mini.	56
Ilustración 20-3:	Esquema eléctrico de conexiones para el quemador PellasX Mini.....	57
Ilustración 21-3:	Esquema de conexión de borneras del tablero eléctrico	58
Ilustración 22-3:	Esquema de entradas y salidas de la unidad de control	59
Ilustración 23-3:	Dispositivo MOC3021	60
Ilustración 24-3:	Diseño y montaje de la PCB	61
Ilustración 25-3:	Esquema de conexiones del MOC3021 y la red snubber al Triac.	62
Ilustración 26-3:	Fusible de 3A.....	63
Ilustración 27-3:	Diseño y montaje de la PCB	64
Ilustración 28-3:	Diseño y montaje de la PCB	65
Ilustración 29-3:	Potenciómetro de precisión.....	66

Ilustración 30-3:	Triac BTA26.....	67
Ilustración 31-3:	Diseño y montaje de la PCB	69
Ilustración 32-3:	Relé electromagnético de 24VDC	69
Ilustración 33-3:	Relé electromagnético de 24VDC	70
Ilustración 34-3:	Diagrama graficet del programa en modo automático.....	74
Ilustración 35-3:	Diagrama graficet del programa en modo manual.....	75
Ilustración 36-3:	Comunicación Modbus ASCII.....	76
Ilustración 37-3:	Comunicación establecida entre PLC-PC.....	77
Ilustración 38-3:	Selección del tipo de controlador.....	77
Ilustración 39-3:	Programas Ladder para el quemador PellasX.....	78
Ilustración 40-3:	Selección de los elementos a utilizar para la comunicación.	79
Ilustración 41-3:	Configuración Network y COM0 del HMI.....	80
Ilustración 42-3:	Configuración del número de estación del PLC.	80
Ilustración 43-3:	Pantalla principal del HMI.....	81
Ilustración 44-3:	Menú de configuración del HMI.....	82
Ilustración 45-3:	Información general del quemador PellasX.....	82
Ilustración 46-3:	Control Manual del equipo del HMI.....	83
Ilustración 47-3:	Curva de tendencia del sensor de temperatura del HMI.	83
Ilustración 48-3:	Pantalla de alarmas del HMI.....	84
Ilustración 49-3:	Menú Avanzado para configurar el quemador.....	84
Ilustración 1-4:	Etapas de limpieza del quemador PellasX.....	88
Ilustración 2-4:	Menú Avanzado para configurar el quemador.	91
Ilustración 3-4:	Menú Avanzado para configurar el quemador.	93
Ilustración 4-4:	Balanza Digital Imperial.	95
Ilustración 5-4:	Balanza Digital Imperial.	96
Ilustración 6-4:	Prueba T para una muestra, del pesaje de pellets.	97
Ilustración 7-4:	Prueba no paramétrica T para una muestra.	97
Ilustración 8-4:	Periodos de funcionamiento de ventilador y alimentadores.....	98
Ilustración 9-4:	Menú del HMI de tiempo de trabajo del quemador.	99
Ilustración 10-4:	Menú del HMI del pesaje de pellets en 10 seg.	100
Ilustración 11-4:	Histéresis H1 y H2 de modulación de potencia.	101
Ilustración 12-4:	Menú de modulación de potencia.	102
Ilustración 13-4:	Sensor RTD PT100-2m	103
Ilustración 14-4:	Grafica de relación entre los valores de Temperatura y Resistencia.	106
Ilustración 15-4:	Gráfico de cuantiles normales para los datos de Resistencia y Temperatura...	107

Ilustración 16-4:	Rechazo de la hipótesis nula.	108
Ilustración 17-4:	Puesta en marcha del sistema de control en la etapa de encendido.	109
Ilustración 18-4:	Puesta en marcha del sistema de control en la etapa de modulación.	109
Ilustración 19-4:	Puesta en marcha del sistema de control en la etapa de apagado.....	110

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXOS A:** Hoja de especificaciones del quemador Pellas X Mini
- ANEXOS B:** Hoja de especificaciones del motor y reductor SPG
- ANEXOS C:** Hoja de especificaciones del ventilador
- ANEXOS D:** Hoja de especificaciones del PLC Delta DVP16ES200R
- ANEXOS E:** Hoja de especificaciones del HMI Kinco GL043E
- ANEXOS F:** Hoja de especificaciones del controlador DTB4848
- ANEXOS G:** Hoja de especificaciones de la fuente MW MDR-60
- ANEXOS H:** Hoja de especificaciones botonera
- ANEXOS I:** Hoja de especificaciones buzzer con led intermitente
- ANEXOS J:** Hoja de especificaciones de gabinete liviano
- ANEXOS K:** Hoja de especificaciones disyuntor ABB
- ANEXOS L:** Hoja de especificaciones interruptor CHINT
- ANEXOS M:** Hoja de especificaciones selector candado
- ANEXOS N:** Lámina del tablero eléctrico del quemador
- ANEXOS O:** Lámina de borneras del tablero eléctrico
- ANEXOS P:** Hoja de especificaciones optoacoplador MOC3021
- ANEXOS Q:** Hoja de especificaciones triac BT137
- ANEXOS R:** Hoja de especificaciones triac BTA26
- ANEXOS S:** Hoja de especificaciones relé electromagnético
- ANEXOS T:** Hoja de especificaciones de pinza FLUKE 325
- ANEXOS U:** Certificado de instalación del sistema en Gamboa PELLETS

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3:	Relación de transmisión	33
Ecuación 2-3:	Velocidad de salida del reductor en rpm	34
Ecuación 3-3:	Fórmula para el consumo total de corriente	43
Ecuación 4-3:	Ecuación de corriente de cortocircuito	51
Ecuación 5-3:	Ecuación de resistencia del conductor	52
Ecuación 6-3:	Ecuación de resistencia del conductor	52
Ecuación 7-3:	Cálculo de corriente de cortocircuito	52
Ecuación 8-3:	Ecuación conductora de tierra	52
Ecuación 9-3:	Cálculo de conductor de tierra	53
Ecuación 10-3:	Conversión cm a mm ²	53
Ecuación 1-4:	Ecuación del coeficiente de Temperatura	104
Ecuación 2-4:	Coeficiente de temperatura	104
Ecuación 3-4:	Ecuación relación °C/ Ω para lecturas bajo 0°C	104
Ecuación 4-4:	Ecuación relación °C/ Ω para lecturas mayores a 0°C	105

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tuvo como objetivo el diseño un sistema de control de temperatura que opere en un rango entre los 0°C a 300°C para el quemador PellasX, mediante la modulación del suministro de pellets de madera y aire. Para ello se investigó referentes bibliográficos sobre los quemadores de pellets, funcionamiento, estructura y sus sistemas de control, se definieron los requerimientos que debe cumplir el sistema. Se realizó el diseño mecánico, eléctrico, electrónico y de control del quemador Pellas X Mini, que permitieron cumplir los requerimientos que demandaba el control del quemador, además se utilizó una interfaz humano máquina (HMI) para que sea fácil su operatividad, poder supervisar, controlar y monitorear el sistema en tiempo real, lo que permitió configurar tiempos de encendido, tiempos de limpieza de ceniza, tiempos de apagado, tiempos de ciclo de trabajo del quemador, junto con el control de temperatura del quemador. Se evaluaron diferentes parámetros de las etapas constitutivas del proyecto y el cumplimiento de los requerimientos planteados. La validación del sensor de temperatura se estableció mediante pruebas de exactitud y repetibilidad de las mediciones, y validación del equipo mediante pruebas de encendido, apagado y limpieza ante las pruebas propuestas para su correcto funcionamiento.

Palabras clave: <SISTEMAS DE CONTROL>, <CONTROL DE TEMPERATURA>, <QUEMADORES>, <CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <BIOMASA>, <INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)>.



[Handwritten signature]

0652-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

This curricular integration research project aimed to design a temperature control system that operates between 0°C to 300°C for the PellasX burner by modulating the supply of wood pellets and air. For this, bibliographical references on pellet burners, their operation, structure, and their control systems were investigated, and the requirements the system must meet were defined. The mechanical, electrical, electronic, and control design of the Pellas X Mini burner was carried out, which allowed for meeting the requirements demanded by the burner control; in addition, a human-machine interface (HMI) was used to make it easy to operate, to be able to supervise, control and monitor the system in real-time, which allowed configuring on times, ash cleaning times, off times, burner work cycle times, together with burner temperature control. Different parameters of the constitutive stages of the project and compliance with the proposed requirements were evaluated. The validation of the temperature sensor was established through tests of accuracy and repeatability of the measurements, and validation of the equipment through on/off tests and cleaning through the tests proposed for its correct operation.

Keywords: <CONTROL SYSTEMS>, <TEMPERATURE CONTROL>, <BURNERS>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <BIOMASS>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>.



Lenin Iván Lara Olivo

0602546103

INTRODUCCIÓN

Santiago Gamboa, propietario de Pellets Gamboa, junto con su hermano Andrés Gamboa, iniciaron su proyecto hace unos 11 años para atender la necesidad de utilizar grandes cantidades de combustible en negocios como piscinas. Al viajar a otro país, tuvo la idea de producir y fabricar pellets de madera en la ciudad de Baños, aprovechando los recursos naturales y los quemadores industriales Natural Fire y PellasX, los cuales garantizan cero contaminaciones. Con el tiempo, la producción de Pellets Gamboa se expandió para abastecer a tres ciudades del país, lo que impulsó la empresa a innovar y mejorar sus instalaciones con la adquisición de mejores equipos de producción. A pesar de estos avances, algunos de los equipos han sufrido daños por el uso prolongado, incluyendo un quemador Pellas X Mini, que ya no se utiliza en la planta, sino para realizar pruebas de funcionamiento a proveedores. Debido a que la empresa depende de estos equipos y la adquisición de nuevos equipos importados de Europa conlleva tiempo, y la falta de experiencia en el manejo de procesos de automatización, ha llevado a que estos equipos queden apartados.

Por ello, el presente Trabajo de Integración Curricular se basa en los conocimientos de automatización adquiridos durante la carrera, y se enfoca en el diseño de un sistema de control de temperatura para el quemador PellasX. El objetivo es hacer que el quemador Pellas X Mini vuelva a funcionar mediante la programación de un PLC, mejorando así el control del proceso que actualmente presenta fallas. Además, se utilizará un HMI (Interfaz hombre-máquina) para permitir que el operador de la planta pueda interactuar con el equipo, manipulando las variables de control y modificando los intervalos de tiempo. Esto creará un ambiente intuitivo para que el operador pueda guiarse fácilmente al arrancar el quemador.

El proyecto técnico consta de cuatro capítulos: Diagnóstico del problema, Marco Teórico, Marco Metodológico y Marco de Análisis e Interpretación de Resultados. En el Capítulo I se presentan los antecedentes del proyecto, se plantea el problema, se justifica teórica y aplicativamente el sistema y se detallan los objetivos que se pretenden alcanzar. El Capítulo II incluye los conceptos teóricos relacionados con el tema principal del proyecto, como los antecedentes de la investigación, los tipos y modos de control, el funcionamiento y características de los quemadores de biomasa, así como los requerimientos del sistema. El Capítulo III describe los tipos de investigación y metodología empleados para el desarrollo del sistema de control del quemador y el diseño del HMI, se detallan los elementos utilizados, los diseños esquemáticos y la concepción general del sistema, así como la selección de hardware y software. Finalmente, el Capítulo IV se

centra en las pruebas de validación realizadas al sistema de control. Se presentan las modificaciones en los parámetros de funcionamiento, así como los diferentes parámetros para cada etapa del sistema de control del quemador. Además, se muestra el equipo implementado y la puesta en marcha del quemador en la provincia de Tungurahua, en la ciudad de Baños.

CAPITULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este capítulo se detalla el origen del problema abordado en este proyecto técnico y se ilustra su importancia. En la justificación teórica se establece la necesidad de este proyecto, debido a que los residuos de madera o aserrín son una alternativa viable para la combustión en quemadores industriales. Asimismo, en la justificación aplicativa se explica el tipo de control más adecuado para satisfacer los requisitos del quemador de biomasa PellasX.

1.1 Antecedentes

En Ecuador se implementa el uso de quemadores industriales en su mayoría utilizados en calderas, o calentadores, ocupando combustibles fósiles, descartando el uso de combustibles no fósiles, los cuales permiten una menor reducción de emisiones de gases contaminantes a los quemadores convencionales, utilizando residuos agrícolas y forestales que de otra manera podrían convertirse en desechos no biodegradables y siendo más eficiente por su fuente de energía renovable que puede ser cultivada o cosechada continuamente.

La empresa Gamboa PELLETS, se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua, en el cantón de Baños. Teniendo como misión tener una alternativa de combustible ecológico y económico, contribuyendo al país en un nuevo modelo energético sostenible limpio y renovable. La empresa cuenta con quemadores de biomasa de la marca Natural Fire y PellasX, ambos siendo de origen europeo, con el fin de fabricar pellets de madera, el cual, involucra la compresión de aserrín o astillas de madera en pequeñas partículas de forma cilíndrica, generalmente el proceso parte desde la materia prima, siendo esta triturada en aserrín o astillas, y utilizando el quemador de biomasa Natural Fire para el secado hasta el punto de humedad adecuado.

El quemador de biomasa PellasX de la empresa Gamboa PELLETS cuenta con un sistema de control no modificable en software y hardware limitando la operatividad de su funcionamiento, por ello, se diseña un sistema de control que satisfaga con los requerimientos de la empresa, permitiendo operar dentro de un rango de temperatura hasta los 300°C.

1.2 Planteamiento del problema

En Ecuador durante la última década se han empleado quemadores para hornos que operan con combustibles fósiles (Búnker, Diesel, Gasolina y GLP), este tipo de combustibles liberan gran cantidad de monóxido de carbono, óxidos de azufres y nitrógeno, incrementando el efecto invernadero. Para ello, como alternativa de combustible se ha considerado el uso de pellets de madera.

En la ciudad de baños la empresa Gamboa PELLETS ha incursionado en el uso de quemadores de pellets de madera constituyéndose estos en una alternativa a los quemadores que operan con combustibles fósiles; importando quemadores de la marca PellasX y Natural Fire. Ambos quemadores poseen un sistema de control de temperatura que opera en un rango de temperatura de 30°C - 90°C mismos que no pueden ser modificados a nivel de hardware y software. Esto impide que el quemador opere a mayores temperaturas lo que no le permite ser usado en aplicaciones que requieran mayores temperaturas. En función de lo expuesto, este trabajo de investigación implementará un controlador para el quemador PellasX que permita incrementar el rango de operación con el que actualmente cuenta, permitiéndole ser usado en otras aplicaciones.

¿Se puede diseñar un sistema de control de temperatura para el quemador PellasX, mediante la regulación del suministro de pellets de madera y aire?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Teórica

En Ecuador, empresas como THERMOCON, VENAMET, BOSCH, etc (VENAMET, 2023), se dedican a la provisión, instalación y puesta en marcha de quemadores industriales de todo tipo de combustibles fósiles (Diesel, búnker, gas propano, etc), entre estos el más utilizado ha sido el GLP. Ya sea para calderas, hornos o calentadores, por medio de controles de combustión eficientes y sofisticados pretenden disminuir la emisión de carbono, generando máxima eficiencia en la transferencia de calor (THERMOCON, 2020).

Descartando el uso de combustibles alternativos como la biomasa, en este caso los pellets de madera como medio de combustión, como lo realizan en la empresa Gamboa PELLETS. Dedicada a la producción de pellets de madera, fabricados con residuos de madera mediante calderas de biomasa para el secado del aserrín y posterior ser comprimidos sin la presencia de químicos (GAMBOA y GAMBOA, 2022).

En la empresa Gamboa PELLETS disponen de un quemador de biomasa marca PellasX, el cual presenta un sistema de control no modificable tanto en software como hardware, que limita su operatividad e implementación en otras aplicaciones. Por lo cual, se pretende el diseño de un sistema de control de temperatura para el quemador PellasX, siendo necesario ejercer un control sobre las diferentes variables que intervienen en cada proceso, y asignando mejores condiciones en la regulación del suministro de pellets y aire dentro de la cámara de combustión del quemador PellasX. Modificando las características del controlador se pretende ampliar el rango de aplicaciones de los hornos que utilizan este tipo de quemadores.

1.3.2 Justificación Aplicativa

Aunque existen sistemas de control de temperatura aplicados a quemadores industriales que usan como medio de combustión: gas, vapor, gasolina, entre otros, en el caso del quemador PellasX, que utiliza pellets de madera como medio de combustión, también cuenta con un sistema de control que permite regular el suministro de estos hacia el tubo de admisión del quemador, cuando se activa la bujía cerámica, se produce la combustión del pellet y el sensor de fotocélula detecta la llama. Posteriormente, gracias a una ventilación controlada, el quemador puede alcanzar altos niveles de temperatura. No obstante, el controlador está programado para limitar la lectura de temperaturas hasta los 90°C.

Por lo anterior mencionado, en este proyecto se presenta la construcción de un sistema de control que permite operar con un rango de temperatura más amplio, desde 0°C hasta los 280°C, con una histéresis de 15°C-20°C, y un sistema de seguridad que permita una lectura máxima de temperatura de 300°C., el sistema de control recibirá la señal medida mediante un sensor de temperatura, y desactivará el suministro de alimentación hacia el tubo de admisión una vez que la temperatura del quemador sobrepase el valor deseado. Además, el controlador contará con un sistema de limpieza de ceniza para evitar impurezas dentro de la cámara de combustión del quemador PellasX.

El sistema de control consiste en un controlador lógico programable que procesa las señales de entrada de un panel de botones y comanda 4 actuadores para llevar a cabo el proceso de suministro, combustión y extracción de cenizas, generando el nivel de temperatura deseado. Con esto, el quemador PellasX funcionará en diferentes aplicaciones que requieren un mayor rango de temperatura.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control de temperatura que opere en un rango entre los 0°C a 300°C para el quemador PellasX, mediante la modulación del suministro de pellets de madera y aire.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Investigar referentes bibliográficos sobre los quemadores de pellets, funcionamiento, estructura y sus sistemas de control.
- Definir el hardware que satisfaga la modulación del suministro de pellets de madera y aire requeridos, mediante la programación del software en el control de la temperatura del quemador pellets de madera.
- Implementar un sistema de control de temperatura, que regule la alimentación de pellets y aire en el quemador de pellets de madera.
- Validar el sensor de temperatura que se va a utilizar en el quemador de pellets de madera, que le permita operar en un rango entre los 0°C a 300°C.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de control de temperatura, definiendo un protocolo de pruebas que permitan validar el sistema de regulación del suministro de pellets y aire.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes del proyecto técnico que tiene como objetivo determinar las características y la función de un quemador de biomasa a gran escala, similar a los que se utilizan en países europeos para calefaccionar edificios durante el invierno. Se utiliza como caso de estudio la empresa Gamboa PELLETS, ubicada en la ciudad de Baños - Ecuador, la cual dispone de quemadores de biomasa de la marca PellasX para la fabricación de pellets a partir de aserrín y donde se está desarrollando el sistema de control del equipo. Se analizan y examinan los tipos de control que mejor se adapten al proceso, el sistema eléctrico, los actuadores y el sensor de temperatura. Por último, se presentan los requisitos y la operación general del sistema.

2.1 Antecedentes de investigación

Natural Fire es una empresa robusta dedicada a la investigación y fabricación de maquinaria relacionada con el uso de la biomasa, ubicada en la ciudad de Murcia, España. Esta empresa en la actualidad es pionera en la fabricación de quemadores de poli combustibles, empleando como fuente de energía combustibles naturales denominados biomasa (HERGUEDAS et al, 2012). Uno de los más utilizados es el pellet de madera, por ende, mediante tecnologías modernas emplean un sistema de control para el quemador de biomasa (pellet de madera) modelo Y-50, el cual, le permite la detección de lecturas de temperatura inferior a 95°C, utilizadas en industrias textiles para la generación de agua caliente o vapor para el tintado, lavado y planchado de prendas, así como la producción de calefacción en edificios, con el fin de que estos sean térmicos (NATURAL FIRE, 2023).

En la ciudad de Varsovia,Polonia, la empresa PellasX (PELLASX, 2019), es líder en la producción de quemadores de pellets robustos y confiables desde 2001, equipados con tecnologías avanzadas de sistemas de calefacción, el cual realiza la mezcla del combustible en la cámara de combustión, empleados con un sistema de combustión a presión y un sistema eléctrico, que asegura el de encendido automático, la limpieza y el control del nivel de llama, operados con un dispositivo de control moderno destinado a gestionar y controlar el proceso de combustión de pellets en calderas y quemadores, permitiendo lecturas de temperatura hasta 90°C, utilizando un software basado en algoritmos únicos, impidiendo modificaciones en su código, aplicado en calderas a aceite, calderas a vapor y hornos industriales (Golden Panel, 2023).

En cuanto a los trabajos realizados en Ecuador, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, estudiantes de la carrera de mecatrónica diseñaron e implementaron un sistema de control automático y manual para una caldera a vapor, utilizando un sistema de combustión fósil (GLP) y aire, empleada para una línea de producción de embutidos, mediante un sistema de control ON/OFF (QUIROZ AGUAS y VILLACÍS VÁSCONEZ, 2020).

En 2013, en la ciudad de Baños, Tungurahua, Santiago y Andrés Gamboa propietarios de una planta de producción de pellets de madera denominada “Gamboa PELLETS”, aprovechan los recursos naturales mediante el uso de un quemador de biomasa NF-50, el cual les permite el secado del aserrín para posterior fabricar los pellets de madera.

Además, Santiago Gamboa propietario del Hotel & SPA Natural Gamboa, utiliza los pellets de madera fabricados como medio de combustión para el quemador de biomasa, aplicado para el calentamiento de sus piscinas, mediante un sistema de control ON/OFF que este quemador posee, el cual consta de un sistema que controla el suministro del pellet por medio de un actuador, para posterior encender el material dentro de la cámara del quemador, detectando la llama por medio de un termistor RTD PT100, permitiéndole llegar a una temperatura de 85°C con una histéresis mínima y máxima de 10°C (NATURAL FIRE, 2023).

2.2 Sistemas de control de temperatura

Los sistemas de control en los quemadores o calderas industriales se enfocan en regular la temperatura en la cámara de combustión, la cual es la variable principal del proceso. Existen diversas técnicas de control que permiten mantener una temperatura constante, y entre ellas se encuentran:

2.2.1 Control ON/OFF

Es un sistema de control de dos puntos, lo que significa que el actuador tiene solo dos posiciones fijas, en muchos casos, es un encendido y apagado simple, es relativamente simple y económico, y generalmente son dispositivos eléctricos (GUTIÉRREZ y ITURRALDE, 2017).

2.2.2 Control Proporcional

En un sistema de posición proporcional, existe una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento de control. Es decir, por cada unidad de

desviación, la válvula se mueve igual. En otras palabras, la posición de la válvula es la inversa de la variable controlada (CREUS, 2017, p.525).

2.2.3 Control Proporcional Integral

El control integral funciona cuando existe una desviación entre la variable y el set-point (punto de consigna), que se integra en el tiempo y se le suma el efecto del control proporcional. Esta se caracteriza por el denominado tiempo de acción integral (en minutos) por repetición, que es el tiempo que tarda la válvula en repetir el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional al encontrar una señal de paso (CREUS, 2017).

2.2.4 Control Proporcional Derivativo

El control diferencial se basa en una relación lineal continua entre la tasa de cambio de la variable controlada y la posición del elemento de control final. En otras palabras, el control derivado se activa cuando una variable cambia. El tiempo de operación diferencial se define como el intervalo de tiempo entre el cambio en la señal de salida del controlador debido a la operación proporcional y el cambio en la señal debido a la operación derivada. Este intervalo de tiempo puede ser de varios minutos y se caracteriza por la anticipación que ofrece el control diferencial en la acción proporcional cuando se aplica una señal lineal al dispositivo (CREUS, 2017).

2.2.5 Proporcional Integral Derivativo

Para Creus (2017) la unión en un controlador de las tres acciones proporcional, integral y derivativa (PID) forma un instrumento controlador que presenta las siguientes características:

- La acción proporcional cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable con respecto al punto de consigna.
- La acción integral mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación con respecto al punto de consigna.
- La acción derivada corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

2.2.6 Control inteligente

Son técnicas que se apartan del control convencional PID y que se aplican en procesos muy complejos, no lineales, con retardos importantes y acoplamientos entre las variables (CREUS, 2017).

Se emplean, en general, para mejorar el rendimiento económico del proceso, entre las técnicas de Inteligencia artificial usadas en control inteligente son:

2.2.6.1 *Lógica Borrosa*

La lógica difusa o borrosa es un método de control que se basa en la descripción de un sistema mediante reglas que utilizan términos como "poco caliente", "algo frío", "muy caliente" o "justo a la temperatura deseada". La lógica difusa se basa en reglas elaboradas a partir de conocimientos expertos y la observación del comportamiento del sistema. Su principal ventaja es la capacidad de manejar información imprecisa o incompleta, procesar datos no exactos y diseñar sistemas de control fáciles de entender y ajustar. Todo esto resulta en un mejor desempeño y una mayor eficiencia en el control del sistema (CREUS, 2017).

2.2.6.2 *Redes Neuronales*

Una red neuronal es un procesador paralelo masivamente distribuido que tiene una facilidad natural para el almacenamiento de conocimiento obtenido de la experiencia para luego hacerlo utilizable (CAICEDO BRAVO y LÓPEZ SOTELLO, 2017). Se parece al cerebro en dos aspectos:

- El conocimiento es obtenido por la red a través de un proceso de aprendizaje.
- Las conexiones entre las neuronas, conocidas como pesos sinápticos son utilizadas para almacenar dicho conocimiento.

Las técnicas que se pueden aplicar para un sistema de control de temperatura en quemadores industriales varían en función a la labor que este va a realizar. Jonathan Gómez (2015), estudiante de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), planteó un reemplazo y mejora del controlador *PellasX R.Controller*, en el cual, demostró una comparativa entre los sistemas de control de temperatura existentes en el mercado, dedicados al control de calderos y quemadores, con un sistema de control de temperatura propio implementando un Controlador Logo 230RC como cerebro del proceso de control, el cual, consiste de un sistema de control ON/OFF, ya que, al accionar únicamente salidas en intervalos de tiempos en función a las condiciones establecidas en el sistema de control no representaría grandes cambios en la manera de controlar al aplicar un control más avanzado en el mismo.

De este modo, para el presente trabajo de titulación, en el sistema de control de temperatura para el quemador PellasX se aplicará un método de control ON/OFF, así la señal controlada se tomará en cuenta al accionar el actuador, el cual permitirá el suministro de pellets de manera progresiva

hacia el quemador, ya que de esta variable dependerá el control de temperatura, de tal forma, que al accionar la ventilación se produzca la combustión interna para el encendido del pellet.

2.3 Unidad de control para el quemador PellasX

En esta sección se presenta el microprocesador que mejor se adapta para el control de temperatura del quemador PellasX. Se proporciona información sobre el tipo de lógica que se puede aplicar para este proyecto técnico, detallando su análisis comparativo mediante tablas para determinar cuál es el más adecuado para el sistema.

2.3.1 Microprocesadores

El microprocesador es una parte esencial de la CPU, que se clasifica como un componente electrónico digital, integrado, programable y secuencial. Este componente forma el cerebro de una computadora y consta de cientos de miles de transistores integrados en una placa de silicio (CADAVID ARANGO et al, 2020).

Funcionalmente, el microprocesador es una unidad lógica conectada a otras unidades que permite procesar la información almacenada en forma de un "programa de instrucción". Es capaz de interpretar estas instrucciones y ejecutarlas controlando las unidades involucradas en su ejecución, lo que permite realizar las tareas necesarias para que la computadora funcione de manera efectiva.

2.3.1.1 Controlador lógico programable PLC

La mayoría de los procesos industriales requieren algún tipo de control. La automatización necesaria de estas funciones de control se puede lograr de varias maneras. Por lo tanto, estos sistemas involucran una interconexión compleja, lo que significa una gran estructura, para resolver los problemas se desarrollan máquinas automatizadas que permiten cambiar la función que controla los procesos, facilita las tareas de control y está diseñado para su uso en condiciones industriales, como los PLC (FLORES MEDINA, 2016).

Un controlador PLC es un dispositivo programable diseñado para controlar procesos secuenciales en tiempo real en entornos industriales. Para lograr esto, el controlador utiliza funciones lógicas y aritméticas para controlar entradas y salidas digitales o analógicas. El controlador PLC está programado en un lenguaje no informático. En la Ilustración 1-2 se muestra un ejemplo de un PLC de la marca Delta Electronics Inc (Cheng, 2012).



Ilustración 1-2: PLC DVP16ES200R de la marca Delta.

Fuente: (Cheng, 2012).

Una vez definido el concepto de PLC, es necesario tomar en cuenta los requerimientos para las características funcionales, las condiciones de servicio, los aspectos constructivos, la seguridad y sus periféricos. Para ello, los requisitos para la selección correcta se mencionan a continuación (IEC 60364, 2003; IEC 61131, 1993):

- Alimentación de corriente alterna (c.a) y continua (c.c).
- Definir número de entradas y salidas digitales.
- Definir número de entradas y salidas analógicas.
- Interfaces de comunicación.
- Autodiagnóstico y diagnóstico.
- Procesadores principales y memorias del sistema AP.

2.3.2 Lógica cableada

La lógica cableada, también conocida como lógica de contacto, es un método de control en el que el procesamiento de datos (pulsadores, interruptores de límite, sensores, reóstatos, etc.) es secundario, a menudo combinado con temporizadores y contadores, como se indica en la Ilustración 2-2. La lógica de hardware industrial es un método de diseño de máquinas automatizadas pequeñas y complejas utilizadas en plantas industriales, principalmente con relés de hardware. En telecomunicaciones y computación, la lógica cableada utiliza puertas lógicas discretas para implementar circuitos digitales para comunicaciones y computadoras.



Ilustración 2-2: Ejemplo de lógica cableada en tablero de control

Realizado por: (Ojeda, Kevin, 2022).

Esta opción de control le permite crear sistemas de automatización confiable con la capacidad de realizar tareas secuenciales, pero con poca flexibilidad en el control. De este modo, se presenta algunas de las características que presentan ciertos aspectos que son (IEC 61131, 1993) :

- Menos costosa.
- Resulta conveniente en sistemas de mediana producción.
- La automatización con lógica cableada brinda mayor robustez y resistencia a entornos industriales altamente pesados.
- Implementación de relés o contactos accionados por bobinas.

2.3.3 Análisis comparativo de los sistemas de control

En las secciones anteriores se presentó los sistemas de control de temperatura factibles para el control de temperatura del quemador PellasX, comparando con tipos de controles existentes y aplicados en su mayoría a procesos con gran similitud, posterior a ello, se realizó una comparativa entre qué sistema me permite tener un mejor control del sistema, para comandar el quemador PellasX. En este apartado, es necesario comparar estos sistemas de control y adaptar el más adecuado para el control del quemador PellasX (BUCCELLA, 2015). De este modo, como se muestra en la Tabla 1-2, se realiza el análisis comparativo entre la lógica cableada y lógica programable (PLC), determinando que el control con PLC ofrece flexibilidad, ahorro de espacio, mantenimiento no repetitivo, disponibilidad en el mercado, y permitiendo tener un control remoto.

Tabla 1-2: Análisis comparativo entre la lógica cableada y lógica programable (PLC)

Características	Lógica Cableada	Lógica Programable
Flexibilidad de adaptación al proceso	NO	SI
Hardware estándar para distintas aplicaciones	NO	SI
Posibilidades de ampliación	NO	SI
Disponibilidad de elementos	SI	SI
Posibilidad de modificación	NO	SI
Herramientas para prueba	NO	SI
Modificaciones sin parar el proceso	NO	SI
Bajo costo de inversión	SI	NO

Fuente: BUCELLA, 2015.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra la comparativa entre el control de lógica cableada y el control con PLC.

Una vez determinado el tipo de control, se efectúa un análisis comparativo para determinar el tipo de control programable que se adapte a las condiciones del sistema. Por consiguiente, se descartó el uso de PLCs Siemens y Schneider, pese a que su programación y configuración sea más amigable al momento de diseñar un programa, ya que, el proyecto a realizar presenta una baja demanda de capacidad de procesamiento, de este modo, en la Tabla 2-2 se detalla las características que se tomaron en cuenta para la selección del controlador programable. El PLC que mejor se adaptó a los requerimientos es de la marca Delta Electronics Inc, debido a que presenta los módulos de entrada y salida adecuados para el sistema, el tipo de alimentación, y lo más importante su comunicación serial, permitiéndome conectar desde el mismo puerto hasta 32 dispositivos, además que posee dos softwares de desarrollo es gratuito, los cuales son WPLSOFT e IPSOFT.

Tabla 2-2: Análisis comparativo entre PLCs Delta, Loco y Zelio Logic

Características / Marcas	Delta DVP	Siemens Logo	Schneider Zelio Logic
Alimentación AC y DC	SI	SI	SI
Disponibilidad de entradas y salidas digitales sean numerosas	SI	NO	SI
Software de programación gratuito	SI	SI	SI
Capacidad de expansión de entradas y salidas analógicas	SI	SI	SI
Puerto de comunicación serial RS-485	SI	NO	NO
Precio accesible	SI	NO	NO

Fuente: Cheng, 2012; Siemens, 2023; Schneider Electric, 2023.

Realizado por: Kevin, Ojeda, 2023

Nota: En la presente tabla se muestra un análisis comparativo entre las diferentes marcas de PLC que se pueden aplicar para este proyecto técnico.

2.4 Actuadores

Los actuadores son dispositivos generalmente que se encuentran en la culminación del proceso, brindando una transformación de energía en un movimiento mecánico, provocando una fuerza o efecto sobre un elemento dinámico, a continuación, en la Tabla 3-2, se presenta los tipos de actuadores (CALDERÓN GODOY, 2020):

Tabla 3-2: Tipos de actuadores

Tipos de Actuadores	Descripción
Hidráulicos	Los actuadores hidráulicos, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, funcionan a base de fluidos a presión. Los actuadores son alimentados con fluido a presión y se obtiene un movimiento con una determinada velocidad, fuerzas bien velocidad angular.
Neumáticos	Convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico por medio de un movimiento lineal de vaivén, o de motores se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, aunque el rango de conversión es mayor.
Eléctricos	La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que solo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir las señales eléctricas, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Fuente: PÉREZ et al, 2018.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023

Nota: En la presente tabla se muestra los tipos de actuadores que existen y su descripción.

Después de evaluar los distintos tipos de actuadores, se ha decidido implementar motores eléctricos para este proyecto técnico. La razón de esta elección radica en la precisión con la que pueden controlar la cantidad de pellets suministrada al quemador, lo que es esencial para garantizar una combustión eficiente y segura. Además, los motores eléctricos son generalmente de fácil mantenimiento, ya que no tienen piezas móviles que se desgasten con el tiempo. Y, ofrecen un control continuo de los pellets suministrados, lo que permite ajustar con precisión la cantidad según las necesidades específicas del sistema.

2.4.2 Motores eléctricos de corriente alterna

Estos motores eléctricos funcionan a través del fenómeno de la inducción electromagnética, convirtiendo la energía eléctrica AC en energía mecánica. Su diseño simplificado los hace accesibles y fáciles de mantener, ya que no requieren componentes complejos como colectores y escobillas. Son ideales para aplicaciones que requieren movimiento continuo sin grandes fluctuaciones en la velocidad (Fraile Mora, 2008).

Según los datos presentados en la Tabla 3-2 y la sección 2.4.1, se recomienda el uso de motores de la marca SPG Motor para el quemador PellasX Línea X Mini, en base a la información que dan los fabricantes (Golden Panel, 2023). Estos motores están diseñados específicamente para controlar con precisión y continuidad la cantidad de pellets suministrados al quemador. Tanto Natural Fire como PellasX utilizan el mismo mecanismo de suministro de pellets, que incluye un alimentador galvanizado con un ángulo de trabajo de 0° a 60°.

Los motores SPG proporcionan el flujo de pellets desde la tolva hasta el tubo de admisión del quemador y requieren una tensión de alimentación de 220 a 240 VAC. Por otro lado, para controlar el flujo de aire, se utiliza un ventilador monofásico de la marca EMC de corriente alterna a 230VAC, con una velocidad de giro de 1200 rpm y un bajo consumo de corriente de 0.26 A. En resumen, la elección de estos componentes específicos garantiza una operación precisa y confiable del quemador.

2.5 Sensor de Temperatura

Un sensor de temperatura es un dispositivo encargado de detectar diversas señales de entrada, convertirlas en señales eléctricas y transmitir información digital (ZEGARRA RODRIGUEZ, 2020). Existe una amplia gama de sensores de temperatura disponibles en el mercado y aunque este trabajo no abarcará con todos los sensores de temperatura existente, se tendrá un enfoque algunos de los más utilizados en quemadores o calderas a nivel industrial.

2.5.1 Tipos de sensores de temperatura implementados en quemadores de biomasa

2.5.1.1 Termistores

Los termistores son dispositivos utilizados para medir la temperatura de gases, líquidos y sólidos. Debido a su reducido tamaño, generalmente se instalan en sondas o carcasas especiales diseñadas para protegerlos completamente, independientemente del entorno en el que deban operar. Estas carcasas suelen estar hechas de materiales como acero inoxidable o aluminio. Según Márquez (2014), los termistores se dividen en dos grupos en función del signo del coeficiente de temperatura de resistencia. La Tabla 4-2 muestra los diferentes tipos de termistores:

- NTC: Coeficiente de temperatura negativo.
- PTC: Coeficiente de temperatura positivo.

Tabla 4-2: Características de los tipos de termistores

Tipos de Termistores	Descripción
Termistor NTC	Los termistores NTC son resistencias de material semiconductor cuya resistencia disminuye cuando aumenta la temperatura. Están construidas con una mezcla de óxidos metálicos. Generalmente, se utilizan combinaciones de: Ni-Mn-O, Ni-Cu-Mn-O y Ti-Fe-O.
Termistor PTC	Los termistores PTC son termistores de coeficiente de temperatura positivo. Cuando la temperatura excede el valor crítico del material, su valor de resistencia cambia repentinamente. Están hechos de un material cerámico policristalino dopado con impurezas.
Termorresistencias RTD	Los detectores de temperatura basados en cambios en la resistencia a menudo se indican con su abreviatura inglesa RTD. Dado que el platino es el material más comúnmente utilizado para este propósito, a veces se lo denomina PRT.

Fuente: MARQUEZ y CALDERÓN, 2014.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023

Nota: En la presente tabla se muestra los tipos de termistores que existen y su descripción.

En las aplicaciones térmicas en quemadores industriales, es esencial considerar factores como el rango de operación, la precisión y la estabilidad para poder medir la temperatura de manera adecuada. En este sentido, el sensor de temperatura RTD (del inglés Resistance Temperature Detector) se presenta como la mejor opción para integrar en el sistema de control debido a su alta precisión y su aplicabilidad en el control de calderas industriales. Los sensores RTD se basan en la variación de la resistencia eléctrica del material conductor que los compone en función de la temperatura, lo que permite una medición precisa y confiable. Además, el rango de operación de los sensores RTD es ideal para el control deseado en aplicaciones térmicas.

En base al texto antes mencionado, se recomienda utilizar un sensor RTD de tres hilos, ya que estos ofrecen una mayor precisión gracias a la implementación de un puente de Wheatstone que compensa las variaciones en la resistencia eléctrica de los cables. De esta forma, se reduce el error de medición causado por la resistencia de los cables, y se mejora la exactitud de la medición de la temperatura en el proceso industrial. La Ilustración 3-2 de Florencio Orlando (2021) muestra un esquema del puente de Wheatstone utilizado en un sensor RTD de tres hilos.

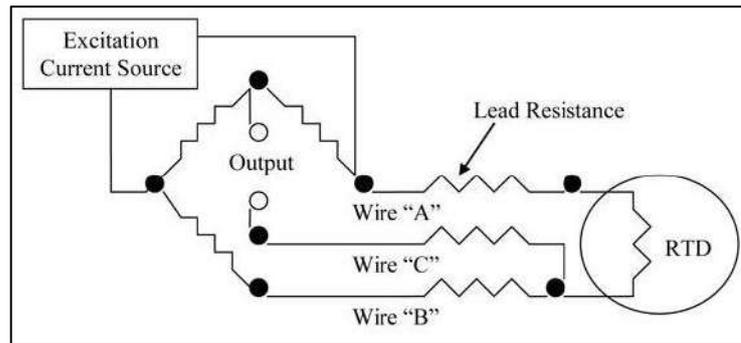


Ilustración 3-2: Diagrama de termistor de temperatura RTD.

Fuente: (ORLANDO FLORENCIO, 2021)

2.6 Hornos Industriales

Un horno es un dispositivo que convierte la energía eléctrica o la energía química de un combustible en calor, utilizándose para aumentar la temperatura de aquellos materiales denominados ‘cargas’, que se ponen en su interior. Existen una gran variedad de hornos. Los hornos que operan hasta unos 300°C se conocen con el nombre de estufas (QUINTERO DE LOS RIOS y MURILLO, 2015).

Entendemos por hornos industriales, a los equipos utilizados en la industria, en donde se calientan las piezas o elementos colocados en su interior, por encima de la temperatura ambiente.

2.6.1 Tipos de Hornos Industriales según su combustible

En la actualidad, se encuentran disponibles en el mercado diversos tipos de hornos, cada uno con una función específica en función de la aplicación deseada y del tipo de combustible para el que están diseñados. La elección del horno adecuado dependerá de factores como el tamaño de la carga, la temperatura de operación y la eficiencia energética requerida. Por ejemplo, existen hornos de convección forzada que se utilizan para procesos de secado, y hornos de cámara que se utilizan para tratamientos térmicos como temple o revenido. La Tabla 5-2 presenta una clasificación de los diferentes tipos de hornos según su diseño y modo de operación.

Tabla 5-2: Tipos de hornos en función al tipo de combustible que utiliza

Tipos Hornos	Descripción
Horno de gas	Son tal vez la mejor opción entre los tipos de hornos existentes ya que tienen una cocción similar a los de leña, pero estos no representan un alto riesgo ecológico ya que no expulsan gases de combustión no controlada.

Horno eléctrico	La cocción de este horno no es óptima y su consumo de electricidad es demasiado alto, aunque los hornos eléctricos son totalmente automatizados.
Horno atmosférico	Este horno cocina uniformemente los productos en su interior y todo esto es gracias a la arquitectura que posee ya que facilita el flujo de aire caliente.
Horno de microondas	El funcionamiento de este horno depende de la generación de ondas electromagnéticas, las cuales interactúan con las moléculas de agua, gracias a la interacción se eleva la temperatura.
Horno de leña	Este tipo de horno en la actualidad representa un gran riesgo ecológico debido a que funciona con materiales forestales.

Fuente: RUALES RIOS, 2015.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los tipos de hornos que existen y su descripción.

El diseño de los hornos industriales se enfoca en operar a temperaturas específicas según su tamaño y proceso, como se puede ver en la Tabla 5-2. Estos hornos están diseñados para procesos específicos, como cerámica, tratamientos térmicos y calentamiento parcial. La elección del tipo de horno adecuado dependerá de las necesidades del proceso industrial y factores importantes como la capacidad de carga, temperatura de operación, tipo de combustible y eficiencia energética.

2.6.2 Componentes de un Horno Industrial

El horno se halla formado por 5 partes fundamentales, que se pueden considerar como piezas independientes, y que han sido concebidas por separadas, como se muestra en la Tabla 6-2 (RUALES RIOS, 2015):

Tabla 6-2: Componentes principales de un Horno Industrial

Componentes	Descripción
Cámara de combustión	Es el horno en sí, la pared más externa cuyas medidas corresponden al tamaño total del horno y recibe el calor producido.
Chimenea	Ubicada en la parte superior del horno, permite evacuar el humo excedente en el interior del horno.
El Porta Materiales	Es una estructura interna construida a base de rejillas, donde se ubica el material o producto a tratar.
Tolva	Ubicado en la parte externa del horno, almacena los pellets para el suministro hacia el quemador.
Quemador	Es externa al horno, contiene los pellets para producir el calor mediante la oxidación del combustible.

Fuente: Balboa et al., 2021.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los tipos de hornos que existen y su descripción.

2.7 Quemadores Industriales

Los quemadores industriales tienen como objetivo combinar el combustible con un oxidante, generalmente aire, para proporcionar la energía necesaria para iniciar y mantener la combustión en aplicaciones como líneas textiles, intercambiadores de calor, hornos domésticos y secadores industriales. Dependiendo del tipo de combustible que se utilice, existen diferentes tipos de quemadores disponibles, como señala Alejandro y Lara (2013).

2.7.1 Tipos de quemadores

2.7.1.1 Quemadores pirotubulares

El término "gas caliente" hace referencia al gas generado por la combustión del combustible en un horno. El calor generado durante este proceso se transfiere al agua que se encuentra en la caldera, y el gas resultante se dirige a través de una serie de tubos de la caldera. Esta estructura de tubos permite que el gas caliente circule y se descargue junto con el agua, lo que da origen al nombre de "gas caliente en la caldera" (ROMERO ARGUEDAS, 2012) .

2.7.1.2 Quemador a GLP

El gas licuado de petróleo es el combustible que utilizan estos equipos. Debido a sus propiedades, la combustión que produce es más limpia que la de los combustibles sólidos o líquidos, lo que permite ajustar con mayor facilidad la relación aire-combustible. Estos equipos están diseñados con anillos concéntricos que incorporan una válvula de retención, la cual controla el flujo del combustible y opera de manera independiente (Morán y Veliz, 2013).

2.7.1.3 Quemadores mixtos o multicomcombustibles

Los quemadores de este tipo permiten utilizar una amplia gama de combustibles, lo que facilita cambiar de uno a otro de manera rápida y eficiente. Entre los combustibles que pueden utilizarse se encuentran los pellets y las astillas de madera, entre otros. Estos quemadores son fabricados para funcionar en capacidades medias o altas, lo que los hace adecuados para diferentes tipos de aplicaciones y necesidades. Además, su diseño permite una regulación precisa de la combustión y, por lo tanto, una mayor eficiencia energética. Al utilizar diferentes tipos de combustibles, se contribuye a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y se promueve el uso de fuentes de energía renovable y más sostenibles (MEMBRILLERA SERRANO, 2018).

2.7.1.4 Quemador de Biomasa

En la última década, la tecnología de combustión de biomasa ha evolucionado significativamente. En la actualidad, se han logrado reducir las emisiones de CO₂ a niveles cercanos a 5.000 mg/m³, mientras que los rendimientos de las calderas que emplean esta tecnología oscilan entre el 85% y el 92%, lo que las equipara a las calderas convencionales de gas o combustibles fósiles (MEMBRILLERA SERRANO, 2018). Estos avances tecnológicos han permitido que las calderas de biomasa se conviertan en una opción cada vez más atractiva para la producción de calor, no solo por su mayor eficiencia y menor impacto ambiental, sino también por su contribución a la diversificación energética y a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.

2.7.2 Tipos de quemadores de biomasa según su combustible

Para obtener el máximo rendimiento y eficiencia en los sistemas de climatización para el sector industrial, es fundamental seleccionar el tipo de combustible biomásico más adecuado, dada la amplia variedad de opciones que existen en la actualidad. En la Tabla 7-2 se muestran los tipos de biomasa más utilizados:

Tabla 7-2: Tipos de Biomasa

Tipos de Biomasa	Descripción
Leña	Puede obtenerse en el mercado o ser producida por el propio usuario.
Astillas	Provenientes de industrias de la primera o segunda transformación de la madera o de tratamientos silvícolas o forestales.
Residuos agroindustriales	En este tipo hallamos cáscaras de frutos secos, huesos de aceituna, etc. Su calidad tiene que ser la correcta.
Pellets	Producidos de forma residual. Consiste en aserrín prensado, en formas de virutas.

Fuente: Balboa, 2021.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los tipos de combustibles de biomasa empleados que existen y su descripción.

2.7.3 Características y componentes de los quemadores de biomasa

El quemador industrial de biomasa es un dispositivo diseñado para la combustión de pellets de madera, que aprovecha el calor portador liberado por el combustible para su posterior distribución a través de tuberías. El calor generado es transportado hasta un colector, donde se aprovecha para su uso en diferentes aplicaciones industriales. Para su correcto funcionamiento, el quemador industrial de biomasa consta de varios elementos, los cuales se observan en la Tabla 8-2:

Tabla 8-2: Partes características del quemador

Partes del quemador	Descripción
Tubo de admisión	Es donde se transforma gran parte de la energía cinética, de flujo de combustión, en presión hidrostática para hacer posible la salida del gas por las lumbreras.
Motor para suministro	Es el dispositivo mecánico que genera el movimiento del tornillo helicoidal, de modo que el combustible retorne.
Tornillo Helicoidal	Es el elemento que permite el ingreso del combustible hacia la cámara de mezcla, donde se producirá la combustión entre las partes de aire y biomasa.
Cámara de mezcla	Es el lugar dentro del cual, se homogeniza la mezcla y a la vez se conduce a la cabeza.
Bujía cerámica	Es el dispositivo que genera el encendido de la biomasa dentro de la cámara y combustión.
Ventilador	Es el elemento mecánico que controla el flujo de aire que entra al quemador.
Regulador de consumo	Es el elemento el cual una vez iniciado el proceso de combustión identifica el nivel de llama para su funcionamiento.

Fuente: Alejandro & Lara, 2013

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra las partes de un quemador industrial que existen y su descripción.

2.8 Combustibles renovables

Según Emilio (Pérez, 2013), considera que,

" La Biomasa son aquellos productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica".

Quedando fuera de esta definición los combustibles fósiles y sus derivados como la mayoría de los productos sintéticos. Siendo la biomasa una alternativa de energía renovable para autoconsumo industrial en reemplazo de los combustibles no renovables antes mencionados. De este modo, se tiene biocombustibles sólidos, constituidos principalmente de humedad, cenizas, impurezas y tamaño, como se observa en la Tabla 9-2 (Sylvae Consultores, 2018):

Tabla 9-2: Características de Biocombustible sólido.

Tipos de combustible	Descripción
Biomasa triturada	Los residuos de tala y silvicultura son recolectados en el lugar, para posterior ser cortados en molinos de martillos para disminuir y hacer uniforme su tamaño, con el objetivo de facilitar su transporte, almacenamiento y uso como combustible. Aunque es más económico que las astillas y los pellets de madera, su uso suele requerir una gran cantidad de inversión en herramientas y aditivos biológicos.

Astillas	Las astillas se obtienen a partir de madera podrida y achaparrada y otros residuos, después de haber sido cortados para hacerlos más pequeños y uniformes, En contraste con el corte, la molienda se realiza utilizando herramienta de corte montadas en discos o tambores que giran a alta velocidad, generando gránulos de madera de tamaño, forma y contenido de impurezas estándar.
-----------------	---

Fuente: Almonacid & Remler, 2018.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra las partes de un quemador industrial que existen y su descripción.

2.8.2 Caracterización de biocombustible

2.8.2.1 Pellets de biomasa

Los pellets de biomasa son biocombustibles hechos a partir de materiales orgánicos como madera, residuos agrícolas, cáscaras de nueces y residuos animales, entre otros. Gracias a su alto contenido energético y tamaño uniforme, son ideales para ser utilizados como combustible en sistemas de calefacción y generación de electricidad. Además, su producción y uso generan menos emisiones de gases de efecto invernadero, lo que los convierte en una alternativa sostenible a los combustibles fósiles. Los pellets son fáciles de almacenar y transportar, lo que los hace aptos para su uso en grandes y pequeñas centrales eléctricas, así como en hogares y edificios. Por su economía y sostenibilidad, los biocombustibles de pellets de biomasa son una alternativa a los combustibles fósiles convencionales que permite reducir la huella de carbono en la atmósfera (Sylvae Consultores, 2018).

2.9 Descripción de requerimientos y funcionamiento del quemador de biomasa

En la siguiente sección se detallan las funciones desempeñadas por el quemador Pellas X Mini, así como los criterios que deben ser cumplidos para lograr su objetivo principal: mantener una regulación precisa de la temperatura en la cámara de combustión del quemador de biomasa.

2.9.1 Requerimientos del sistema

El enfoque del proyecto técnico es diseñar un sistema de regulación que permita ajustar la temperatura del quemador de biomasa, y que permita también tener un control general del equipo, ya que la temperatura depende de la operación de los actuadores del quemador Pellas X Mini. La solución propuesta para abordar el problema planteado incluye el diseño de un panel que permita controlar el equipo y que cumpla con las siguientes especificaciones:

- El sistema de control del quemador debe ser capaz de quemar la biomasa de manera eficiente y convertir la mayor cantidad posible de energía en calor.
- El sistema debe ser capaz de regular la temperatura interna de la cámara de combustión del quemador.
- El equipo debe ser seguro de usar y cumplir con las normas y regulaciones locales sobre seguridad.
- El sistema debe contar una serie de etapas que determinen el funcionamiento del quemador, entre estas etapas esta, Inicio, Limpieza, Encendido, Control Temperatura, Accionamiento de actuadores, Apagado.
- En el sistema de control la etapa de Limpieza deberá ser considerado el tiempo adecuado para limpiar los restos de cenizas.
- En la etapa de encendido deberá de configurarse los parámetros adecuados e intervalos para producir un encendido eficaz.
- En la etapa de detección de temperatura se deberá determinar que detecte la llama adecuada para el accionamiento de la siguiente etapa.
- La configuración del controlador para el accionamiento de los motores que suministran los pellets de madera debe activarse durante las etapas de Limpieza, Apagado y Control de Temperatura.
- La dimensión de los pellets de madera debe ser máximo de 8mm, para un correcto movimiento de los motores y no obstruya el proceso de combustión, en el sistema al momento de realizar el control.
- El quemador deberá estar con cantidades de pellets adecuados para su funcionamiento.
- El quemador Pellas X Mini debe contar con un tablero de control eléctrico, donde se podrá supervisar las variables y acciones de este.
- El sistema de control del quemador debe tener un sistema de control intuitivo y fácil de usar para el usuario.
- El tablero de control debe contar con protecciones termomagnéticas, pulsadores y luces piloto para indicar si los dispositivos están en inicio y paro.
- El tablero de control debe contar con un HMI, capaz de accionar las variables de control del quemador y a su vez permita visualizar el valor d temperatura del equipo.
- El sistema debe tener un costo que sea comparable con otros dispositivos similares en términos de características.

2.10 Concepción general de la arquitectura

En la Ilustración 4-2, se muestra el concepto general del Proyecto Técnico a realizar, donde se distingue el funcionamiento fundamental del proceso: medio de combustión, Ingreso hacia el quemador, conversión A/D, PLC – HMI, PC, Retorno de señal para el accionamiento del quemador.

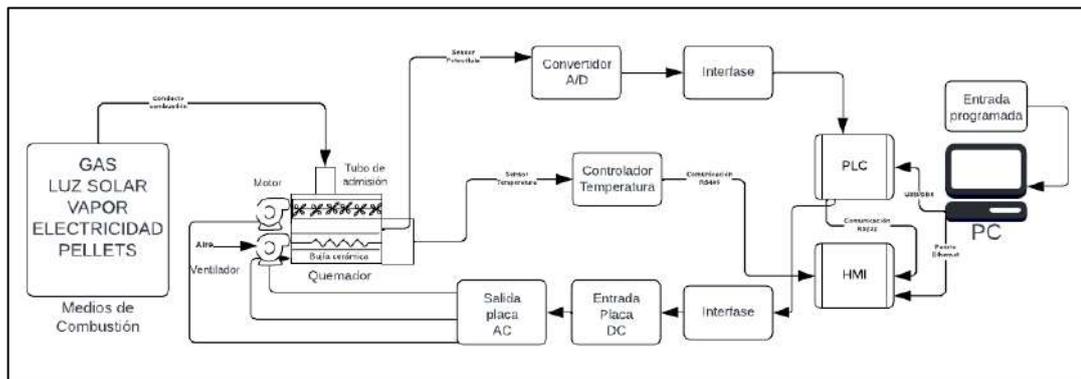


Ilustración 4-2: Concepción general del proyecto.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

En este proyecto técnico, se ha seleccionado el combustible adecuado para el quemador Pellas X Mini, que en este caso son los pellets de madera, ya que es necesario para su correcto funcionamiento. Los pellets de madera se almacenarán en una tolva y serán transportados mediante un tornillo sin fin con diseño helicoidal hacia el tubo de admisión del quemador.

En la segunda fase, se establece el accionamiento del quemador. Desde el quemador, se conecta al PLC y este, a su vez, al HMI. La conversión del sensor se realiza para determinar cuándo detecte y el controlador de temperatura se encarga de adquirir los valores de temperatura. De esta forma, se pueden accionar los parámetros establecidos en el tablero de control del quemador. Una vez que se realiza la conversión, el valor se direcciona hacia la interfaz del PLC.

En la tercera fase, se dispone de los elementos necesarios para accionar los elementos de control del quemador PellasX. Para ello, se cuenta con un PLC, HMI y una PC para programar el funcionamiento. En la PC, se realiza la programación adecuada y se carga en el PLC, que internamente ejecuta la orden establecida y muestra el proceso que se está llevando a cabo en la pantalla del HMI.

Finalmente, se lleva a cabo la acción de control desde el PLC hacia el quemador. Para ello, se accionan las salidas a relé del PLC que se alimentan a 24VDC hacia las entradas de la placa de

relé de estado sólido a 24VDC, lo que acciona los actuadores inductivos del quemador Pellas X Mini a 220VAC.

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

Para el proceso de diseño e implementación del presente trabajo de integración curricular denominado: “Sistema de control de temperatura para el quemador Pellas X Mini, mediante la regulación del suministro de pellets de madera y aire.”

El método para el análisis que se utilizó fue de investigación científica debido a que se buscó herramientas e información acerca del estado de los diferentes componentes del sistema del quemador industrial; de este modo, conocer e identificar los dispositivos que podrían ser reemplazados o mejorados al momento de controlar el sistema y optimizar el funcionamiento.

Para ello se presenta el diseño mecánico de la estructura del quemador de biomasa conformador por una tolva externa la cual conserva los materiales de biomasa, seguidamente se detalla el diseño eléctrico que se implementó en el quemador para cada dispositivo, finalizando con el diseño electrónico del componente del relé de estado sólido para la activación de los actuadores, y a su vez el diseño del circuito dimmer, el cual nos permitirá regular la ventilación, obteniendo así una modulación de aire.

Se realizaron pruebas de calibración del sensor de temperatura para obtener los resultados deseados, así como los datos mostrados en la HMI también se verificaron de forma experimentalmente.

3.1 Tipos de investigación

Para el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular se utilizaron diversas herramientas de investigación. En primer lugar, se empleó una metodología descriptiva para detallar el funcionamiento y características de los quemadores industriales de biomasa, sus componentes y aplicaciones. En segundo lugar, se utilizó una metodología aplicada para abordar el problema específico que enfrenta la empresa Pellets Gamboa y se propuso un sistema de control de temperatura para el quemador PellasX. Este sistema se basa en la regulación de pellets y aire, y se complementa con el desarrollo de una interfaz humano-máquina que permite optimizar y facilitar el proceso de revisión y operatividad del quemador.

3.2 Métodos de investigación

Se utilizan varios métodos de investigación para desarrollar el proyecto. El enfoque de síntesis se utiliza para resumir los aspectos más importantes de las cuestiones analíticas necesarias para desarrollar el sistema, como el diseño, el rendimiento y el funcionamiento del quemador PellasX. Asimismo, se utiliza un enfoque deductivo, partiendo de los principios teóricos y postulados probados relacionados con la electrónica y la informática y aplicándolos a casos concretos. Finalmente, se utilizó un método de prueba: después de implementar el sistema de control de quemadores PellasX y su interfaz hombre-máquina, se realizaron pruebas operativas para verificar el dispositivo.

3.3 Sistema Mecánico

En esta sección se muestra el modelo esquemático del quemador de Pellas X Mini, el cual se compone de motores monofásicos de 220VAC conectados a un tornillo helicoidal. Este tornillo evita que se acumule biomasa en el tubo de admisión. El quemador también incluye un ventilador y una resistencia eléctrica, que permiten encender las virutas de madera o biomasa utilizadas como combustible.

3.3.1 Estructura mecánica del Quemador Pellas X Mini

Al plantear el sistema para controlar el quemador de biomasa, se realizó un estudio de cada uno de sus componentes, con el fin de identificar aquellos que pudieran ser necesarios para el proyecto. Asimismo, se determinó la ubicación adecuada para el sensor de temperatura, el cual permitirá monitorear la cantidad de llama al momento de encender el equipo y controlar la temperatura del quemador, respectivamente, de este modo, en la Ilustración 1-3 se presenta las dimensiones del quemador de biomasa, y los datos técnicos en la Tabla 2-3, mientras que en la Tabla 1-3 se presenta las dimensiones correspondientes del quemador Pellas X Mini. Además, se incluye el datasheet del quemador Pellas X Mini en el anexo A correspondiente.

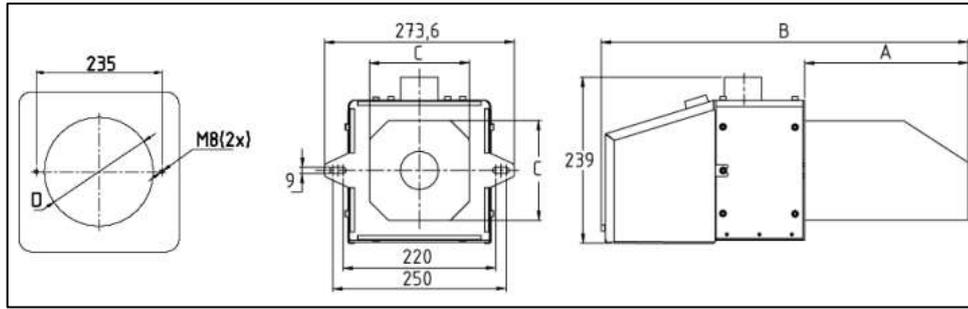


Ilustración 1-3: Dimensiones en mm del quemadore PellasX Línea X Mini 5-26Kw.

Fuente: (Golden Panel, 2023).

Tabla 1-3: Dimensiones del quemador Pellas X Mini

Tipo	Pellas X Mini
Etiqueta	Dimensiones en mm
A	215
B	508
C	125
D	Ø 155

Fuente: Golden Panel, 2023.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se presenta las dimensiones del quemador de biomasa.

Tabla 2-3: Datos técnicos del quemador Pellas X Mini 5-26Kw.

Tipo	Pellas X Mini
Potencia [kW]	5-35
Alimentación	230 V AC / 50 Hz
Consumo de energía promedio [W]	60
Peso [Kg]	12.4
Longitud de alimentador [m]	2
Combustible	Pellets 6 – 8 mm Avena Hueso seco

Fuente: Golden Panel, 2023.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se presenta las características principales del quemador que se utilizó para este proyecto técnico.

3.3.2 Propuesta de mecanismo para el quemador PellasX Mini

En el diseño mecánico del quemador PellasX Mini se han tomado en cuenta las condiciones y parámetros ideales para los que fue diseñado, a fin de garantizar su correcto funcionamiento. De este modo, como se muestra en la Ilustración 2-3 se presenta el esquemático del modo de operación del quemador PellasX Mini, y en la Tabla 3-3 se detalla el significado de los elementos del esquema mencionado.

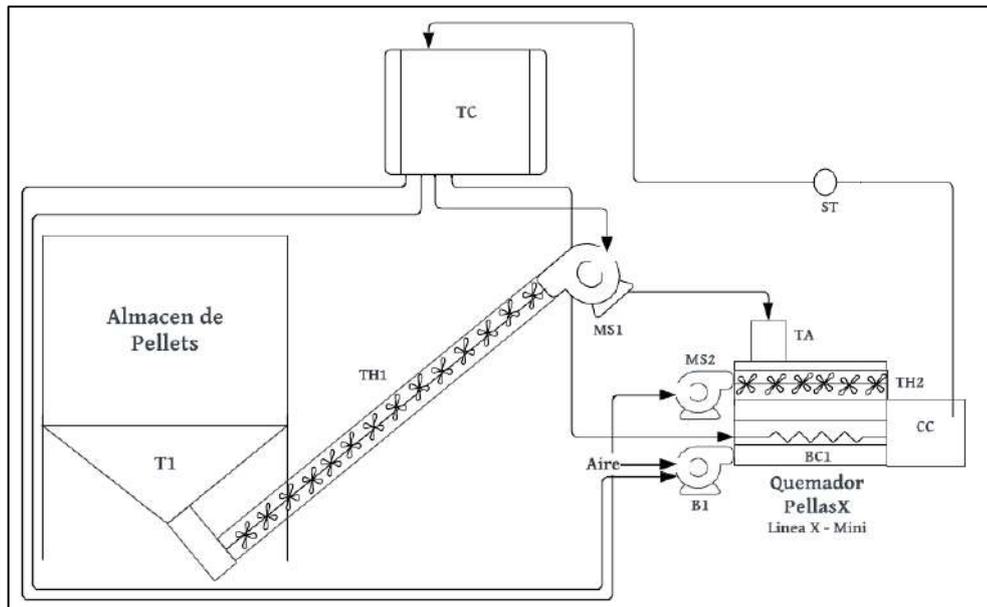


Ilustración 2-3: Diagrama del diseño del quemador industrial de biomasa PellasX.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Tabla 3-3: Elementos del esquemático mecánico propuesto.

Etiqueta	Significado del elemento
TC	Tablero de control del quemador PellasX.
T1	Tolva
TH1	Alimentador Galvanizado con tornillo helicoidal
TH2	Alimentador Galvanizado con tornillo helicoidal
MS1	Motor Reductor 25W
MS2	Motor Reductor 25W
B1	Ventilador
BC1	Bujía cerámica
TA	Tubo de admisión
ST	Sensor de Temperatura
CC	Cámara de combustión

Fuente: Golden Panel.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra las características principales de la propuesta del sistema de control del equipo.

Como se indica en la Ilustración 2-3 se observa las cuatro partes principales del quemador de biomasa PellasX, las cuales se describen a continuación.

- **Cámara de combustión:** formada de acero inoxidable, donde se quema la biomasa y se produce la energía calorífica.
- **Sistema de alimentación de combustible:** estructura fija montado desde la tolva hacia el tubo de admisión del quemador, transporta la biomasa mediante un tornillo sin fin helicoidal.

- **Sistema de aire:** para el suministrar el aire necesario para generar la combustión interna del quemador de biomasa.
- **Sistema de control:** constituye al sistema que permite controlar y regular la alimentación de combustible y aire, y mantener la temperatura y la calidad de la combustión dentro de los límites establecidos por el usuario.

3.3.3 Selección de elementos del sistema Mecánico

En esta sección se presentan los componentes mecánicos que conforman el quemador PellasX Mini, los cuales son fundamentales para su correcto funcionamiento. A continuación, se describen las principales características de cada uno de estos componentes.

3.3.3.1 Motores Monofásicos SPG

El quemador PellasX Mini cuenta con dos motores monofásicos de 25W de la marca SPG Reversible Motor. Uno de los motores está ubicado en la parte interna del quemador, junto con un tornillo helicoidal que dirige los pellets de madera hacia la cámara de combustión. El segundo motor se encuentra en la parte externa del quemador y está conectado, de igual forma, a un tornillo helicoidal que dirige los pellets desde una tolva hasta el tubo de admisión del quemador, como se observa en la Ilustración 3-3, mientras que en la Tabla 4-3 se observan los datos del motor eléctrico SPG. Además, se incluye el datasheet del motor SPG en el anexo B correspondiente.

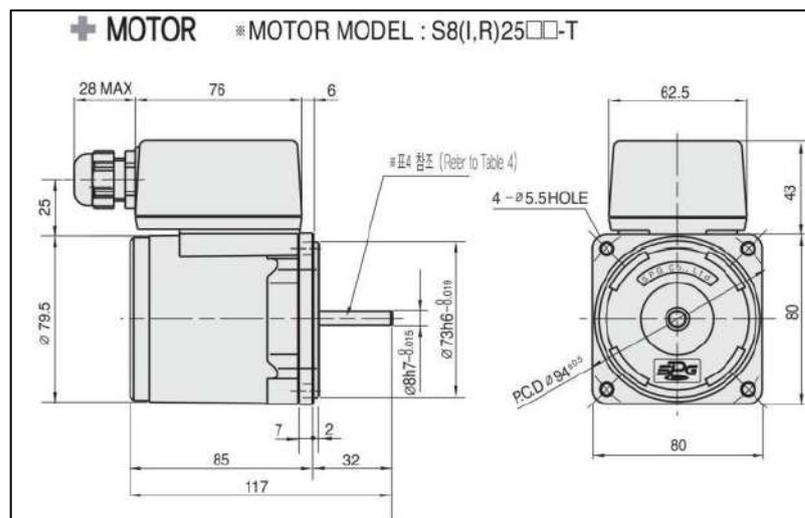


Ilustración 3-3: Dimensiones en mm del motor SPG Reversible.

Fuente: (SPG, 2023)

Tabla 4-3: Datos técnicos de los motores SPG

Tipo	S8R25GX-TCE
Polos	4
Salida [W]	25
Alimentación [v]	220 VAC / 240 V AC / 50Hz
Corriente [A]	0.26 A / 0.28 A
Velocidad [rpm]	1200 [1500 max]
Torque [Kg-cm]	2.20

Fuente: SPG, 2023.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra las características principales del motor que ocupa el quemador PellasX.

3.3.3.2 Reductor de velocidad para motores SPG

Para regular la velocidad de los motores SPG del quemador PellasX se utiliza un sistema mecánico reductor basado en engranajes, como se observa en la Ilustración 4-3. Este sistema permite reducir la velocidad de entrada al reductor desde 15000 RPM hasta 7.5 RPM, aumentando su torque a 80 Kg/cm, como se observa en la Tabla 5-3 las características del reductor SPG. Para determinar los valores adecuados del reductor se utilizó la Ecuación 1-3:

Ecuación 1-3: Relación de transmisión

$$i = W_s/W_e = Z_e/Z_s$$

Donde:

- i : Relación de transmisión
- W_s : Velocidad de salida
- W_e : Velocidad de entrada
- Z_s : Número de dientes de los conductores
- Z_e : Número de dientes de los conducidos

Por lo tanto, se determina el valor de rpm de salida del reductor, tomando en cuenta los siguientes datos:

- W_s : Es la variable que se desea conocer
- $W_e = 1500 \text{ rpm}$
- $Z_s = 1$ Relación de vueltas de salida
- $Z_e = 200$ relación de vueltas de entrada

De este modo, reemplazando los datos en la Ecuación 1-3, obtenemos como resultado la Ecuación 2-3. Además, se incluye el datasheet del Reductor SPG en el anexo B correspondiente.

Ecuación 2-3: Velocidad de salida del reductor en rpm
 $W_e = 7.5 [rpm]$

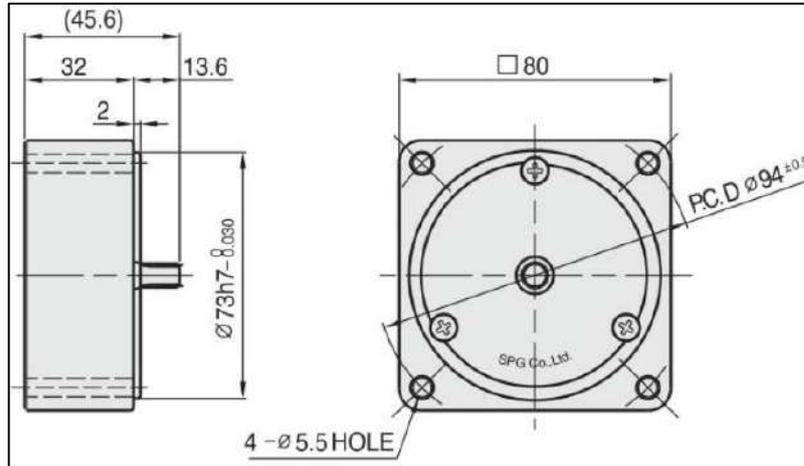


Ilustración 4-3: Dimensiones en mm del reductor de velocidad para el motor SPG.

Fuente: (SPG, 2023).

Tabla 5-3: Datos técnicos del reductor de velocidad para los motores SPG.

Modelo	S8KA200B
Relación de transmisión	200
Velocidad de Salida [rpm]	7.5
Torque [Kg-cm]	80
Torque[N-m]	7.840

Fuente: SPG, 2023.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se identifica el torque que otorga el reductor y los rpm que girara el motor.

3.3.3.3 Ventilador Monofásico de la marca EMC

Para lograr una combustión eficiente en el quemador PellasX, es esencial contar con una ventilación adecuada. Es por ello, por lo que los fabricantes del quemador recomiendan el uso de ventiladores de la marca EMC. Estos ventiladores generan el aire necesario para producir la energía calorífica requerida dentro de la cámara de combustión del quemador, evitando así la emisión de virutas de pellets que podrían afectar el control de temperatura. En la ilustración 5-3 se indican las dimensiones del ventilador, mientras que en la tabla 6-3 se detallan los datos técnicos correspondientes. Además, se incluye el datasheet del Ventilador EMC en el anexo C correspondiente.

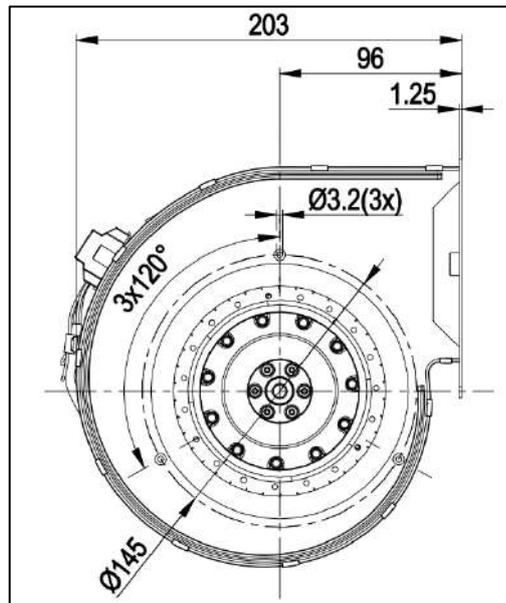


Ilustración 5-3: Dimensiones en mm del ventilador de la marca EMC.

Fuente: (EMC, 2014).

Tabla 6-3: Datos técnicos del ventilador EMC.

Tipo	RF2C-120/042 K051 1-1229
Salida [W]	45
Alimentación [v]	220 VAC / 50Hz
Corriente [A]	0.19 A
Condensador [uF]	1
Velocidad [rpm]	1675
Peso [Kg]	5.0

Fuente: EMC, 2014.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se detalla las características principales del ventilador.

3.3.3.4 Resistencia Eléctrica o Bujía cerámica

El quemador Pellas X Mini es un equipo diseñado para el uso de pellets de madera como combustible. Este quemador utiliza una resistencia eléctrica para generar el encendido del combustible, y está equipado con una bujía cerámica que presenta una alta resistencia al calor, lo que le permite soportar temperaturas más elevadas sin sufrir daños. Esto les otorga una mayor durabilidad y vida útil. Cabe destacar que el rendimiento del quemador dependerá de su potencia y del tipo de biocombustible utilizado. En el caso del quemador Pellas X Mini, se emplea una bujía cerámica alimentada con un voltaje de 230VAC y una potencia aproximada de 400W. El diseño de la bujía se puede observar en la Ilustración 6-3.



Ilustración 6-3: Diseño de bujía cerámica.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.4 Diseño Eléctrico y de control del quemador Pellas X Mini

En esta sección se aborda el dimensionamiento de la fuente de energía eléctrica, el control del sistema PLC y las protecciones termomagnéticas necesarias para los dispositivos que requieren energía eléctrica. Además, se presentan los diagramas de conexión del tablero de control para el quemador Pellas X Mini.

3.4.1 Selección de componentes eléctricos para el quemador PellasX

En esta sección se muestra los elementos empleados en la construcción del tablero de control para el quemador de biomasa PellasX.

3.4.1.1 Controlador lógico programable Delta DVP16ES200R

La selección del dispositivo de control se justifica en función de la sección 2.3.3, y se complementa con el hecho de que el PLC seleccionado dispone de 1 puerto de comunicación RS232 y 2 puertos RS485. Esto evita la necesidad de utilizar módulos de expansión adicionales, y el número de entradas y salidas del PLC es suficiente para los requisitos del sistema. Dado que el proceso no es muy exigente, no se requiere un controlador automático con características superiores. La Ilustración 7-3 muestra el PLC Delta DVP16ES200R, junto con una descripción detallada de sus principales especificaciones técnicas en la Tabla 7-3. Para obtener información complementaria, consulte las fichas técnicas que se encuentran en el anexo D.



Ilustración 7-3: PLC Delta DVP16ES200R

Fuente: (Cheng, 2012).

Tabla 7-3: Datos técnicos del elemento PLC Delta DVP16ES200R

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Entradas digitales	8
Delta Electronics Inc / DVP16ES200R	Posee entradas digitales DC (Sink o Source) y salidas digitales por relé <250VAC, 30VDC, se programa con WPLSOFT o con IPSOFT, y en sus puertos cuenta con un puerto RS-232, y dos puertos RS485.	Salidas digitales	8
		Corriente	2A
		Alimentación admisible	100 ~ 240VAC
		Temperatura Operación	-25°C ~ 70°C

Fuente: Cheng, 2012.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos técnicos del PLC Delta.

3.4.1.2 Interfaz Humano-Maquina

Para monitorear y ajustar los parámetros de control de temperatura, tiempos de ciclo y otros aspectos del proceso, se utiliza un HMI (Interfaz Hombre-Máquina) de la marca Kinco GL043E. Esta herramienta proporciona una pantalla gráfica intuitiva que permite visualizar los datos y estados del sistema en tiempo real, lo que ayuda a detectar rápidamente cualquier problema o anomalía, mejorando así la eficiencia de control y supervisión.

La elección del HMI Kinco GL043E se justifica por su costo, que es de 152\$ dólares, en comparación con otros modelos de diferentes marcas que pueden costar alrededor de 250\$ dólares,

como el HMI Delta (Kinco Electric, 2021). A pesar de que ambos HMI cuentan con los mismos puertos de comunicación y parámetros, la opción de Kinco GL043E es más conveniente desde el punto de vista económico. Todas las características adicionales de conectividad se detallan en la Tabla 8-3, y la Ilustración 8-3 muestra el aspecto del HMI Kinco GL043E. Se pueden encontrar las fichas técnicas con información complementaria en el Anexo E.



Ilustración 8-3: HMI Kinco GL043E.

Fuente: (Kinco Electric, 2021).

Tabla 8-3: Datos técnicos del elemento HMI Kinco GL043E

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Kinco/ GL043E	Posee dos puertos de comunicación COM0, el cual permite RS232/RS485/RS422 y el COM2 soporta RS232, opera con un voltaje DC 10V – 28V, y permite agregar memoria de expansión.
		Salidas digitales	1677 colores
		Corriente	3.5W @ 24V DC
		Alimentación admisible	10 ~ 28VDC
		Temperatura Operación	-20°C ~ 60°C

Fuente: Kinco Electric, 2021.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos técnicos principales del HMI Kinco GL043E.

3.4.1.3 Controlador de temperatura DTB 4848 RVE

Para convertir la señal del sensor de temperatura y controlarla desde el PLC, se pueden emplear dos elementos: un módulo analógico o un controlador de temperatura. En este proyecto técnico,

se optó por utilizar el controlador de temperatura DTB4848RVE de la marca Delta. La razón principal para esta elección es que el PLC Delta utilizado en el proyecto sólo permite señales digitales de 24V de entrada (tal como se especifica en la Tabla 8-3), lo que hace que no sea posible utilizar un transmisor que convierta la señal en una salida de 0-10V. Esto implica que el control no sea variable, lo que resulta una limitación.

Además, el controlador de temperatura Delta DTB4848RVE y el PLC Delta disponen de puertos de comunicación Modbus RS-485, siendo ideal para la comunicación. En contraste, los módulos analógicos de la marca Delta, como el DVP04TC-E2 o el DVP04PT-E2, no son viables debido a que el primero solo permite lecturas de termocuplas, mientras que el segundo solo funciona con sensores RTD, siendo este poco accesible en el mercado, mientras que el controlador de temperatura permite ambos tipos de sensores de temperatura siendo estos: termocupla (J, K, R, S, T, E, N) y RTD (Pt100, Pt1000, Ni100, Ni1000).

Por estas razones, se optó por utilizar el controlador Delta DTB4848RVE en lugar de los módulos analógicos de temperatura. Además, el controlador DTB es más accesible en el mercado y tiene un costo aproximado de 100\$ dólares, mientras que los módulos analógicos de temperatura tienen un costo aproximado de 186\$ dólares. Para mayor claridad, se presenta en la Ilustración 9-3 el controlador de temperatura Delta DTB4848RVE, mientras que en la Tabla 9-3 se muestran los datos técnicos relevantes del mismo. Además, se incluye el datasheet del disyuntor magnetotérmico en el anexo F correspondiente.



Ilustración 9-3: HMI Kinco GL043E.

Fuente: (Cheng, 2012)

Tabla 9-3: Datos técnicos del controlador DTB4848 RVE

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Entrada de voltaje	AC 100~240V 50/60Hz
Delta Electronics Inc/ DTB4848RVE	Permite la conversión de la señal del sensor de temperatura ya sea una termocupla o un termistor, mediante la comunicación RS485, siendo esencial que esta comunicación Modbus sea RTU o ASCII.	Consumo de Potencia	5 W
		Tipo de sensores	Termocupla RTD Entrada analógica
		Comunicación	RS485 MODBUS ASCII/RTU
		Temperatura Operación	-20°C ~ 65°C

Fuente: Cheng, 2012.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos técnicos principales del controlador DTB4848RVE.

3.4.1.4 Fuente de poder conmutada MDR-60-24

Para suministrar energía a los equipos eléctricos y electrónicos, se utiliza una fuente de alimentación conmutada de 24VDC. Esta fuente proporciona energía a los pulsadores y a la placa de control encargada de detectar la llama, así como a la placa que activa los actuadores inductivos mediante una señal de voltaje DC de 24V. La demanda de energía de estos dispositivos no supera los 2.5A. En función de esta carga eléctrica, se ha seleccionado la fuente MW, que se muestra en la Ilustración 10-3. Los datos técnicos de esta fuente se presentan en la Tabla 10-3. Se pueden encontrar las fichas técnicas con información complementaria en el Anexo G.



Ilustración 10-3: Fuente conmutada NVVV de 24V DC.

Fuente: (MEAN WELL, 2023).

Tabla 10-3: Datos técnicos de la fuente conmutada Mean Well

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Potencia	60 W
Mean Well/ MDR-60-24	Fuente de poder conmutada resistente a choques y vibraciones de acuerdo con la norma estándar IEC 60068-2.	Tensión de entrada	85 ~ 264 VAC
		Tensión de salida	24VDC
		Corriente de salida	1.8A/115VAC 1A/230VAC
		Frecuencia nominal	47~63 Hz

Fuente: MEAN WELL, 2023.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra las partes de un quemador industrial que existen y su descripción.

3.4.1.5 Botonera de control

El tablero de control del quemador de biomasa PellasX cuenta con un pulsador multifuncional que permite la operación del equipo en modo manual y automático. Este pulsador cuenta con un indicador a 220VAC y se encuentra acompañado por un pulsador de emergencia. Al presionar el botón de inicio, se activan los elementos de control y accionamiento, lo que permite el accionamiento del equipo. Por otro lado, el botón de paro, ubicado en el tablero, deshabilita la ejecución del programa cargado en el PLC y la alimentación de los actuadores del equipo.

Finalmente, en caso de emergencia, el pulsador de emergencia deshabilita por completo la alimentación del equipo y emite una señal acústica y visual mediante una bocina compacta que incorpora una luz y sonido intermitente. Los pulsadores utilizados en el tablero son de la marca CHiNT, como se muestra en la Ilustración 11-3, y sus datos técnicos se detallan en la Tabla 11-3. Se pueden encontrar las fichas técnicas con información complementaria en el Anexo H y Anexo I.

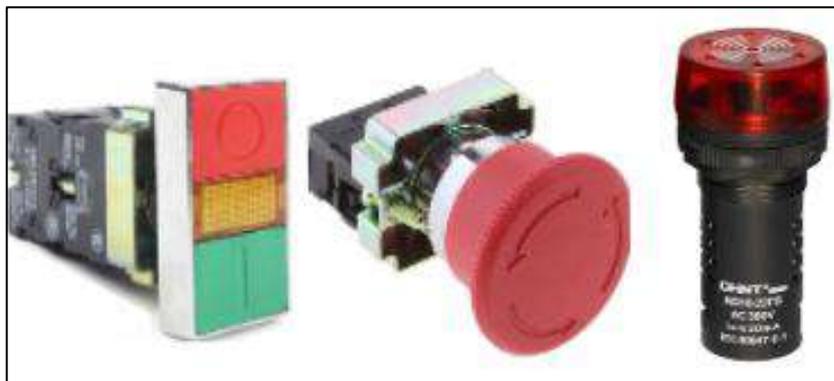


Ilustración 11-3: Pulsadores eléctricos de la marca CHiNT.

Fuente: (CHiNT Electrics, 2022).

Tabla 11-3: Datos técnicos de los pulsadores de la marca CHiNT

Marca / Modelo	Reseña	Información	
CHiNT NP2-BW8465	Pulsador tipo NC DE 22mm de color Verde, y pulsador NA de 22mm de color rojo, y a su vez posee un indicador color amarillo a 220VAC, de este modo se enciende al pulsar una de las dos acciones.	Voltaje de entrada	24 VDC
CHiNT NP2-BT42	Pulsador tipo NC de 22mm tipo hongo de giro con retención	Voltaje de entrada	24 VDC
CHiNT NFM1-22/LC	Indicador intermitente con bocina compacta, el cual alerta al usuario en caso de emergencia.	Voltaje de entrada	220 VAC

Fuente: CHiNT Electric, 2022.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra las características principales de los pulsadores CHiNT.

3.4.2 Medidas de seguridad y protección para el sistema de control del quemador

En esta sección se detallan los elementos seleccionados para mejorar la protección y seguridad del equipo, así como del operador encargado de manipularlo. Para lograrlo, se llevó a cabo un dimensionamiento minucioso de cada componente, incluyendo la implementación de breaker y fusibles en las placas de control, interruptores para cortar la energía en todo el tablero y el dimensionamiento de una barra de tierra adecuada.

3.4.2.1 Dimensionamiento de conductores eléctricos

Los dispositivos de protección eléctrica se utilizan para evitar fallas por sobrecarga o cortocircuito en el circuito y los componentes y dispositivos eléctricos y electrónicos alojados en un tablero eléctrico. Para proteger el circuito y los componentes del tablero eléctrico del sistema de control para el quemador de biomasa PellasX, se requiere la utilización de dispositivos de protección y el tamaño o capacidad de estos dispositivos se establece en función de la corriente eléctrica que circula por el circuito.

Para calcular el calibre necesario de estos elementos, se debe tomar en cuenta la corriente total de consumo de los circuitos eléctricos, la cual se expresa en la Ecuación 3-3 (SANDOYA UNAMUNO, IZA y MEDINA, 2008).

Ecuación 3-3: Fórmula para el consumo total de corriente

$$I_N = \sum_{n=1}^m i_n$$

Donde:

- I_N : Corriente total de consumo del circuito eléctrico.
- i_n : Corriente de consumo de cada componente eléctrico.

De este modo, determinamos el consumo de corriente del circuito eléctrico del quemador de biomasa PellasX.

- $i_1 = 0.28 A$ (Motor reductor 1), Anexo B.
- $i_2 = 0.28 A$ (Motor reductor 2), ver Anexo B.
- $i_3 = 2 A$ (Bujía cerámica).
- $i_4 = 0.19 A$ (Ventilador), ver Anexo C.
- $i_5 = 0.4 A$ (Botonera de control), ver Anexo H.
- $i_6 = 0.2 A$ (Señal acústica), ver Anexo H.
- $i_7 = 2 A$ (PLC Delta), ver Anexo D.
- $i_8 = 1.8 A$ (Fuente conmutada), ver Anexo G.
- $i_9 = 1 A$ (Controlador), ver Anexo F.

Usando la Ecuación 3-3 y los datos de consumo de corriente de cada dispositivo eléctrico y electrónico, se obtuvo una corriente total de consumo de 8.15 A, siendo 6 A para la parte de fuerza y 2.15 A el consumo de control del tablero de control. En base a esta información, se seleccionó un breaker de fuerza de 10 A y un breaker de control 4 A para proteger las placas de control en DC. Se decidió utilizar conductores de cobre tipo THHN de calibre 18 AWG para conectar los dispositivos y componentes de control, mientras que para la alimentación en AC de los elementos del tablero se utilizó el conductor THHN de calibre 14 AWG, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Este conductor se conecta a los actuadores eléctricos inductivos del quemador y tiene una capacidad máxima de corriente de 25 A (SANDOYA UNAMUNO, IZA y MEDINA, 2008).

3.4.2.2 Gabinete Metálico S. Liviano

Para garantizar la protección y el control de los dispositivos del proyecto, se ha optado por utilizar un gabinete metálico liviano. Estos gabinetes ofrecen una estructura de almacenamiento de metal para proteger y organizar los equipos y componentes eléctricos y electrónicos. Además, incluyen dispositivos de seguridad que protegen el equipo y las personas de posibles fallos o peligros.

En este proyecto técnico, se ha implementado un sistema de protección eléctrica, interruptores de emergencia y un sistema de detección de llama dentro del gabinete. Estos elementos proporcionan una protección adicional y permiten ajustar y controlar el proceso de combustión del quemador. El control preciso de la temperatura y la eficiencia del proceso de combustión se logran gracias a los dispositivos que permiten la automatización del proceso.

De este modo, optar por un gabinete metálico liviano para proteger y controlar los dispositivos eléctricos y electrónicos es una elección acertada. Este tipo de gabinete no solo ofrece protección y organización, sino que también es esencial para ajustar y controlar el proceso de combustión del quemador, lo que contribuye a una mayor eficiencia y seguridad del proyecto en general. El gabinete metálico liviano seleccionado tiene las dimensiones de 40x30x20 cm, tal y como se puede apreciar en la Ilustración 12-3. En la Tabla 12-3 se detallan los elementos que componen el gabinete de control. Se pueden encontrar las fichas técnicas con información complementaria en el Anexo J.

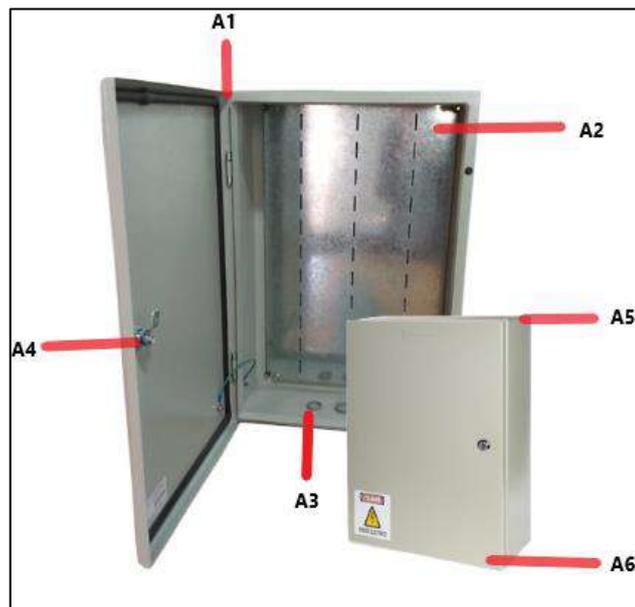


Ilustración 12-3: Gabinete liviano de 40x30x20

Fuente: (BEAUCOUP, 2016).

Tabla 12-3: Elementos del gabinete metálico liviano de control del quemador

Marca / Modelo	Etiqueta	Significado del elemento
BEAUCOUP / Gabinete metálico S. Liviano 40X30X20CM	A1	Bisagra metálica
	A2	Doble fondo galvanizado
	A3	Ingreso y salida de cables
	A4	Cerradura metálica
	A5	Cuerpo monobloque
	A6	Puerta

Fuente: BEAUCOUP,2016.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los elementos que lo conforman al gabinete liviano para el control del quemador.

3.4.2.3 Canaleta ranurada

La canaleta ranurada es un componente eléctrico que se utiliza comúnmente en los tableros de control para organizar y proteger los cables eléctricos. Consiste en una pieza de plástico con ranuras a lo largo de su longitud, que permiten que los cables se coloquen de manera ordenada y segura. La utilización de esta canaleta permite organizar y mantener los cables de manera segura, lo que reduce significativamente el riesgo de accidentes eléctricos y facilita el acceso y la identificación de los cables para reparaciones y mantenimiento.

Además de su función organizativa, la canaleta ranurada protege los cables de posibles daños mecánicos y ambientales, como la exposición a la humedad y la corrosión. Asimismo, reduce la interferencia electromagnética entre los cables, mejorando la calidad y fiabilidad del sistema eléctrico. En definitiva, la canaleta ranurada es un elemento clave en la protección y organización de los cables eléctricos en cualquier proyecto eléctrico o electrónico.

Es por ello, por lo que, para garantizar una protección y organización óptimas de los cables eléctricos en el tablero de control, se ha implementado el uso de canaletas ranuradas de plástico DXN10032 con dimensiones de 25x25, tal como se puede observar en la Ilustración 13-3. Este tipo de canaleta es el más adecuado para el tablero de control, ya que permite dejar el espacio suficiente para cada componente que será colocado en el tablero.

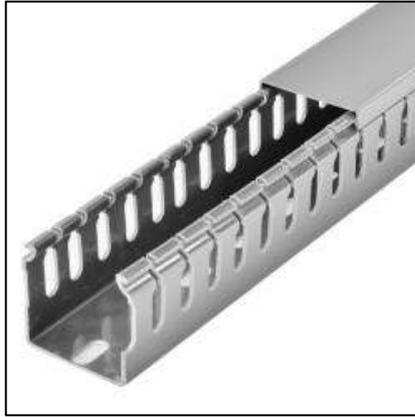


Ilustración 13-3: Gabinete liviano de 40x30x20

Realizado por: Ojeda Kevin, 2022.

3.4.2.4 Riel Din Acero Reforzada

La norma DIN 46277 es una norma técnica alemana que establece las especificaciones para la fabricación de soportes de montaje de componentes electrónicos en paneles planos. Específicamente, la norma define las dimensiones y características técnicas de los soportes de montaje de componentes electrónicos que se utilizan en paneles de control y otros equipos electrónicos (DIN 46277, 1973).

Los soportes de montaje de componentes electrónicos son piezas pequeñas que se utilizan para sujetar componentes electrónicos en su lugar en los paneles de control y otros equipos electrónicos. La norma DIN 46277 establece las especificaciones para la fabricación de estos soportes, incluyendo su tamaño, forma, material y otras características técnicas relevantes, en la Ilustración 14-3 se observa la estructura del riel DIN, mientras que en la Tabla 13-3 los datos técnicos. Estas especificaciones ayudan a garantizar que los soportes de montaje sean compatibles con los componentes electrónicos que se utilizan en el equipo, y que proporcionen una sujeción segura y estable para estos componentes.

Existen varias ventajas al utilizar el riel DIN en el tablero de control para el control del quemador. En primer lugar, su uso permite una fácil instalación y reemplazo de componentes eléctricos, ya que se pueden fijar rápidamente en el carril mediante clips o tornillos. Además, el riel DIN promueve un aspecto más organizado y limpio del tablero de control, ya que los componentes se montan en una línea recta y ordenada. Por último, el riel DIN proporciona una protección adicional a los componentes eléctricos, ya que se separan del resto de los cables y se mantienen en su lugar de manera segura.

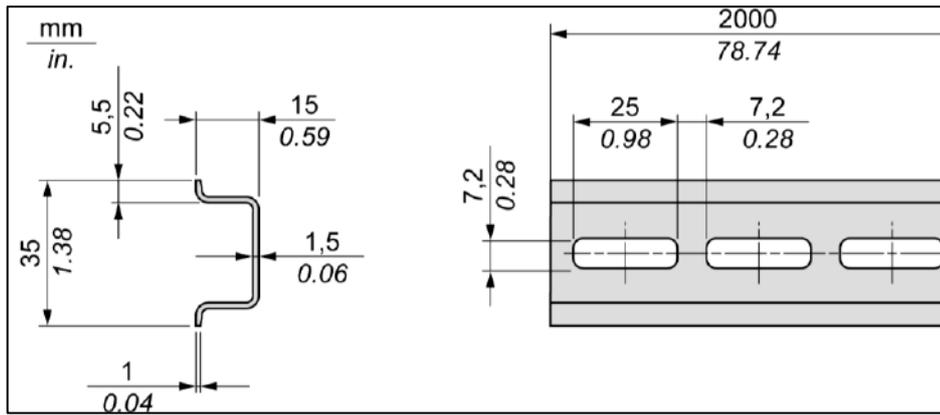


Ilustración 14-3: Diseño esquemático de riel DIN.

Fuente: (Schneider Electric, 2019).

Tabla 13-3: Características del riel DIN

Referencia	Tipo	Longitud del segmento
NSYSDR200 ¹	A	200 mm (78.74 in)
NSYSDR200D ²	A	
1 Acero galvanizado sin perforaciones		
2 Acero galvanizado perforado		

Fuente: Schneider Electric, 2019.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los elementos que lo conforman al gabinete liviano para el control del quemador.

3.4.2.5 Disyuntor termomagnético ABB

El diseño del tablero eléctrico requiere la inclusión de dispositivos de protección para prevenir posibles fallos, como cortocircuitos o sobrecargas, que podrían afectar negativamente el circuito eléctrico. El disyuntor magnetotérmico es el dispositivo principal que se utiliza para proteger el circuito y los componentes eléctricos y electrónicos que operan con voltaje en AC en el tablero de control del quemador PellasX. En la sección 3.4.3.1 se calculó la corriente de trabajo, y se seleccionó un disyuntor S202-S10 2P 6kA 10A con una curva de disparo C de ABB y una corriente nominal de 10A para proteger la parte de fuerza del tablero de control del quemador. La Ilustración 15-3 muestra el disyuntor magnetotérmico seleccionado, mientras que la Tabla 14-3 resume sus datos técnicos. Además, se incluye el datasheet del disyuntor magnetotérmico en el anexo K correspondiente.



Ilustración 15-3: Disyuntor magnético ABB

Fuente: (ABB, 2023).

Tabla 14-3: Datos técnicos del elemento disyuntor termomagnético ABB

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		ABB / S202-C10	Disyuntor magnético para dos polos en un sistema de distribución de energía para el gabinete de control.
		Código de curva	C
		Corriente nominal	10 A
		Capacidad de interrupción	6 kA
		Tensión nominal	12~440 VAC 12~125VDC

Fuente: ABB,2023.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos técnicos del disyuntor ABB.

3.4.2.6 Disyuntor termomagnético para control

Para prevenir fallos por cortocircuito o sobrecargas, se utilizó un segundo dispositivo de protección, un disyuntor termomagnético. Este dispositivo protege el circuito que funciona a 24V DC, así como los componentes eléctricos y electrónicos del gabinete de control del quemador. En la sección 3.4.3.1 se calculó la corriente de trabajo y se seleccionó un disyuntor NB1-2-4C 2P 6kA 4A de CHiNT, con una corriente nominal de 4A y una curva de disparo C, para proteger la parte de control del gabinete liviano del quemador PellasX. La Ilustración 16-3 muestra el disyuntor termomagnético seleccionado y la Tabla 15-3 resume sus datos técnicos. Se incluye el datasheet correspondiente del disyuntor termomagnético en el anexo L correspondiente.



Ilustración 16-3: Disyuntor magnético CHiNT

Fuente: (CHiNT Electrics, 2022).

Tabla 15-3: Datos técnicos del elemento disyuntor termomagnético CHiNT

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		CHiNT/ NB1-2-4C	Disyuntor magnetotérmico miniatura de dos polos para sistema de distribución de energía de bajo voltaje de 24V DC, elaborado bajo la norma técnica IEC/EN 60898-1 CA curva de tipo C
		Código de curva	B, C, D
		Corriente nominal	4 A
		Capacidad de interrupción	6 kA
		Tensión nominal	230/400 V

Fuente: CHiNT Electrics, 2022.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos técnicos del disyuntor CHiNT

3.4.2.7 Selector interruptor candado ON/OFF 4P

Un selector interruptor es una herramienta muy útil en situaciones en las que es importante controlar el acceso a una fuente de energía. Estos interruptores permiten encender y apagar un circuito eléctrico y se bloquean en su posición mediante un candado, lo que evita que se pueda encender o apagar el circuito sin autorización.

En este caso, se ha utilizado un interruptor candado ON/OFF LW28GS-20A de CNC con una corriente nominal de 20A, el cual proporcionará una capa adicional de seguridad al impedir que se encienda o apague el tablero de control del quemador PellasX. Este interruptor es esencial en situaciones en las que la manipulación de la energía puede causar daños al equipo o al operador, lo que permite realizar trabajos de mantenimiento en el equipo de manera segura.

En la Ilustración 17-3 se muestra el selector interruptor seleccionado, y en la Tabla 16-3 se resumen los elementos del interruptor, mientras que en la Tabla 17-3 se muestra sus datos técnicos. Además, se incluye el datasheet correspondiente del disyuntor termomagnético en el anexo M correspondiente para más información.

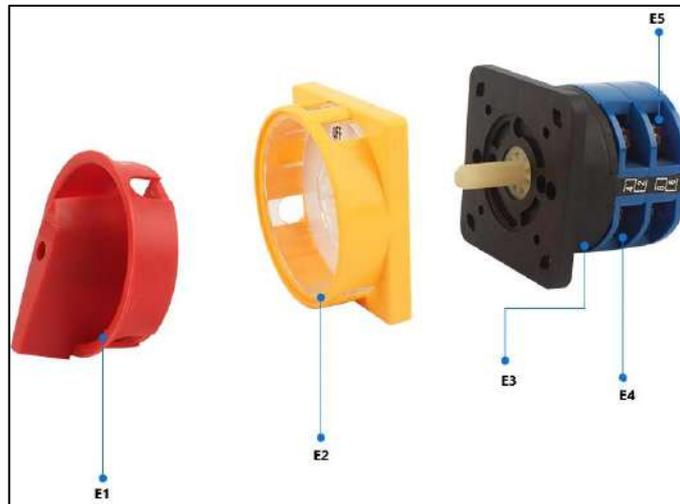


Ilustración 17-3: Gabinete liviano de 40x30x20

Fuente: (CNC, 2021).

Tabla 16-3: Elementos del Selector LW28GS-20A

Etiqueta	Significado del elemento
E1	Mango giratorio
E2	Panel (ON/OFF)
E3	Modelo 48x48 mm
E4	Primera sección
E5	Segunda sección

Fuente: CNC, 2021.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra el significado del interruptor de cambio tipo candado ON/OFF.

Tabla 17-3: Datos técnicos del interruptor tipo candado LW28GS

Marca / Modelo	Reseña	Información	
CNC/ LW28GS-20A	Tipo candado interruptor de corte de energía es producto de la LW28 Interruptor de cambio universal, cumpliendo con la norma GB14048.3-2001, IE60947-3.	Numero de polos	4
		Frecuencia	50/60 Hz
		Corriente nominal	20 ~ 165 A
		Ciclos	1500
		Tensión nominal	400 V

Fuente: CNC, 2021.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos técnicos del selector interruptor LW28GS-20^a

3.4.2.8 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Para garantizar la seguridad del tablero eléctrico del quemador PellasX, es importante calcular cuidadosamente los cables eléctricos y comprender las intensidades máximas admisibles de los cables en caso de un cortocircuito. Es crucial que el cable sea capaz de soportar estas intensidades en cualquier punto de su trazo, desde el momento en que ocurre el cortocircuito hasta que el dispositivo de protección mencionado en la sección 3.4.2.5 actúe. De esta manera, se asegura la protección adecuada del sistema eléctrico y se previenen posibles daños o peligros para las personas que operan el quemador.

Para proteger el tablero de cortocircuitos, es necesario calcular el calibre del cable de tierra AWG correspondiente. Este proceso implica determinar la cantidad de corriente eléctrica que fluiría a través de un circuito eléctrico en caso de que ocurra un cortocircuito. Un cortocircuito se produce cuando hay una conexión directa de baja impedancia entre dos puntos del circuito que normalmente no deberían estar conectados, lo que resulta en una falla del circuito eléctrico. Para calcular la corriente de cortocircuito para una barra de tierra, se consideran varios factores, como el tamaño y la ubicación de la barra, la impedancia de la fuente de alimentación y la resistencia de la tierra

(SAB Bröckskes GmbH & Co. KG, 2023).

En situaciones en las que la impedancia del circuito de alimentación a la red es desconocida, se suele aceptar que la tensión en el inicio de las instalaciones de los usuarios será alrededor del 80% de la tensión de suministro en caso de cortocircuito (REBT, 2007). Esta consideración es válida siempre y cuando el centro de transformación, que es el punto de alimentación, se encuentre fuera de la empresa. En consecuencia, podemos plantear la ecuación 4-3:

Ecuación 4-3: Ecuación de corriente de cortocircuito

$$I_{CC} = \frac{0.8 U}{R}$$

Donde:

- I_{CC} Intensidad de cortocircuito máxima en el punto considerado.
- U Tensión de alimentación fase neutro (230 V)
- R Resistencia del conductor de fase entre el punto considerado y alimentación

El valor de R se deberá tomar en cuenta la resistencia de los conductores entre el tablero de protección y el punto considerado en el que se va a calcular el cortocircuito, donde se considera una temperatura ambiente de 20°C, para obtener así el valor máximo posible de I_{CC} , como se observa en la Ecuación 5-3:

Ecuación 5-3: Ecuación de resistencia del conductor

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Donde:

- ρ Resistividad del cobre aproximado a 0.018 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- L Longitud entre el tablero y el punto a medir
- S Sección del cable en mm^2

De este modo, obtenemos como resultado, teniendo en cuenta que la longitud es un aproximado de 25 metros y la sección del cable es de 2.08 m^2 haciendo referencia al calibre 14 AWG, en la Ecuación 6-3:

Ecuación 6-3: Ecuación de resistencia del conductor

$$R = 0.21635$$

Reemplazando en la Ecuación 4-3, el valor de R, sabiendo que, U es 230 V, quedaría como se observa en la Ecuación 7-3:

Ecuación 7-3: Cálculo de corriente de cortocircuito

$$I_{CC} = 850.48889$$

Siendo esta la corriente máxima que se producirá para el tablero. Determinado este valor, determinamos el cálculo del conductor de tierra para el tablero, con la Ecuación 8-3 (REBT, 2007):

Ecuación 8-3: Ecuación conductora de tierra

$$A_C = \frac{I_{CC}}{\sqrt{\frac{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}{33 * t}}}$$

Donde:

- A_C Sección del conductor (cm)

- T_m Temperatura en los nodos de la malla (450°C y 250° amarre prensado)
- T_a Temperatura ambiente 20°C
- t Tiempo máximo de despeje de la falla

Los valores de temperatura mencionados son los valores reales del componente por donde circula la corriente, limitados por los materiales contiguos en el cable y son válidas si la duración del cortocircuito no excede los 5 seg (UNE 21176, 2017). Tomando en cuenta esto se consideró un valor de 1 seg y el valor de 450°C. Por consiguiente, obtenemos como resultado la Ecuación 9-3:

Ecuación 9-3: Cálculo de conductor de tierra

$$A_C = 7448.67649 \text{ cm}$$

Obteniendo ese resultado transformaremos el conductor en mm², considerando la siguiente Ecuación 10-3:

Ecuación 10-3: Conversión cm a mm²

$$A_C [mm^2] = A_C [cm] * 5.067 \times 10^{-4} \frac{mm^2}{cm}$$

De este modo, el conductor en mm² es de 3.77mm², siendo el calibre de cable 12 AWG para la conexión a tierra.

3.4.3 Esquema de conexiones para el tablero eléctrico del quemador PellasX

El diseño del tablero eléctrico fue elaborado mediante el software de diseño de esquemas y diagramas P&ID Lucidchart (Lucidchart, 2023), los diagramas de conexiones de los dispositivos eléctricos y electrónicos que conforman el tablero, así como las conexiones eléctricas de los dispositivos externos, como los sensores y actuadores que se emplean para detectar la llama, la temperatura y el movimiento de los pellets. En la Ilustración 18-3 se muestra el diagrama completo, mientras que en la Tabla 18-3 se detalla el significado de cada elemento en el diagrama de conexiones.

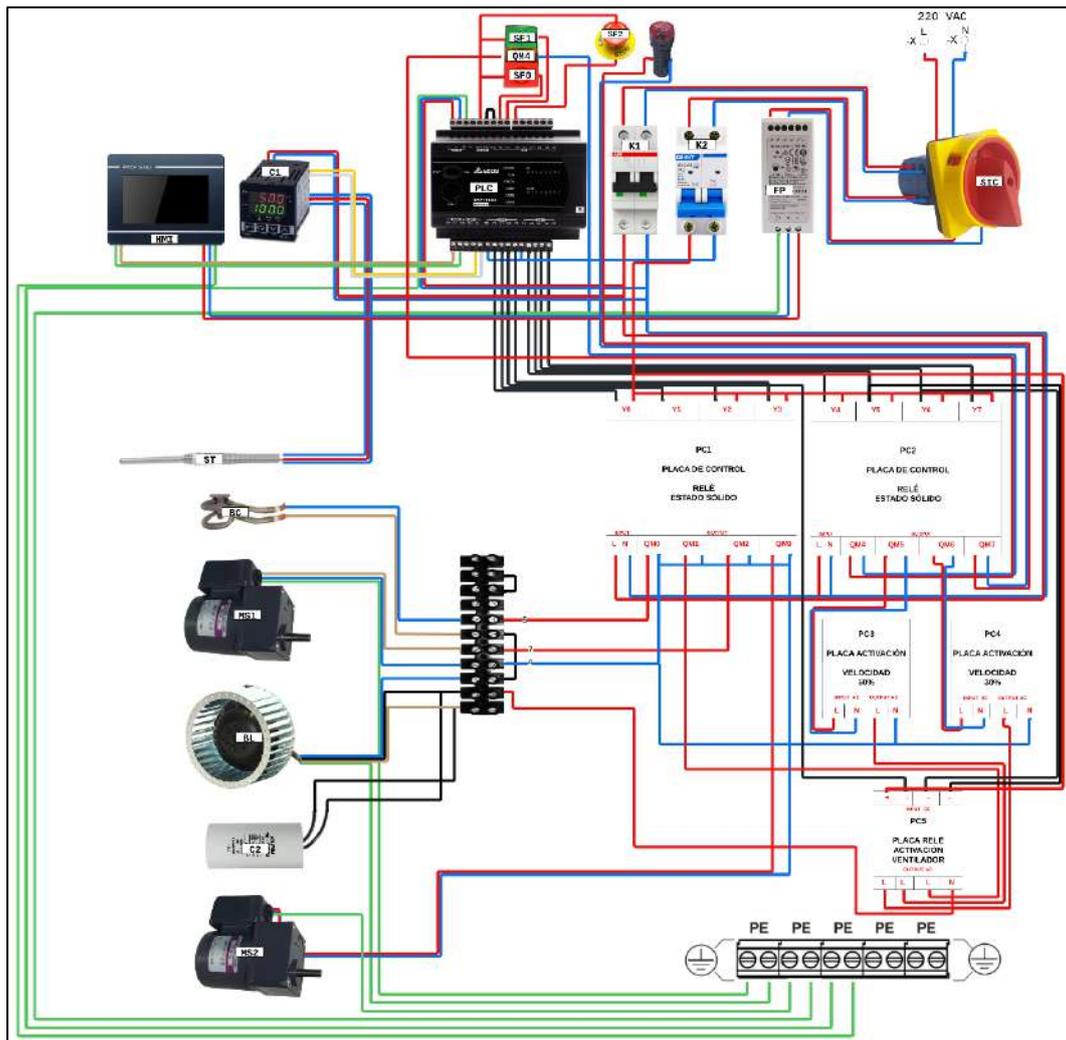


Ilustración 18-3: Esquema eléctrico de conexiones para el quemador PellasX Mini

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Tabla 18-3: Elementos del esquema de conexiones de la propuesta del quemador PellasX

Etiqueta	Significado del elemento
-X	Alimentación a 220VAC
L	Fase de línea
N	Fase de neutro
K1	Breaker de control de fuerza a 220VAC
K2	Breaker de control a 24VDC
FP	Fuente de alimentación de 220VAC a 24VDC
SIC	Selector Interruptor Candado
C1	Controlador de temperatura
C2	Capacitor de arranque
PLC	Autómata Programable
HMI	Interfaz Humano – Máquina
SF0	Pulsador de paro

SF1	Pulsador de inicio
SF2	Pulsador de emergencia
QM0	Relé para activar bujía cerámica
QM1	Relé para activar ventilador
QM2	Relé para activar motor suministro 1
QM3	Relé para activar motor suministro 2 100%
QM4	Relé para indicador inicio/paro
QM5	Relé para activar motor suministro 2 50%
QM6	Relé para activar motor suministro 2 30%
QM7	Relé para activar led con buzzer incorporado
PC1	Placa relé de estado sólido Y0-Y3
PC2	Placa relé de estado sólido Y4-Y7
PC3	Placa dimmer 50%
PC4	Placa dimmer 30%
PC5	Placa relé activación ventilación
PE	Bornera para tierra
ST	Sensor de temperatura
B1	Borneras

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra el significado de cada elemento presentado en el esquemático.

En la Ilustración 18-3 se muestra el esquema eléctrico del tablero de mando y control del sistema de control del quemador PellasX, donde se muestra la variable B1 las cuales son las borneras de conexión entre el tablero y el quemador, por ello se hace uso de un cable especial para la activación y alimentación del quemador, como se observa en la Ilustración 19-3, en esta se observa la conexión entre las borneras del quemador Pellas X Mini mediante el uso de un enchufe hembra 8 pin Bulguin.

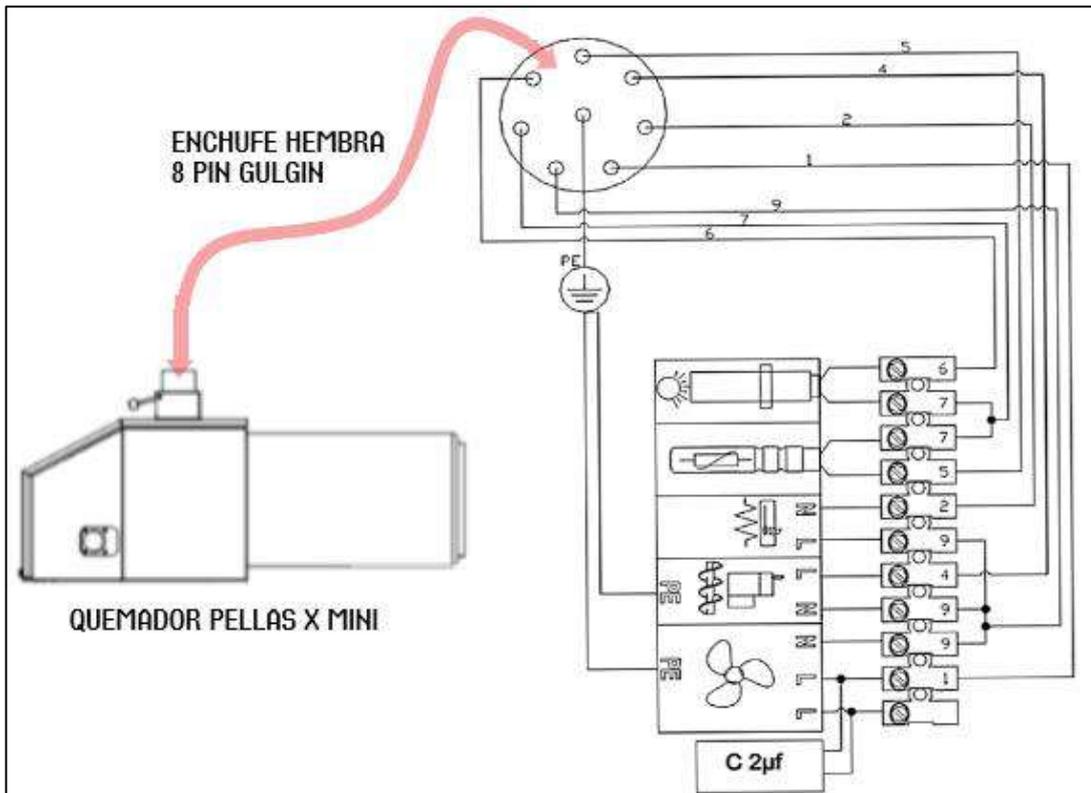


Ilustración 19-3: Esquema eléctrico del quemador Pellas X Mini.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.4.3.2 Ubicación de elementos en el tablero para el quemador PellasX

En la Ilustración 20-3 se puede observar la distribución de los dispositivos eléctricos y electrónicos que se encuentran en el tablero eléctrico del quemador PellasX, diseñado en el software AutoCAD Electrical 2023 (AUTODESK, 2023). Estos mismos elementos se muestran de manera esquemática en el diagrama de conexiones de la Ilustración 18-3.

En la parte frontal del gabinete se encuentran los pulsadores de inicio y paro, así como el indicador y el pulsador de emergencia, que incluye un indicador rojo con un buzzer. En la vista perfil, se encuentra únicamente el selector interruptor candado ON/OFF, lo que facilita el acceso al encender o apagar el suministro de energía interna en el tablero eléctrico. Por último, en la vista interior del gabinete, se encuentran los dispositivos de control PLC, protección, la fuente conmutada, la placa de relés de estado sólido, la placa para la detección de llama y las borneras de conexión. La Tabla 19-3 muestra los elementos que conforman el armario eléctrico indicado en la Ilustración 20-3, junto con su respectivo significado. Además, se incluye la lámina de AutoCAD correspondiente al diseño del tablero en el anexo N correspondiente para más información.

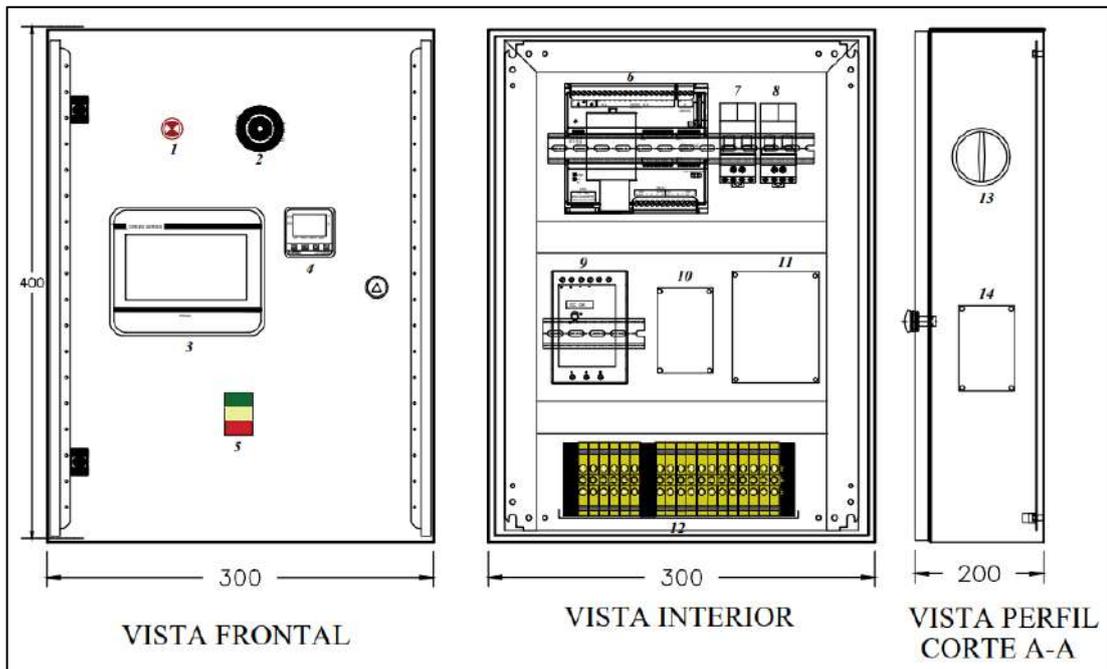


Ilustración 20-3: Esquema eléctrico de conexiones para el quemador PellasX Mini

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023

Tabla 19-3: Elementos del esquema y distribución del tablero eléctrico

Etiqueta	Significado del elemento
1	Indicador rojo con buzzer incorporado
2	Pulsado de emergencia
3	HMI Kinco
4	Controlador Delta DTB4848
5	Pulsador ON-OFF base metálico
6	PLC Delta DVP16ES200R
7	Disyuntor termomagnético ABB
8	Disyuntor termomagnético CHIINT
9	Fuente de poder conmutada
10	Placa control de velocidad 50% y 30%
11	Placa control de relés de estado sólido
12	Borneras de conexión
13	Selector interruptor candado ON-OFF
14	Placa relé activación ventilador

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra el significado de cada elemento presentado en el esquemático.

Las borneras de conexión que se mencionan en el tablero eléctrico en la Ilustración 20-3 y que se presentan en el diagrama de conexiones de la Ilustración 18-3, son elementos que permiten la conexión de todos los dispositivos eléctricos y electrónicos del gabinete. En la Ilustración 21-3 se

muestra el esquemático de distribución y conexión de las borneras del gabinete eléctrico. Por otro lado, en la Tabla 20-3 se detalla a qué hace referencia cada conexión de las borneras, junto con el calibre del cable AWG correspondiente. Además, se incluye la lámina de AutoCAD correspondiente al diseño del tablero en el anexo O correspondiente para más información.

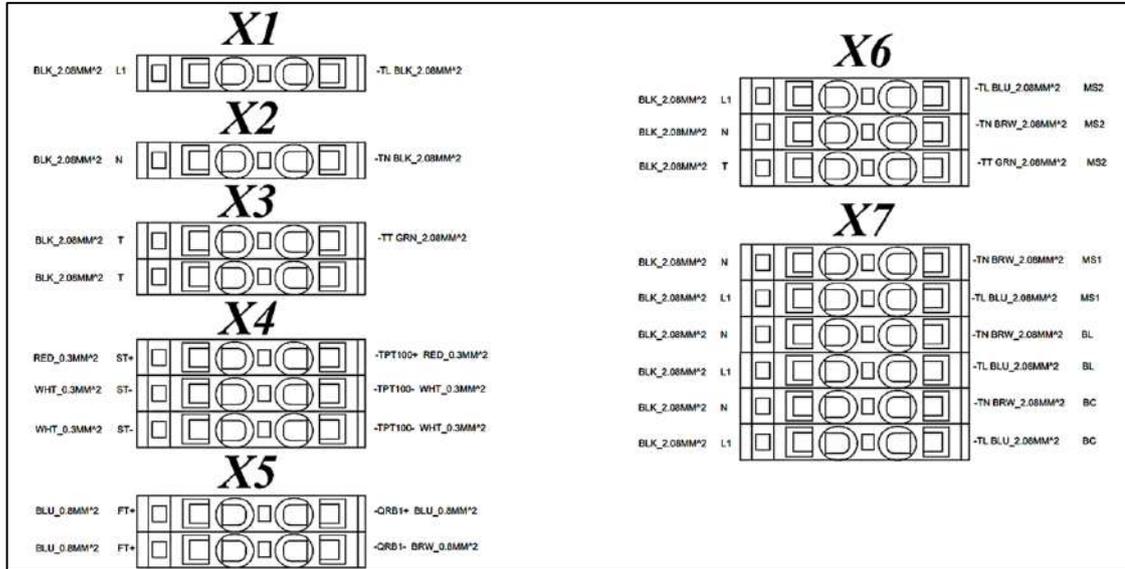


Ilustración 21-3: Esquema de conexión de borneras del tablero eléctrico

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023

Tabla 20-3: Elementos del esquema de conexiones de borneras del tablero eléctrico

Etiqueta	Descripción	Tipo de conductor
X1	Bornera de 110 V (Fase)	14 AWG negro
X2	Bornera de 110 V (Fase)	14 AWG negro
X3	Borneras para tierra	14 AWG verde
X4	Borneras para conexión PT100	22 AWG rojo, 22 AWG Blanco
X5	Borneras para conexión QRB1	18 AWG azul
X6	Borneras salida PLC a MS2	14 AWG negro
X7	Borneras para salidas del PLC	14 AWG negro

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se indica el elemento, junto con el tipo de conductor que pertenece a cada bornera.

3.4.3.3 Esquema de conexiones de entradas y salidas del DVP16ES200R

En la Ilustración 22-3 se puede observar el diagrama de entradas y salidas de la unidad de control PLC ubicada en el tablero eléctrico del quemador PellasX, así como los dispositivos y componentes eléctricos y electrónicos que se encuentran conectados a las entradas y salidas, tal y como se especifica en la Tabla 21-3.

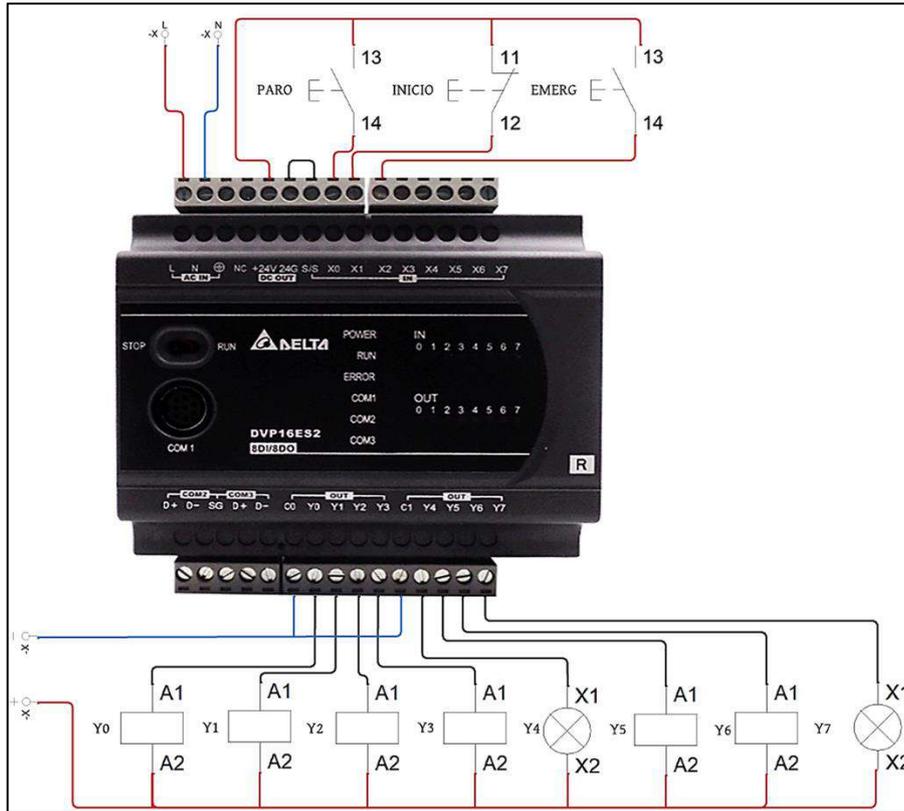


Ilustración 22-3: Esquema de entradas y salidas de la unidad de control
Realizado por: Ojeda Kevin, 2023

Tabla 21-3: Descripción de etiquetas para el cableado de entradas y salidas del PLC

Entradas			Salidas		
Asignación	Tipo	Etiqueta	Asignación	Tipo	Etiqueta
X0	Digital	SF0	Y0	Digital	QM0
			Y1	Digital	QM1
X1	Digital	SF1	Y2	Digital	QM2
			Y4	Digital	QM4
X2	Digital	SF2	Y5	Digital	QM5
			Y6	Digital	QM6
			Y7	Digital	QM7

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra la descripción de las entradas y salidas del PLC

3.5 Sistema Electrónico

En esta sección se presenta el diseño de la placa para el control y detección de llama en el quemador PellasX, así como el diseño de la placa para accionar los motores del quemador, junto con los criterios para su elección y los esquemas de conexión correspondientes.

3.5.1 Selección de componentes para activar cargas inductivas con 24VDC a 220VAC

En esta sección, se presentará en detalle el diseño de la placa de 4 relés de estado sólido utilizada para activar los actuadores inductivos del quemador Pellas X Mini. En este documento se explicará cada uno de los componentes utilizados en el diseño de la placa, junto con su correspondiente justificación y los esquemas necesarios para su comprensión.

3.5.1.1 Optoacoplador MOC3021

El diseño del relé de estado sólido a 24VDC requiere del uso de un optoacoplador para lograr el aislamiento eléctrico necesario entre la señal de entrada de 24VDC y la carga de salida. Para este propósito, se configuró el optoacoplador de manera que el diodo emisor de luz reciba la señal de 24V en la entrada, mientras que el fototransistor en el lado de salida se conecte al circuito de control de carga de 220VAC.

En este caso, se seleccionó el MOC3021 como optoacoplador, ya que permite aislar eléctricamente los dos circuitos, lo que posibilita la transferencia de una señal DC a una señal AC sin la necesidad de una conexión física directa. Este optoacoplador proporciona un alto grado de aislamiento eléctrico entre la señal de entrada y la salida del circuito, previniendo riesgos de daños eléctricos, interferencia electromagnética u otros problemas relacionados con el ruido eléctrico. La Ilustración 23-3 muestra las conexiones internas y el significado de cada una de sus terminales.

Para garantizar la seguridad del componente ante un valor de voltaje mayor al que opera, se utilizó una resistencia de $1K\Omega$ a 1W, ya que ofrece mayor oposición a la corriente, lo que evita que se caliente. Esta medida de seguridad se muestra en la Tabla 22-3. Para obtener más información, se incluye el datasheet correspondiente del relé electromagnético en el anexo P.

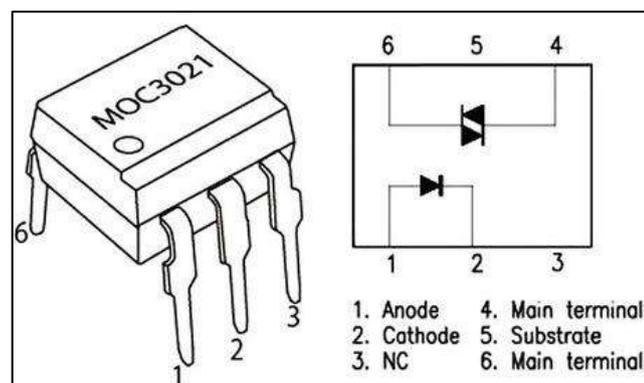


Ilustración 23-3: Dispositivo MOC3021

Fuente: (MOTOROLA, 1995)

Tabla 22-3: Datos técnicos del MOC3021

Marca / Modelo	Reseña	Información	
MOTOROLA/ MOC3021	Son componentes que proporcionan un alto grado de aislamiento eléctrico, además soporta una temperatura máx. de 260°C en un tiempo de 10s.	Tensión inversa	3 V
		Adelante corriente continua	60 mA
		Disipación total de la energía	330 mW
		Pico de Corriente	1 A
		Temperatura operación	-40 ~ 150 °C

Fuente: MOTOROLA,1995.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos relevantes correspondientes Relé electromagnético.

3.5.1.2 TRIAC BT137

Para regular la potencia suministrada a los actuadores inductivos en corriente alterna, se requiere la implementación de un Triac en el circuito del relé de estado sólido. Ya que, el Triac actúa como un interruptor controlado por el voltaje que proviene de las salidas del MOC3021, como se explica en la sección 3.5.3.2. Al recibir la señal de control de baja potencia del optoacoplador, el Triac se activa y permite el paso de corriente AC a través de la carga. El modelo de Triac seleccionado para este diseño es el BT137, que puede soportar hasta 800V y 8A, lo que lo hace un componente adecuado para el relé de estado sólido. Al regular la cantidad de potencia entregada a la carga de corriente alterna, el Triac proporciona una solución eficiente y segura. En la Ilustración 24-3 se muestra el Triac BT137, junto con su diseño esquemático y el significado de cada terminal. Para obtener más información, se incluye el datasheet correspondiente del relé electromagnético en el anexo Q.

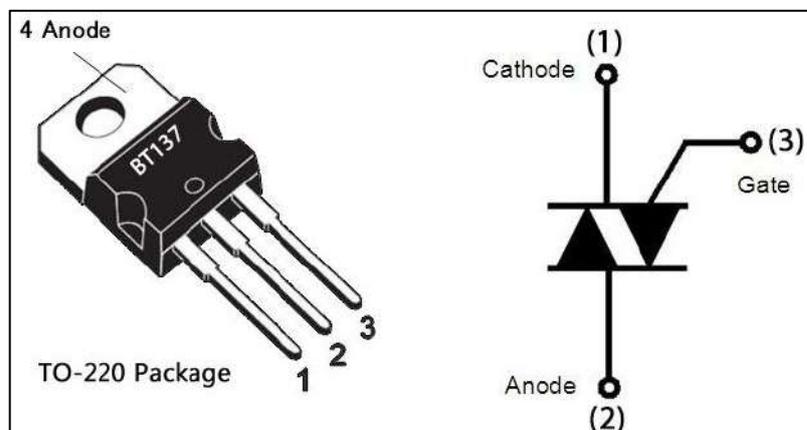


Ilustración 24-3: Diseño y montaje de la PCB

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.5.1.3 Diseño de una red Snubber

Los circuitos de ayuda a la conmutación en transistores, también conocidos como "snubbers" en inglés, son una parte esencial de muchos circuitos electrónicos de potencia. Básicamente, estos circuitos suprimen transitorios indeseables y eliminan problemas en los circuitos de conmutación que involucran elementos inductivos y capacitivos. Los snubbers pueden ser un conjunto de componentes pasivos o activos (ROCA MOLINA y ESPITITA LÓPEZ, 2016).

Por lo tanto, en el circuito del relé de estado sólido, se utiliza una red snubber para evitar que se produzcan picos de voltaje o corriente que puedan dañar o interferir en el funcionamiento del dispositivo. Cuando el Triac BT137 se activa y permite el paso de corriente a través de la carga, se generan picos de voltaje o corriente que pueden ser perjudiciales para la carga. Para reducir estos picos de voltaje y corriente, se aplica una red snubber compuesta por una resistencia y un capacitor conectados en serie, que absorben la energía que se genera en el momento del apagado y la descargan de manera controlada a través del capacitor.

Para determinar los valores adecuados de la red snubber en este circuito, se consultó el datasheet del MOC3021 (MOTOROLA, 1995), que proporciona un esquema como se observa en la Ilustración 25-3. Este esquema define los valores adecuados de resistencia y capacitor para la red snubber al trabajar con un voltaje de 240VAC, siendo 39Ω y $0.01\mu\text{F}$, lo cual es ideal para este proyecto técnico.

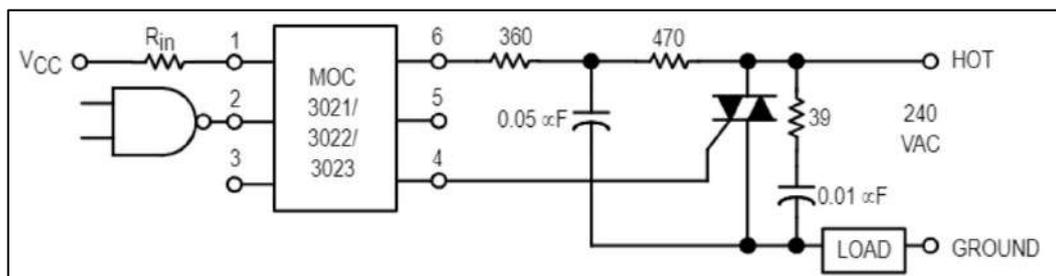


Ilustración 25-3: Esquema de conexiones del MOC3021 y la red snubber al Triac.

Realizado por: (MOTOROLA, 1995).

3.5.1.4 Fusible de vidrio

La inclusión de un fusible como se indica en la Ilustración 26-3, en el circuito de relé de estado sólido ayuda a proteger el circuito contra posibles fallas o sobrecargas eléctricas que podrían causar daños. De modo que, si se produce una sobrecarga en el circuito, el fusible se fundirá y cortará la corriente eléctrica, protegiendo así el circuito y los componentes conectados a él. De

esta manera, el fusible actúa como dispositivo de protección contra sobrecargas y ayuda a prevenir daños en el circuito. Además, que este es fácilmente reemplazable, lo que permite restaurar rápidamente el funcionamiento del circuito después de un fallo sin tener que reemplazar todo el circuito. Para determinar el valor de corriente que soporta el fusible, se suma la corriente de los elementos conectados a la placa, como se indicó en la sección 3.4.2.1, de este modo se determina un valor de 3A para el fusible y 250VAC.



Ilustración 26-3: Fusible de 3A

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.5.2 *Diseño de relé de estado sólido para la activación de cargas inductivas*

Después de seleccionar los elementos en la sección 3.5.3, pasamos a diseñar el esquemático de la placa del relé de estado sólido. Para esto, hemos optado por utilizar el software Proteus 8, en la versión V8.12 (Labcenter Electronics, 2023). Una vez determinados los elementos y el software necesarios para el diseño de la placa, buscamos cada uno de los elementos, teniendo en cuenta que sean de las mismas dimensiones de espacio entre cada terminal al elemento a utilizar, ya que esto podría afectar el diseño de la placa. Una vez identificados todos los elementos, procedimos a realizar las conexiones necesarias. La Ilustración 27-3 muestra el diseño de los 4 relés de estado sólido para cada actuador del quemador, junto con la protección del fusible conectado en serie de una fase de cada carga en AC.

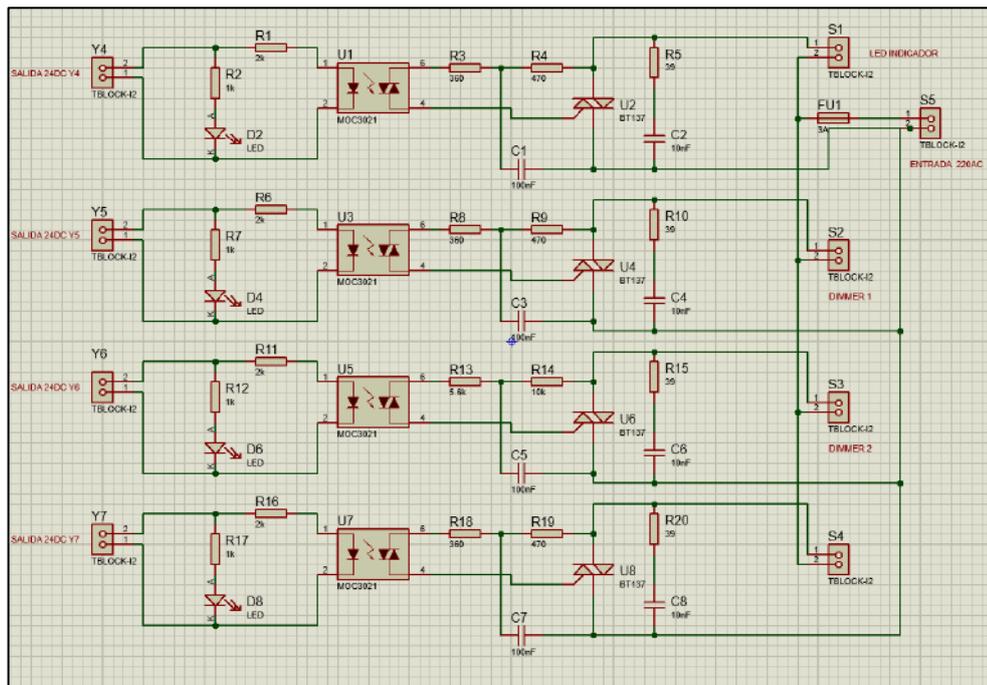
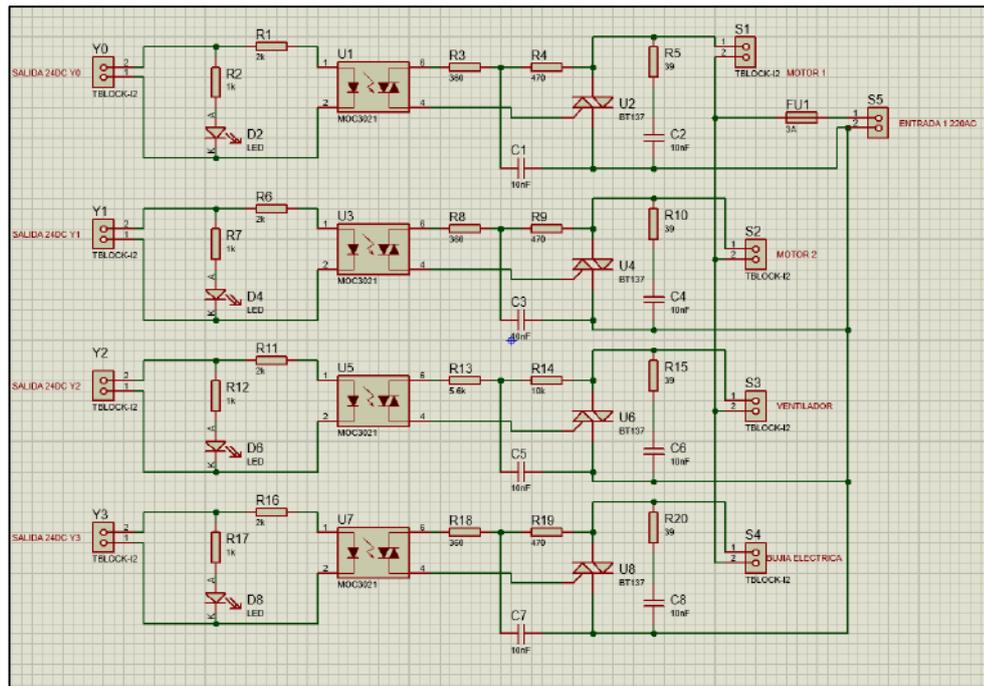


Ilustración 27-3: Diseño y montaje de la PCB

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Una vez definidas las conexiones en la hoja Schematic Capture, el software nos permite abrir una segunda ventana denominada PCB Layout, donde realizamos las conexiones de las pistas para el PCB, tal y como se muestra en la Ilustración 28-3. Es importante tener en cuenta que cada pista debe tener una dimensión adecuada, ya que, si es demasiado pequeña, no podrá soportar la cantidad de corriente que pase por ella y se dañará en un corto o largo plazo. Después de considerar esto, se procedió a hacer las conexiones necesarias de las pistas en la PCB. Luego,

imprimí la placa de manera tradicional utilizando el método del planchado sobre la baquelita y una impresión láser para imprimir los elementos y nombres de cada uno de los componentes en la parte superior. De esta manera, obtuvimos la placa requerida, tal y como se muestra en la Ilustración 28-3.

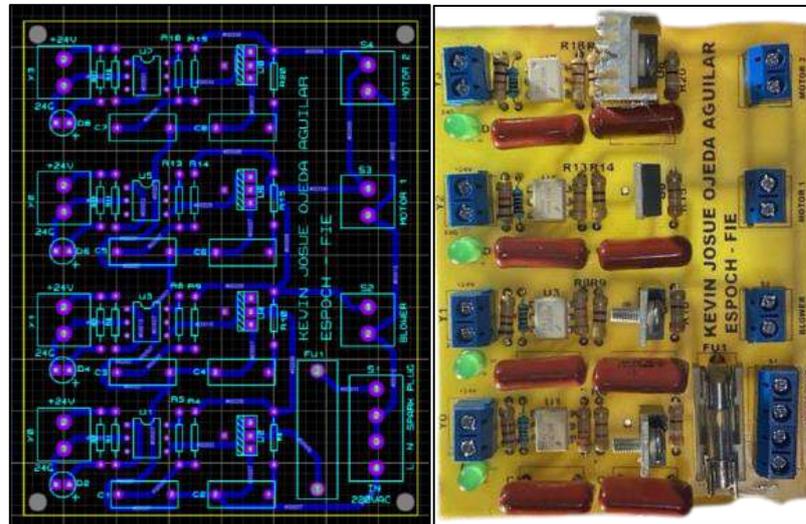


Ilustración 28-3: Diseño y montaje de la PCB

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.5.3 Selección de componentes para el circuito regulador de velocidad o dimmer

En esta sección se describe el diseño de la placa del circuito de regulación de velocidad del ventilador para el quemador Pellas X Mini, que se encuentra detallado en la sección 3.3.3.3. Para lograr la regulación de la velocidad del ventilador, se utilizará una técnica de modulación de voltaje mediante el uso de 2 dimmer. Sin embargo, dado que las entradas del PLC son digitales, se necesitarán 3 salidas del PLC para controlar la velocidad del ventilador, como se indica en la sección 3.4.1.1. Afortunadamente, el PLC cuenta con 8 salidas, lo que proporciona flexibilidad para controlar diferentes velocidades predeterminadas en el ventilador.

Para ajustar la velocidad del ventilador a la velocidad establecida, se accionará el dimmer correspondiente según la etapa en la que se encuentre el proceso. Este enfoque cumple con los requisitos establecidos en la sección 2.9. Además, se describen los componentes necesarios para la placa y se proporcionan los esquemas de conexión requeridos para garantizar una implementación adecuada del circuito de regulación de velocidad del ventilador.

3.5.3.1 Potenciómetro de precisión

En un circuito de regulación de velocidad de ventilador mediante dimmer, se utiliza un potenciómetro de precisión para ajustar la velocidad del ventilador a una velocidad específica o predeterminada, y se utiliza un potenciómetro normal para permitir ajustes finos de la velocidad del ventilador.

El potenciómetro de precisión permite establecer una velocidad específica del ventilador, mientras que el potenciómetro normal permite al usuario ajustar la velocidad ligeramente más alta o baja de la velocidad establecida. Por ejemplo, si la velocidad predeterminada es del 50%, el potenciómetro de precisión se ajustaría para que el ventilador opere a esa velocidad exacta, mientras que el potenciómetro normal permitiría que el usuario ajuste la velocidad ligeramente más alta o baja para adaptarse a sus preferencias o necesidades.

De este modo, para ajustar la sensibilidad del circuito descrito en la sección anterior, se utiliza un potenciómetro de precisión de $1\text{ M}\Omega$ y un potenciómetro de $500\text{ k}\Omega$, como se observa en la Ilustración 29-3.

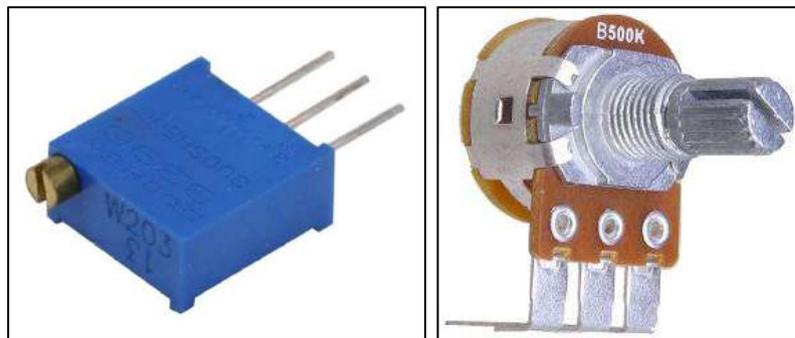


Ilustración 29-3: Potenciómetro de precisión

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.5.3.2 Triac BTA26

Un Triac es un dispositivo semiconductor que puede actuar como un interruptor controlado por voltaje, lo que significa que se puede activar y desactivar mediante una señal de control de voltaje. A diferencia de un interruptor mecánico convencional, el triac puede manejar grandes corrientes y voltajes de CA, lo que lo hace ideal para aplicación de control de potencia, como es el caso para este Proyecto Técnico, se pretende diseñar el circuito que modula a una velocidad específica el ventilador, ya que este elemento es ideal en circuitos de regulación de voltaje AC para el control de la cantidad de energía que se entrada a la carga (SHERZ y MARK, 2016).

Además, el Triac es capaz de manejar grandes corrientes y voltaje de AC, consta de 3 terminales, denominados MT1, MT2 y Gate, y se comporta como dos transistores controlador por un solo terminal de puerta, y cuando se aplica una señal de control de voltaje al Triac, este se activa y permite que la corriente fluya a través de el en ambas direcciones, permitiendo que la energía se entregue al ventilador durante el periodo de tiempo determinado por el control que se establezca en el controlador PLC Delta.

Por ello, se determinó utilizar el Triac BTA26 (STMicroelectronics, 2006), como se puede apreciar en la Ilustración 30-3, es una excelente opción para emplearlo como parte de un circuito de control de velocidad de voltaje. Su alta ganancia y capacidad para soportar altas corrientes lo hacen muy útil para activar otros componentes del circuito. Además, su bajo costo y amplia disponibilidad lo convierten en una alternativa popular para aplicaciones de electrónica en general. Es importante tener en cuenta que el diseño del circuito y la elección de los demás componentes deben ser adaptados a las características específicas del BTA26 y a los requisitos de la aplicación. Para obtener más información, se incluye el datasheet correspondiente del transistor en el anexo R y en la Tabla 23-3 se presentan los datos técnicos del Triac BTA26.

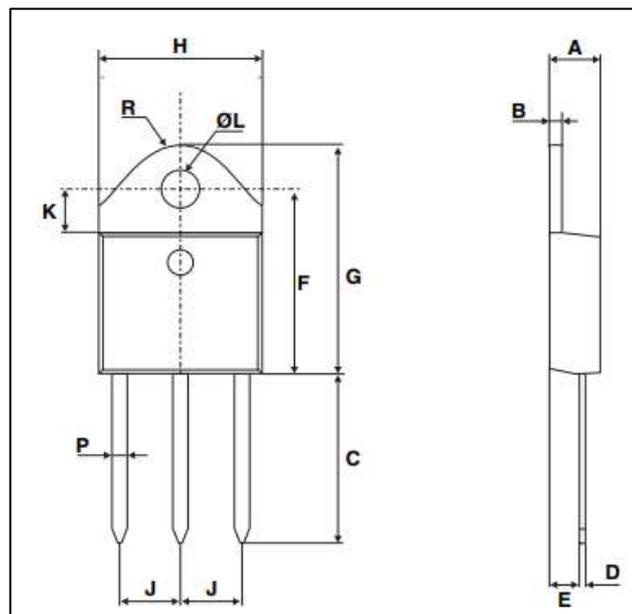


Ilustración 30-3: Triac BTA26

Fuente: (STMicroelectronics, 2006)

Tabla 23-3: Datos técnicos del transistor TIP41C

Marca / Modelo	Reseña	Información	
MOSPEC/ TIP41C	Dispositivo electrónico que puede actuar como interruptor para controlar el flujo de corriente eléctrica a través de un circuito.	Voltaje DRM	600 V
		Corriente Base	4 A
		Corriente nominal	25 A
		Potencia disipación	1 W
		Temperatura operación	-40 ~ +150 °C

Fuente: MOSPEC SEMICONDUCTOR, 2021.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos relevantes correspondientes al transistor TIP41C.

3.5.4 *Diseño de variador de potencia dimmer*

En la sección 3.5.2 se ha diseñado un circuito de relé de estado sólido para activar las salidas de 24 VDC a 220 VAC, lo que permitirá que el ventilador o turbina del quemador gire al 100% de sus RPM. Sin embargo, para regular la velocidad del motor a dos velocidades específicas en un rango de 0-100%, se propone el uso de un variador de potencia dimmer, que es una solución efectiva para regular la velocidad de ventiladores, motores, y otros equipos similares. Este circuito está controlado por un TRIAC, que permite el encendido al paso por cero de la tensión y puede regular voltajes de alta potencia bidireccional hasta 25 A.

Al reducir la cantidad de energía eléctrica suministrada al motor, se reduce su velocidad de rotación y, por lo tanto, la velocidad del ventilador o turbina. De esta manera, se puede ajustar la velocidad del motor y, por ende, la velocidad del ventilador o la turbina para adaptarse a las necesidades específicas de la aplicación. Para lo cual, se consideró este diseño a un variador de frecuencia debido a lo costosos que llegan a ser, además que para el uso de este equipo de considera las características del ventilador, como se indica en la sección 3.3.3.3.

Para el diseño de este circuito, se requiere la activación del ventilador en tres velocidades diferentes: 100%, 50% y 30%. Esto permitirá un encendido eficaz, evitando que una excesiva ventilación apague la llama generada y asegurando una buena combustión del pellet. La variación del aire es fundamental para que el quemador Pellas X Mini produzca una llama constante y adecuada durante todo el proceso y este dependerá de los ciclos de trabajo, el cual debe ser configurado en función de las necesidades del equipo. En la Ilustración 31-3 se muestra el diseño y montaje del circuito dimmer.

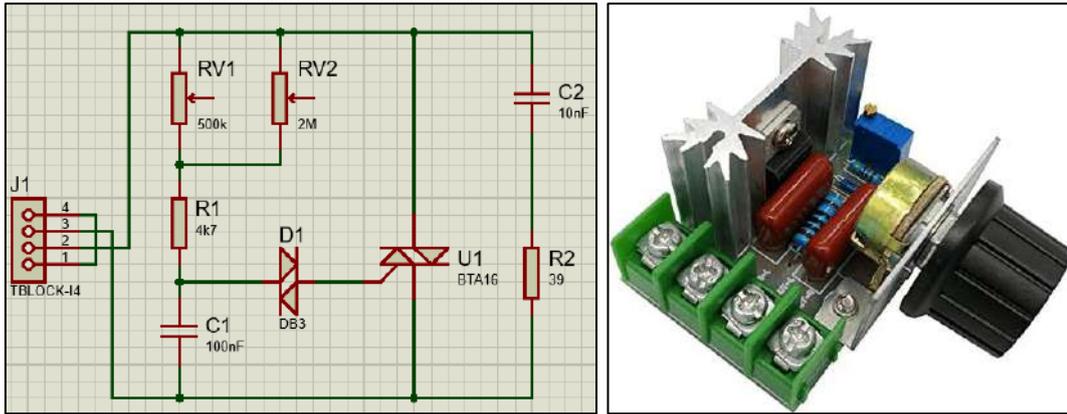


Ilustración 31-3: Diseño y montaje de la PCB

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.5.4.1 Relé electromagnético de 24VDC

Una vez que se han identificado los componentes necesarios para la regulación de velocidad y se ha determinado cómo manipular su valor mediante el potenciómetro, se utiliza el triac como se mencionó anteriormente que funcionara como interruptor. Además, se implementa un relé electromagnético que se activará las tres señales de velocidad cuando active el relé de estado sólido el ventilador al 100%, cuando el primer dimmer mande la señal al 50% y la tercera señal al 30%. De este modo, se realizó una placa con 3 relés de 24VDC a 220VAC, así este únicamente se activa cuando la entrada del relé este activa y permite la señal al ventilador impidiendo que exista un retorno de energía a las entradas del dimmer y del relé de estado sólido, como se muestra en la Ilustración 32-3 el relé a utilizar, mientras que en la Tabla 24-3 se detallan los datos técnicos del SRD, el cual funciona a 24VDC.

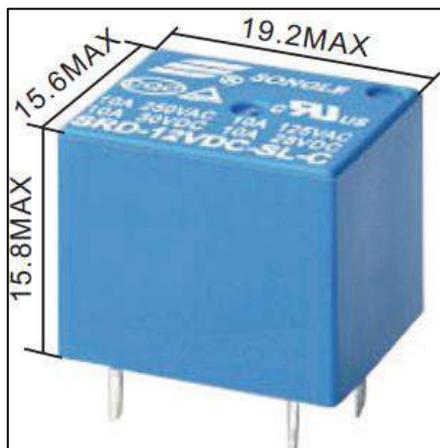


Ilustración 32-3: Relé electromagnético de 24VDC

Fuente: (SONGLE RELAY, 2019).

Tabla 24-3: Datos técnicos del relé electromagnético de 24VDC

Marca / Modelo	Reseña	Información	
SONGLE/ SDR 24VDC-S- L-C	Dispositivo electrónico que puede actuar como interruptor para controlar el flujo de corriente eléctrica a través de un circuito.	Máxima corriente	15 A
		Máxima potencia	3750VA
		Voltaje control	24 VDC
		Temperatura operación	-40 ~ 105 °C

Fuente: SONGLE RELAY, 2019.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los datos relevantes correspondientes Relé electromagnético.

De este modo, en la Ilustración 33-3 se muestra el esquemático de la PCB y el montaje de esta, utilizando el método de planchado de la placa, además, como medida de protección se colocó en la entrada DC diodos, así no exista retorno de corriente en las entradas del relé de estado sólido.

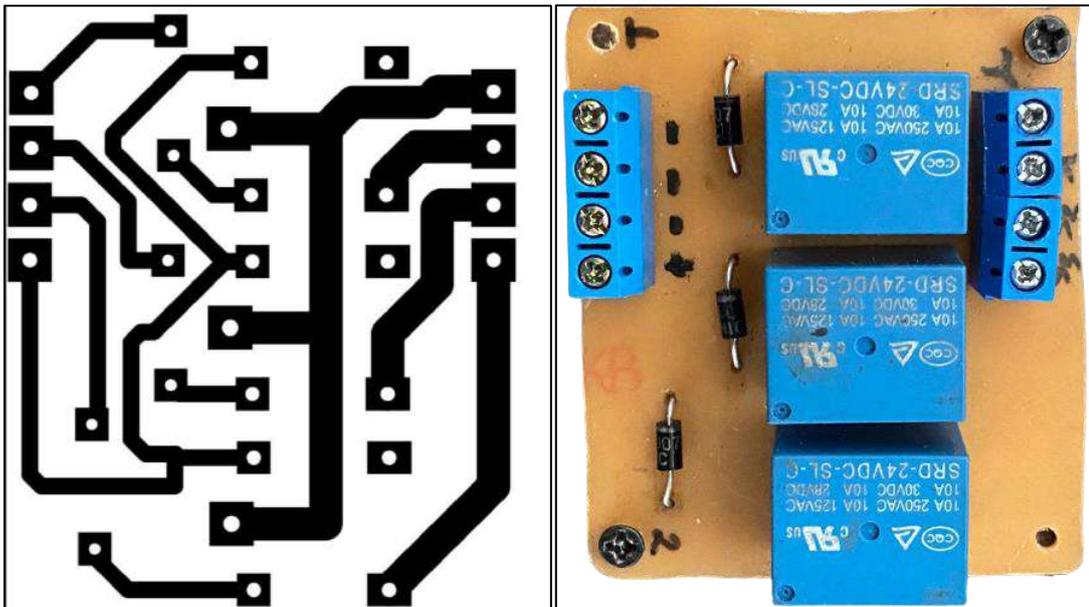


Ilustración 33-3: Relé electromagnético de 24VDC

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.6 Identificación de variables a medir

En esta sección se define la variable a medir para el sistema de control del quemador PellasX, para ello se considera el proceso que ejecuta el sistema y la variable de control.

3.6.1 *Temperatura*

Esta variable se utiliza para obtener los valores de temperatura medidos en el interior de la caldera. La temperatura desempeña un papel fundamental, ya que deben medirse los niveles mínimos y máximos de temperatura para evitar daños en el sistema y, sobre todo, para garantizar la integridad de los operadores. integridad del operador.

3.6.2 *Pellets de madera*

Esta variable se utiliza para calcular la potencia calorífica del quemador, que se determina a partir de la cantidad de pellets que caen en un tiempo determinado, expresado en unidades de Kg/h. Conociendo la calorificidad aproximada del pellet de madera (que es de alrededor de 13 Kwh/Kg), se pueden calcular los valores de potencia en los que está operando el sistema. De esta manera, es posible monitorear y ajustar la potencia del quemador para garantizar su correcto funcionamiento y la eficiencia energética del sistema en general.

3.7 Diseño del software

Para el diseño del software del sistema de control de temperatura para el quemador PellasX, el cual, cuenta con una interfaz y una botonera para su accionamiento, se toma en consideración los requerimientos que se describen a continuación:

- Sistema del programa visualice la interfaz con la botonera para el accionamiento.
- Ajustes de tiempo de limpieza antes y después del encendido.
- Ajuste de tiempos de encendido para lograr una llama adecuada.
- Ajuste de tiempos de ciclos de trabajo, para determinar el tiempo que trabaja y descansa el motor.
- Valor de calorificidad del pellet de madera a utilizar.
- Tiempo de encendido del suministro sin fin 2, en función del ciclo de trabajo.
- Tiempos de apagado del quemador PellasX.
- Ajuste de valor de temperatura deseado.
- Visualización de información del equipo para identificar qué actuador está encendido.
- Lectura en tiempo real de la temperatura del quemador.
- Panel de paro, inició, emergencia, apagado e indicadores de accionamiento y apagado del sistema.
- Visualización de panel de control manual del equipo a través de la interfaz visual.

3.7.1 Programación PLC. DELTA DVP16ES209R

La programación del PLC Delta DVP16ES200R se realizó con el software ISPSOFT versión 3.16 (Cheng, 2012), utilizando diagrama LADDER o KOP. El proceso de control de temperatura del quemador se divide en cuatro etapas: Limpieza, Encendido, Modulación y Apagado. Estas etapas fueron sistematizadas y estandarizadas gracias a la experiencia del Ing. Andres Gamboa, quien ha trabajado con estos equipos durante más de 10 años. Esto permitió elaborar los diagramas graficet necesarios para desarrollar los diferentes programas que ejecutan el proceso de control de temperatura para el quemador Pellas X Mini.

En la tabla 25-3, se encuentran las entradas y salidas que se utilizaron para el diseño del graficet y en la programación del software ISPSOFT, las cuales se detallan más a fondo en la lámina del anexo S. De esta forma, se logró una programación eficiente y confiable para el control de temperatura del quemador Pellas X Mini.

Tabla 25-3: Denominación de entradas y salidas.

E/S	Nombre	Descripción
X0	PARO	Señal de entrada del pulsador de paro
X1	INICIO	Señal de entrada del pulsador de inicio
X2	EMERGENCIA	Señal de entrada del pulsador de emergencia
Y0	BUJIA_CERAMICA	Señal de salida para el encendido de la Bujía cerámica
Y1	VENTILADOR_100	Señal de salida para el ventilador
Y2	SINFIN1	Señal de salida para el motor con tornillo sin fin 1
Y3	SINFIN2	Señal de salida para el motor con tornillo sin fin 1
Y4	INDICADOR	Señal de salida para luz intermitente del pulsador Inicio y Paro
Y5	VENTILADOR_50	Señal de salida para el ventilador
Y6	VNETILADOR_30	Señal de salida para el ventilador
Y7	BUZZER	Señal de salida para el led con buzzer

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra la denominación utilizada en la programación del software ISPSOFT.

3.7.2 Diagrama graficet del modo automático del quemador PellasX

Para el diseño del graficet se utilizó el software Omegon Fluid Technology Graficet la versión 2.0.9.2 (Omegon Fluid Technology Graficet, 2023), el cual consta de los instrumentos necesarios para realizar diferentes tipos de lazos y poder realizar el Graficet. De este modo, el programa del modo automático del quemador Pellas X Mini, está formado por las siguientes etapas:

- Etapa de inicio del sistema
- Etapa de limpieza del equipo antes de encender
- Activar ventilación al 100%
- Etapa de encendido del sistema
- Activar motor sin fin 1
- Activar motor sin fin 2
- Activar bujía cerámica
- Activar ventilación
- Etapa de modulación de suministro
- Activar motor sin fin 1
- Activar motor sin fin 2
- Etapa de apagado
- Etapa de limpieza después de apagado

En la Ilustración 34-3 se muestra el diagrama grafcet del programa del modo automático para el sistema de control del quemador Pellas X Mini, con las etapas descritas anteriormente. En el Anexo S se detalla la lámina del grafcet para el control del quemador.

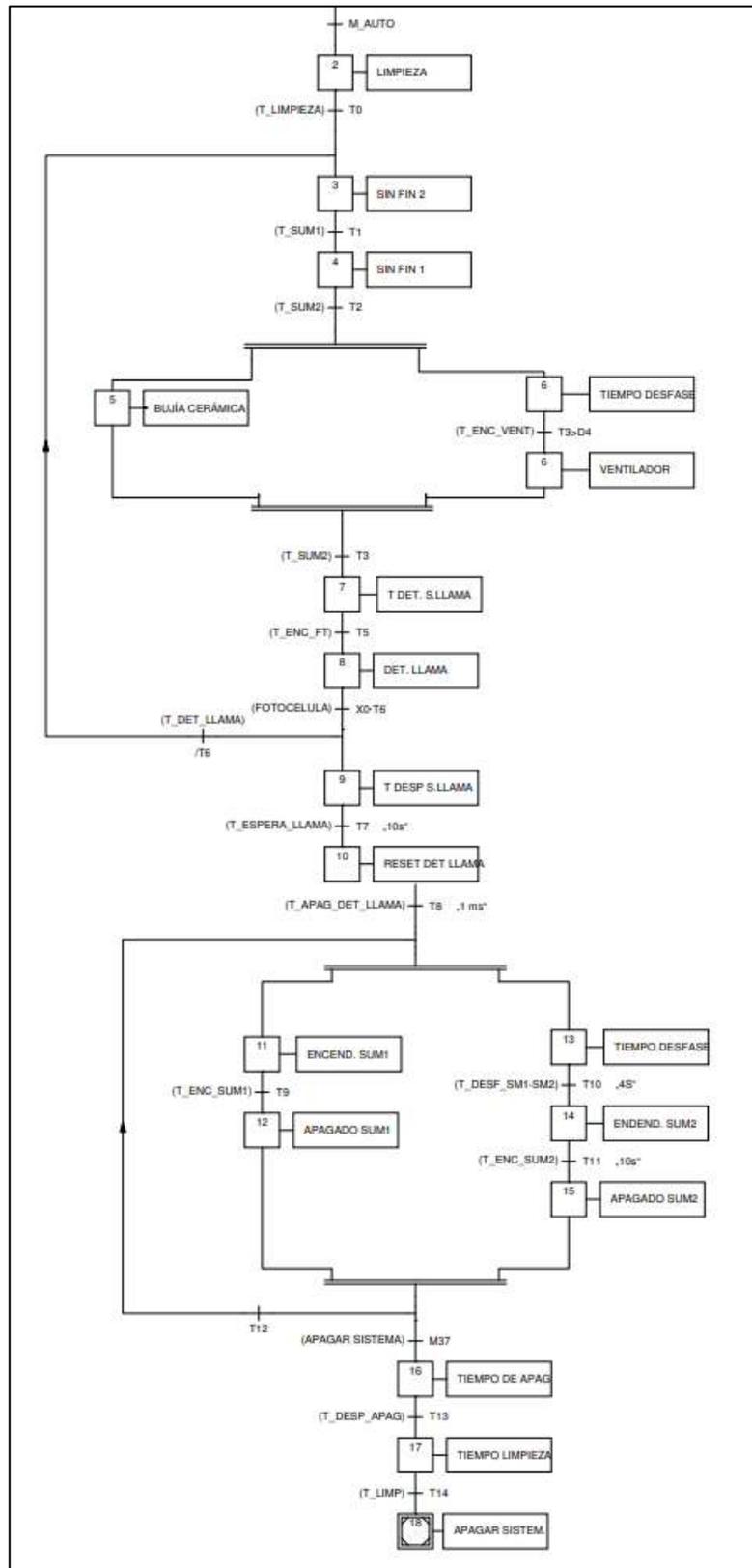


Ilustración 34-3: Diagrama graficet del programa en modo automático.
 Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.7.3 Diagrama grafcet del modo manual del quemador PellasX

El programa del modo manual para el funcionamiento del quemador Pellas X Mini, está formado por las siguientes etapas:

- Inicio modo manual
- Activación del motor sin fin 1
- Activación del motor sin fin 2
- Activación de la bujía cerámica
- Activación del ventilador

En la Ilustración 35-3 se muestra el diagrama grafcet del programa del modo manual para el sistema de control del quemador Pellas X Mini, con las etapas descritas anteriormente.



Ilustración 35-3: Diagrama grafcet del programa en modo manual.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.7.4 Parámetros de comunicación en el software ISPSOFT

En la sección anterior se mencionó que el software ISPSOFT se usó para programar los parámetros del sistema de control de temperatura y las etapas de funcionamiento del quemador PellasX. Para programar en el software y cargarlo en el PLC Delta DVP16ES200R, es necesario configurar el medio de comunicación. Como se muestra en la Ilustración 36-3, primero se configura el tipo de comunicación. En este caso, como el PLC no tiene un puerto Ethernet, se utiliza el puerto de comunicación RS232 con un cable de programación USB a RS232. También se configura el protocolo de comunicación agregando el puerto COM donde aparece el PLC Delta, y luego se establecen los parámetros del protocolo de comunicación Modbus ASCII. En este caso, los parámetros son: 7, even, 1, 9600.

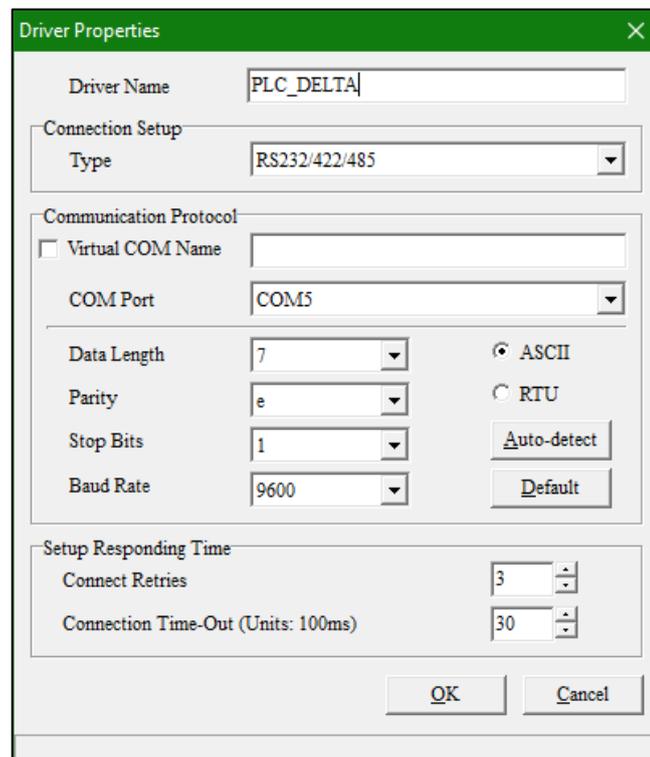


Ilustración 36-3: Comunicación Modbus ASCII.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Agregado la comunicación PLC – PC, nos aparecerá la configuración como se observa en la Ilustración 37-3.

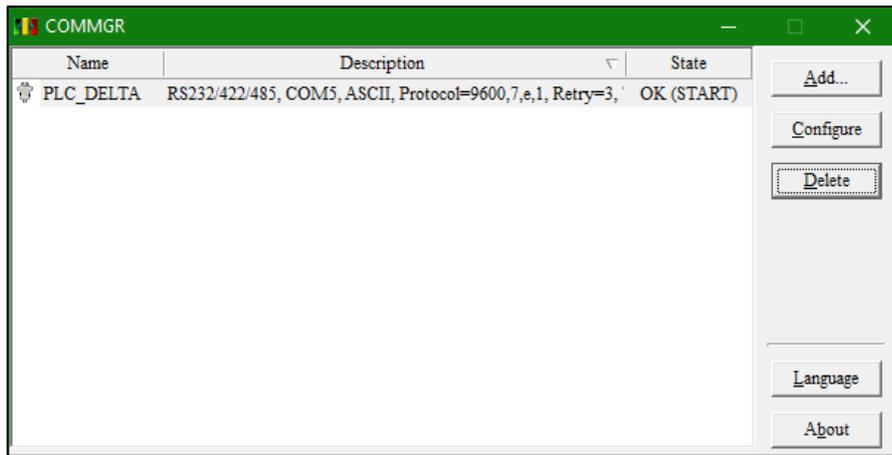


Ilustración 37-3: Comunicación establecida entre PLC-PC.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Determinado el protocolo de comunicación en el Software ISPSOFT, se determinó el tipo de controlador que se utilizó para este Proyecto Técnico, siendo este DVP, ES2, como se observa en la Ilustración 38-3.

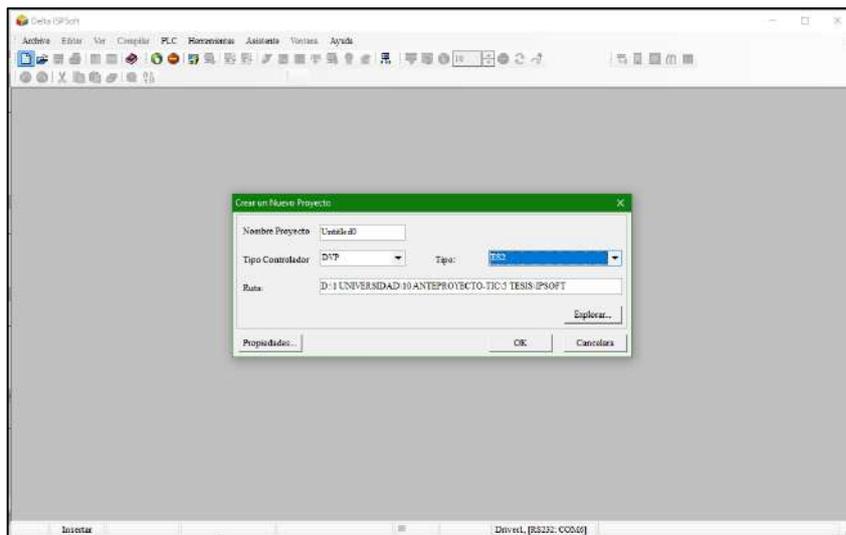


Ilustración 38-3: Selección del tipo de controlador.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Para este Proyecto Técnico se crearon 6 programas que incluyen: la programación en Ladder del quemador, la comunicación RS485 para los puertos COM2 y COM3 del PLC, la adquisición de datos de temperatura, el cálculo de la potencia, alarmas y los parámetros preestablecidos para el quemador, como se muestra en la Ilustración 39-3. Para más información, se incluye los programas en el anexo T.

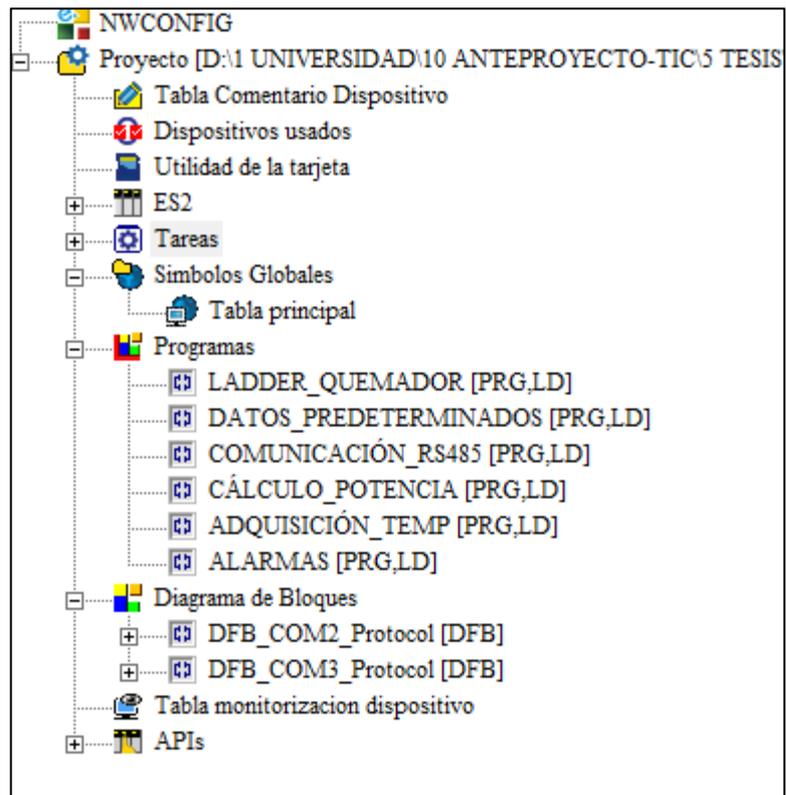


Ilustración 39-3: Programas Ladder para el quemador PellasX.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

3.7.5 Interfaz humano-máquina (HMI)

El software Kinco HMI versión 3.5.4 (Kinco Electric, 2021) se utilizó para diseñar el HMI que permite monitorear y controlar el sistema de control de temperatura del quemador Pellas X Mini. Este HMI es el medio de comunicación entre el operario y el sistema automatizado del quemador PellasX, y permite seleccionar el programa en los dos modos de configuración (automático y manual). Además, se pueden ajustar y visualizar la temperatura, los tiempos de encendido y apagado, los tiempos de limpieza, el ciclo de trabajo y la modulación de la potencia en función de los parámetros establecidos y mencionados. También se puede supervisar el encendido del equipo y el accionamiento de cada etapa. A continuación, se muestran en las Ilustraciones la configuración de la comunicación entre el HMI Kinco GL043E y el PLC Delta DVP16ES200R, para ello una vez se ingresa al software del HMI Kinco, se selecciona el tipo de HMI que se está utilizando y posterior en la sección PLC seleccionamos Delta DVP ya que de este tipo es el PLC para utilizar, como se muestra en la Ilustración 40-3.

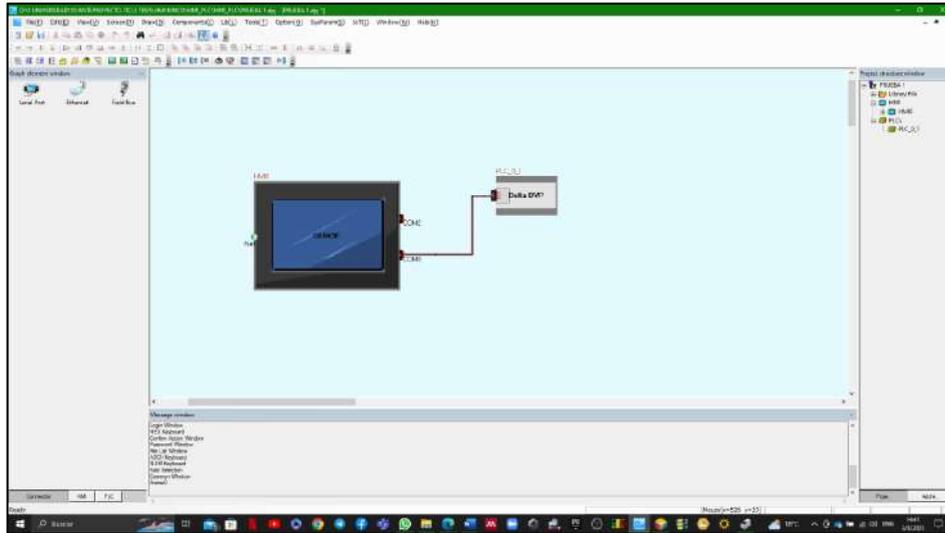


Ilustración 40-3: Selección de los elementos a utilizar para la comunicación.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

La configuración adecuada del HMI y del PLC es esencial para garantizar una comunicación eficiente y confiable entre los dispositivos. Si la configuración no se realiza correctamente, es posible que el HMI y el PLC no puedan comunicarse correctamente, lo que podría provocar errores en el sistema y problemas de rendimiento. Por lo tanto, es importante configurar el número de estación del PLC y la comunicación del puerto COM0 del HMI para que puedan comunicarse entre sí de manera efectiva.

Además, configurar la comunicación Ethernet para cargar el diseño del software en el HMI físico es importante para garantizar que el diseño se cargue correctamente en el dispositivo. Esto asegura que el HMI pueda mostrar la información correcta y permitir el control adecuado del sistema.

En la Ilustración 41-3 se puede ver la configuración del HMI, que incluye la dirección de red y la configuración del puerto COM0. Esta información es crucial para garantizar que el HMI pueda comunicarse con otros dispositivos en la red y recibir los datos necesarios para el control del sistema.

En la Ilustración 42-3 se muestran los atributos del PLC, que incluyen el número de estación. Configurar correctamente el número de estación es importante para garantizar que el PLC pueda recibir y procesar los comandos del HMI de manera efectiva. Si el número de estación no está configurado correctamente, es posible que el PLC no pueda recibir los comandos del HMI, lo que podría provocar errores en el sistema. Por lo tanto, es importante configurar adecuadamente todos los atributos del PLC para garantizar un control eficiente del sistema.

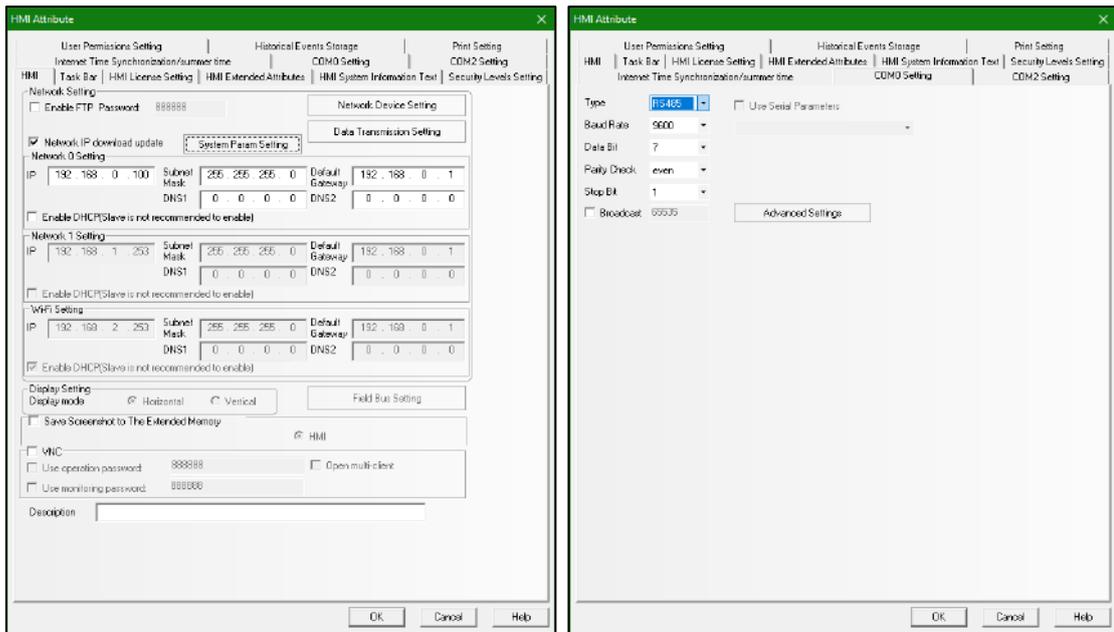


Ilustración 41-3: Configuración Network y COM0 del HMI.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

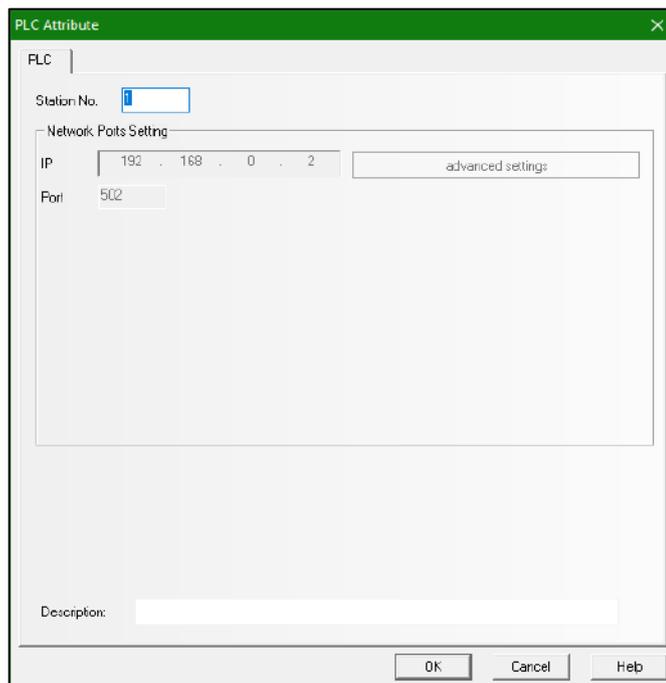


Ilustración 42-3: Configuración del número de estación del PLC.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Las pantallas del HMI son una herramienta crucial para el monitoreo y control del sistema del quemador PellasX. Estas pantallas permiten al operario visualizar y controlar los parámetros del sistema, lo que garantiza un funcionamiento eficiente y seguro del equipo.

Además, las pantallas del HMI diseñado para el sistema del quemador PellasX están especialmente adaptadas a las necesidades del operario y al sistema en sí. Esto significa que la información presentada en las pantallas es clara y fácil de entender, lo que permite al operario realizar ajustes y correcciones rápidamente en caso de ser necesario.

Las Ilustraciones que se muestran a continuación corresponden a las pantallas del HMI diseñado para monitorear y controlar el sistema del quemador PellasX. Estas ilustraciones son una muestra de cómo el diseño del HMI ha sido cuidadosamente diseñado para satisfacer las necesidades específicas del operario y del sistema. Con estas pantallas, el operario puede supervisar y controlar la temperatura, los tiempos y el control de tiempos de encendido y apagado, la limpieza, los ciclos de trabajo y la modulación de la potencia, entre otros parámetros importantes.

De este modo, en la Ilustración 43-3 se visualiza la pantalla principal del control del quemador Pellas X Mini, en esta ventana se observa los botones de inicio, paro, emergencia, apagar, además del modo automático, y la visualización de los indicadores al momento de que se accione cada variable, como el valor del sensor de temperatura. También se tiene un botón denominado Menú el cual nos direcciona hacia otra ventana como se observa en la Ilustración 44-3.

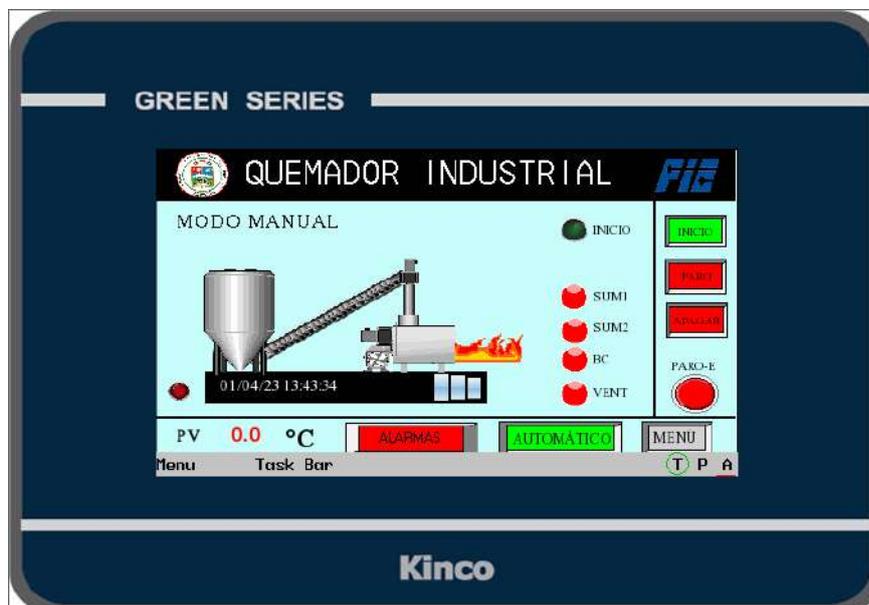


Ilustración 43-3: Pantalla principal del HMI.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

La Ilustración 43-3 muestra el Menú del tablero de control del quemador PellasX. Este menú permite acceder a información relevante, como las variables que están activadas y los valores de temperatura y potencia del quemador. Además, cuenta con una opción de curva de tendencia, que muestra con detalle el comportamiento del sensor de temperatura a través de una gráfica que

cambia en función de la temperatura que se está midiendo, en la cual se puede realizar zoom a la gráfica, visualizar el dato en tiempo real en el punto deseado y tener un historial de lectura con el desplazador. Esto se puede apreciar en la figura 47-3.



Ilustración 44-3: Menú de configuración del HMI.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Además, el menú consta de una pantalla emergente en la cual se muestra las variables que están activas dentro del proceso, así como los valores de temperatura y potencia del equipo, así como se muestra en la Ilustración 45-3.



Ilustración 45-3: Información general del quemador PellasX.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

El menú también cuenta con un modo manual, como se muestra en la figura 46-3, que permite activar manualmente las variables del equipo para verificar que cada componente esté funcionando correctamente antes de poner en marcha el quemador. Es importante asegurarse de que el tornillo sin fin 2 esté cargado de pellets y de que la tolva tenga el suministro de pellets adecuado para su correcto funcionamiento.



Ilustración 46-3: Control Manual del equipo del HMI.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.



Ilustración 47-3: Curva de tendencia del sensor de temperatura del HMI.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Esta interfaz gráfica también cuenta con una pantalla que nos muestra un historial de las alarmas generadas en función de los errores que se produzcan. En esta pantalla se indica la hora en la que se produjo el error y se registra la hora en la que el operador reaccionó ante el problema en el tablero, como se puede observar en la Ilustración 48-3.



Ilustración 48-3: Pantalla de alarmas del HMI.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Finalmente, el Menú avanzado permite configurar los parámetros que permiten un control eficiente del quemador. En esta sección se pueden establecer los parámetros de encendido, apagado, limpieza, potencia, temperatura y trabajo, como se muestra en la Ilustración 49-3. Esta configuración es crucial para garantizar un rendimiento óptimo del quemador.



Ilustración 49-3: Menú Avanzado para configurar el quemador.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se llevó a cabo una evaluación y validación exhaustiva del sistema de control del quemador PellasX. Se utilizaron varios métodos de análisis, incluyendo la observación directa, la comparación con equipos patrón y la estadística descriptiva, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Además, se llevaron a cabo pruebas rigurosas en diferentes etapas del sistema de control del quemador PellasX para ajustar los parámetros necesarios. Los resultados obtenidos demuestran la eficacia del sistema de control del quemador PellasX en todas las pruebas realizadas.

4.1 Pruebas de funcionamiento de las etapas del quemador PellasX

Como se ha mencionado en secciones anteriores, el ciclo de funcionamiento del sistema de control del quemador Pellas X Mini consta de varias etapas. En este Proyecto Técnico, se ha diseñado un tablero de control para el sistema del quemador PellasX, y se ha evaluado cuidadosamente los valores adecuados para cada etapa, además de realizar pruebas específicas para asegurar su correcto funcionamiento.

4.1.1 *Evaluación de etapa de limpieza*

El objetivo de esta prueba es evaluar el proceso de eliminación de cenizas del quemador Pellas X Mini, con el propósito de determinar el método más efectivo de limpieza, la eficiencia en la eliminación de cenizas, el tiempo de inactividad y la frecuencia necesaria para limpiar el equipo, incluyendo los tiempos de encendido y apagado.

Se evaluó la frecuencia necesaria para limpiar el quemador para evitar la acumulación de cenizas y la obstrucción del flujo de aire, lo cual puede afectar la eficiencia del quemador y causar pérdida de llama. El equipo se mantiene encendido durante largos períodos, por lo que se configuró la turbina que incorpora el quemador PellasX para activarse tanto en el encendido como en el apagado del equipo. De esta manera, se asegura que no haya impurezas en la cámara de combustión al iniciar el proceso de encendido, utilizando el accionamiento de la turbina como método de limpieza.

También se evaluó la eficiencia en la eliminación de cenizas y la prevención de su acumulación futura, midiendo el grosor de la capa de ceniza antes y después de la limpieza, y verificando que el flujo de aire esté desobstruido después de la limpieza. Además, se evaluó el tiempo de inactividad necesario para realizar la limpieza y restaurar el funcionamiento del quemador, con el objetivo de evitar afectar la eficiencia y productividad del proceso.

Se definieron los parámetros necesarios para llevar a cabo la evaluación de la etapa de limpieza, tomando 15 muestras y empleando métodos empíricos y de observación recogidos de la experiencia del operador. Los resultados se presentan en las Tablas 1-4 y 2-4.

Tabla 1-4: Evaluación de etapa de limpieza encendido

Muestras	Método de limpieza [%]	Tiempo de actividad [seg]	Valor referencial ideal [%]	Eficiencia de limpieza [%]	Error absoluto	Error relativo [%]
1	30%	10	100	5	95	0,95
2		20	100	15	85	0,85
3		30	100	20	80	0,8
4		40	100	30	70	0,7
5		50	100	35	65	0,65
6	50%	10	100	15	85	0,85
7		20	100	20	80	0,8
8		30	100	25	75	0,75
9		40	100	40	60	0,6
10		50	100	50	50	0,5
11	100%	10	100	35	65	0,65
12		20	100	45	55	0,55
13		30	100	60	40	0,4
14		40	100	85	15	0,15
15		50	100	95	5	0,05

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los porcentajes de eficiencia de limpieza, los cuales se basan en la experiencia del operador, para la etapa de limpieza antes del encendido.

Tabla 2-4: Evaluación de etapa de limpieza apagado

Muestras	Método de limpieza [%]	Tiempo de actividad [min]	Valor referencial ideal [%]	Eficiencia de limpieza [%]	Error absoluto [%]	Error relativo [%]
1	30%	2	100	5	95	0,95
2		3	100	12	88	0,88

3		4	100	17	83	0,83
4		5	100	25	75	0,75
5		6	100	27	73	0,73
6	50%	2	100	20	80	0,8
7		3	100	35	65	0,65
8		4	100	42	58	0,58
9		5	100	56	44	0,44
10		6	100	68	32	0,32
11	100%	2	100	45	55	0,55
12		3	100	53	47	0,47
13		4	100	72	28	0,28
14		5	100	85	15	0,15
15		6	100	98	2	0,02

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los porcentajes de eficiencia de limpieza, los cuales se basan en la experiencia del operador, para la etapa de limpieza en el apagado.

Según la Tabla 1-4 y la Tabla 2-4, se ha determinado que el error relativo porcentual máximo entre el valor de eficiencia ideal y la eficiencia visualmente determinada por el operario del equipo durante la etapa de limpieza en el encendido es del 0.05%, mientras que en la etapa de apagado es del 0.02%. Teniendo en cuenta los parámetros de análisis de datos experimentales previamente detallados, se puede concluir que los resultados experimentales cumplen con el criterio de calidad establecido, ya que los valores obtenidos son inferiores al 1% de error relativo. En consecuencia, se consideran como "buenos" los resultados experimentales.

Es importante destacar que los parámetros más adecuados para la etapa de limpieza antes del encendido y después del apagado son aquellos que se acercan más al valor ideal de limpieza, tal como se puede observar en la Ilustración 1-4.



Ilustración 1-4: Etapa de limpieza del quemador PellasX.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.1.2 Evaluación de etapa de encendido

Para determinar la llama adecuada en la etapa de encendido del quemador Pellas X Mini, se compararon los tiempos del proceso de encendido. En esta etapa, se activaron el motor sin fin 1, motor sin fin 2, la bujía cerámica y la turbina del ventilador. Se realizaron pruebas experimentales para evaluar los tiempos óptimos en el proceso de encendido, tomando 15 muestras a tres niveles de ventilación diferentes: 30%, 50% y 100%. Se eligieron estos niveles porque la turbina del ventilador tiene tres velocidades (máxima, media y mínima) que se utilizan en la etapa de modulación de temperatura. Por lo tanto, se tomó el valor del 100% como máxima ventilación, el 50% como ventilación media y el 30% como mínima ventilación. La tabla 3-4, 4-4 y 5-4 muestran los resultados de las pruebas experimentales. Estos resultados serán útiles para mejorar la eficiencia del quemador Pellas X Mini y reducir las emisiones contaminantes. Es importante destacar que se llevaron a cabo las pruebas experimentales con combustible de biomasa (pellets de madera) y en un entorno encerrado, donde no influya el viento o clima, lo que permitirá una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

Tabla 3-4: Evaluación en la etapa de encendido con la turbina al 30%

Muestras	Activación Turbina [%]	Activación Sin Fin 1 [seg]	Activación Sin Fin 2 [seg]	Activación BC [seg]	Tiempo Ventil. Desp [seg]	Cumple	
						SI	NO
1	30%	10	5	160	130		✓
2		20	10	170	140		✓

3		30	15	180	150		✓
4		40	25	190	160		✓
5		55	30	200	170		✓
6		10	5	210	180		✓
7		20	10	220	190		✓
8		30	15	230	200		✓
9		40	25	240	210		✓
10		55	30	250	220		✓
11		10	5	260	230		✓
12		20	10	270	240		✓
13		30	15	280	250		✓
14		40	25	290	260		✓
15		55	30	300	270		✓

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: La tabla actual presenta si los parámetros considerados en las 15 muestras permiten un buen encendido.

Al analizar los datos recopilados en la Tabla 3-4, se observa que al accionar el ventilador al 30%, no se logra obtener una llama adecuada durante ningún periodo de tiempo en la etapa de encendido. Por lo tanto, se descartó el uso de la ventilación al 30% en esta etapa.

Tabla 4-4: Evaluación en la etapa de encendido con la turbina al 50%

Muestras	Activación Turbina [%]	Activación Sin Fin 1 [seg]	Activación Sin Fin 2 [seg]	Activación BC [seg]	Tiempo Ventil. Desp [seg]	Cumple	
						SI	NO
1	50%	10	5	160	130		✓
2		20	10	170	140		✓
3		30	15	180	150		✓
4		40	25	190	160		✓
5		55	30	200	170		✓
6		10	5	210	180		✓
7		20	10	220	190		✓
8		30	15	230	200		✓
9		40	25	240	210		✓
10		55	30	250	220		✓
11		10	5	260	230		✓
12		20	10	270	240		✓

13		30	15	280	250		✓
14		40	25	290	260		✓
15		55	30	300	270		✓

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: La tabla actual presenta si los parámetros considerados en las 15 muestras permiten un buen encendido, con la turbina al 50%.

Al analizar los datos recopilados en la Tabla 4-4, se puede observar que no se obtiene una llama adecuada durante la etapa de encendido al accionar el ventilador al 50%. Por lo tanto, se decidió descartar el uso de la ventilación al 50% en esta etapa. Sin embargo, si se consideran otros parámetros, se podría determinar el encendido, aunque esto implicaría que el tiempo de encendido se extienda, lo que reduciría la eficiencia.

Tabla 5-4: Evaluación en la etapa de encendido con la turbina al 100%

Muestras	Activación Turbina [%]	Activación Sin Fin 1 [seg]	Activación Sin Fin 2 [seg]	Activación BC [seg]	Tiempo Ventil. Desp [seg]	Cumple	
						SI	NO
1	100%	10	5	160	130		✓
2		20	10	170	140		✓
3		30	15	180	150		✓
4		40	25	190	160		✓
5		55	30	200	170		✓
6		10	5	210	180		✓
7		20	10	220	190		✓
8		30	15	230	200		✓
9		40	25	240	210		✓
10		55	30	250	220		✓
11		10	5	260	230		✓
12		20	10	270	240		✓
13		30	15	280	250		✓
14		40	25	290	260		✓
15		55	30	300	270	✓	

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: La tabla actual presenta si los parámetros considerados en las 15 muestras permiten un buen encendido, con la turbina al 100%.

De acuerdo con los datos de la Tabla 5-4, se encontró que la muestra 15 logro una eficiencia adecuada al considerar los datos de tiempo al accionar la turbina al 100%. En consecuencia, se optó por utilizar estos parámetros para la etapa de encendido, tal como se muestra en la Ilustración

2-4. Además, se determinó un nuevo parámetro llamado "tiempo encendido llama", el cual tiene como objetivo mantener la llama de encendido antes de proceder con la siguiente etapa de operación. Este parámetro se estableció en un tiempo de entre 30 y 60 segundos, con el fin de garantizar que, una vez detectada una buena llama, esta se mantenga y no se produzca un error de encendido.



Ilustración 2-4: Menú Avanzado para configurar el quemador.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.1.2.2 Evaluación del tiempo de fallo de encendido

En la sección anterior, se definieron los parámetros adecuados para la etapa de encendido. Como medida de seguridad, se consideró un tiempo de fallo de encendido y se realizaron pruebas experimentales para configurar este tiempo. Se estableció un tiempo mínimo de 4 minutos para el fallo de encendido, ya que un tiempo menor podría interferir con otros procesos en ejecución o afectar la determinación de una llama estable en la etapa de encendido.

Una vez transcurrido el tiempo definido, se procede a un segundo intento de encendido, reduciendo los parámetros de los motores sin fin 1 y 2 en un 75% con respecto a los valores de la Tabla 5-4. Si se accionaran al 100% los motores sin fin, la cámara de combustión se llenaría de una cantidad de pellets que no sería adecuada para encender el sistema.

En caso de que el segundo intento de encendido no tenga éxito, se activará una alarma de Error de fallo de encendido, lo que detendrá todo el proceso del equipo. Esto puede deberse a que los

parámetros definidos no son los correctos o a que la tolva de suministro de pellets no contenga la cantidad adecuada de pellets para realizar la etapa de encendido.

Es importante considerar que la etapa de encendido es crucial para el correcto funcionamiento del sistema, por lo que se debe prestar especial atención a la configuración de los parámetros y la cantidad de pellets suministrados para evitar posibles fallas.

4.1.3 Evaluación de etapa de apagado

Se han considerado diferentes tiempos para evaluar la etapa de apagado y determinar el más adecuado para el quemador de biomasa. Dado que apagar el equipo en un corto período de tiempo podría dejar restos de ceniza o pellets encendidos en la cámara de combustión, se llevaron a cabo 15 muestras para determinar el tiempo de apagado óptimo. Los resultados se presentan en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Evaluación de etapa de apagado

Muestras	Activación Turbina [%]	Tiempo de apagado [min]	Cumple	
			SI	NO
1	100%	2		✓
2		4		✓
3		6		✓
4		8	✓	
5		10	✓	
6		12	✓	
7		14	✓	
8		16	✓	
9		18	✓	
10		20	✓	
11		22	✓	
12		24	✓	
13		26	✓	
14		28	✓	
15		30	✓	

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los porcentajes de eficiencia de limpieza, los cuales se basan en la experiencia del operador, para la etapa de limpieza en el apagado.

Según la Tabla 6-4, se ha determinado que el tiempo mínimo de apagado adecuado es de 8 minutos. Es importante tener en cuenta que seleccionar un tiempo menor a este valor podría dejar residuos de ceniza en la cámara de combustión y afectar el funcionamiento del sistema. Por lo tanto, se han establecido los parámetros óptimos de apagado, los cuales se presentan en la Ilustración 3-4.



Ilustración 3-4: Menú Avanzado para configurar el quemador.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.2 Pruebas de lazo de instrumentación para el quemador PellasX

Se busca verificar la integridad de las conexiones eléctricas en el tablero de control y confirmar que las señales de mando y control se ejecutan correctamente para los actuadores eléctricos, de acuerdo con los requisitos establecidos en la sección 3.4. La medición de continuidad eléctrica entre los componentes interconectados se realiza utilizando la pinza amperimétrica Fluke 325, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el anexo T. Además, para confirmar el correcto funcionamiento de cada pulsador de mando, se observa la activación de las luces piloto correspondientes en el tablero físico y en la interfaz hombre-máquina (HMI).

Los resultados de esta etapa de pruebas para el sistema de control del quemador PellasX se presentan en la Tabla 7-4, en la que se detallan las acciones realizadas y las observaciones obtenidas.

Tabla 7-4: Pruebas de lazo de instrumentación para el quemador PellasX

Elemento de mando/control	Acción del elemento mando/control	Descripción	Cumple		Existe continuidad	
			Si	No	Si	No
SF0	QM4	El pulsador de paro SF0 activa la luz indicadora amarilla QM4, cuando es accionado deteniendo completamente el proceso.	✓		✓	
SF1	QM0	El pulsador inicio SF1 activa en función al proceso la Bujía Cerámica.	✓		✓	
	QM1/QM5/QM6	El pulsador inicio SF1 cuando este puesto en marcha el equipo activa los relés de QM1/QM5/QM6, de los ventiladores del quemador PellasX.	✓		✓	
	QM2/QM3	El pulsador inicio SF1 activa en función al cuando este puesto en marcha el equipo activa los relés QM2/QM3, para el accionamiento de los motores sin fin 1 y sin fin 2	✓		✓	
	QM4	El pulsador de inicio SF1 activa la luz indicadora amarilla QM4, cuando es accionado iniciando el proceso.	✓		✓	
SF2	QM7	El pulsador de emergencia SF2 activa el buzzer QM7 cuando es accionado poniendo en pausa el proceso y mostrando una alerta en la interfaz HMI	✓		✓	

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los valores de temperatura / resistencia del sensor PT100.

Tras examinar la Tabla, se puede constatar que el tablero de control del quemador Pellas X Mini cuenta con una conexión continua, y que se han seguido las acciones recomendadas para cada elemento de control. Por lo tanto, se puede concluir que el dispositivo no presentará fallos durante su funcionamiento.

4.3 Caracterización de pellets de madera

La evaluación de la exactitud y repetibilidad de las mediciones del pesaje del pellet es fundamental para determinar los valores de potencia calorífica del quemador PellasX. Para evaluar la exactitud, se compararon las mediciones obtenidas con las de un equipo patrón comercial, se calcularon la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos para analizar su dispersión. El coeficiente de variación se utiliza para determinar si los datos son aceptables o no. Si el coeficiente de variación es cercano al 0%, la muestra es homogénea, es

decir, hay poca variabilidad entre las mediciones. Si supera el 30%, la media no es representativa y es necesario revisar la técnica de medición. Si el coeficiente de variación tiende al 100%, los datos son demasiado dispersos y se deben descartar.

4.3.1 Normalidad de datos del peso del pellet en muestras de 10 seg

Se utilizó el equipo patrón comercial "Balanza Digital Imperial" como se mencionó previamente, en la Ilustración 4-4 se puede observar el equipo comercial. La hoja de datos del equipo indica que su precisión es de ± 1 gramo. Para cada medición de pesaje se establecieron 30 muestras durante un periodo de 10 segundos con una diferencia temporal de 1 minuto, tal como se muestra en la Tabla 8-4. Después de la recopilación de los datos, se realizó una prueba de normalidad utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 26 (IBM, 2021) para evaluar la validez de los datos.



Ilustración 4-4: Balanza Digital Imperial.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Tabla 8-4: Muestras de pellets en 10 seg. cada 1 min.

Muestras	Peso Pellets en 10 seg [gr]	Muestras	Peso Pellets en 10 seg [gr]
1	25,00	16	25,00
2	27,00	17	25,00
3	25,00	18	24,00
4	27,00	19	22,00
5	25,00	20	27,00
6	26,00	21	26,00

7	23,00	22	24,00
8	28,00	23	26,00
9	24,00	24	25,00
10	25,00	25	25,00
11	24,00	26	23,00
12	23,00	27	24,00
13	23,00	28	25,00
14	24,00	29	25,00
15	25,00	30	26,00

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se observa las 30 muestras que se realizaron de pesaje de pellets durante un tiempo de 10 segundos.

Para el análisis de los datos del pesaje del pellet se colocan los 30 datos en el software, seleccionamos el menú analizar, en comparar medias y pasamos a colocar en Prueba T para una muestra, como se indica en la Ilustración 5-4, posterior nos direccionara hacia otra ventana, donde se muestra los resultados obtenidos por el software como se observa en la Ilustración 6-4.

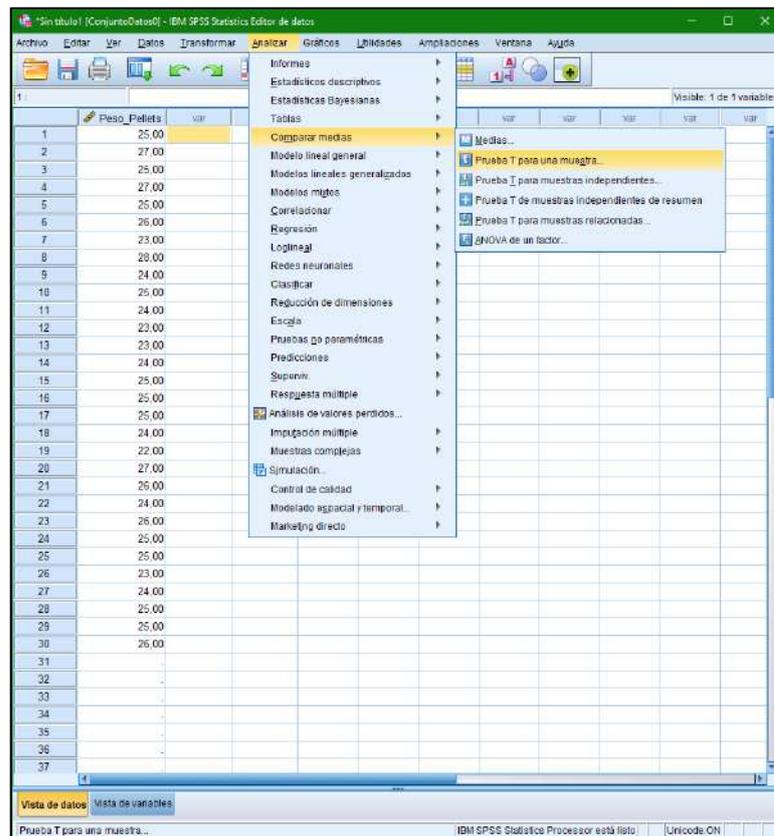


Ilustración 5-4: Balanza Digital Imperial.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

```
T-TEST
/TESTVAL=0
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=Peso_Pellets
/CRITERIA=CI (.95).
```

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Peso_Pellets	30	24,8667	1,38298	,25250

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 0

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Peso_Pellets	98,483	29	,000	24,86667	24,3503	25,3831

Ilustración 6-4: Prueba T para una muestra, del pesaje de pellets.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023

Como se puede observar, los resultados de la prueba T para una muestra indican una media, una desviación estándar y un error promedio, siendo este último del 0.2525%. De acuerdo con el análisis realizado, los valores porcentuales están próximos a 0% y son menores al 30%, lo que indica que las muestras son compactas y tienen poca variabilidad. Además, se establece la validez de los resultados experimentales de humedad relativa determinados por el pesaje realizado.

Una vez determinada la validez de los datos, se realiza una prueba no paramétrica para evaluar la normalidad de estos. Se obtuvo un resumen de contraste de hipótesis, en el cual se concluye que se rechaza la hipótesis nula y se determina una normalidad en los datos con una media de 24.87 gramos y una desviación estándar de 1.383, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra, como se observa en la Ilustración 7-4.

```
*Nonparametric Tests: One Sample.
NPTESTS
/ONESAMPLE TEST (Peso_Pellets)
/MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE
/CRITERIA ALPHA=0.05 CILEVEL=95.
```

Pruebas no paramétricas

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Peso_Pellets es normal con la media 24,87 y la desviación estándar 1,38298.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,005 ^a	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,050.
a. Lilliefors corregido

Ilustración 7-4: Prueba no paramétrica T para una muestra.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023

4.4 Evaluación de tiempos de trabajo del quemador PellasX

La evaluación de los tiempos de trabajo del quemador Pellas X Mini es fundamental para determinar su eficiencia y rendimiento. Es importante tener en cuenta que el tiempo de trabajo del quemador puede verse afectado por varios factores, como el tipo de combustible utilizado y la potencia del quemador. Por ejemplo, un combustible con mayor humedad o que haya caducado puede afectar el rendimiento del quemador.

Para realizar una evaluación precisa del tiempo de trabajo del quemador, es necesario medir la etapa de encendido y el tiempo de combustión. Estos tiempos son esenciales para conocer la eficiencia energética del equipo y detectar posibles problemas de funcionamiento.

Para ello, en la sección 4.3, se normalizó el pesaje del pellet en un intervalo de 10 segundos, lo que representa el tiempo de accionamiento del alimentador del motor sin fin 2, encargado de suministrar la cantidad de pellets hacia el quemador tomando este tiempo como tiempo de trabajo del quemador, tomando en cuenta que este parámetro puede variar en función a los parámetros establecidos anteriormente. Otro parámetro importante que se determinó en la etapa de trabajo fue el accionamiento del ventilador, ya que un quemador de biomasa requiere una mezcla de aire y pellets para su combustión. Por consiguiente, se realizó un esquema de trabajo entre el accionamiento de la turbina y el alimentador, como se muestra en la Ilustración 8-4. Este proceso permitió realizar una evaluación precisa del tiempo de trabajo del quemador Pellas X Mini.

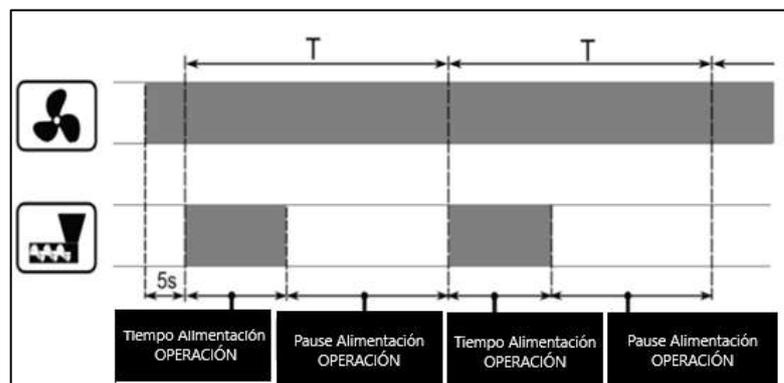


Ilustración 8-4: Periodos de funcionamiento de ventilador y alimentadores.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Después de analizar el esquema de funcionamiento del quemador, se ha establecido un intervalo de tiempo (T) para su operación, el cual dependerá de la potencia a la que se quiera utilizar el quemador. En general, cuanto más corto sea el tiempo de trabajo, menor será el tiempo de descanso necesario para el alimentador, lo que resultará en un aumento de la potencia del

quemador. Por otro lado, cuanto más largo sea el tiempo de trabajo, mayor será el tiempo de descanso necesario para el alimentador, lo que resultará en una disminución de la potencia del quemador. Estos dos factores están directamente relacionados.

De esta forma, se ha definido que el tiempo de trabajo dependerá de la potencia deseada, tomando como referencia un valor óptimo de 30 segundos de trabajo y 10 segundos de accionamiento del alimentador, lo que dará como resultado un tiempo de descanso de 20 segundos para el alimentador. En la Ilustración 9-4, se pueden observar los parámetros establecidos en el HMI, donde se establece la caloricidad del combustible (en este caso, pellets) definida por el operador del equipo, siendo de 13 Kwh/Kg. En la Ilustración 10-4, como se ha definido en la sección anterior, se ha establecido un intervalo de pesaje normal de 10 segundos. Antes de poner en marcha el equipo, el operador pesa los pellets para determinar la potencia que producirá el equipo, según el tipo de pellets utilizados.



Ilustración 9-4: Menú del HMI de tiempo de trabajo del quemador.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.



Ilustración 10-4: Menú del HMI del pesaje de pellets en 10 seg.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.5 Evaluación de etapa de modulación de potencia

Para evaluar la siguiente prueba se tomó en consideración dos valores de histéresis denominados H1 y H2, los cuales son los parámetros en función al porcentaje de la ventilación, de modo que H2 representa la histéresis de temperatura cuando se accione la turbina al 50%, mientras que H1 es la histéresis de temperatura cuando se accione la turbina al 30%, con el fin de realizar la modulación de la potencia, mediante el accionamiento de la modulación de la turbina a los 3 niveles 30%, 50% y 100%, como se definió en la sección 4.1.2. De este modo, mediante pruebas experimentales en la etapa de modulación y la experiencia del operador se determinó un rango de histéresis de 1°C hasta 30°C para los parámetros H1 y H2, con lo cual se toma en consideración, que cuando el valor de H1 sea menor que H2, se tiene 3 niveles de potencia (100%, 50% y 30%), mientras que, al contrario, cuando H1 sea mayor que H2, se determina 2 niveles de potencia (100% y 30%), descartando la modulación al 50%, como se muestra en la Ilustración 11-4.

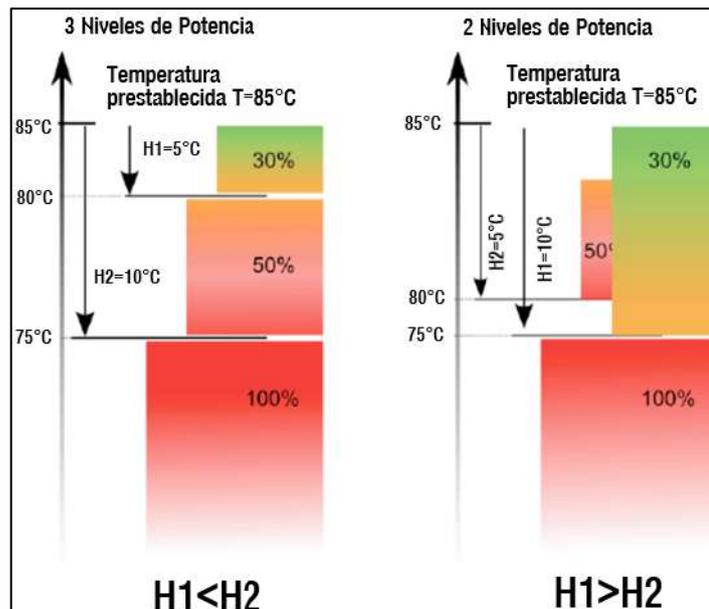


Ilustración 11-4: Histéresis $H1$ y $H2$ de modulación de potencia.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

Al analizar la Ilustración 11-4, se ha tomado como referencia un valor de temperatura de 85°C. Como se ha mencionado anteriormente, cuando $H1$ es menor que $H2$ se tienen tres niveles de potencia, modulando la temperatura y la ventilación a tres porcentajes de velocidad (100%, 50% y 30%). En cambio, cuando $H1$ es mayor que $H2$, se obtienen dos niveles de potencia, modulando la temperatura accionando la turbina entre 100% y 30%.

Se ha considerado la utilización de estos niveles de potencia porque se ha observado que al accionar continuamente la turbina al 100%, se producen desperdicios de combustible y se eleva demasiado la temperatura, llegando a mostrar una alerta de máxima temperatura y apagando el equipo. Por otro lado, al accionar la turbina únicamente al 50% durante el proceso de modulación de temperatura, no se consigue elevar la temperatura de forma inmediata, lo que mantiene una temperatura baja y no se alcanza el nivel deseado. Por último, al accionar la turbina únicamente al 30% durante la etapa de modulación de temperatura, no se consigue mantener la llama establecida en la etapa de encendido, lo que produce un nivel bajo de potencia calorífica y tarda mucho más en alcanzar el valor deseado, además de llenar la cámara de combustión de pellets, lo cual resulta contraproducente y afecta el estado del quemador.

Se han evaluado varios aspectos del sistema de ventilación y alimentación de pellets en relación con la potencia de la turbina. En cada nivel de potencia se ha determinado el tiempo de operación del motor sin fin 2 y se han observado sus valores de accionamiento. En el caso de operar la turbina al 100%, se ha notado que el motor sin fin 2 tiene un rango de operación de 8.1 a 20 segundos, debido a que la ventilación consume rápidamente los pellets de madera en la cámara

de combustión. Al operar la turbina al 50%, se han registrado valores de accionamiento del motor sin fin 2 entre 3.1 y 9.9 segundos, mientras que para el 30% de potencia, el intervalo de operación del motor sin fin 2 es de 1 a 7.9 segundos. Estos resultados se obtuvieron mediante observación, pruebas experimentales y evaluación por parte del operario del equipo.

En consecuencia, se ha definido el uso de los tres niveles de accionamiento de la turbina, teniendo en cuenta que a medida que se acerca al valor deseado de temperatura, se acciona cada vez más baja la turbina, de modo que la temperatura se eleve y baje y se mantenga en ese proceso, cumpliendo con el objetivo de modular la temperatura, la ventilación y la cantidad de pellet que se suministra, produciendo un tipo de control ON/OFF. Estos parámetros se observan en la Ilustración 12-4.



Ilustración 12-4: Menú de modulación de potencia.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.6 Parametrización del sensor de temperatura PT100 de 3 Hilos

En esta sección se llevaron a cabo pruebas centradas en los elementos que conforman el bloque del sensor de temperatura, ya que para este proyecto se ha desarrollado un tablero de control que se encarga de modular la temperatura, el aire y la madera del quemador Pellas X Mini. Para garantizar la precisión y la confiabilidad de la medición, se ha optado por utilizar la norma IEC 60751 como referencia (IEC 60751, 2008).

La evaluación de la exactitud y repetibilidad de las mediciones del sensor es fundamental. Para evaluar la exactitud, se ha calculado el error relativo porcentual de un conjunto de datos que

compara la medida registrada por el sensor de temperatura PT100 con la medida resultante de un equipo patrón comercial. De acuerdo con la metodología propuesta por Graciea Lecumberry (Santo y Lecumberry, 2005), el error relativo porcentual ($er\%$) se emplea como criterio de calidad de un resultado experimental. Si el valor del $er\%$ se encuentra en el rango del 1% al 5%, se considera que el resultado es bueno, mientras que, si está en el rango del 5% al 10%, es aceptable. Sin embargo, si el $er\%$ supera el 10%, el resultado se considera poco confiable.

4.6.1 Sensor de temperatura PT100 3 hilos

En la sección anterior (2.5), se presentaron diferentes tipos de sensores de temperatura disponibles en el mercado. De estos, los termistores RTD han demostrado ser altamente eficientes en la industria. Según la sección 2.5.1.1, se eligió un sensor de temperatura RTD PT100 de 3 hilos Modelo MT-225A, el cual opera en un rango de temperatura de -50°C ~ 420°C , un error de precisión de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ a $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y tiene una longitud máxima de 2 m, como se observa en la Ilustración 13-4, siendo que para este proyecto técnico se necesita lecturas máximas de 300°C , lo hace ideal, además, que asegura mediciones precisas y confiables en comparación con los sensores PT100 de 2 hilos.

Es importante destacar que el sensor RTD funciona mediante la variación de su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Por lo tanto, se debe medir la resistencia proporcionada por el sensor para conocer la temperatura con exactitud.



Ilustración 13-4: Sensor RTD PT100-2m

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.6.2 Relación ente temperatura y resistencia

Entonces, el sensor PT100 es un elemento pasivo, consiste en un alambre de platino por sus siglas PT, siendo eficaz por su resistencia a la corrosión y una excelente estabilidad a largo plazo. Normalmente están encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material, en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegidos del tubo de acero (BASTIDAS y MOYANO, 2018). Por otra parte, el sensor PT100 tiene una resistencia de 100Ω a 0°C , este valor va en función al número del sensor PT, y según la Norma Internacional IEC (2018, p.6), que especifica los requisitos y la relación temperatura/resistencia para sensores industriales de temperatura de platino su coeficiente de temperatura α , está definido por la Ecuación 1-4:

Ecuación 1-4: Ecuación del coeficiente de Temperatura

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 * 100^\circ\text{C}}$$

Donde:

- α : Coeficiente de temperatura
- R_{100} : Resistencia a 100°C
- R_0 : Resistencia a 0°C

De este modo, como se mencionó anteriormente y en base a los valores de la norma IEC 60751, el valor del coeficiente de tempera se observa en la Ecuación 2-4:

Ecuación 2-4: Coeficiente de temperatura

$$\alpha = 3.851 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Para calcular la relación entre temperatura y resistencia, es necesario tener en cuenta que, para cada valor de temperatura, existe un valor de resistencia preciso. Esta relación se puede expresar a través de fórmulas matemáticas, tal como se indica en la Ecuación 3-4 y la Ecuación 4-4 (IEC 60751, 2008, pp.8-9):

Para el rango de temperatura de $-50\sim 0^\circ\text{C}$, se aplica independiente del diseño del sensor:

Ecuación 3-4: Ecuación relación $^\circ\text{C}/\Omega$ para lecturas bajo 0°C

$$R_t = R_0 * [1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C}) * t^3]$$

Mientras que para el rango de $0\sim 420^\circ\text{C}$, se aplica:

Ecuación 4-4: Ecuación relación °C/Ω para lecturas mayores a 0°C

$$R_t = R_0 * [1 + At + Bt^2]$$

Donde:

- t Temperatura en °C
- R_t : Resistencia en Ohmios de la temperatura captada
- R_0 : Resistencia en Ohmios con $t=0^\circ\text{C}$

Y las constantes en las ecuaciones son:

- $A = 3.9083 * 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $B = -5.775 * 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$
- $C = -4.183 * 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4}$

De este modo, obtenemos los siguientes datos para el sensor de temperatura en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4: Relación temperatura / Resistencia, $R_0 = 100,00 \Omega$

Temperatura °C	Resistencia a la temperatura Ω	Temperatura °C	Resistencia a la temperatura Ω
-50	80,25	190	172,16
-40	84,22	200	175,84
-30	88,18	210	179,51
-20	92,13	220	183,17
-10	96,07	230	186,82
0	100,00	240	190,46
10	103,90	250	194,08
20	107,79	260	197,69
30	111,67	270	201,29
40	115,54	280	204,88
50	119,40	290	208,46
60	123,24	300	212,03
70	127,07	310	215,59
80	130,89	320	219,13
90	137,70	330	222,66
100	138,50	340	226,18
110	142,29	350	229,69
120	146,06	360	233,19
130	149,83	370	236,67
140	153,58	380	240,15
150	157,32	390	243,61

160	161,05	400	247,06
170	164,76	410	250,53
180	168,47	420	253,96

Fuente: IEC 60751.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los valores de temperatura / resistencia del sensor PT100.

Después de analizar la Tabla 9-4 de relación Temperatura/Resistencia, se ha creado una gráfica de puntos que muestra la media entre ambos parámetros, tal como se puede observar en la Ilustración 14-4, observando que la relación resistencia-temperatura del sensor PT100 no es perfectamente lineal, sino que presenta cierta curvatura.

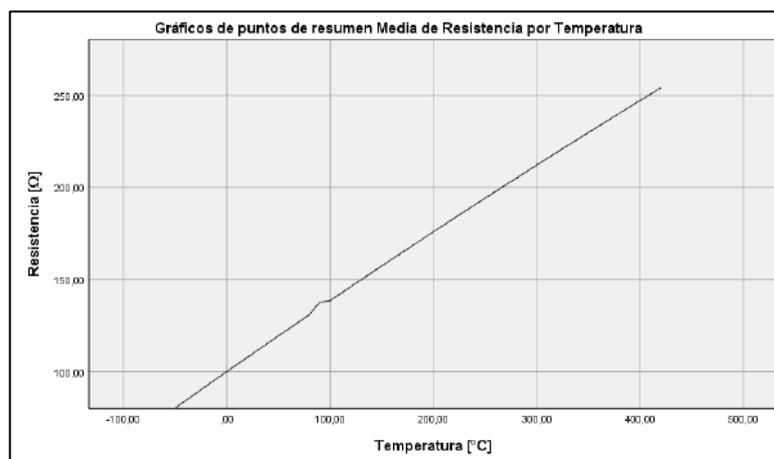


Ilustración 14-4: Grafica de relación entre los valores de Temperatura y Resistencia.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

En este estudio, los datos de la Tabla 9-4 se han analizado utilizando una prueba de normalidad y T, con la ayuda del software IBM SPSS Statistics versión 26 (IBM, 2021). Para verificar la normalidad de los datos, se ha realizado una gráfica de comparación de cuantiles tanto de los datos de temperatura como de los valores de resistencia, tal como se puede apreciar en la Ilustración 15-4. Además, se ha evaluado la prueba del rechazo de la hipótesis nula para las medidas de los datos de temperatura y resistencia.

Este enfoque metodológico permite verificar la normalidad de los datos antes de realizar análisis posteriores. Si los datos no siguen una distribución normal, esto puede afectar la validez de los resultados de las pruebas estadísticas que se aplicarán posteriormente.

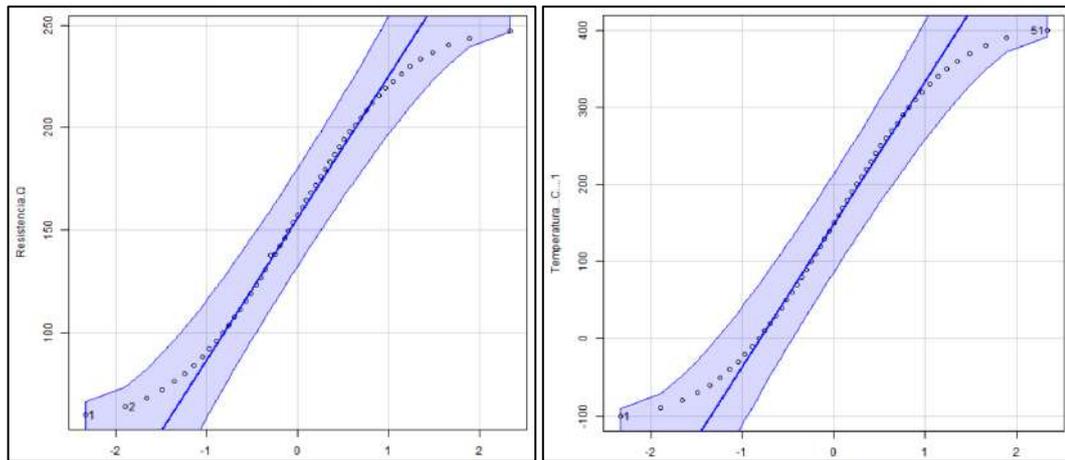


Ilustración 15-4:Gráfico de cuantiles normales para los datos de Resistencia y Temperatura.

Fuente: (IBM, 2021).

Estos gráficos comparan los valores de los cuantiles de la distribución con los que deberían tener si los datos siguieran una distribución normal. Si los datos son normalmente distribuidos, los valores se alinean a lo largo de la diagonal del gráfico. En el caso de este estudio, se ha observado cierta desviación de los valores de los cuantiles, lo que sugiere que los datos no siguen completamente una distribución normal.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los gráficos de comparación de cuantiles no son una prueba definitiva de la normalidad de los datos. Aunque pueden ayudar a identificar posibles desviaciones de una distribución normal, no proporcionan una medida precisa de la normalidad. Por lo tanto, se realizaron pruebas de normalidad estadísticas adicionales, como la prueba de la prueba de Shapiro-Wilk, para evaluar más rigurosamente la normalidad de los datos, como se visualiza en la Tabla 10-4, mientras que en la Ilustración 16-4 se observa el rechazo de la hipótesis nula.

Tabla 10-4:Prueba t de Shapiro-Wilk.

Parámetros	Temperatura [°C]	Resistencia [Ω]
Media	150	156,107
Varianza	22100	3083,423
Observaciones	30	30
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	58	
Estadístico t	-2,275	
P(T<=t) una cola	0,392	
Valor crítico de t (una cola)	1,669	
P(T<=t) dos colas	0,784	
Valor crítico de t (dos colas)	1,998	

Fuente: IBM, 2021.

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra los valores de temperatura / resistencia del sensor PT100.

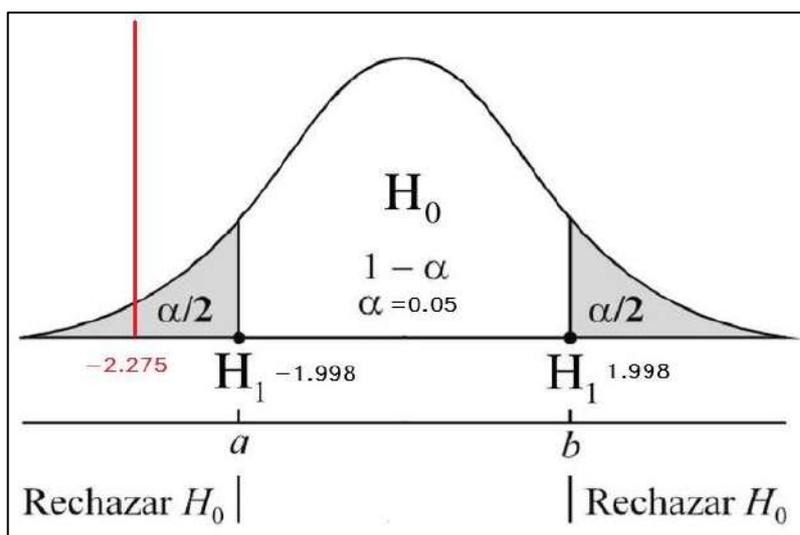


Ilustración 16-4: Rechazo de la hipótesis nula.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.6.2.2 Autocalentamiento y corriente de extracción

El autocalentamiento es un fenómeno en el que un sensor RTD experimenta un aumento leve en su temperatura cuando se le atraviesa una corriente de medición. Este efecto aumenta en magnitud cuando la intensidad de la corriente y el tiempo que permanece activa son mayores. Además, la estructura del sensor y su resistencia térmica al entorno también pueden influir en el autocalentamiento. Es importante tener en cuenta que el autocalentamiento puede generar un error de medición en los sensores de temperatura. La norma IEC 60751 (2018), establece que el autocalentamiento no debe superar el 25% de la tolerancia especificada para el sensor.

4.7 Puesta en marcha del sistema de control del quemador PellasX

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento del sistema de control de temperatura y el análisis de la estabilidad de este, junto con la evaluación de cada etapa, tiempos adecuados, control de temperatura y optimización de tiempos de funcionamiento, de manera general al recibir resultados favorables en todos los casos se puede concluir que el sistema de control para el quemador de biomasa se encuentra apoyo para su pleno funcionamiento, debido a que cumple con los requerimientos planteados en el proyecto. La Ilustración 17-4, Ilustración 18-4 e Ilustración 19-4 muestra el funcionamiento del sistema automático durante la ejecución del proceso respectivamente.



Ilustración 17-4: Puesta en marcha del sistema de control en la etapa de encendido.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.



Ilustración 18-4: Puesta en marcha del sistema de control en la etapa de modulación.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.



Ilustración 19-4: Puesta en marcha del sistema de control en la etapa de apagado.

Realizado por: Ojeda Kevin, 2023.

4.8 Análisis económico

En la Tabla 11-4, se describe el costo total requerido para la construcción del tablero de control para el quemador PellasX, para ello se describen los costos unitarios referentes a cada elemento que lo compone y la cantidad requerida.

Tabla 11-4: Evaluación económica del sistema de control para el quemador de biomasa.

Elemento	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
HMI Kinco GL043E 4,3 PLG Green Series	1	\$ 151,94	\$ 151,94
PLC Delta DVP16ES200R 8DI/8DO AC/DC/RLY	1	\$ 210,74	\$ 210,74
Pirómetro DTB4848VRE DELTA 100-240VAC OUT RELE, SSR	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Fuente de Poder MW MDR-60 24DC 2,5A	1	\$ 30,00	\$ 30,00
RTD PT100 3 Hilos	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Breaker Riel Din 2P 10A ABB	1	\$ 8,00	\$ 8,00
Breaker Riel Din 2P 2A STROM	1	\$ 5,50	\$ 5,50
Cable PLC Delta Programación Cable USB TO RS232 SERIES: ES, X,H,C,SE,V,S	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Conector DB9 RS232 hembra con bornera	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Gabinete metálico 40X30X20 cm BEAUCOUP	1	\$ 42,00	\$ 42,00
Canaleta ranurada DXN10032 25X25	1	\$ 4,70	\$ 4,70
Riel Din acero perforada	1	\$ 1,70	\$ 1,70
Selector Interruptor Candado ON/OFF 3P 20A	1	\$ 9,50	\$ 9,50
Pulsador Hongo INC	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Pulsador ON-OFF Base metálico 22mm	1	\$ 5,10	\$ 5,10
Buzzer C/Luz 220V 22mm	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Cable de termocupla 3x20 AWG	2	\$ 3,50	\$ 7,00
Barra Tierra 9x6mm	2	\$ 3,00	\$ 6,00
Baquelita de cobre	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Protectores de acrílico	3	\$ 4,00	\$ 12,00

Componentes electrónicos varios	-	-	\$ 90,00
Cable flexible AWG varios	-	-	\$ 30,00
Terminal aislado varios	-	-	\$ 5,00
Costo del sistema de control			\$ 800,00
Costo de ingeniería			\$ 300,00
Total			\$ 1100,00

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra el costo de los materiales utilizados para el Proyecto Técnico.

Con el costo total del tablero de control del quemador, se puede crear una tabla de comparación de costo-beneficio entre los dispositivos desarrollados y el equipo RControl EM890 con similares características que es perteneciente de PELLASX (PELLASX, 2019). Esto se detalla en la Tabla.

Tabla 12-4: Comparación del sistema de control propuesta entre el control RControl EM890.

Características	Sistema de control desarrollado	RControl EM890
Rango Sensor Temperatura [°C]	300	90
Adaptabilidad a otros sensores de temperatura	SI	NO
Tecnología de control	DVP16ES200R	Microcontrolador
Flexibilidad	SI	NO
Disponibilidad en el mercado local	SI	NO
Fácil movilidad	SI	SI
Soporte técnico local	SI	NO
Capacidad de monitoreo y digitalización de datos	SI	SI
Adaptabilidad a otras aplicaciones	SI	NO
Costo incluido importación	\$ 1100,00	\$ 2500,00

Realizado por: Ojeda, Kevin, 2023.

Nota: En la presente tabla se muestra el costo de los materiales utilizados para el Proyecto Técnico.

La Tabla 12-4, presenta una comparación entre el costo del sistema de control y el dispositivo comercial RControl EM890, mostrando que el primero es un 44% más económico. Además de este beneficio, el sistema de control ofrece varias ventajas en comparación con el equipo comercial, como un mayor rango de temperatura, adaptabilidad con otros tipos de sensores de temperatura, y la tecnología de control de DVP16ES200R, lo que le brinda flexibilidad y capacidad de monitoreo y adaptabilidad a otras aplicaciones. Además, el sistema de control está ampliamente disponible en el mercado, lo que facilita el soporte técnico y el mantenimiento, y no implica costos de importación. Por lo tanto, se puede concluir que el sistema de control es altamente competitivo en términos de costo y características, y cumple con el requisito de ser económico.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del estudio, las cuales se derivan de los objetivos planteados y las pruebas realizadas. Además, se incluyen recomendaciones y posibles trabajos futuros que surgen a partir de los resultados obtenidos en este proyecto.

5.1 CONCLUSIONES

Se logró implementar un sistema de control basado en un controlador ampliamente disponible en el mercado, y se demostró que este es capaz de programarse para controlar los equipos de manera efectiva. El control de temperatura que se logra a través del controlador tiene un impacto positivo en la vida útil del equipo, reduciendo los costos a largo plazo en mantenimiento y reparaciones.

El sistema de control de temperatura tiene un impacto significativo en la eficiencia del quemador PellasX, ya que garantiza el suministro constante de la cantidad adecuada de pellets de madera y aire para mantener una temperatura estable. Además, la regulación precisa del suministro de pellets y aire permite un control efectivo de la temperatura y previene fluctuaciones que puedan afectar el rendimiento del quemador y la calidad de la combustión.

La incorporación de un sistema de control de temperatura en el quemador PellasX puede mejorar la seguridad del proceso, ya que reduce el riesgo de sobrecalentamiento y minimiza la posibilidad de incendios.

Se diseñó un tablero de control en base a los requerimientos establecidos, el cual cuenta con las protecciones adecuadas para el equipo y los elementos necesarios para controlar y accionar los actuadores del quemador Pellas X Mini. El tablero es flexible y se adapta fácilmente a cualquier espacio de trabajo.

El controlador recibe señales del panel de operación, lo que permite que todo el proceso de control de la llama se realice de manera inmediata y exacta. En la programación, se configuran los tiempos de los temporizadores para que se realice el encendido del sistema y se active el alimentador externo, lo que lleva los pellets de madera desde la tolva hacia el tubo de admisión del quemador y, finalmente, se produce la combustión en la cámara correspondiente.

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema de control, se realizaron pruebas para comprobar que la comunicación Modbus ASCII establecida en los equipos fuera efectiva. Para ello, se diseñaron programas de pruebas que permitieron la comunicación entre el PLC, el HMI y el Controlador, verificando el envío y recepción de datos de manera precisa y real. De esta manera, se confirmó la efectividad y conectividad de todo el sistema, evidenciando que existe una comunicación óptima entre cada dispositivo.

La fabricación del sistema de control del quemador de biomasa ofrece ventajas significativas en comparación con la adquisición de equipos comerciales, como por ejemplo el controlador RControl EM890. No solo resulta en un costo de fabricación de los dispositivos un 44% más bajo, sino que también ofrece mejores características, lo que demuestra que es una opción competitiva en comparación con los equipos comerciales disponibles en el mercado.

5.2 RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar más pruebas para identificar oportunidades de mejora en el diseño del dispositivo construido, y para detectar posibles fallos que puedan surgir durante un uso prolongado en ambientes reales.

Mejorar el método de limpieza en las etapas antes de encendido y después de apagado, con instrumentos más avanzados que permitan disminuir al 100% los residuos de cenizas.

Se sugiere conectar el sistema a una interfaz inteligente para el Internet de las cosas. De esta manera, se podrá recopilar, analizar y transferir información sobre el proceso de funcionamiento del sistema en cada etapa a una base de datos.

Se recomienda considerar la implementación de otros métodos de control para mejorar aún más la eficiencia del proceso, como, por ejemplo, el control mediante Fuzzy Logic. Este método permitiría definir parámetros de forma autónoma y determinar de manera más eficiente los tiempos óptimos para el proceso, lo que podría mejorar significativamente la eficacia del sistema.

Para asegurar un aislamiento térmico adecuado en el panel, es recomendable utilizar lana de vidrio en la superficie de contacto de la parte posterior del panel, lo que proporcionará protección a los componentes electrónicos contra el calor. Además, es importante mencionar que el PLC cuenta con relés de protección de hasta 10 amperios y puede ser alimentado con una tensión de 110 a 220 voltios.

BIBLIOGRAFÍA

ALEJANDRO, D. y LARA, M., 2013. *DISEÑO DE UN QUEMADOR INDUSTRIAL DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) PAR SECADO DE GRANO DE MAÍZ A RAZÓN DE 8,5 TONELADAS POR DÍA INSTALADO EN EL CANTÓN VENTANAS* [en línea]. Quito: Escuela Plitécnica Nacional. [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6648/1/CD-5029.pdf>.

ASPIAZU GÓMEZ, J., 2015. *Mejora y reemplazo del controlador de llama para hornos de archas de recocido* [en línea]. Gayaquil: Espol. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/30838>.

BALBOA, M., ALONSO, S., FUERTES, J.J., MORÁN, A. y PRADA, M.Á., 2021. *SISTEMA DE CONTROL BASADO EN ARDUINO PARA UNA CALDERA DE BIOMASA* [en línea]. España: Escuela de Ingenierías, Universidad de León,. [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: https://liveespochedu-my.sharepoint.com/personal/kevin_ojeda_espoch_edu_ec/Documents/3 TESIS/10 ANTEPROYECTO-TIC/1 ANTEPROYECTO/3 INFORMACION TESIS/TRABAJOSDE TESIS/3. Sistema de control basado en arduino para una caldera de biomasa.pdf?CT=1668179518033&OR=ItemsView.

BASTIDAS, N. y MOYANO, N., 2018. Sensor Termopar. [en línea]. Bogota: [Consulta: 24 febrero 2023]. Disponible en: <extension://elhekieabhbkmcefcobjddigjaadp/https://www.studocu.com/ec/document/universidad-distrital-francisco-jose-de-caldas/instrumentacion-y-medidas/informe-termopar/9428905/download/informe-termopar.pdf>.

BUCCELLA, J.M., 2015. Apuntes de tecnología de control - Comparación entre logica cableada y programable. *Revista Espanola de Investigaciones Sociologicas* [en línea]. República Argentina: Centro de Investigaciones Sociologicas. [Consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: http://www.tecnologia.mendoza.edu.ar/trabajos_profesores/buscella-control/tc.pdf.

CADAVID ARANGO, Á. y ET AL, 2020. Microprocesador y Supercomputadora: Actualidad Tecnológica. [en línea]. Bogotá: [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/456901143/TraCol-1-14-IEEE#>.

CAICEDO BRAVO, E. y LÓPEZ SOTELO, J., 2017. *Una aproximación práctica a las Redes Neuronales Artificiales* [en línea]. Digital. Santiago de Cali: Universidad del Valle. [Consulta: 23 febrero 2023]. ISBN 978-958-670-767-1. Disponible en: <https://libros.univalle.edu.co/index.php/programaeditorial/catalog/view/64/28/298>.

CALDERÓN GODOY, A., 2020. *Sensores y actuadores industriales* [en línea]. 2020. S.I.: GRASP. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/36138491/Sensores_y_actuadores_industriales.

CHENG, B., 2012. Delta Electronics Inc. [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.deltaww.com/en-US/index>.

CHINT ELECTRICS, 2022. Electricidad Inteligente, Energías Verdes, Automatización y Control Industrial y Hogares inteligentes. [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.chint.eu/es/empresa/chint-global/>.

CREUS, A., 2017. *Instrumentación industrial* [en línea]. 8va. Mexico: Alfaomega. [Consulta: 23 febrero 2023]. ISBN 978-607-707-042-9. Disponible en: <https://docer.com.ar/doc/8s511c>.

FLORES MEDINA, M., 2016. *Diseño e implementación de un sistema automático de control de temperatura de un horno industrial*. [en línea]. Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13082>.

- FRAILE MORA, J.**, 2008. *Maquinas electricas* [en línea]. Madrid: McGRAW. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISBN 978-84-481-6112-5. Disponible en: https://www.academia.edu/42010234/Maquinas_electricas_6a_ed_Fraile_Mora_Jesus.
- GAMBOA, A. y GAMBOA, S.**, 2022. Gamboa PELLETS. [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://gamboapellets.com/>.
- GOLDEN PANEL**, 2023. Quemador Linea X Mini | energías renovables. [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.goldenpanel.es/quemadores-pellax/linea-x/modelo-xmini/>.
- GUTIÉRREZ, M. y ITURRALDE, S.A.**, 2017. *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control* [en línea]. 1ra edición. Santa Elena: UPSE. [Consulta: 23 febrero 2023]. ISBN 978-9942-8603-7-8. Disponible en: <https://incyt.upse.edu.ec/libros/index.php/upse/catalog/view/2/6/124-1>.
- HERGUEDAS, A. y [ET AL]**, 2012. *Biomasa, combustibles y sostenibilidad* [en línea]. Palencia: ITAGRA. [Consulta: 23 febrero 2023]. ISBN 978-84-931891-5-0 . Disponible en: <https://docplayer.es/12647437-Biomasa-biocombustibles-y-sostenibilidad.html>.
- IBM**, 2021. SPSS Statistics . [en línea]. [Consulta: 3 abril 2023]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics>.
- IEC 60751**, 2008. Termómetros industriales de resistencia de platino y sensores de temperatura de platino. [en línea]. 2da edición. Ginebra: CEI, [Consulta: 24 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.iec.ch/homepage>.
- KINCO ELECTRIC**, 2021. Shanghai Kinco Automation-Kinco HMI GREEN Series. [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: <https://en.kinco.cn/productdetail/gl043e35.html>.
- LABCENTER ELECTRONICS**, 2023. PCB Design and Circuit Simulator Software - Proteus. [en línea]. [Consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.labcenter.com/>.
- MARQUEZ, D. y CALDERÓN, J.**, 2014. *Fundamentos de medición de temperatura* [en línea]. 2014. S.l.: UTM. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://docplayer.es/8965488-Fundamentos-de-medicion-de-temperatura.html>.
- MEMBRILLERA SERRANO, B.**, 2018. *Aplicación de la biomasa a la generación de energía térmica. Análisis de instalaciones*. [en línea]. Sevilla: Universidad de Sevilla. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/81486>.
- MORÁN, W. y VELIZ, E.**, 2013. *SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE QUEMADORES Y SOPLADRES EN LA PLANTA DE NOVACERO S.A.* [en línea]. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana. [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj1sqbRzKb7AhUCRTABHYELAQMqFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F4664%2F1%2FUPS-GT000417.pdf&usg=AOvVaw1b8IzfYRFMT1ruFDuaprPs>.
- MOTOROLA**, 1995. SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA. [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/5039/MOTOROLA/MOC3021.html>.
- NATURAL FIRE**, 2023. Caldera NF-55 . [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://naturalfire.es/producto/caldera-nf-55/>.
- OMEGON FLUID TECHNOLOGY GRAFCET**, 2023. Software OFT2. [en línea]. [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <http://en.omesim.com/download-2/>.
- ORLANDO FLORENCIO, V.C.**, 2021. *Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos a vapor para la elaboración de embutidos mediante el uso de herramientas lean manufacturing* [en línea]. Lima: UTP. [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: https://liveespochedu-my.sharepoint.com/personal/kevin_ojeda_esPOCH_edu_ec/Documents/3 TESIS/10

ANTEPROYECTO-TIC/1 ANTEPROYECTO/3 INFORMACION TESIS/TRABAJOS DE TESIS/10 Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos.pdf?CT=1668.

PELLASX, 2019. Fabricante de quemadores de pellets y agropellets. [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://pellasx.pl/>.

PÉREZ, E. y ET AL, 2018. *SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN Y AUTÓMATAS PROGRAMABLES* [en línea]. Tercera ed. S.l.: MARCOMBO. [Consulta: 23 febrero 2023]. ISBN 978-84-267-2589-9. Disponible en: [extension://elhekieabhbkmcefcoobjddigjcaadp/https://www.marcombo.com/wp-content/uploads/2018/02/Material-Adicional.pdf](https://www.marcombo.com/wp-content/uploads/2018/02/Material-Adicional.pdf).

QUINTERO DE LOS RIOS, D. y MURILLO, P., 2015. *SISTEMA EMBEBIDO PARA CONTROL, SUPERVISIÓN Y COMUNICACIÓN, DE UN HORNO DE PANADERIA* [en línea]. Santiago de Cali: Universidad de San Buenaventura Cali. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/a353b9d8-3370-42c8-a4fc-7466dc126c80>.

QUIROZ AGUAS, C. y VILLACÍS VÁSCONEZ, S., 2020. *Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos a vapor utilizados para la elaboración de embutidos* [en línea]. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/22612>.

REBT, 2007. Carácter no vinculante, para la aplicación del Reglamento y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. [en línea]. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/REBT_GUIA.htm.

ROMERO ARGUEDAS, J., 2012. *Sistema de control automático para un horno industrial*. [en línea]. Cartago: Insituto Tecnológico de Costa Rica. [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2613/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RUALES RIOS, D., 2015. *Diseño e implementación de un sistema de control automático para un horno industrial ahumador de carne* [en línea]. Quito: ESPE / SANGOLQUÍ / 2008. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/442>.

SAB BRÖCKSKES GMBH & CO. KG, 2023. Construcciones de conductores americanas tabla de AWG. [en línea]. [Consulta: 24 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.sab-cables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html>.

SHERZ, P. y MARK, S., 2016. *Practical Electronics for Inventors*, [en línea]. 4th Edition. S.l.: McGrawHill. [Consulta: 23 febrero 2023]. ISBN 978-1-25-958754-2. Disponible en: <extension://elhekieabhbkmcefcoobjddigjcaadp/http://instrumentacion.qi.fcen.uba.ar/libro/Scherz.pdf>.

SONGLE RELAY, 2019. SUBMINATURE HIGH POWER RELAY. [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <http://www.songlerelay.com/#undefined>.

STMICROELECTRONICS, 2006. BTA26 Datasheet . [en línea]. [Consulta: 15 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22034/STMICROELECTRONICS/BTA26.html>.

SYLVAE CONSULTORES, 2018. Calderas y Quemadores a biomasa para autoconsumo: Una guía para Empresas e Industrias. [en línea]. Santiago de Chile: [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: https://autoconsumo.minenergia.cl/wp-content/uploads/2018/03/Guía_GIZ_Biomasa_Final.pdf.

THERMOCON, 2020. Calderas y Quemadores Industriales . [en línea]. [Consulta: 23 febrero

2023]. Disponible en: <https://www.thermocon.com.ec/>.

UNE 21176, 2017. Guía para la utilización de cables armonizados. [en línea]. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0001886>.

VENAMET, 2023. Display para Programador Honeywell para Quemadores Industriales. [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.venamet.com/producto/display-para-programador-honeywell-s7800a2142-ingles-frances-espanol/>.

ZEGARRA RODRIGUEZ, C., 2020. *Diseño e implementación de un sistema de parada de emergencia para un horno quemador en una refinería petrolera, Iquitos 2017* [en línea]. Lima-Perú: Universidad Tecnológica del Perú. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4132>.

ANEXOS

ANEXOS A: Hoja de especificaciones del quemador Pellas X Mini



Datos técnicos

TIPO	Pellas® X Mini
Potencia [kW]	5 - 26
Alimentación	230 V AC / 50Hz
Consumo de energía promedio [W]	60
Peso [kg]	11
Feeder length [m]	2
Combustible	pellets 6 - 8 mm avena hueso seco
Eficiencia del proceso [%]	hasta 96
Eficiencia en la caldera [%]	hasta 96
Regulación de potencia	SI
Sonda Lambda	SI (opcional)
Manejo de la bomba CC	SI
Manejo de la bomba del ACU	SI
Sensor de temperatura de cuarto	SI (opcional)
Reacción automática frente al tiempo ambiente	SI (opcional)

Pellas® X Mini



Datos técnicos

TIPO	Pellas® X Mini 35
Potencia [kW]	8 - 35
Alimentación	230 V AC / 50Hz
Consumo de energía promedio [W]	60
Peso [kg]	15
Feeder length [m]	2
Combustible	pellets 6 - 8 mm avena hueso seco
Eficiencia del proceso [%]	hasta 96
Eficiencia en la caldera [%]	hasta 96
Regulación de potencia	SI
Sonda Lambda	SI (opcional)
Manejo de la bomba CC	SI
Manejo de la bomba del ACU	SI
Sensor de temperatura de cuarto	SI (opcional)
Reacción automática frente al tiempo ambiente	SI (opcional)

Pellas® X Mini 35





Pellas® X 44



Datos técnicos

TIPO	Pellas® X 44
Potencia [kW]	10 - 44
Alimentación	230 V AC / 50Hz
Consumo de energía promedio [W]	60
Peso [kg]	19
Largura brazo alimentador [m]	2
Combustible	pellets 6 - 8 mm avena hueso seco
Eficiencia del proceso [%]	hasta 99
Eficiencia en la caldera [%]	hasta 96
Regulación de potencia	SI
Sonda Lambda	SI (opcional)
Manejo de la bomba CC	SI
Manejo de la bomba del ACU	SI
Sensor de temperatura de cuarto	SI (opcional)
Reacción automática frente al tiempo ambiente	SI (opcional)

ANEXOS B: Hoja de especificaciones del motor y reductor SPG

REVERSIBLE MOTOR - 30MINUTES RATING

SIZE mm sq.	Type	Poles	Output (W)	Voltage (V)	Frequency (Hz)	Duty	Rated Load				Starting Torque		Capacitor (uF)
							Current (A)	Speed (rpm)	Torque (kg-cm)	Torque (N-m)	(kg-cm)	(N-m)	
80	S8R25GA-T S8R25GA-T S8R25GA-T(TP) S8R25GA-T(TP) S8R25GA-TCE S8R25GA-TTICE	4	25	1 ∅ 110	60	30min.	0.71	1550	1.70	0.170	2.30	0.230	10.0
	S8R25GB-T S8R25GB-T S8R25GB-T(TP) S8R25GB-T(TP) S8R25GB-TCE S8R25GB-TTICE	4	25	1 ∅ 220	60	30min.	0.35	1600	1.65	0.165	2.30	0.230	2.5
	S8R25GC-T S8R25GC-T S8R25GC-T(TP) S8R25GC-T(TP) S8R25GC-TCE S8R25GC-TTICE	4	25	1 ∅ 100	50	30min.	0.63	1250	2.10	0.210	1.80	0.180	10.0
	60				0.70		1500	1.70	0.170				
	S8R25GD-T S8R25GD-T S8R25GD-T(TP) S8R25GD-T(TP) S8R25GD-TCE S8R25GD-TTICE	4	25	1 ∅ 200	50	30min.	0.33	1250	2.10	0.210	1.80	0.180	2.5
	60				1550			1.70	0.170				
	S8R25GE-T S8R25GE-T S8R25GE-TCE S8R25GE-TTICE	4	25	1 ∅ 100	50	30min.	0.60	1250	2.10	0.210	1.30	0.130	8.0
	60				0.65		1450	1.80	0.180				
	1 ∅ 115				60		0.63	1550	1.70	0.170			
	S8R25GX-T S8R25GX-T S8R25GX-TCE S8R25GX-TTICE	4	25	1 ∅ 220	50	30min.	0.26	1200	2.00	0.200	1.70	0.170	2.0
	1 ∅ 240				0.28		2.20		0.220	2.20			

- 기종명 S8R25GE-T는 사용하는 전압 사양에 따라 CONDENSER 용량이 다르게 사용되므로 사용전압에 맞게 CONDENSER 용량을 바르게 사용하여 주십시오. 고장의 원인이 됩니다. 주문시 사용전압을 제시하여 주십시오. 제시가 없으면 115V용 CONDENSER로 포장 출하됩니다. (Appropriate capacitors shall be used according to the voltage for S8R25GE-T type since the size of the capacitor differs by different voltages. Malfunction may occur when not used properly. Capacitor for 115V will be delivered otherwise the required voltage is informed.)
- 기종명 맨 끝자리에 CE가 명기된 MODEL의 인증 관련 내용은 SPG 규격 인증품 현황을 참고하여 주십시오. S8R25GE-TCE는 115V용 사양으로만 출하됩니다. (CE marked at the end of the model name indicates that it is thermally protected type which has received CE. S8R25GE-TCE is available only for 115V specification.)
- 기종명 맨끝자리에 (TP)가 명기된 MODEL은 일반 MOTOR의 TP가 내장된 THERMALLY PROTECTED TYPE입니다. 또한 기종명 S8R25GE-T, S8R25GX-T는 TP가 내장된 THERMALLY PROTECTED TYPE입니다. (TP marked at the end of the model name indicates that it is standard motor with Thermal Protector mounted, S8R25GE-T, S8R25GX-T is thermally protected type with TP mounted.)
- 본 DATA는 BRAKE BLOCK을 MOTOR에 장착된 상태에서 측정된 DATA입니다. (Above data is measured with friction brake mounted.)
- L Type 전용으로 기종명에 표시하지 않습니다. (L or H type does not apply to motors under 40W.)

50Hz

GEAR RATIO	MODEL rpm																								
	3	3.6	5	6	7.5	9	10	12.5	15	18	20	25	30	36	40	50	60	75	90	100	120	150	180	200	
S8KA□B	kg-cm	5.3	6.4	8.9	10.7	13.4	16.0	17.8	22.3	26.7	32.1	32.1	40.2	48.2	57.8	64.2	72.6	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
	Nm	0.519	0.627	0.872	1.049	1.313	1.568	1.744	2.185	2.617	3.146	3.146	3.940	4.724	5.664	6.292	7.115	7.840	7.840	7.840	7.840	7.840	7.840	7.840	7.840

60Hz

GEAR RATIO	MODEL rpm																								
	3	3.6	5	6	7.5	9	10	12.5	15	18	20	25	30	36	40	50	60	75	90	100	120	150	180	200	
S8KA□B	kg-cm	4.4	5.2	7.3	8.7	10.9	13.1	14.6	18.2	21.9	26.2	26.3	32.9	39.4	47.3	52.6	59.4	71.3	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
	Nm	0.431	0.510	0.715	0.853	1.068	1.284	1.431	1.784	2.146	2.568	2.577	3.224	3.861	4.635	5.155	5.821	6.987	7.840	7.840	7.840	7.840	7.840	7.840	7.840

- GEAR HEAD 품명 중 □은 감속비를 표시합니다. (The code in □ of gearhead model is for gear ratio.)
- GEAR HEAD와 조합한 경우의 허용 TORQUE입니다. (It is the permissible torque of the assembled motor and gearhead.)
- 감속비 1/10의 중간 GEAR HEAD를 접속한 경우의 허용 TORQUE는 80kg-cm입니다. (The permissible torque of the motor and inter-decimal gearhead is 8 kg-cm.)
- 회전방향은 색이 MOTOR의 회전방향과 동일방향이고, 기타는 MOTOR 회전방향과 반대방향입니다. (□ color indicates that the output shaft of the geared motor rotates in the same direction as the output shaft of the motor, Others indicate rotation in the opposite direction.)
- 회전수는 MOTOR의 동기 회전수(50Hz : 1500rpm, 60Hz : 1800rpm)를 기준으로 하여 감속비로 나누어서 계산하였습니다. 실제의 회전수는 부하의 크기에 따라서 표시된 수치보다 2~20% 적습니다. (Rpm is based on synchronous speed (50Hz: 1500rpm, 60Hz: 1800rpm) divided by gear ratio. The actual rotation speed can be 2~20% less than displayed value depending on the load.)
- L Type 전용으로 기종명에 표시하지 않습니다. (L or H type does not apply to motors under 40W.)

ANEXOS C: Hoja de especificaciones del ventilador

D2E133-DM27-D8

AC centrifugal fan

forward-curved, dual-intake
with housing (flange)

ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG

Bachmühle 2 · D-74673 Mulfingen

Phone +49 7938 81-0

Fax +49 7938 81-110

info1@de.ebmpapst.com

www.ebmpapst.com

Limited partnership · Headquarters Mulfingen

Amtsgericht (court of registration) Stuttgart · HRA 560346

General partner: Elektrobau Mulfingen GmbH · Headquarters Mulfingen

Amtsgericht (court of registration) Stuttgart · HRB 560142

Nominal data

Type	D2E133-DM27-D8		
Motor	M2E068-DF		
Phase		1~	1~
Nominal voltage	VAC	230	230
Frequency	Hz	50	60
Method of obtaining data		ml	ml
Valid for approval/standard		-	-
Speed (rpm)	min ⁻¹	1700	1900
Power consumption	W	200	220
Current draw	A	0.88	0.97
Capacitor	µF	5	5
Capacitor voltage	VDB	400	400
Min. back pressure	Pa	100	150
Min. back pressure	inH ₂ O	0.4	0.6
Min. ambient temperature	°C	-25	-25
Max. ambient temperature	°C	30	30

ml = Max. load · me = Min. efficiency · fa = Free air · ca = Customer specification · ce = Customer equipment
Subject to change

ANEXOS D: Hoja de especificaciones del PLC Delta DVP16ES200R

■ **Electrical Specifications**

Item	Model	16ES2 00□	24ES2 00□	32ES2 00□	40ES2 00□	60ES2 00□	20EX2 00□	32ES2 11T
Power supply voltage	100 ~ 240VAC (-15% ~ 10%), 50/60Hz ±5%							24VDC (-15~+20%)
Connector	European standard removable terminal block (Pin pitch: 5mm)							
Operation	ES 200	DVP-ES2 starts to run when the power rises to 95 ~ 100VAC and stops when the power drops to 70VAC. If the power is suddenly cut off, the MPU will continue running for 10ms.						
	ES 211	DVP-ES2 starts to run when the power rises to 20.4VDC~28.8VDC and stops when the power drops to 17.5VDC. If the power is suddenly cut off, the MPU will continue running for 10ms.						
Power supply fuse	2A/250VAC							2.5A / 30VDC, Polyswitch
Power consumption	30VA	30VA	30VA	30VA	30VA	30VA	30VA	1.8W
DC24V current output	500mA	500mA	500mA	500mA	500mA	500mA	500mA	—
Power supply protection	DC24V output short circuit protection							—
Voltage withstand	1,500VAC (Primary-secondary), 1,500VAC (Primary-PE), 500VAC (Secondary-PE)							
Insulation resistance	> 5MΩ at 500VDC (between all I/O points and ground)							
Noise immunity	ESD: 8KV Air Discharge EFT: Power Line: 2KV, Digital I/O: 1KV, Analog & Communication I/O: 1KV RS: 26MHz ~ 1GHz, 10V/m							
Grounding	The diameter of grounding wire shall not be less than that of L, N terminal of the power supply. (When many PLCs are in use at the same time, please make sure every PLC is properly grounded.)							
Environment	Operation: 0°C~55°C (temperature), 50~95% (humidity), pollution degree 2 Storage: -25°C~70°C (temperature), 5~95% (humidity)							
Agency approvals	UL508 European community EMC Directive 89/336/EEC and Low Voltage Directive 73/23/EEC							
Vibration/shock immunity	International standards: IEC61131-2, IEC 68-2-6 (TEST Fc)/ IEC61131-2 & IEC 68-2-27 (TEST Ea)							
Weight	R: 377g T: 351g	R: 414g T: 387g	R: 489g T: 432g	R: 554g T: 498g	R: 696g T: 614g	R: 462g T: 442g	T: 321g	
Input Point								
Input No.	ES200, EX200	X0, X2	X1, X3 ~ X7			X10 ~ X17, X20 ~ #1		
	ES211	X0 ~ X3	X4 ~ X7					
type	Digital input							
Input type	DC (SINK or SOURCE)							
Input current	24VDC, 5mA							
Input impedance	4.7KΩ							
Max. frequency	100kHz		10kHz			60Hz		
Action level	Off → On	>15VDC						
	On → Off	< 5VDC						
Response time	Off → On	< 2.5μs	< 20μs			< 10ms		
	On → Off	< 5μs	< 50μs			< 15ms		
Filter time	X0 ~ X7	Adjustable within 0 ~ 20ms in D1020 (Default: 10ms)						

ANEXOS E: Hoja de especificaciones del HMI Kinco GL043E

GREEN Series HMI GL043/GL043E



Model	GL043	GL043E	Mechanical Dimensions (Unit : mm)
Performance specification			
Display size	4.3" TFT		
Display area	95.04mm(W)x53.86mm(H)		
Resolution	480*272 pixels		
Display color	16.7M color		
Display angle of view	70/70/50/70(left/right/up/down)		
Contrast ratio	500:1		
Backlight	LED		
Brightness	450cd/m ²		
Backlight life	More than 30000 hours		
Touch panel	4 line precision resistance network (surface hardness 4H)		
CPU	ARM RISC 32bit 792MHz		
Storage	128MB NAND Flash Memory+128MB DDR3 Memory		
RTC	Built-in		
Extensible memory	None		
Print port	Serial port		
Ethernet	None	10/100MHz self-adaption	
Program download	USB Slave/ Serial port	USB Slave/Serial port/Ethernet	
Communication port	COM0:RS232/RS485/RS422; COM2:RS232		
Electrical specifications			
Input power supply	DC10V ~ DC28V		
Rated power	2W @24V DC		
Allowable loss of power	<3ms		
Insulation resistance	Over 50MΩ @500V DC		
Hi-pot test	500 VAC 1 minute		
Structure specifications			
Shell material	Engineering plastic		
Shape size	132mm*102mm*33mm		
Cutout size	119mm*93mm		
Weight	0.21Kg		
Environmental specifications			
Temperature of working environment	0 ~ 50℃		
Humidity of working environment	10 ~ 90% RH (non-condensing)		
Storage environment temperature:	-20 ~ 60℃		
Storage environment humidity	10 ~ 90% RH (non-condensing)		
Sine vibration test	10 ~ 500Hz, 30m/s ² , X, Y, Z direction/hour		
Cooling mode	Natural air cooling		
Product certification			
Panel protection grade	Conforming to IP65 certification(4208—93)		
CE authentication	EN61000-6-4:2007+A1:2011, EN61000-6-2:2005		
Software			
Configuration software	Kinco DTools V3.3 and above version		

Kinco® Automation

www.en.kinco.cn Email:sales@kinco.cn

(All trademarks and logos are property of and registered by their respective owners.)

ANEXOS F: Hoja de especificaciones del controlador DTB4848

DTB Advanced Type

Compared to the DTA, DTB has an added linear voltage output and adopts dual-loop output control, able to execute heating and cooling controls at the same time in a temperature control system.

DTB series has a built-in delete RS-485 communication interface (MODBUS ASCII/RTU, 2,400 ~ 38,400bps).
The programmable PID control function allows DTB to set up 64 sets of temperature and control time.

Optional functions:

- CT (current transformer), output by alarm.
- EVENT function, switching between 2 SVs by using PLC or switches.
- Valve models are able to adjust the openness of valve depending on the SV.



Electrical Specifications

Power supply	100 ~ 240VAC, 50/60Hz
Voltage range	85 ~ 110% rated voltage
Power consumption	< 5VA
Display	2-line 7-segment LED display, 4 digits available, PV: red, SV: green
Input temperature sensors	Thermocouple: K, J, T, E, N, R, S, B, L, U, TXK
	Platinum RTD: Pt100, JPt100
	Analog input: 0 ~ 5V, 0 ~ 10V, 0 ~ 20mA, 4 ~ 20mA, 0 ~ 50mA
Display scale	1 digit after decimal point, or no decimal point
Control methods	PID, programmable PID, ON/OFF, Manual
Output types	Relay: SPDT (DTB4848/4824: SPST), Max. load: 250VAC, Resistive load: 5A
	Voltage pulse: 14VDC, Max. output current: 40mA
	Current: DC 4 ~ 20mA (Load resistance: < 600Ω)
	Analog voltage: 0 ~ 10V
Sampling rate	Analog input: 0.15 second, Thermocouple or platinum RTD: 0.4 second
Communication	RS-485 digital communication, 2,400 ~ 38,400bps
Communication protocol	MODBUS protocol, ASCII/RTU format
Vibration resistance	10 ~ 55Hz, 10m/s ² for 10 mins in X, Y, Z direction
Shock resistance	Max. 300m/s ² , 3 times in each of 3 axes, 6 directions
Ambient temperature	0 ~ 50°C
Storage temperature	-20~ +65°C
Altitude	< 2,000m
Ambient humidity	35 ~ 80% RH (non-condensing)
Waterproof Degree	Ip56

ANEXOS G: Hoja de especificaciones de la fuente MW MDR-60



60W Single Output Industrial DIN Rail Power Supply

MDR-60 series



- Features :
 - Universal AC input/Full range
 - Protections: Short circuit / Overload / Over voltage
 - Cooling by free air convection
 - Can be installed on DIN rail TS-35/7.5 or 15
 - NEC class 2 / LPS compliant (24V,48V only)
 - LED indicator for power on
 - DC OK relay contact
 - No load power consumption<0.75W
 - 100% full load burn-in test
 - 3 years warranty



SPECIFICATION

MODEL	MDR-60-5	MDR-60-12	MDR-60-24	MDR-60-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	24V	48V
	RATED CURRENT	10A	5A	2.5A	1.25A
	CURRENT RANGE	0 ~ 10A	0 ~ 5A	0 ~ 2.5A	0 ~ 1.25A
	RATED POWER	50W	60W	60W	60W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	5 ~ 6V	12 ~ 15V	24 ~ 30V	48 ~ 56V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LOAD REGULATION	±1.5%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME Note.5	500ms, 30ms/230VAC	500ms, 30ms/115VAC at full load		
HOLD UP TIME (Typ.)	50ms/230VAC	20ms/115VAC at full load			
INPUT	VOLTAGE RANGE	85 ~ 264VAC	120 ~ 370VDC		
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz			
	EFFICIENCY (Typ.)	78%	86%	88%	87%
	AC CURRENT (Typ.)	1.8A/115VAC	1A/230VAC		
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 30A/115VAC	60A/230VAC		
LEAKAGE CURRENT	<1mA/240VAC				
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 150% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed			
	OVER VOLTAGE	6.25 ~ 7.25V	15.6 ~ 18V	31.2 ~ 36V	57.6 ~ 64.8V
		Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover			
FUNCTION	DC OK SIGNAL	Relay contact rating(max.): 30V/1A resistive			
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +70°C (Refer to output load derating curve)			
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing			
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH			
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)			
SAFETY & EMC (Note 4)	VIBRATION	Component : 10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, period for 60min, each along X, Y, Z axes ; Mounting : Compliance to IEC60068-2-6			
	SAFETY STANDARDS	UL508, UL60950-1, TUV EN60950-1 approved, NEC class 2 / LPS compliant (24V,48V only)			
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC 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 25°C 70%RH			
	EMI CONDUCTION & RADIATION	Compliance to EN55011, EN55022 (CISPR22), EN61204-3 Class B			
	HARMONIC CURRENT	Compliance to EN61000-3-2, -3			
	EMS IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, ENV50204, EN55024, EN61000-6-2, EN61204-3, heavy industry level, criteria A			
OTHERS	MTBF	299.2K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)			
	DIMENSION	40*90*100mm (W*H*D)			
	PACKING	0.33Kg; 42pcs/14.8Kg/0.82CUFT			
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. 4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. 5. Length of set up time is measured at first cold start. Turning ON/OFF the power supply may lead to increase of the set up time.				

ANEXOS H: Hoja de especificaciones botonera

P-027 Pulsadores, Pilotos y Zumbadores | Pulsadores

Cabeza

★ Pulsador rasante momentáneo (no luminoso)

NP2-BA □	Metal	Especificaciones
	NP2-BA1	○
	NP2-BA2	●
	NP2-BA3	●
	NP2-BA4	●
	NP2-BA5	●
	NP2-BA6	●

NP2-BA □□	Metal	Especificaciones
	NP2-BA331	●
	NP2-BA236	●
	NP2-BA432	●
	NP2-BA235	●
	NP2-BA134	○
	NP2-BA637	●

★ Pulsador rasante momentáneo (luminoso)

NP2-BW3 □	Metal	Especificaciones
	NP2-BW31	○
	NP2-BW33	●
	NP2-BW34	●
	NP2-BW35	●
	NP2-BW36	●

★ Pulsador doble (no luminoso)

NP2-BL □□	Metal	Especificaciones
	NP2-BL832	Botón rasante
	NP2-BL842	Botón rasante + botón saliente

★ Pulsador doble (luminoso)

NP2-BW □□	Metal	Especificaciones
	NP2-BW84	Botón rasante + botón saliente

★ Piloto

NP2-BV/ □	Metal	Especificaciones
	NP2-BV/1	○
	NP2-BV/3	●
	NP2-BV/4	●
	NP2-BV/5	●
	NP2-BV/6	●

★ Pulsador de parada de emergencia

NP2-BS-4	Metal	Especificaciones
	NP2-BS44	4: Restablecimiento con giro Ø30
	NP2-BS54	5: Restablecimiento con giro Ø40
	NP2-BS64	6: Restablecimiento con giro Ø60

NP2-EA (1)	Plástico	Especificaciones
	NP2-EA1	○
	NP2-EA2	●
	NP2-EA3	●
	NP2-EA4	●
	NP2-EA5	●
	NP2-EA6	●

NP2-EW3 □	Plástico	Especificaciones
	NP2-EW31	○
	NP2-EW33	●
	NP2-EW34	●
	NP2-EW35	●
	NP2-EW36	●

NP2-EL □□□	Plástico	Especificaciones
	NP2-EL832	Botón rasante
	NP2-EL842	Botón rasante + botón saliente

NP2-EW □□	Plástico	Especificaciones
	NP2-EW84	Botón rasante + botón saliente

NP2-EV/ □	Plástico	Especificaciones
	NP2-EV/1	○
	NP2-EV/3	●
	NP2-EV/4	●
	NP2-EV/5	●
	NP2-EV/6	●

NP2-ES-4	Plástico	Especificaciones
	NP2-ES34	3: Indicación de estado restablecimiento con giro Ø40
	NP2-ES44	4: Restablecimiento con giro Ø30
	NP2-ES54	5: Restablecimiento con giro Ø40
	NP2-ES64	E: Restablecimiento con giro Ø60

ANEXOS I: Hoja de especificaciones buzzer con led intermitente

Buzzer, NFM1



1. General Information

Degree of protection: IP20
Standard: IEC/EN60947-5-1

2. Working & Mounting Conditions

- 2.1 Ambient temperature is -5°C — $+40^{\circ}\text{C}$, the average temperature during 24 hours couldn't exceed $+35^{\circ}\text{C}$.
- 2.2 Altitude: $\leq 2000\text{m}$.
- 2.3 Atmosphere condition: Relative humidity of the atmosphere couldn't exceed 50% when the highest temperature is $+40^{\circ}\text{C}$; much higher relative humidity is allowable under the condition of lower temperature, for example, when the temperature reaches $+20^{\circ}\text{C}$, the relative humidity is up to 90%. As for dews, which contingently appear due to change of temperature, special steps should be taken.
- 2.4 Pollution degree: 3
- 2.5 Overvoltage category: II

3. Technical Data

Basic parameters

Rated operational voltage U_e (V)	Rated operational current I_e (mA)	Loudness (dB/10cm)	Brightness (cd/m^2)
AC400	≤ 20	≥ 70	≥ 20
AC230			
AC110			
AC/DC110			
AC/DC48			
AC/DC36			
AC/DC24			

Note: The limit of AC and DC voltage is $0.85U_e$ — $1.1U_e$;

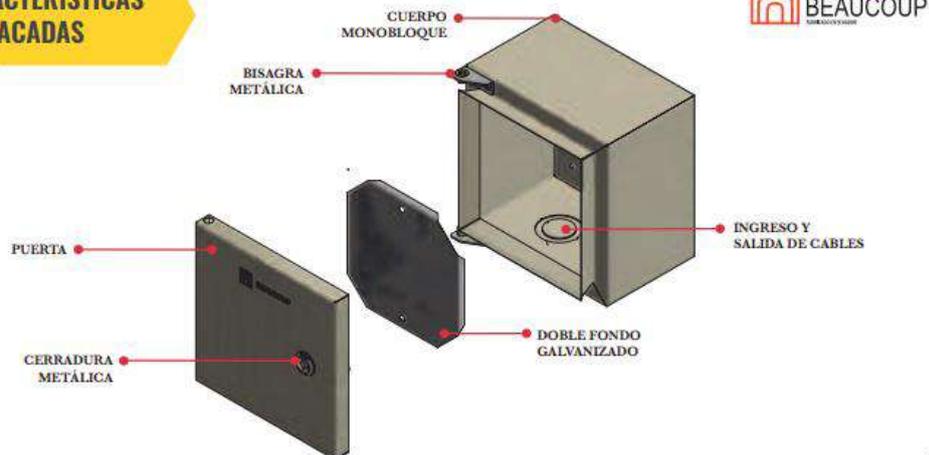
4. Features

- 4.1 Reliable and safe operation thanks to concealed connection terminals;
- 4.2 Screw size for connection is M3.5, tightening torque is $0.8\text{N} \cdot \text{m}$ and the cross section area of cable is 0.5mm^2 — 2.5mm^2 ;

ANEXOS J: Hoja de especificaciones de gabinete liviano

GABINETE DE PARED SERVICIO LIVIANO

CARACTERÍSTICAS DESTACADAS



ESPECIFICACIONES



IP GRADO DE PROTECCIÓN IP: 42

IK GRADO DE PROTECCIÓN IK: 09



MATERIALES

Fabricado con acero laminado en frío, cuenta con un espesor de 0.8mm en cuerpo y puerta (material validado bajo norma JIS 3141), y doble fondo galvanizado en 0.9mm (ASTM A653 G60).



ESPECIFICACIONES FUNCIONALES

Gabinete de servicio liviano, con cuerpo monobloque soldado con suelda MIG. Puerta (no reversible) con empaque de poliuretano expandido y cerradura metálica cromada tipo triángulo de montaje rápido.



ANCLAJE

Sujeción por perforaciones en la parte posterior.



ACCESOS

- Los Knock out dobles dispuestos en la parte inferior del gabinete permiten el acceso fácil del ducto de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ " y de 1" a 1 $\frac{1}{2}$ " EMT.
- Al ser un producto de gama media su doble fondo no dispone de perforaciones ni cable de aterramiento.



PROTECCIONES

- Grado de protección contra agentes externos, garantizado por empaque de poliuretano expandido inyectado sobre la puerta.
- El espacio protegido está localizado en el doble fondo de la envolvente.



ESPECIALES

Otras dimensiones se fabrican mediante acuerdo especial entre el fabricante y el usuario final según la normativa IEC 62208:2011.

NORMATIVA

IEC 62208:2011
IEC 60529
IEC 62262
ISO 2768 (Aplicable)

USO:

Exclusivo para interiores.



Fijación en pared.



APLICACIONES:

Instalaciones industriales.



Instalaciones comerciales.



Edificios residenciales y de servicios.





PRODUCT-DETAILS

S202-C10

S202-C10 Miniature Circuit Breaker - 2P - C - 10 A



General Information

Extended Product Type	S202-C10
Product ID	2CDS252001R0104
EAN	4016779465700
Catalog Description	S202-C10 Miniature Circuit Breaker - 2P - C - 10 A
Long Description	System pro M compact S200 miniature circuit breakers are current limiting. They have two different tripping mechanisms, the delayed thermal tripping mechanism for overload protection and the electromechanic tripping mechanism for short circuit protection. They are available in different characteristics (B,C,D,K,Z), configurations (1P,1P+N,2P,3P,3P+N,4P), breaking capacities (up to 6 kA at 230/400 V AC) and rated currents (up to 63A). All MCBs of the product range S200 comply with IEC/EN 60898-1, IEC/EN 60947-2, UL1077 allowing the use for residential, commercial and industrial applications. Bottom-fitting auxiliary contact can be mounted on S200 to save 50% space.

Technical

Standards	IEC/EN 60898-1 IEC/EN 60947-2 UL 1077
Tripping Characteristic	C
Rated Operational Voltage	acc. to IEC 60898-1 400 V AC acc. to IEC 60947-2 440 V AC
Operational Voltage	Maximum (Incl. Tolerance) 125 V DC Maximum (Incl. Tolerance) 440 V AC Minimum 12 V AC Minimum 12 V DC
Rated Insulation Voltage (U _i)	acc. to IEC/EN 60664-1 440 V
Rated Impulse Withstand Voltage (U _{imp})	4 kV at 2000 m 5 kV at Sea Level 6.2 kV

ANEXOS L: Hoja de especificaciones interruptor CHINT

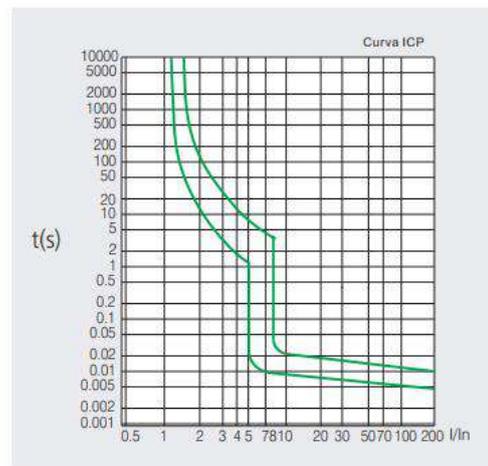


Interruptores automáticos NBSP (ICP)



1. General

- 1.1 Uso:
Interruptores de Control de Potencia para el control y protección de los circuitos de abonados con contrataciones a Compañías Eléctricas desde 3A hasta 63A
- 1.2 El uso de los I.C.P. es cómo limitador de energía consumida por los abonados.
- 1.3 El tipo y calibre de los I.C.P. siempre debe ser definido por la Compañía Suministradora de cada zona.



2. En conformidad con la norma UNE 20317 (ICP)

★ Interruptores de Control de Potencia (ICP-M)
Poder de corte: 6kA (6000A)

In (A)	ICP Unipolar		ICP Bipolar		ICP - Tripolar		ICP Tetrapolar	
	Embalaje	Referencia	Embalaje	Referencia	Embalaje	Referencia	Embalaje	Referencia
3	12/180	NBSP-1-3	6/90	NBSP-2-3	4/60	NBSP-3-3	3/45	NBSP-4-3
3.5	12/180	NBSP-1-3,5	6/90	NBSP-2-3,5	4/60	NBSP-3-3,5	3/45	NBSP-4-3,5
5	12/180	NBSP-1-5	6/90	NBSP-2-5	4/60	NBSP-3-5	3/45	NBSP-4-5
10	12/180	NBSP-1-10	6/90	NBSP-2-10	4/60	NBSP-3-10	3/45	NBSP-4-10
15	12/180	NBSP-1-15	6/90	NBSP-2-15	4/60	NBSP-3-15	3/45	NBSP-4-15
20	12/180	NBSP-1-20	6/90	NBSP-2-20	4/60	NBSP-3-20	3/45	NBSP-4-20
25	12/180	NBSP-1-25	6/90	NBSP-2-25	4/60	NBSP-3-25	3/45	NBSP-4-25
30	12/180	NBSP-1-30	6/90	NBSP-2-30	4/60	NBSP-3-30	3/45	NBSP-4-30
35	12/180	NBSP-1-35	6/90	NBSP-2-35	4/60	NBSP-3-35	3/45	NBSP-4-35
40	12/180	NBSP-1-40	6/90	NBSP-2-40	4/60	NBSP-3-40	3/45	NBSP-4-40
45	12/180	NBSP-1-45	6/90	NBSP-2-45	4/60	NBSP-3-45	3/45	NBSP-4-45
50	12/180	NBSP-1-50	6/90	NBSP-2-50	4/60	NBSP-3-50	3/45	NBSP-4-50
63	12/180	NBSP-1-63	6/90	NBSP-2-63	4/60	NBSP-3-63	3/45	NBSP-4-63

ANEXOS M: Hoja de especificaciones selector candado



[✉ E-mail Us](#)



Products

Specifications

Meba LW28GS Padlocking Power cut off switch

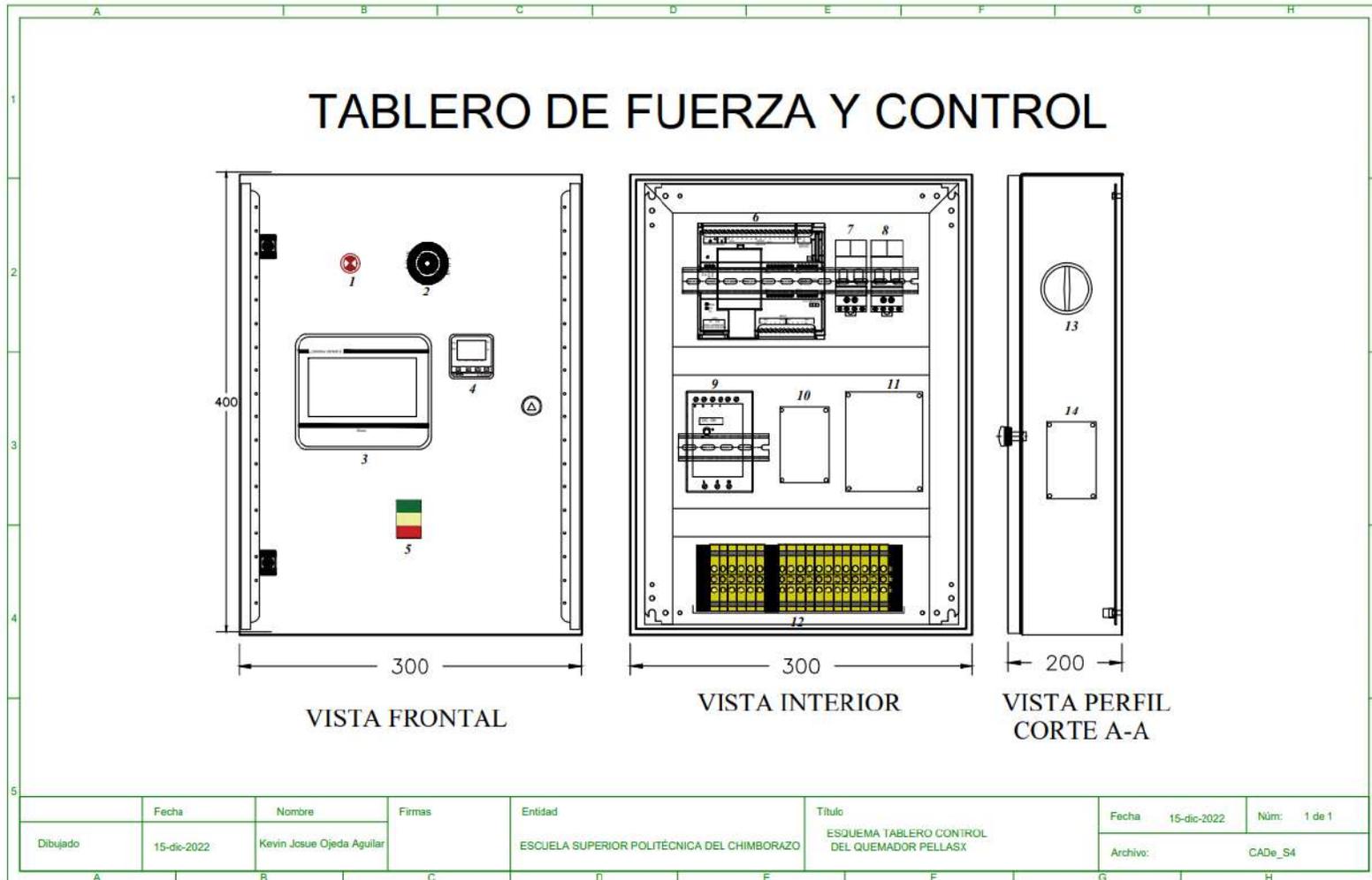
Specifications:

1. Padlocks type Switch specifications minutes 20A. Current grades four and 63A 25A, 32A. (1) Sino-Switch 20A big, two small face. The remaining specifications for the big face, Switch may also face greater use and three Padlocks. Face Switch can be put to use two small Padlocks. (2) Switch-faced as can be put to use 3 Padlocks. 2. Padlocks type Switch By Uses pm General and Pressing two. General (LW28GS-/-03) Black face, black handle. Pressing - (LW28GS-/-04) for the emergency stop sign that yellow face, the red handle.

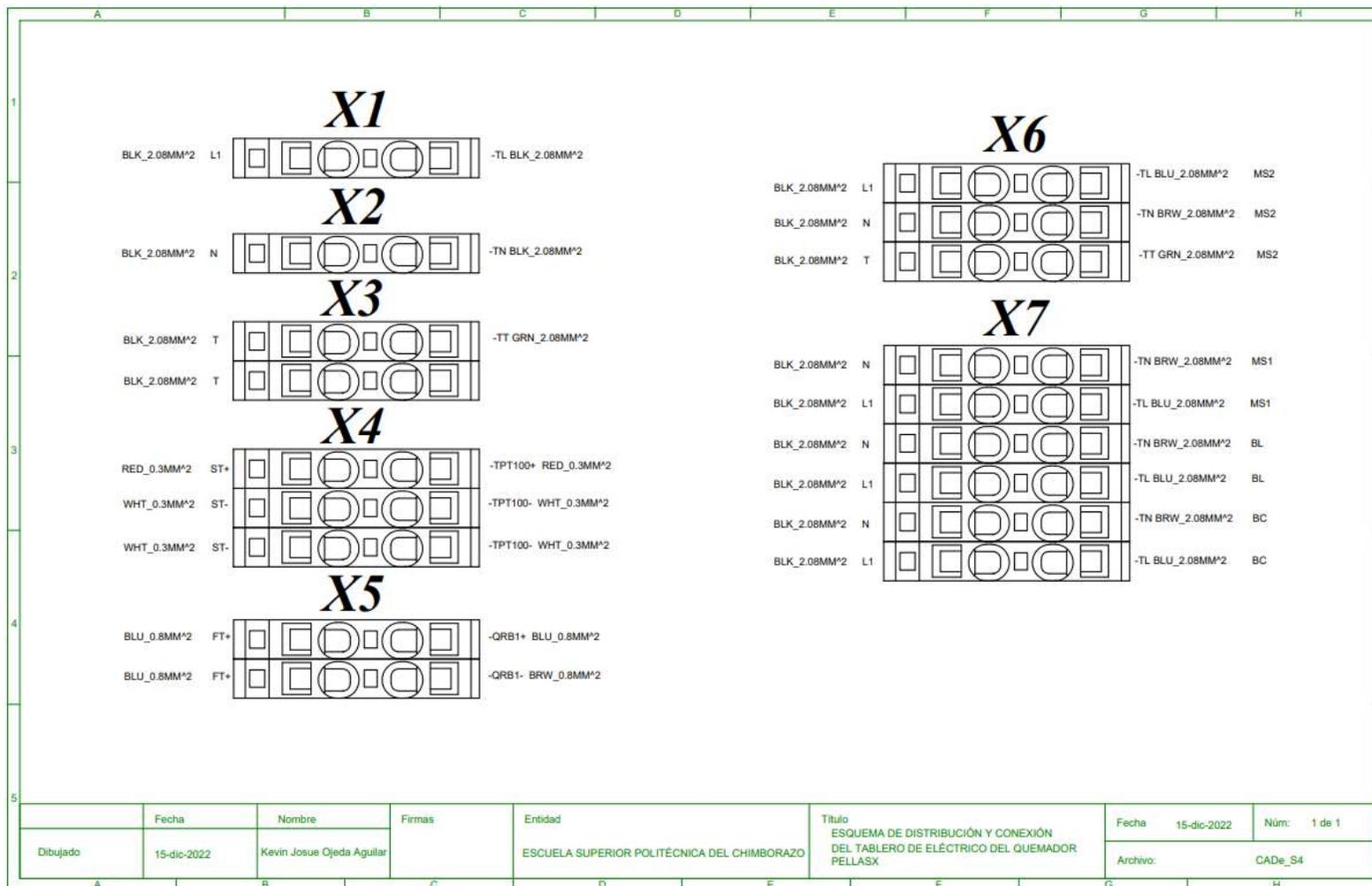
Model specifications		LW28GS-20	LW28GS -25	LW28GS -32	LW28GS -63
Rated voltage insulation U_i	V	690	690	690	690
Rated voltage U_e	V	440	440	440	440
Current development agreement health	A	20	25	32	63
Rated Current workle AC-21A AC-22A AC-23A	A A A A	20 20 15	25 25 22	32 32 30	63 63 57

Model specifications	Size(mm) ALD		
LW28GS-20	43	43	8.5
LW28GS-25	45.2	51	8.5
LW28GS-32	58	55	10
LW28GS-63	66	72.5	10

ANEXOS N: Lámina del tablero eléctrico del quemador



ANEXOS O: Lámina de borneras del tablero eléctrico



ANEXOS P: Hoja de especificaciones optoacoplador MOC3021

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MOC3020/D



6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3020 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option. They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V _R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I _F	60	mA
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P _D	100 1.33	mW mW/°C
OUTPUT DRIVER			
Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I _{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	300 4	mW mW/°C
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V _{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	330 4.4	mW mW/°C
Junction Temperature Range	T _J	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T _A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T _{stg}	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T _L	260	°C

1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

MOC3021
[IFT = 15 mA Max]
MOC3022
[IFT = 10 mA Max]
MOC3023*
[IFT = 5 mA Max]

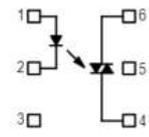
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

Triacs

BT137 series

GENERAL DESCRIPTION

Glass passivated triacs in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional transient and blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

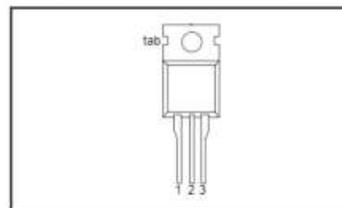
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages	BT137-500	600	800	V
		BT137-500F	600F	800F	
		BT137-500G	600G	800G	
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	8	8	8	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	65	65	65	A

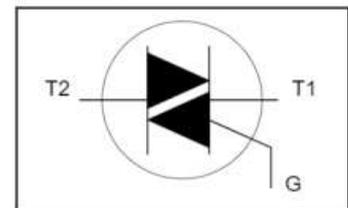
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	main terminal 1
2	main terminal 2
3	gate
tab	main terminal 2

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
				-500	-600	-800	
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages		-	500 ¹	600 ¹	800	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	full sine wave; $T_{mb} \leq 102\text{ }^\circ\text{C}$	-	8			A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	full sine wave; $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ prior to surge $t = 20\text{ ms}$	-	65			A
I^2t	I^2t for fusing	$t = 16.7\text{ ms}$	-	71			A ²
		$t = 10\text{ ms}$	-	21			A ² s
dI_T/dt	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$I_{TM} = 12\text{ A}$; $I_G = 0.2\text{ A}$; $dI_G/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$	-	50			A/ μs
I_{GM}	Peak gate current	T2+ G+	-	50			A/ μs
		T2+ G-	-	50			A/ μs
		T2- G-	-	50			A/ μs
		T2- G+	-	10			A/ μs
			-	2			A
V_{GM}	Peak gate voltage		-	5			V
P_{GM}	Peak gate power		-	5			W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5			W
T_{stg}	Storage temperature		-40	150			$^\circ\text{C}$
T_j	Operating junction temperature		-	125			$^\circ\text{C}$



BTA24, BTB24, BTA25, BTA26 and T25 series

Snubberless™ and Standard

25 A Triacs

Main features

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	25	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT(Q_i)}$	35 to 50	mA

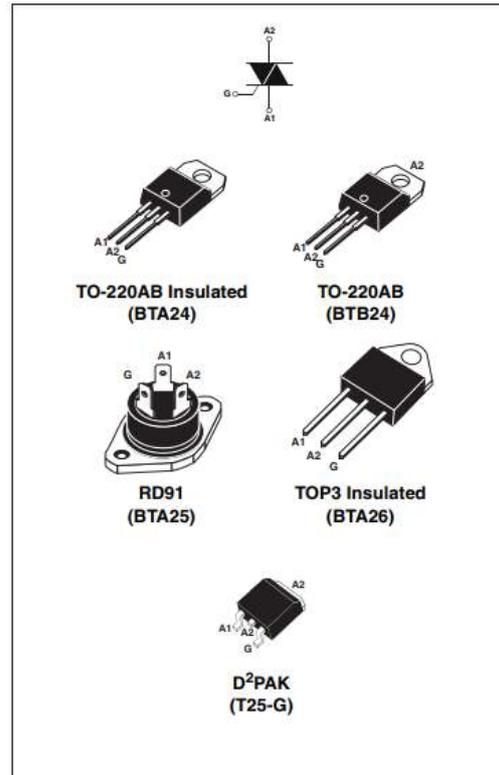
Description

Available either in through-hole or surface-mount packages, the **BTA24**, **BTB24**, **BTA25**, **BTA26** and **T25** triac series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers, ...

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T25 series) are specially recommended for use on inductive loads, thanks to their high commutation performances. By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at $2500V_{RMS}$) complying with UL standards (File ref.: E81734).

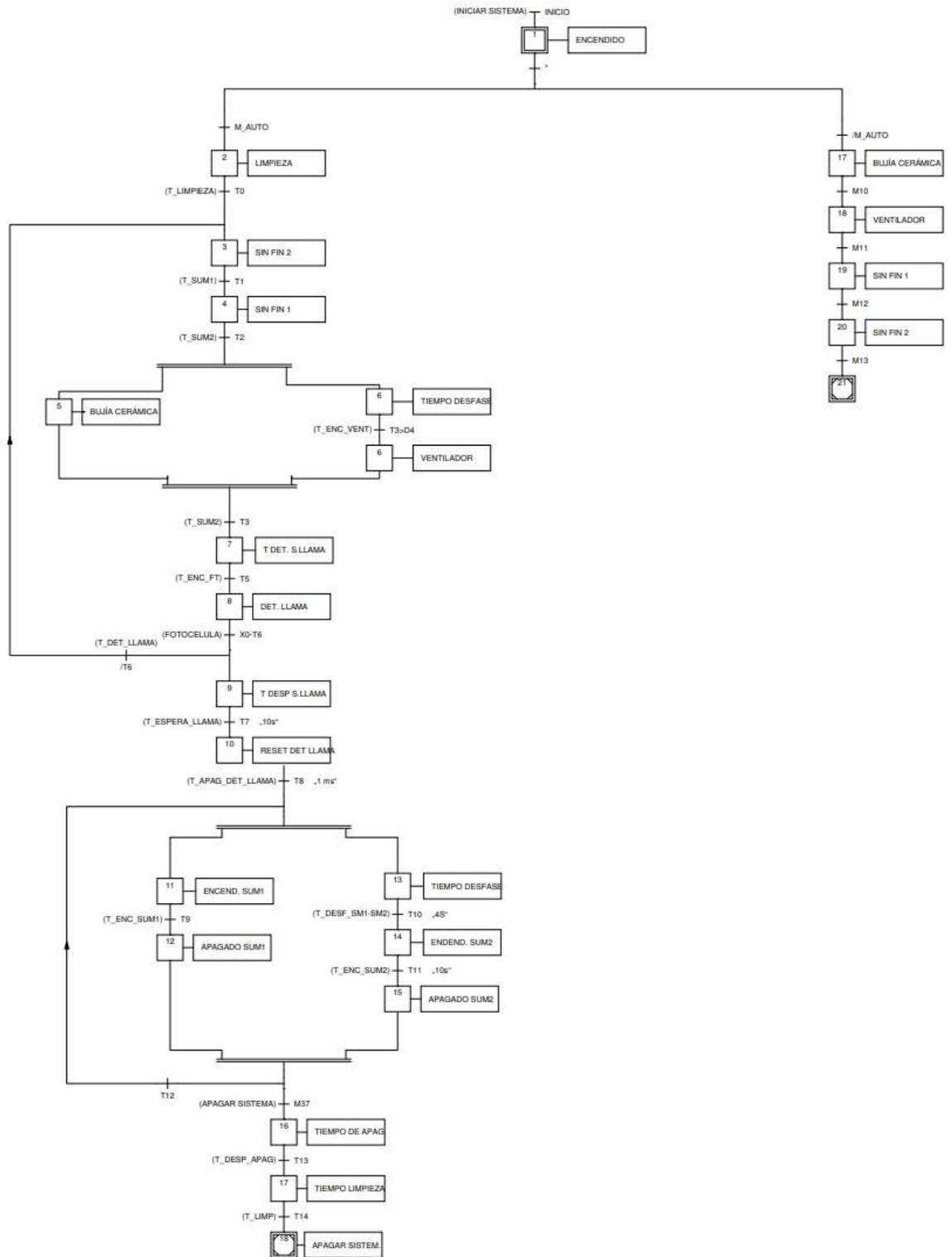
Order codes

Part Number	Marking
BTA24-xxxxxRG	See Table 6 on page 6
BTB24-xxxxxRG	
BTA25-xxxxxRG	
BTA26-xxxxxRG	
T25xx-xxxG	
T25xx-xxxG-TR	



TM: Snubberless is a trademark of STMicroelectronics

ANEXOS S: Hoja de especificaciones relé electromagnético



ANEXOS T: Hoja de especificaciones de pinza Fluke 325

Especificaciones

Máximo voltaje entre cualquier terminal y tierra.....	600 V
Rango	
323.....	400,0 A
324, 325.....	(40,00, 400,0) A
Pilas.....	2 AAA, NEDA 24A, IEC LR03
Temperatura de funcionamiento.....	-10 °C a +50 °C
Temperatura de almacenamiento.....	-30 °C a +60 °C
Humedad de funcionamiento.....	Sin condensación ($\leq 10^{\circ}\text{C}$)
	$\leq 90\%$ de HR (a 10 °C hasta 30 °C)
	$\leq 75\%$ de HR (a 30 °C hasta 40 °C)
	$\leq 45\%$ de HR (a 40 °C hasta 50 °C)
	(sin condensación)
Altitud de funcionamiento.....	2000 metros
Altitud de almacenamiento.....	12.000 metros
Tamaño (L x An x Al).....	(207 x 75 x 34) mm

Corriente CC con mordaza (325)

Rango.....	(40,00, 400,0) A
Resolución.....	(0,01, 0,1) A
Precisión.....	2,0% \pm 5 dígitos

Voltaje CA

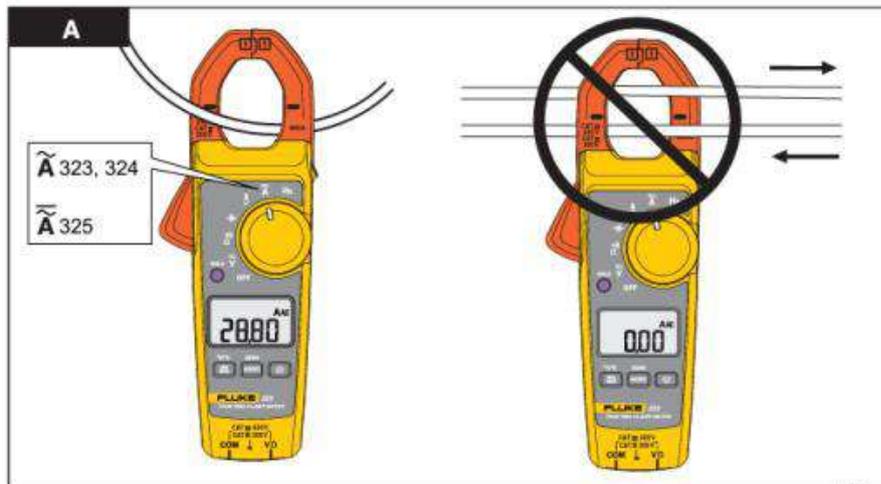
Rango.....	600,0 V
Resolución.....	0,1 V
Precisión (45 Hz– 400 Hz).....	1,5 % \pm 5 dígitos

Voltaje CC

Rango.....	600,0 V
Resolución.....	0,1 V
Precisión.....	1 % \pm 5 dígitos

Resistencia

Rango	
323, 324.....	(400,0 4000) Ω
325.....	(400,0, 4000, 40000) Ω
Resolución.....	(0,1, 1, 10) Ω
Exactitud.....	1% \pm 5 dígitos



ANEXOS U: Certificado de instalación del sistema en Gamboa PELLETS



Baños, 04 de abril de 2023

Presente

De mi consideración:

Con un atento y cordial saludo, por medio de la presente, "**Gamboa PELLETS**", nos permitimos notificar que el trabajo de integración curricular denominado "**SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL QUEMADOR PELLASX, MEDIANTE LA REGULACIÓN DEL SUMINISTRO DE PELLETS DE MADERA Y AIRE**", realizado por: **Kevin Josué Ojeda Aguilar** con C.I.: **235015957-6** estudiante de la carrera de Electrónica y Automatización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo dentro de nuestra instalación, ubicada en Baños-Tungurahua, sector monumento los loros, ha sido analizado y probado continuamente hasta comprobar su correcto funcionamiento.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizado al portador dar uso del presente certificado como creyere conveniente.

Atentamente,



Msc. Andrés Gamboa B.

Gerente General

Baños de Agua Santa, Juive Grande, Tungurahua, Ecuador - +593 992963681
pelletgamboa@gmail.com - CP180250 - www.gamboapellets.com





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10/04/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos:	Kevin Josue Ojeda Aguilar
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad:	Facultad de Informática y Electrónica
Carrera:	Electrónica y Automatización
Título a optar:	Ingeniero en Electrónica y Automatización
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.

