



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

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
Y MONITOREO DE TEMPERATURA EN HORNOS ELÉCTRICOS
PARA LA QUEMA DE CERÁMICA EN LOS LABORATORIOS DE
DISEÑO GRÁFICO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: PABLO ANDRÉS MORÁN IPIALES
BRYAN FABRICIO LAICA TULMO

DIRECTOR: ING. JOSÉ LUIS MORALES GORDÓN

Riobamba – Ecuador

2024

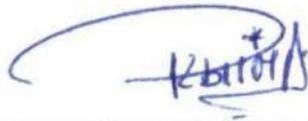
© 2024, Pablo Andrés Morán Ipiates, Bryan Fabricio Laica Tulmo

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

Nosotros, Pablo Andrés Morán IpiALES y Bryan Fabricio Laica Tulmo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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, 25 de Marzo de 2024



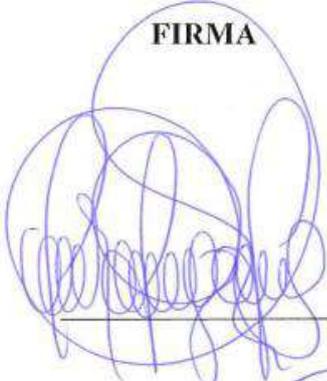
Pablo Andrés Morán IpiALES
100388112-3



Bryan Fabricio Laica Tulmo
050351731-0

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA EN HORNOS ELÉCTRICOS PARA LA QUEMA DE CERÁMICA EN LOS LABORATORIOS DE DISEÑO GRÁFICO**”, realizado por los señores: **PABLO ANDRÉS MORÁN IPIALES** y **BRYAN FABRICIO LAICA TULMO**, 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. Jorge Luis Paucar Samaniego PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-03-25
Ing. José Luis Morales Gordon DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-03-25
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-03-25

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres Lorena Ipiales y Antonio Morán, quienes con apoyo principalmente su amor incondicional y sabios consejos han sido mi mayor fuente de inspiración. A mis hermanos Marjorie Karolina, Anthony Josué y Nathaly Estefanía, por su constante apoyo y motivación que me han impulsado a superar cada desafío. A todos mis familiares, quienes con su apoyo y presencia han sido una motivación importante para la culminación de esta etapa mía. A todos mis amigos, quienes han formado parte de mí, brindándome su amistad y aliento en cada momento difícil. Este logro no habría sido posible sin su presencia constante en cada tramo del camino. Agradezco de todo corazón su inquebrantable apoyo, ¡este logro también es suyo! Con cariño y gratitud, esta victoria va dedicada a ustedes, mis pilares fundamentales.

Pablo

A mis padres Geovanny Laica y Margoth Tulmo quienes con su apoyo incondicional han sido mi mayor fuente de inspiración para lograr este triunfo, mis palabras no pueden expresar mi gratitud hacia ustedes. Su amor y dedicación han sido mi faro en los momentos más difíciles y mi guía en este viaje académico. A mis hermanos Erika Tatiana y Anthony Alexander, por su constante apoyo para que en este momento se haga realidad la culminación de esta etapa mía. A todos mis amigos, quien han formado para de mí, brindándome su amistad y apoyo en los momentos mas difíciles. No hay un solo éxito en mi vida que no sea por parte de todos ustedes. Incluso cuando dudé si lo podría lograr, su fe en mí ha sido un pilar fundamental para superar todo obstáculo que parecía insuperable. Cada pagina de este trabajo de titulación va dedicado a ustedes.

Fabricio

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos aquellos que han estado desde el principio siempre apoyándome y dándome el impulso para seguir en la realización de este objetivo. Mi gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y todos lo que conforman la Facultad de Informática y Electrónica en especial a la carrera de Electrónica y Automatización por brindarme la oportunidad de obtener desarrollo académico y profesional, así como a la carrera de Diseño Gráfico donde se puso en funcionamiento esta tesis. A mi compañero de tesis y amigo Fabricio por la dedicación y trabajo realizo en conjunto en este trabajo de titulación. A mi director de tesis Ing. José Luis Morales por su orientación, conocimiento y confianza en nuestra capacidad, siendo un honor aprender bajo su dirección. A mis amigos agradecerles por la amistad, risas, consejos y momentos vividos dentro y fuera de las aulas a lo largo de estos años. Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de este importante capitulo en mi vida, con profunda gratitud, les dedico este logro.

Pablo

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis amigos y familiares que han estado conmigo desde el principio de este largo viaje académico dándome el impulso necesario para alcanzar esta meta. Mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la facultad de Informática y Electrónica en especial a la carrera de Electrónica y Automatización por brindarme la oportunidad de desarrollarme académica y profesionalmente. De igual manera a la carrera de Diseño Gráfico donde se implemento el trabajo de integración curricular. A nuestro directo de tesis Ing. José Luis Morales por su guía y orientación en el desarrollo de este proyecto técnico. A mi compañero de tesis Pablo por la dedicación, esfuerzo y colaboración durante este trabajo de titulación. A mis amigos por su sincera amistad, risas, anécdotas y apoyo en todo momento durante estos años de preparación académica. Gracias a todos por ser parte importante de este trajinar, han dejado una huella imborrable en mi corazón y ha sido parte esencial de mi éxito. Este logro es tanto suyo como mío.

Fabricio

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
SUMMARY	xx
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Justificación	5
1.3.1	<i>Justificación teórica</i>	5
1.3.2	<i>Justificación aplicativa</i>	7
1.4	Objetivos	7

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Cerámica	9
2.2	Arcilla	10
2.3	Esmaltado.....	11
2.4	Hornos.....	11
2.4.1	<i>Horno eléctrico</i>	12
2.5	Tratamiento térmico	16
2.5.1	<i>Temperatura de calentamiento</i>	16
2.5.2	<i>Tiempo de permanencia</i>	16
2.5.3	<i>Velocidad de calentamiento</i>	16

2.5.4	<i>Velocidad de enfriamiento</i>	17
2.6	Paredes	17
2.7	Ladrillos refractarios	17
2.8	Morteros refractarios	18
2.9	Elemento sensorial	19
2.9.1	<i>Sensores infrarrojos</i>	19
2.9.2	<i>Termocuplas o termopares</i>	20
2.9.3	<i>Resistencias RTDs</i>	20
2.9.4	<i>Selección para el elemento sensorial</i>	21
2.10	Tipos de termopares	22
2.10.1	<i>Tipo K</i>	22
2.10.2	<i>Tipo E</i>	22
2.10.3	<i>Tipo J</i>	22
2.10.4	<i>Tipo N</i>	22
2.10.5	<i>Tipo B</i>	22
2.10.6	<i>Tipo R</i>	23
2.10.7	<i>Tipo S</i>	23
2.11	Sistema de control	24
2.11.1	<i>Control ON-OFF</i>	25
2.11.2	<i>Control proporcional</i>	25
2.11.3	<i>Control proporcional-integral</i>	26
2.11.4	<i>Control proporcional-integral-diferencial</i>	26
2.12	Controlador lógico programable	27
2.12.1	<i>PLC NANO</i>	27
2.12.2	<i>PLC COMPACTO</i>	28
2.12.3	<i>PLC MODULAR</i>	28
2.13	Actuador eléctrico	30
2.13.1	<i>Resistencias eléctricas</i>	30
2.13.2	<i>Resistencias metálicas</i>	30

2.14	Relés industriales	30
2.15	Protocolos de comunicación Industriales	33
2.15.1	<i>Bus de campo</i>	34
2.16	Elemento de protección	34
2.17	Elemento de mando y señalización	34
2.18	Gabinete	35
2.19	Herramientas de software	36
2.19.1	<i>Solidworks</i>	36
2.19.2	<i>IDE de WECON</i>	36
2.19.3	<i>Software de programación</i>	36
2.20	Normas	36
2.20.1	<i>Norma ISA 5.1</i>	37
2.20.2	<i>Norma 82079-1</i>	37
2.20.3	<i>Norma ANSI Z535</i>	37
2.20.4	<i>Norma IEC 60204-1</i>	37
2.21	Diagramas P&ID	38

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	39
3.1	Requerimientos del sistema HEQC	39
3.2	Concepción de la arquitectura	40
3.3	Diseño de la arquitectura	41
3.3.1	<i>Bloque de adquisición de datos</i>	41
3.3.2	<i>Bloque de control</i>	42
3.3.3	<i>Bloque de proceso</i>	42
3.3.4	<i>Bloque de alimentación</i>	42
3.3.5	<i>Bloque de producto</i>	42
3.4	Hardware del proyecto técnico	42
3.4.1	<i>PLC LOGO V8.3 12/24 RCE</i>	42

3.4.2	<i>Termocupla T1300 WRN-010</i>	44
3.4.3	<i>Cable de extensión para termopar tipo K</i>	44
3.4.4	<i>Disyuntor YCL7-63</i>	45
3.4.5	<i>SSR-25DA 25 A INPUT 3-32 VDC OUTPUT 24-480 VAC</i>	47
3.4.6	<i>Base porta fusible</i>	48
3.4.7	<i>HMI PI3070ig</i>	48
3.4.8	<i>Controlador Delta DTB4848</i>	50
3.4.9	<i>Fuente de alimentación</i>	51
3.4.10	<i>Horno eléctrico de resistencias con abertura superior</i>	52
3.4.11	<i>Gabinete metálico 40x30x15</i>	53
3.5	Modelamiento matemático del sistema	53
3.5.1	<i>Descripción del problema</i>	53
3.5.2	<i>Representación térmica</i>	54
3.5.3	<i>Ecuaciones relacionadas en analogía del sistema</i>	55
3.5.3.1	<i>Resistencia</i>	55
3.5.3.2	<i>Capacitancia interna térmica</i>	55
3.5.3.3	<i>Capacitancia</i>	55
3.5.3.4	<i>Resistencia térmica</i>	55
3.5.4	<i>Representación Eléctrica</i>	56
3.5.5	<i>Función de transferencia</i>	56
3.6	Funcionamiento del sistema HEQC	57
3.7	Software de desarrollo del proyecto técnico	59
3.7.1	<i>Diseño del gabinete</i>	59
3.7.2	<i>Parámetros del controlador PID</i>	59
3.7.3	<i>Diseño del HMI</i>	62
3.7.3.1	<i>Pantalla principal</i>	63
3.7.3.2	<i>Pantalla de selección de etapa</i>	64
3.7.3.3	<i>Pantalla de monitoreo</i>	65
3.7.3.4	<i>Pantalla configuración de parámetros</i>	65

3.7.4	<i>Señales de entrada y salida</i>	66
3.7.5	<i>Diagrama grafcet</i>	67
3.7.6	<i>Obtención de las ecuaciones del proceso</i>	69
3.7.7	<i>Programación del PLC</i>	69
3.8	Diseño eléctrico	72
3.8.1	<i>Protección</i>	73
3.8.2	<i>Dimensionamiento de conductor eléctrico</i>	74
3.8.3	<i>Diagrama de conexiones eléctricas</i>	76
3.9	Implementación total del sistema	79
3.10	Diagrama P&ID	80

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE RESULTADOS	83
4.1	Consideraciones Generales	83
4.2	Pruebas de funcionamiento	84
4.2.1	<i>Etapa de precalentamiento del sistema HEQC</i>	84
4.2.2	<i>Etapa de cocción del sistema HEQC</i>	86
4.2.3	<i>Etapa de esmaltado</i>	90
4.2.4	<i>Etapa de control para cocción</i>	92
4.2.5	<i>Etapa de control de esmaltado</i>	95
4.3	Validación de la termocupla T1300 WRN-010	98
4.3.1	<i>Validación con Termómetro Extrech</i>	98
4.3.2	<i>Validación con termómetro infrarrojo Raynger 3i Plus</i>	100
4.4	Análisis económico del proyecto técnico	102
4.5	Pruebas del sistema HEQC	103
4.5.1	<i>Quema de pieza cerámica</i>	103
4.5.2	<i>Consumo energético del sistema HEQC</i>	105

CAPITULO V

5.	Conclusiones y recomendaciones	109
5.1	Conclusiones	109
5.2	Recomendaciones.....	111

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Temperaturas de Cocción para diferentes tipos de arcilla	10
Tabla 2-2:	Características más relevantes de los diferentes tipos de hornos eléctricos	15
Tabla 2-3:	Características más relevantes de los diferentes tipos de sensores.....	21
Tabla 2-4:	Rangos de operación y materiales de las termocuplas	23
Tabla 2-5:	Características de los tipos de PLC	29
Tabla 3-1:	Especificaciones técnicas del PLC LOGO V8.3 12/24 REC	43
Tabla 3-2:	Especificaciones técnicas cable de extensión para termopar tipo K	45
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas de disyuntor YCL 7-63	46
Tabla 3-4:	Especificaciones técnicas del SSR-25DA 20A	47
Tabla 3-5:	Características del HMI PI730ig	49
Tabla 3-6:	Características del controlador Delta DTB4848	50
Tabla 3-7:	Características técnicas de la fuente conmutada S-120-25 AC-DC	52
Tabla 3-8:	Parámetros del controlador PID	61
Tabla 3-9:	Descripción de las entradas y salidas para el PLC	66
Tabla 3-10:	Ecuaciones de las etapas del grafet	69
Tabla 3-11:	Consumo de corriente de los elementos del circuito de control general	73
Tabla 3-12:	Consumo de corriente de los elementos del circuito de control HEQC A	74
Tabla 3-13:	Consumo de corriente de los elementos del circuito de control HEQC B	74
Tabla 3-14:	Estándar AWG para calibre y corriente máxima cable solido THHN	75
Tabla 3-15:	Estándar AWG para calibre y corriente máxima TFF	75
Tabla 3-16:	Descripción de los elementos de conexión	76
Tabla 3-17:	Simbología utilizada en el diagrama P&ID	81
Tabla 3-18:	Nomenclatura utilizada en el diagrama P&ID	82
Tabla 4-1:	Tiempos de duración en la etapa de precalentamiento de los hornos A y B.....	84
Tabla 4-2:	Prueba de normalidad para la etapa del precalentamiento	85
Tabla 4-3:	Tiempos de duración en la etapa de cocción de los hornos A y B.....	87
Tabla 4-4:	Prueba de normalidad para la etapa de cocción	88
Tabla 4-5:	Tiempos de duración en la etapa de esmaltado de los hornos A yB	90
Tabla 4-6:	Prueba de normalidad para la etapa de esmaltado	91
Tabla 4-7:	Tiempos de duración en la etapa control para la cocción de los hornos A y B.....	93
Tabla 4-8:	Prueba de normalidad para la etapa de control en la cocción	94
Tabla 4-9:	Tiempos de duración en la etapa control para el esmaltado de los hornos A y B....	96
Tabla 4-10:	Prueba de normalidad para la etapa de control para el esmaltado.....	97
Tabla 4-11:	Toma de muestras de temperatura en precalentamiento.....	99

Tabla 4-12: Pruebas de normalidad del elemento sensorial con tacómetro RPM10.....	100
Tabla 4-13: Toma de muestras de temperatura en proceso de esmaltado.....	101
Tabla 4-14: Pruebas de normalidad del elemento sensorial con Rayger 3i Plus	102
Tabla 4-15: Análisis económico para la implementación del sistema HEQC	103
Tabla 4-16: Toma de muestras de tensión y corriente en el proceso de quema.....	106
Tabla 4-17: Toma de muestras de tensión y corriente en el proceso de quema cuando se llega a la temperatura objetivo	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Venus Dolni Vestonice.....	9
Ilustración 2-2: Hornos Industriales	12
Ilustración 2-3: Horno eléctrico de resistencias	13
Ilustración 2-4: Horno eléctrico de arco	14
Ilustración 2-5: Horno eléctrico de inducción.....	15
Ilustración 2-6: Representación General de un Tratamiento Térmico	17
Ilustración 2-7: Proceso productivo del ladrillo refractorio	18
Ilustración 2-8: Sensor Infrarrojo	19
Ilustración 2-9: Termocupla o termopar	20
Ilustración 2-10: RTD.....	21
Ilustración 2-11: Elementos del sistema de regulación y control	24
Ilustración 2-12: Control ON/OFF con histéresis	25
Ilustración 2-13: PLC NANO.....	27
Ilustración 2-14: PLC COMPACTO.....	28
Ilustración 2-15: PLC MODULAR	29
Ilustración 2-16: Esquema de un Relé	31
Ilustración 2-17: Solid State Relay	32
Ilustración 2-18: HMI	32
Ilustración 2-19: Modelo gráfico de la norma ANSI-ISA 101	33
Ilustración 2-20: Señalización	35
Ilustración 2-21: Gabinete Industrial	35
Ilustración 2-22: Tipos de líneas en un diagrama P&ID	38
Ilustración 3-1: Concepción de la arquitectura del proyecto técnico	40
Ilustración 3-2: Diagrama de bloques del proyecto técnico	41
Ilustración 3-3: PLC LOGO V8.3 12/24 VDC	43
Ilustración 3-4: Termocupla tipo K-8p1g con revestimiento cerámico	43
Ilustración 3-5: Cable compensado para termocupla tipo K	43
Ilustración 3-6: Disyuntor YCL 7-63.....	46
Ilustración 3-7: SSR-25DA	47
Ilustración 3-8: Porta Fusible de 32 A	48
Ilustración 3-9: HMI PI3070ig	49
Ilustración 3-10: Controlador Delta DTB4848	50
Ilustración 3-11: Fuente S-120-24 AC-DC	51
Ilustración 3-12: Horno eléctrico con abertura superior	52

Ilustración 3-13: Gabinete metálico 40x30x15	53
Ilustración 3-12: Parámetros del sistema	54
Ilustración 3-13: Representación técnica del sistema	54
Ilustración 3-14: Representación eléctrica del sistema	56
Ilustración 3-15: Flujo de proceso del HEQC.....	58
Ilustración 3-16: Diseño de gabinete en Solidworks.....	59
Ilustración 3-17: Script de MATLAB	60
Ilustración 3-18: Toolbox de MATLAB "pidtool"	61
Ilustración 3-19: Respuesta del Controlador PID en el sistema	62
Ilustración 3-20: Entorno gráfico del software PISudio	63
Ilustración 3-21: Diseño de la pantalla principal	64
Ilustración 3-22: Diseño de la pantalla modo de selección de etapa	64
Ilustración 3-23: Diseño de la pantalla de monitoreo	65
Ilustración 3-24: Diseño de la pantalla configuración de parámetros	66
Ilustración 3-25: Diagrama grafcet del HEQC	67
Ilustración 3-26: Interfaz gráfica del software LOGO!Soft Comfort V8.3.	70
Ilustración 3-27: Diagrama Ladder de las etapas número uno, dos, tres	71
Ilustración 3-28: Diagrama Ladder de las etapas número cuatro y cinco.....	71
Ilustración 3-29: Diagrama Ladder de las etapas número seis, siete, ocho y nueve	72
Ilustración 3-30: Diagrama de conexiones eléctricas.....	76
Ilustración 3-31: Implementación de módulo PLC y HMI en el tablero de control general.....	78
Ilustración 3-32: Implementación del tablero del horno A.....	78
Ilustración 3-33: Implementación del tablero del horno B.....	79
Ilustración 3-34: Implementación final del proceso.....	80
Ilustración 3-35: Diagrama P&ID del proceso	81
Ilustración 4-1: Proceso de precalentamiento de los HEQC	84
Ilustración 4-2: Comportamiento de la temperatura en la etapa de precalentamiento del HEQC "A"	86
Ilustración 4-3: Comportamiento de la temperatura en la etapa de precalentamiento del HEQC "B"	86
Ilustración 4-4: Proceso de cocción de los HEQC	87
Ilustración 4-5: Comportamiento de la temperatura en la etapa de cocción del HEQC "A" ...	89
Ilustración 4-6: Comportamiento de la temperatura en la etapa de cocción del HEQC "B" ...	89
Ilustración 4-7: Proceso de esmaltado de los HEQC	90
Ilustración 4-8: Comportamiento de la temperatura en la etapa de esmaltado del HEQC "A".....	92
Ilustración 4-9: Comportamiento de la temperatura en la etapa de esmaltado del HEQC "B".....	92

Ilustración 4-10: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para cocción del HEQC "A"	95
Ilustración 4-11: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para cocción del HEQC "B"	95
Ilustración 4-12: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para el esmaltado del HEQC "A"	97
Ilustración 4-13: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para el esmaltado del HEQC "B"	98
Ilustración 4-14: Tacómetro Extech RPM10	99
Ilustración 4-15: Termómetro Raynger 3i Plus.....	101
Ilustración 4-16: Pieza de cerámica	104
Ilustración 4-17: Proceso de precalentamiento con una pieza de cerámica	104
Ilustración 4-18: Pieza cerámica finalizado el proceso de cocción	105
Ilustración 4-19: Sensor de tensión y corriente	105
Ilustración 4-20: Consumo de energía del horno durante el control de la temperatura	107

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE DATOS DEL PLC LOGO V8.3 12-24-RCE

ANEXO B: HOJA DE DATOS DEL HMI PI3070IG

ANEXO C: HOJA DE DATOS DEL CONTROLADOR DELTA DTB4848

ANEXO D: PROGRAMACIÓN EN DIAGRAMAS DE BLOQUES DEL PLC LOGO V8.3

ANEXO E: HOJA DE DATOS TERMÓMETRO RPM10

ANEXO F: HOJA DE DATOS TERMÓMETRO INFRARROJO RAYNGER 3I PLUS

ANEXO E: ENCUESTA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HEQC.

RESUMEN

En algunos hornos eléctricos industriales, especialmente aquellos que superan los 1000°C, se han utilizado tradicionalmente conos pirométricos para determinar la temperatura del horno. Este método depende de la observación continua del operario, lo que afecta la calidad del producto final, requiere atención constante y expone al operario a riesgos de quemaduras. Por consiguiente, el trabajo de integración curricular titulado “Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo de temperatura en hornos eléctricos para la quema de cerámica en los laboratorios de diseño gráfico”, el desarrollo de un sistema que controla la potencia en las resistencias eléctricas para variar la temperatura, este sistema se retroalimenta mediante sensores y brinda al operario la opción de observar y controlar el proceso de quema desde un tablero de control. El trabajo comenzó con la investigación del fundamento teórico sobre hornos eléctricos para cerámica, sensores y tipos de control de temperatura. Posteriormente, se llevó a cabo un estudio sobre los tipos de materiales cerámicos y sus principales características. Luego, se diseñó el controlador basándose en modelos matemáticos consultados en libros, tesis y referencias virtuales relacionadas con hornos industriales. A través del uso de herramientas de Matlab, se lograron obtener los parámetros adecuados para realizar el algoritmo de control y mantener la temperatura estable, destacando que el control PID brinda corrección del error en estado estable, aborda oscilaciones y corrige los cambios rápidos en el transitorio. Este control se validó mediante mediciones con los sensores utilizados, obteniendo un error de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ en referencia a todas las etapas. En este contexto, este estudio logró establecer las características del sensor a usar y los protocolos de comunicación para la transmisión de datos, llegando al desarrollo exitoso del sistema de control y monitoreo de temperatura en hornos eléctricos durante pruebas reales con la quema de piezas cerámicas.

Palabras clave: <CONTROL TEMPERATURA>, <HORNO ELÉCTRICO>, <SISTEMA DE MONITOREO>, <CERÁMICA>

0347-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

In some industrial electric furnaces, especially those exceeding 1000°C, pyrometric cones have traditionally been used to determine the furnace temperature. This method relies on the operator's continuous observation, which affects the final product's quality, requires constant attention, and exposes the operator to the risk of burns. Therefore, the curricular integration research project titled "Design and implementation of a temperature control and monitoring system in electric furnaces for firing ceramics in the laboratory of graphic design," the development of a system that controls the power in electrical resistors to vary the temperature, this system is fed back by sensors and provides the operator with the option to observe and control the firing process from a control panel. The work began with the research of the theoretical foundation of electric furnaces for ceramics, sensors, and types of temperature control. Subsequently, a study was conducted on the types of ceramic materials and their main characteristics. The controller was then designed based on mathematical models consulted in books, theses, and virtual references related to industrial furnaces. Using MATLAB tools, the appropriate parameters were obtained to create the control algorithm and maintain a stable temperature, highlighting that the PID control provides steady-state error correction. This control was validated through measurements with the sensors used, obtaining an error of $\pm 2^{\circ}\text{C}$ about all stages. In this context, this study successfully established the sensor's characteristics and the communication protocols for data transmission, leading to the successful development of the temperature control and monitoring system in electric furnaces during real-world tests with ceramic parts firing.

Keywords: <TEMPERATURE CONTROL>, <ELECTRIC FURNACE >, <MONITORY SYSTEM>, <CERAMICS>.

0347-DBRA-UPT-2024



LENIN IVÁN LARA OLIVO

0602546103

INTRODUCCIÓN

La cerámica constituye un arte e industria que, desde sus inicios, se fundamenta en la cocción de una masa arcillosa. La arcilla, mineral derivado de la descomposición de las rocas en un proceso natural que abarca decenas de miles de años, es el componente central. Se identifican varios tipos de arcilla, siendo la blanca la más pura al contener silicato de aluminio o caolín, conocida en términos cerámicos como pasta blanca. La arcilla roja, caracterizada por el color que le confiere el hierro de su descomposición, es ampliamente reconocida. Además, existen variedades como la arcilla azul, rica en cal, y la arcilla negra, donde predomina el azufre. El proceso de manipular la arcilla con agua y someterla a cocción se denomina cerámica (Canillada Huerta, 2007).

Se lleva a cabo un análisis del funcionamiento del horno para determinar los parámetros del sistema. Estos desempeñan un papel fundamental en la fabricación de piezas cerámicas, desde sus formas más tempranas hasta la delicada porcelana. Estos equipos permiten cocer los distintos tipos de arcilla mencionados, creando objetos utilitarios y decorativos esenciales para el almacenamiento, transporte y conservación de alimentos. La temperatura se considera un factor crítico que influye significativamente en el proceso de cocción y en las características finales de la pieza. La capacidad de regularla en los hornos se convierte en el parámetro crucial para lograr piezas duraderas y estéticamente atractivas. Así, se puede alcanzar una sinterización completa de las partículas de arcilla, lo que resulta en una reducción de la porosidad, deformación, grietas y desviaciones en las piezas cerámicas, tanto en el proceso de cocción como en el esmaltado (Sánchez Molina & Díaz García, 2011).

El proyecto técnico del trabajo de integración curricular consiste en la realización de un sistema de control para hornos eléctricos para la quema de cerámica, capaz de llevar a cabo de manera automática los diversos procesos de cocción de cerámica en los laboratorios de la Facultad de Informática y Electrónica. Dependiendo de las características de la pieza, el cocido y esmaltado ocurren a diferentes rangos de temperatura, velocidades de calentamiento, tiempos de permanencia y velocidades de enfriamiento. Por lo tanto, se requiere un dispositivo que, además de alcanzar estos rangos de transformación, permita controlar eficaz y automáticamente el régimen del proceso.

Es importante contar con una herramienta que permite visualizar, almacenar y gestionar la información del proceso de quema de cerámica en cuestión. El avance de la tecnología está haciendo que los procesos industriales mejoren su rendimiento mediante el uso de tecnología computarizada, la cual brinda ayuda en la supervisión y control de todas las variables que se pueden manejar dentro de un proceso industrial (Corella Boris Marcelo & Velasco Fabricio Ismael, 2016).

Posteriormente, se seleccionan los dispositivos que se adaptarán a las necesidades y se desarrolla una interfaz gráfica para monitorear la temperatura, el tiempo y la corriente. La implementación de este proyecto será un aporte a la carrera de Diseño Gráfico que responde a la necesidad de formar individuos con sólidos conocimientos en artes y humanidades aplicados a la cerámica tradicional, utilizando materiales como los distintos tipos de arcilla. Esto impulsa a los estudiantes a adquirir conocimientos a través de la resolución de problemas reales en el campo, para sus actividades prácticas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

El presente capítulo se centra en el análisis del problema asociado con un sistema de supervisión y control de temperatura en los hornos eléctricos utilizados en el proceso de quema de cerámica. Se abordará la justificación teórica y aplicada, junto con los objetivos generales y específicos para los equipos de Hornos Eléctricos para la Quema de Cerámica (HEQC).

1.2 Planteamiento del problema

Se ha realizado una revisión bibliográfica de investigaciones, modelos, diseños y sistemas de control, monitoreo y regulación de temperatura acerca del proceso de quema de cerámica en hornos eléctricos. Dentro de las investigaciones más importantes destacan las que se presentan a continuación.

1.1.1 Antecedentes

Mundial. – En la Universidad Carlos III de Madrid se diseñó e implementó un horno de aproximadamente 11x11x10 cm rodeado de ladrillos aislantes, fibra cerámica, lana de roca y carcasa de chapa de aluminio, el caldeo es mediante una resistencia eléctrica ubicada en el interior del hueco, la que produce calor por efecto Joule, empleando una corriente eléctrica para conseguirlo. Al no haber combustión, no tiene necesidad de introducir aire exterior, lo que reduce el calor desperdiciado en los gases de evacuación. Sin embargo, las resistencias deben ser de material sólido y por lo tanto tienen que soportar no solo la temperatura que se desea obtener en el horno, sino también generar una temperatura interna y superficial superior, ya que los hornos suelen funcionar por radiación. Por otro lado, el interior del horno es un entorno hostil al material de las resistencias que debe repetir innumerables ciclos de calentamiento y enfriamiento (debidos al control de potencia por PWM), y soportar oxidaciones o reducciones en su superficie. Según estudios se han desarrollado materiales específicos adecuados para estas aplicaciones como son: $MoSi_2$ que soporta temperaturas de hasta 1850 °C muy resistentes a atmósferas reductoras y oxidantes; SiC soportando temperaturas de hasta 1600 °C estos elementos tienen forma de barras gruesas y su resistencia depende fuertemente de la temperatura y del envejecimiento. Asimismo, aleaciones ferríticas y austeníticas. El controlador consiste en dos placas de circuito impreso con un microcontrolador de 8 bits, memoria EEPROM, convertidor A/D, sensor de temperatura, pantalla LCD alfanumérica, botones, leds indicadores y conexión serie RS-232 (Bish Takeuchi, 2009).

Regional. – En la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se ha diseñado estrategias de control para hornos eléctricos. Según estudios entre los diferentes tipos de hornos resaltan los hornos industriales de resistencias permitiendo controlar la velocidad de elevación de la temperatura que puede alcanzar rangos de 1200 °C. En el caso de tratamientos térmicos, se pretende cambiar la resistencia, dureza u otras propiedades de los materiales con el fin de impartir determinadas características a la pieza tratada. El control de temperatura de un horno industrial es un proceso no lineal, por lo tanto, se debe desarrollar estrategias de control que se ajuste a los requerimientos por los tratamientos térmicos. A través de un modelo matemático propuesto se muestra el comportamiento de la temperatura interna, en el tiempo, cuando se aplica una potencia eléctrica, teniendo varias consideraciones como una capacidad térmica de la pared reducida y una aproximación de la temperatura entre las resistencias y la pared interior del horno (Avella Molano, 2015).

Local. – En una institución de educación superior en Ecuador, específicamente la Escuela Politécnica Nacional, desarrolló un prototipo de horno calentado por resistencias eléctricas a través de la facultad de ingeniería mecánica. Este horno fue diseñado para operar en un rango de temperaturas que oscila entre los 1000 °C y los 1350 °C, y se encuentra bajo el control de un sistema computarizado. El propósito de este dispositivo es servir al laboratorio de tratamientos térmicos de la facultad de ingeniería mecánica. Los hornos de resistencias son aquellos en los cuales la energía requerida para calentar el interior proviene de las resistencias eléctricas que están directamente en contacto con las piezas o se encuentran dispuestas en el horno, transfiriendo calor a la carga a través de diversos métodos de transmisión de calor. A pesar de que los hornos eléctricos tienden a ser más costosos en comparación con otros tipos de hornos, presentan ventajas significativas. Entre las ventajas más destacadas se incluyen la capacidad de alcanzar temperaturas muy elevadas sin necesidad de un diseño especial y la facilidad de controlar automáticamente la temperatura (Corella Boris Marcelo & Velasco Fabricio Ismael, 2016).

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la facultada de informática y electrónica existe la carrera de Diseño Gráfico donde se ha tomado en cuenta alternativas innovadoras y exitosas en la metodología enseñanza – aprendizaje, siendo el aprendizaje basado en proyectos la nueva forma de ver al tema de la educación y teniendo en cuenta la premisa que el conocimiento es parte de la actividad, se han establecido materias que son imprescindibles en este ámbito como Diseño Básico I, Diseño Básico II, en respuesta a la necesidad de formar individuos con sólidos conocimientos en artes y humanidades, aplicados a la cerámica tradicional con materiales como son la arcilla y el barro, donde a los estudiantes se les impulsa a lograr conocimientos en base a la resolución de problemas de campo, teniendo en cuenta tiempo determinados y no simulados, se implementan diversas técnicas y métodos para el diseño y la escultura de piezas cerámicas.

Dado que estas piezas requieren ser cocidas a temperaturas muy altas y específicas en tiempos determinados, surge la necesidad de controlar el proceso de cocción y la temperatura en las piezas diseñadas en las aulas de Diseño Gráfico.

1.1.2 Formulación del problema

A partir de las revisiones bibliográficas realizadas referente a los procesos de cocción, sistemas de control y monitoreo de temperatura en HEQC, se plantea la siguiente pregunta:

¿Es posible implementar un sistema de control de temperatura, que mantenga la uniformidad de calor dentro de hornos eléctricos para la quema de material cerámico, considerando el monitoreo del proceso en tiempo real?

1.1.3 Sistematización del problema

¿Cuál sería el sistema de control a implementar para mantener una temperatura continua en los hornos eléctricos?

¿Cómo se puede lograr la automatización del proceso de cocción de material cerámico, incluyendo la configuración de parámetros, control de temperatura, tiempo de cocción y gestión de etapas?

¿Cuáles son las consideraciones ineludibles para el monitoreo y control en tiempo real de los hornos eléctricos, utilizando sensores y sistemas de adquisición de datos, para garantizar una operación eficiente?

¿Cómo se puede validar el correcto funcionamiento del sistema de control e interfaz HMI para controlar y monitorear los datos de temperatura dentro del horno eléctrico?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

En el diseño de piezas cerámicas, se encuentran diversas variantes que abarcan tejas, botijos, cántaros, platos, esculturas, entre otros. El proceso cerámico se inicia con la selección de materias primas que incluyen arcilla, arena, feldespato, carbonatos, entre otros. Se busca homogeneizar los componentes para garantizar características uniformes en la masa. Posteriormente, se lleva a cabo

la molturación, y si es húmeda o seca, afecta únicamente al costo de la infraestructura utilizada, siendo la molturación húmeda la opción más rentable y ampliamente empleada en la actualidad (Canillada Huerta, 2007).

Los hornos son productos tecnológicos en los cuales se realizan transformaciones de materias primas empleando energía térmica, para obtener un producto final (Castillo Riojas & Rodríguez Montana, 2004). En el transcurso de la historia, el horno ha estado sometido a frecuentes mejoras tecnológicas hasta llegar a la magnitud y complejidad que tiene hoy en día. El horno es un espacio cerrado en el cual el calor es intencionalmente liberado por combustión, mecanismos eléctricos o reacciones nucleares. Mecanismos que provee un procesamiento térmico de un artículo o sustancia en un ambiente de temperatura y atmosfera controladas, a veces por llama directa o a través de transferencia de calor por convección o radiación (Sánchez Molina et al., 2014).

Los materiales cerámicos abarcan muchas aplicaciones, así se tiene desde la cerámica decorativa, hasta el uso en aplicaciones de ingeniería, tal como, en turbinas de gas o circuitos integrados. La palabra cerámica, de origen griego “ceramos”, significa arcilla; la cerámica propiamente dicha aparece cuando el hombre descubre la capacidad de endurecimiento de la arcilla mediante la cocción. La creación de piezas cerámicas se caracteriza por su naturaleza técnica, siendo más un proceso técnico que una expresión artística. Aunque comúnmente se asocia la cerámica con la fabricación de objetos de arcilla cocida a altas temperaturas, es esencialmente un procedimiento técnico (Cáceres Hernández et al., 2003).

En los procesos que implican la transferencia de calor, ya sea de manera directa o indirecta en magnitudes considerables, se presentan pérdidas de energía que están estrechamente relacionadas con la falta de comprensión del comportamiento térmico de dichos procesos. En algunos procesos de cocción de elementos cerámicos se presenta deficiencia en la cocción e ineficiencia en la transferencia de calor. Los perfiles de temperatura desempeñan un papel fundamental en la evaluación de la transferencia de energía térmica y son, asimismo, cruciales para identificar las verdaderas causas de las deficiencias presentes en los procedimientos de fabricación de piezas cerámicas (Marrugo Carreazo et al., 2015).

En base a lo expuesto, los hornos han sido una herramienta transcendental en la historia de la humanidad. Su capacidad para controlar y aprovechar el fuego ha impulsado avances significativos en diversos campos, desde la metalurgia y la cerámica hasta la alimentación y la fabricación en general. El desarrollo y la mejora de los hornos a lo largo del tiempo han permitido la creación de productos cada vez más sofisticados, contribuyendo así al progreso y la evolución de la sociedad.

1.3.2 Justificación aplicativa

Para el desarrollo del sistema de control y monitoreo de temperatura del HEQC, destinado a la producción de piezas cerámicas, se asegura que no se produzcan deformaciones, grietas o problemas de vitrificación. Se busca obtener resultados consistentes, para optimizar tiempo y garantizar la seguridad al prevenir situaciones potencialmente peligrosas, como el sobrecalentamiento o la liberación de gases tóxicos.

El proceso implica obtener piezas de cerámica previamente elaboradas, teniendo en cuenta sus atributos particulares. Los operadores seleccionan a través de un HMI los tiempos de cocción, la temperatura, la selección de etapas y la visualización del proceso en tiempo real.

Posteriormente, los parámetros del proceso de cocción se ingresan al controlador. Este controlador autoriza el encendido de los actuadores, en este caso, las resistencias eléctricas. El sistema se retroalimenta a través de sensores de temperatura industriales, asegurando que se alcance una cocción óptima para la pieza cerámica. Finalmente, la interfaz de pantalla (HMI) proporciona información sobre el proceso de quema, conectividad, temperaturas.

1.4 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control y monitoreo de temperatura en hornos eléctricos para la quema de cerámica en los laboratorios de Diseño Gráfico.

1.3.2 Objetivo específico

- Determinar el fundamento teórico sobre el cual se sustenta el funcionamiento de hornos eléctricos para la quema de cerámica.
- Diseñar el sistema de control y monitoreo de temperatura de los hornos eléctricos.
- Especificar las consideraciones ineludibles para utilizar sensores y sistemas de adquisición de datos para monitorear y controlar en tiempo real un horno eléctrico.

- Comprobar el funcionamiento del sistema de control y monitoreo en el proceso de la quema de cerámica.

CAPÍTULO II

Se desarrolla el estado del arte en donde se destacan los conceptos de materia prima para el desarrollo de piezas cerámicas. El desarrollo del sistema de control y monitoreo de temperatura para Hornos Eléctricos para la Quema de Cerámica (HEQC), se basa en un análisis exhaustivo de su estructura y requisitos.

2. MARCO TEÓRICO

Para llevar a cabo este proceso, es esencial contar con conocimientos específicos, que son necesarios para la realización de este proyecto de integración curricular. Estos conocimientos incluyen aspectos como materia prima, actuadores eléctricos, transductores, tipos de control, controladores, entre otros. Por lo tanto, se proporciona fundamentos teóricos relacionados con estos temas.

2.1 Cerámica

La cerámica, como manifestación artística e industrial, ha arraigado sus inicios en la cocción de una masa arcillosa. En sus primeras etapas, las piezas solían secarse al sol o cerca del fuego y, posteriormente, se sometían a cocción en una hoguera. Aunque las temperaturas máximas dentro de la hoguera oscilaban entre los 680 °C y 920 °C, este método presentaba inconvenientes notables, como una distribución poco homogénea y dificultad en el control. Esta tradición tiene una historia que se extiende por miles de años, siendo ejemplificada por artefactos antiguos como la Venus de Dolní Vestonice, ilustrada en la *Ilustración 2-1* (Bish Takeuchi, 2009).



Ilustración 2-1 Venus Dolni Vestonice

Fuente: (Bish Takeuchi, 2009)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.2 Arcilla

La cerámica se realiza a partir de la arcilla, una materia prima que constituye una roca natural extendida por gran parte de la corteza terrestre. La arcilla se divide en dos clases fundamentales: primaria y secundaria. La arcilla primaria, de tono blanco y baja plasticidad, es mineral en estado puro, compuesta mayormente por feldespatos resultantes de la descomposición química de rocas. Por otro lado, la arcilla secundaria, conocida como barro, contiene impurezas como humus, arena, cal y partículas silíceas, lo que le confiere colores que van desde el rojo hasta el negro, pasando por tonalidades como el amarillo y el gris. A diferencia de la arcilla primaria, la secundaria es fácil de modelar. La calidad de la arcilla se determina según su contenido de alúmina, siendo los porcentajes ideales generalmente de un 24% a un 35% de alúmina (Cáceres Hernández et al., 2003).

Tabla 2-1: Temperaturas de Cocción para diferentes tipos de arcilla

Tipos de arcilla	Composición	Temperatura de cocción
Arcilla de ladrillos	Silicato de aluminio, Caolinita	850 °C – 1000 °C
Arcilla de alfarero	Silicato de aluminio	900 °C – 1050 °C
Arcilla de gres	Silicato de aluminio, Cuarzo y Feldespato	Mayor de 1000 °C
Arcilla ball clay	Caolinita, Cuarzo y Feldespato	1100 °C – 1300 °C
Caolín	Caolinita, Cuarzo, Feldespato y Óxidos de hierro	1250 °C – 1450 °C
Arcilla refractaria	Sílice, Alúmina, Óxidos de magnesio y Óxidos de hierro	1500 °C
Bentonita	Montmorillonita, Aluminio, Sílice, Magnesio.	650 °C – 1200 °C

Fuente: (Cáceres Hernández et al., 2003)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con base en la información de la *Tabla 2-1*, es fundamental considerar que las temperaturas de cocción específicas pueden variar en función de la composición de la arcilla, el producto final deseado y el método de fabricación aplicado. Asimismo, las fluctuaciones en las condiciones del horno y otros factores pueden influir en las temperaturas de cocción efectivas (Cáceres Hernández et al., 2003).

2.3 Esmaltado

La variación en la decoración pintada depende principalmente del punto de fusión de los óxidos metálicos presentes en los colores. Los óxidos más comunes incluyen el de cobalto para el azul, el de cobre para el verde, y el de manganeso para el violeta, entre otros. Estas decoraciones pueden aplicarse antes de introducir la pieza en el horno por primera vez, en la etapa "en crudo", o después de un primer horneado "en bizcocho". También se pueden aplicar antes de recibir la capa de barniz o sobre la capa vidriada en el proceso conocido como "pintura sobre cubierta" (Cáceres Hernández et al., 2003).

Las pastas de trabajo hechas a mano se utilizan en un rango de temperatura que oscila entre los 690 y 1100 °C, siendo este tipo de pasta la más común para la fabricación de adornos y piezas decorativas como tazas, vasos y platos. En contraste, las pastas de Gres se manejan en rangos de temperatura más elevados, entre 1190 y 1230 °C. Dado que son pastas más compactas, requieren hornos especiales capaces de alcanzar temperaturas más altas. Las pastas de Gres son especialmente adecuadas para la escultura, la creación de murales y la producción de piezas artísticas (Cáceres Hernández et al., 2003).

2.4 Hornos

La necesidad de realizar la cocción de piezas cerámicas ha sido una motivación constante para la investigación y experimentación humanas en diversas técnicas de tratamiento de arcilla. En los albores de esta práctica, los hornos iniciales consistían en simples hogueras alimentadas con leña o estiércol, donde las vasijas se colocaban para su cocción. La temperatura de cocción se controlaba mediante el calor generado, resultando en un proceso poco uniforme (Vara & Yene, 2018).

Con el tiempo, los hornos industriales mostrados en la *Ilustración 2-2* han evolucionado y se han convertido en cámaras herméticas construidas con ladrillos refractarios. Estos modernos hornos incluyen una variedad de elementos de calefacción y pueden funcionar con distintas fuentes de energía, como electricidad, gas o leña, entre otras. Son capaces de someter a temperaturas extremas elementos como galletas o fragmentos de vidrio en un entorno controlado (Díaz Astudillo, 2011).



Ilustración 2-2: Hornos Industriales

Fuente: (CarboSystem, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.4.1 Horno eléctrico

La electricidad es el medio ideal de calentamiento para el tratamiento térmico de los materiales cerámicos, ya que permite un fácil control de la temperatura, no requiere respiraderos, ni tiros (natural o inducido). Existen dos tipos básicos de hornos eléctricos, los de elementos metálicos y los de elementos no metálicos. Los elementos metálicos están presentes en forma de alambres o de cinta y se hacen de aleaciones que ofrecen gran resistencia eléctrica; los elementos no metálicos son de naturaleza cerámica, se hacen de carburo de silicio fundido en forma de varillar de diferentes diámetros (Sánchez Molina & Díaz García, 2011).

Tipos de hornos eléctricos

Hay diversos tipos de hornos eléctricos, clasificados comúnmente según su elemento actuador y su método de procesar la energía. Entre ellos se encuentran:

2.4.1.1 Horno eléctrico de resistencias

Los hornos eléctricos de resistencias se caracterizan por ser fáciles de instalar, útiles, resistentes y prácticos. Tienen una potencia de 1200 W, alimentada por una tensión de 220V a 240V. Se configuran mediante un conjunto de resistencias eléctricas ubicadas en una cámara separada,

construida con un cable de Kabul, ladrillos refractarios ligeros o combinaciones de ambos materiales. Estos hornos pueden alcanzar temperaturas operativas que oscilan entre 500 y 1250 °C, dependiendo del diseño, con una carga específica de 250 a 800 kWh por tonelada. Existen tres tipos de aberturas disponibles (Vara & Yene, 2018):

- **Frontal:** Resulta conveniente para cargar y descargar el horno.
- **Superior:** Poco incomoda, requiere inclinarse para introducir las piezas en el horno como se observa en la *Ilustración 2-3*.
- **Cilíndrica:** Esto tiene la ventaja de un diseño simple que simplifica incluso la disipación de calor. Son más baratos de lo habitual, en cuyo caso las aberturas serán más grandes.



Ilustración 2-3: Horno eléctrico de resistencias

Fuente: (Sio-2, s.f.)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.4.1.2 Horno eléctrico de arco

Como se muestra en la *Ilustración 2-4*, este horno proporciona calor mediante un arco eléctrico generado con tres o dos electrodos hechos de carbón o grafito, dependiendo del proceso. La estructura del horno está cubierta con material refractario. La generación del arco voltaico entre los electrodos y la masa fundida tiene la capacidad de alcanzar temperaturas de hasta 3500 °C (Calvo, 2015).

Estos hornos han sido concebidos para ser alimentados con un rango de voltaje entre 400V y 800V. En la realidad, los hornos eléctricos de arco proporcionan una potencia de 2000 W y se emplean comúnmente en procesos como baños de sales, fusión de acero, fundición de hierro y la

formación de aleaciones como latones, bronce y aleaciones de níquel. Esto se debe a su capacidad para alcanzar temperaturas de hasta 3500 °C (Calvo, 2015).

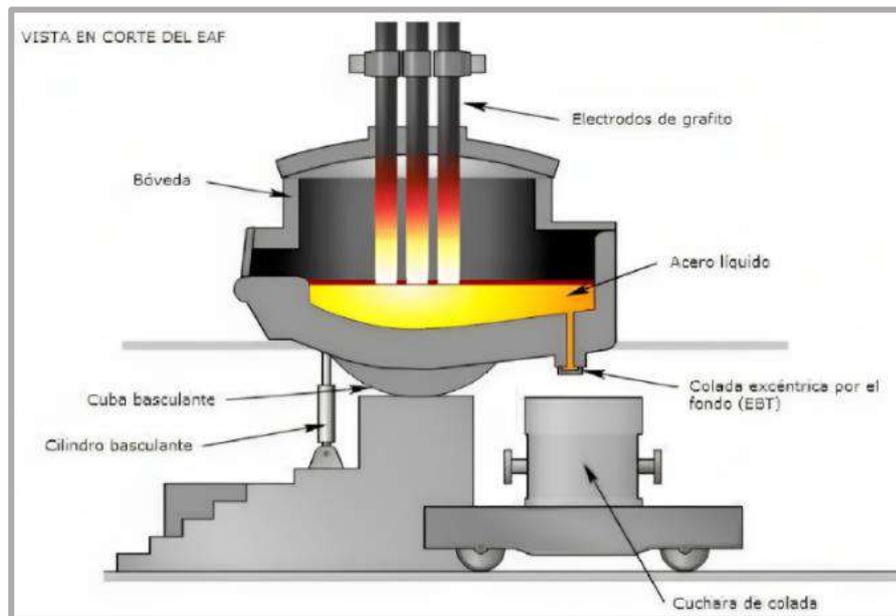


Ilustración 2-4: Horno eléctrico de arco

Fuente: (Mendoza, s.f.)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.4.1.3 Horno eléctrico de inducción

Funciona mediante la generación de un campo magnético derivado de la circulación de corriente alterna a través de las bobinas que rodean el revestimiento del horno, logrando una potencia de 100 KW. Su suministro eléctrico varía entre 200V y 2000V, dependiendo de su diseño. Los hornos de inducción, ilustrados en la Figura 2-5, aprovechan una corriente inducida, generando energía mediante la inducción sin núcleo gracias a una corriente de alta frecuencia suministrada a la bobina primaria. Esta bobina alcanza una temperatura de 2800 °C según su diseño y está refrigerada por agua que circula alrededor del crisol. La estructura incluye una espiral cilíndrica internamente enfriada por circulación de agua, compuesta de tubos de cobre con sección rectangular o cuadrada, donde se ubica el crisol. Estos hornos presentan notables ventajas (Calvo, 2015):

- Su producción es de gran calidad, con oxidaciones muy reducidas y análisis constante.
- El crisol refractario no impide la acción del campo magnético.
- Son usados gradualmente para la fundición ferrosa.
- Poseen un excelente control metalúrgico y están relativamente libre de contaminación.

- Están disponibles en capacidades de hasta 75 toneladas.

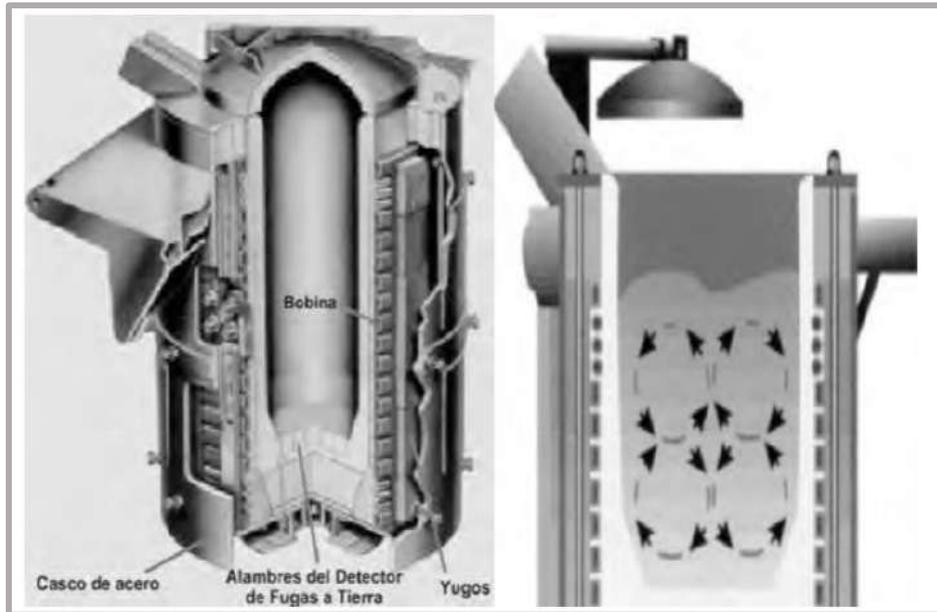


Ilustración 2-5: Horno eléctrico de inducción

Fuente: (Calvo, 2015)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tabla 2-2: Características más relevantes de los diferentes tipos de hornos eléctricos

Tipo de Horno eléctrico	Potencia del horno	Tensión	Temperatura de operación	Carga específica
Horno de resistencias	1200 W	220 - 240 V	500 – 1250 °C	250 – 800 kWh/tonelada
Horno de arco	2000 W	400 – 800 V	3500 °C	500 – 800 kWh/tonelada
Horno de inducción	100 KW	200 – 2000 V	2800 °C	200 – 800 kWh/tonelada

Fuente: (Calvo, 2015; Vara & Yene, 2018)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Basándose en los datos de la *Tabla 2-2*, se opta por un horno de resistencias eléctricas debido a su fácil instalación, utilidad, robustez y eficiencia. Asimismo, proporciona un control más sencillo y preciso en comparación con otros tipos de hornos eléctricos. Este tipo de horno es utilizado para la cocción de piezas cerámicas mediante el calor generado a través del efecto Joule.

2.5 Tratamiento térmico

El horno se somete a un tratamiento térmico que involucra procesos de calentamiento y enfriamiento, provocando variaciones en las propiedades físicas o mecánicas, así como cambios microestructurales o en la composición del material. Aunque no altera la composición química de los materiales, le otorga propiedades específicas para su aplicación final, requiriendo que estos cambios sean permanentes. Este procedimiento implica que el material experimente una secuencia precisa de tiempo y temperatura con el objetivo de obtener los acabados necesarios. Es factible inducir alteraciones en las dimensiones, forma o distribución de los componentes, así como en la intensidad y disposición de las tensiones internas (Álvarez Monasterios, 2023; Contreras et al., 2014).

Con base en el estudio realizado, la relevancia de los tratamientos térmicos aumenta en proporción a la crítica naturaleza de las condiciones de servicio. El objetivo principal de estos tratamientos es otorgar a la pieza las propiedades necesarias para los procesos de transformación subsiguientes o para su aplicación final. En la ejecución de tratamientos térmicos, se deben tener en cuenta parámetros fundamentales que son tiempo de calentamiento, tiempo de permanencia, velocidad de calentamiento y velocidad de enfriamiento (Duarte Barrero & Vargas Álvarez, 2018).

2.5.1 Temperatura de calentamiento

Es la máxima temperatura que se determina a la que se calienta el material y asegura el cambio o transformación de fase (Duarte Barrero & Vargas Álvarez, 2018).

2.5.2 Tiempo de permanencia

Es el tiempo que permanece el material a la temperatura de calentamiento, durante ese tiempo se logra el cambio o transformación parcial de la microestructura del material, se vuelve uniforme la temperatura de todo el material (Duarte Barrero & Vargas Álvarez, 2018).

2.5.3 Velocidad de calentamiento

Es la velocidad en la que se genera el aumento progresivo de la temperatura del material en un intervalo de tiempo determinado (Duarte Barrero & Vargas Álvarez, 2018).

2.5.4 Velocidad de enfriamiento

Es la disminución de la temperatura del material en un intervalo de tiempo determinado, de este parámetro depende las características finales del material (Duarte Barrero & Vargas Álvarez, 2018).

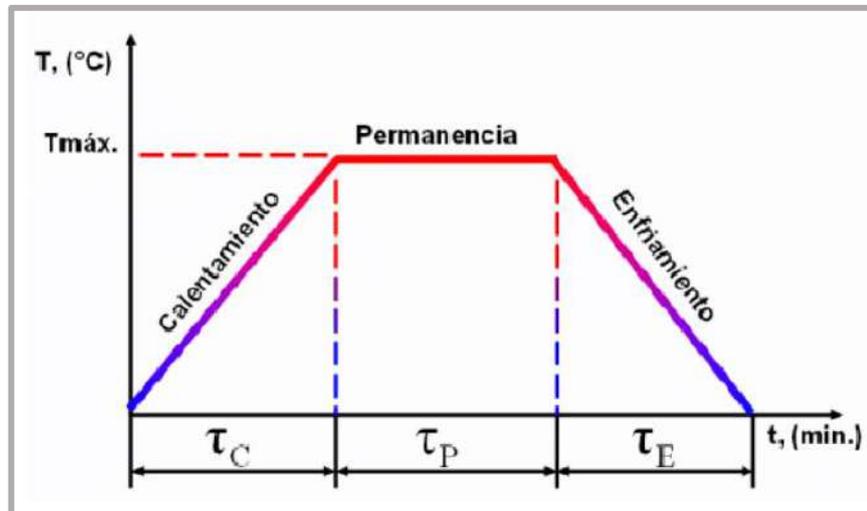


Ilustración 2-6: Representación General de un Tratamiento Térmico

Fuente: (Álvarez Monasterios, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con el propósito de representar estas variables, la *Ilustración 2-6* muestra la relación entre la temperatura y el tiempo. El mismo permite observar las características de un tratamiento térmico.

2.6 Paredes

Al construir la cámara del horno se recurre comúnmente a materiales que poseen buenas propiedades aislantes y refractarias. Esto se hace con el fin de resistir las elevadas temperaturas, reducir la pérdida de calor a través de las paredes y, en muchas ocasiones, desempeñar un papel estructural. Existen numerosas opciones disponibles que varían en función del aislamiento térmico exterior, las temperaturas involucradas, la reactividad de los gases y los materiales a hornear, así como el tipo de elementos calefactores utilizados (Bish Takeuchi, 2009).

2.7 Ladrillos refractarios

Las arcillas refractarias destacan como los materiales refractarios más empleados, ya que se adaptan eficientemente a diversas aplicaciones. La composición química de estas arcillas abarca desde aquellas con un exceso significativo de sílice libre hasta aquellas con un contenido elevado de alúmina. Las industrias del acero constituyen los principales usuarios de ladrillos refractarios,

utilizándolos para revestir una amplia variedad de hornos, que van desde los más simples hasta los de hogar abierto, entre otros. Otros sectores industriales que aprovechan los ladrillos refractarios incluyen fundiciones, hornos de cal, industrias cerámicas, cubilotes y hornos para la fusión de bronce, entre otros (Cáceres Ortiz & Enríquez Velásquez, 2016).

Los ladrillos refractarios son materiales empleados en procedimientos de alta temperatura y se caracterizan por su elevado punto de fusión, capacidad de almacenamiento de calor, propiedades aislantes y resistencia físico-química. El proceso de fabricación de estos ladrillos refractarios como se muestra en la *Ilustración 2-7*, implica la extracción de materias primas (a), la preparación de mezclas (b), el tamizado (c), la molienda (d) y el prensado en seco (e), resultando en un ladrillo refractario (f) (Sánchez Molina et al., 2014).



Ilustración 2-7: Proceso productivo del ladrillo refractario

Fuente: (Sánchez Molina et al., 2014)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.8 Morteros refractarios

Utilizados para pegar ladrillos entre sí y rellenar juntas entre ellos. Están constituidos por una mezcla de áridos refractarios finalmente molidos, de arcillas plásticas, aditivos y ligantes especiales. Un mortero refractario, además de proporcionar estabilidad a la mampostería, debe prevenir la penetración y ser resistente al ataque de escorias, líquidos o gases corrosivos. Según

el tipo de fraguado y su presentación, los morteros se clasifican en (Cáceres Ortiz & Enríquez Velásquez, 2016):

- Secos de fraguado térmico.
- Húmedos de fraguado al aire.
- Húmedos de liga química.

2.9 Elemento sensorial

El factor clave para la automatización del horno es la temperatura. En esta fase, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de diversos sensores de temperatura destinados a aplicaciones industriales, considerando cuidadosamente las características que deben ser abordadas.

2.9.1 Sensores infrarrojos

El sensor infrarrojo mostrado en la *Ilustración 2-8*, está específicamente concebido para detectar, clasificar y posicionar objetos, así como para identificar formas, colores y variaciones en las superficies, incluso en condiciones ambientales extremas. Los rangos de temperatura abarcan desde $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precisión de medición que oscila entre $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este dispositivo tiene la capacidad de medir la radiación electromagnética infrarroja emitida por los objetos en su campo de visión, con un tiempo de respuesta en milisegundos (Aguilera Vidal et al., 2020).



Ilustración 2-8: Sensor Infrarrojo

Fuente: (ALPHAOMEGA, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.9.2 Termocuplas o termopares

Las mediciones de temperatura empleando termopares están en el rango de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $2300\text{ }^{\circ}\text{C}$, se fundamentan en el descubrimiento realizado por Seebeck en 1821. Este principio se basa en el hecho de que una corriente fluye en un circuito continuo formado por dos alambres metálicos distintos como se muestra en la *Ilustración 2-9*, siempre y cuando las uniones entre ellos estén sometidas a temperaturas diferentes. La conexión de estos alambres genera una salida de tensión análoga en el rango de milivoltios con una exactitud de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ a $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, la cual es directamente proporcional a la temperatura a la que se expone la unión. Es importante destacar que la unión se realiza mediante una soldadura especial que no altera las propiedades de los materiales y posee un tiempo de respuesta en segundos (Ortiz Mejía & Valderrama Escudero, 2003).



Ilustración 2-9: Termocupla o termopar

Fuente: (SICOELEC, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.9.3 Resistencias RTDs

Un RTD mostrado en la *Ilustración 2-10*, se clasifica como una forma de resistencia eléctrica que presenta una característica fundamental: la variación de su resistencia al flujo de corriente eléctrica en relación con la temperatura, su rango de temperatura oscila entre los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cuando el metal que lo constituye se calienta, se produce una mayor agitación térmica, lo que lleva a una dispersión más amplia de los electrones y a una reducción en su velocidad media generando un tiempo de respuesta en segundos por un aumento en la resistencia. En términos simples, a temperaturas más altas, se experimenta una agitación térmica mayor y, como resultado, se obtienen mayores resistencias con una exactitud de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Cabe destacar que existen RTD fabricados con diversos metales (Camacho Salvador, 2020).



Ilustración 2-10: RTD

Fuente: (PEAK SENSORS, s.f.)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tabla 2-3: Características más relevantes de los diferentes tipos de sensores

Tipo de sensor	Rango de temperatura	Exactitud	Tiempo de respuesta
Sensor Infrarrojo	-50 °C a 2000 °C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ a $\pm 5^{\circ}\text{C}$	<i>milisegundos</i>
Termocuplas	-200 °C a 2300 °C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ a $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$	<i>segundos</i>
RTD	-200 °C a 850 °C	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	<i>segundos</i>

Fuente: (Aguilera Vidal et al., 2020; Camacho Salvador, 2020; Ortiz Mejia & Valderrama Escudero, 2003)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Considerando la información presentada en la *Tabla 2-3*, se elige utilizar un termopar, ya que estos resultan óptimos para aplicaciones que involucran altas temperaturas, siendo capaces de medir en un rango amplio que abarca desde temperaturas bajas hasta niveles extremadamente elevados. Los termopares, al ser resistentes y capaces de adaptarse a entornos adversos, junto con su tiempo de respuesta relativamente rápido, se perfilan como la elección ideal para la implementación del proyecto técnico de los HEQC.

2.9.4 Selección para el elemento sensorial

Al analizar los diversos procesos de cocción de las piezas cerámicas, se determinó que la temperatura registrada por el medidor debe ser capaz de soportar hasta 1250 °C. Esta observación resalta la importancia principal al elegir el sensor, que es el rango de medición, el cual debe situarse entre 20 °C y 1250 °C. Considerando los distintos rangos de temperatura a los que se

enfrentará, la exposición al entorno y la facilidad de instalación se ha optado por utilizar un termopar como sensor de temperatura.

2.10 Tipos de termopares

La clasificación de un termopar se determina según la combinación de metales que incorpora en su estructura. Entre los más usuales se encuentran los tipos K, E, J, N, B, R y S, aunque hay variantes que emplean metales exóticos y poco comunes, con un costo superior pero que posibilitan la medición de temperaturas más elevadas.

2.10.1 Tipo K

Resultan de unir chromel (aleación de níquel y cromo) y el alumel (aleación de níquel y aluminio), su rango de temperatura es de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su sensibilidad es aproximadamente de $41\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (Diaz Astudillo, 2011).

2.10.2 Tipo E

Resultan de unir el cromo y el Constantán (aleación de cobre y níquel), su rango de temperatura es bajo y su sensibilidad es aproximadamente $68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (Diaz Astudillo, 2011).

2.10.3 Tipo J

Resultan de unir el hierro y el Constantán, su rango de temperatura es de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su sensibilidad es aproximadamente de $52\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (Diaz Astudillo, 2011).

2.10.4 Tipo N

Resultan de unir el nicrosil (aleación de níquel, cromo y silicio) y el nisil (aleación de níquel y silicio), su rango de temperatura es alto (Diaz Astudillo, 2011).

2.10.5 Tipo B

Resultan de unir el platino y el rodio, su rango de temperatura es mayor a $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su sensibilidad es aproximadamente de $10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (Diaz Astudillo, 2011).

2.10.6 Tipo R

Resultan de unir el platino y el rodio, su rango de temperatura es hasta 1300 °C y su sensibilidad es aproximadamente de 10 uV/°C (Diaz Astudillo, 2011).

2.10.7 Tipo S

Resultan de unir el platino y el rodio, su rango de temperatura es hasta 1300 °C y su sensibilidad es aproximadamente de 10 uV/°C (Diaz Astudillo, 2011).

Tabla 2-4: Rangos de operación y materiales de las termocuplas

Tipo de Termopar	Materiales	Rango de aplicación en °C
B	Platino 30%, Rodio (+) Platino 6%, Rodio (-)	1370 a 1700
C	W5Re Tungsteno 5% Rhenium (+) W26Re Tungsteno 26% Rhenium	1650 a 2315
E	Cromo (+) Constantano (-)	95 a 900
J	Acero (+) Constantano (-)	95 a 760
K	Cromo (+) Alumel (-)	95 a 1260
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	650 a 1260
R	Platino 13 % Rodio (+) Platino (-)	870 a 1450
S	Platino 10% Rodio (+) Platino (-)	980 a 1450
T	Cobre (+) Constantano (-)	-200 a 350

Fuente: (Guachamín Campaña & Pásto Ríos, 2014)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Al analizar los datos presentes en la *Tabla 2-4*, la elección recae en un termopar de tipo K para llevar a cabo mediciones precisas de temperatura en diversas aplicaciones que involucran el uso de hornos industriales. La decisión se fundamenta en su amplio rango de temperatura, así como en su estabilidad y respuesta rápida, características que lo posicionan como la opción óptima para la tarea. Además, se destaca su compatibilidad con una variada gama de equipos, su costo accesible y su disponibilidad en el mercado.

2.11 Sistema de control

Los sistemas de control en entornos industriales tienen como objetivo la regulación de variables dependientes en los procesos. Se reconoce ampliamente que estos procesos exhiben diversas variables que deben ser controladas para lograr el comportamiento deseado del sistema. Para garantizar un control eficiente, es imperativo tener en cuenta los parámetros relacionados con el proceso, incluyendo entradas, perturbaciones, puntos de equilibrio, entre otros (Reyes Sierra & Montaña Ortega, 2010).

El control de sistemas automáticos se refiere a dispositivos encargados de comandar los distintos elementos de una planta. En la industria, resulta crucial controlar la presión, temperatura, humedad y flujo de procesos. Se define también al control automático como "regulación automática", empleando enfoques matemáticos para desarrollar algoritmos de control aplicables a diversos tipos de procesos. En consecuencia, existen diversas categorías de control que se clasifican como clásicos o modernos según su estructura, y análogos, digitales o mixtos según su naturaleza. En la *Ilustración 2-11*, se muestra el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado (García Higuera, 2005).

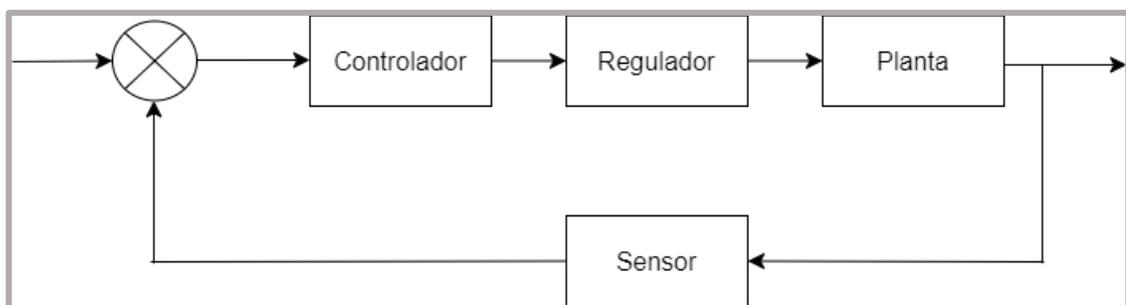


Ilustración 2-11: Elementos del sistema de regulación y control

Fuente: (Aguirre Corrales & Orozco Hincapié, 2009)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.11.1 Control ON-OFF

La forma más simple de controlar, también se conoce como control de dos posiciones, debido a que el elemento actuador solo tiene dos posiciones fijas, que generalmente son de encendido o apagado (Diaz Astudillo, 2011).

En el control de calentamiento, la salida se activa cuando la temperatura está por debajo de la referencia y se desactiva cuando está por encima de la misma. Cuando la temperatura cruza la referencia, la salida experimenta un cambio de estado, generando un ciclo en el proceso de temperatura que oscila entre valores inferiores y superiores. En situaciones donde este ciclo ocurre rápidamente y con el objetivo de prevenir daños en los contactores, se incorpora un control on-off diferencial o histéresis al proceso de control como se puede observar en la *Ilustración 2-12* (Dutan Rodríguez, 2000).

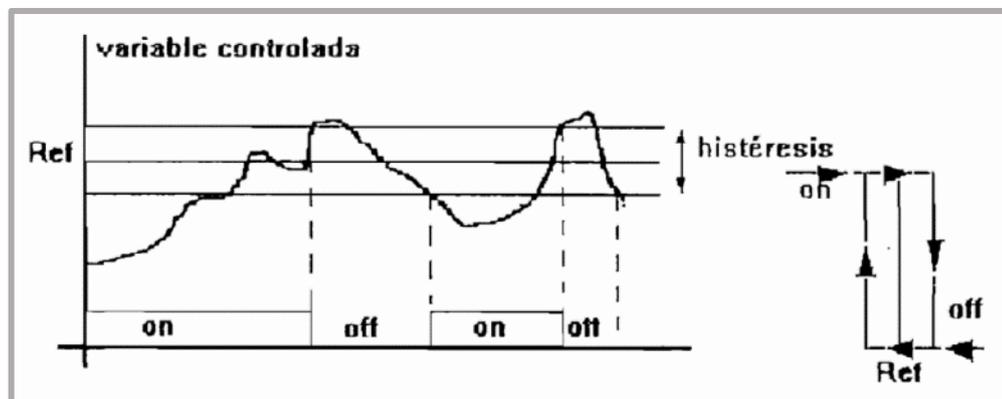


Ilustración 2-12: Control ON/OFF con histéresis

Fuente: (Dutan Rodríguez, 2000)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.11.2 Control proporcional

Este tipo de control consiste en darle una ganancia al sistema, de manera que el cambio en la señal de entrada afecta directamente la salida. En esencia es un amplificador con ganancia ajustable (Diaz Astudillo, 2011).

El control proporcional responde de manera rápida ante cambios en la variable de referencia y tiene la tendencia de corregirla. Sin embargo, presenta una desventaja notable, ya que no puede corregir una desviación permanente, lo que resulta en una discrepancia constante en el estado estacionario entre el valor deseado y el valor de la variable controlada. A pesar de esto, su facilidad de uso es evidente, dado que solo requiere ajustar un parámetro, que es la ganancia. Este tipo de

control se basa en la Ecuación 2-1, donde la ganancia del controlado es el factor Kp , al cual se lo nombra como constante proporcional. La magnitud Kp indica el cambio en la señal de control $u(t)$ por cambio en la señal de error $e(t)$ (Dutan Rodríguez, 2000).

$$u(t) = Kp * e(t) \quad (2-1)$$

2.11.3 Control proporcional-integral

El control PI (Proporcional + Integral) es ampliamente utilizado en procesos de temperatura. En este tipo de control, la salida del controlador inicia su respuesta al error actual y luego experimenta una variación gradual a una velocidad proporcional al error. Este control puede expresarse mediante la Ecuación 2-2 en el dominio del tiempo (Castaño Giraldo et al., 2013):

$$u(t) = Kp \left[e(t) + \frac{1}{Ti} \int e(t) dt \right] \quad (2-2)$$

Donde:

$u(t)$, representa la salida del controlador.

$e(t)$, representa la señal de error actuante.

Kp , representa la ganancia del controlador.

ti , representa el tiempo integral en segundos.

2.11.4 Control proporcional-integral-diferencial

El control PID permite regular el comportamiento del sistema a través de tres parámetros fundamentales de control: acción proporcional, acción derivativa y acción integral. La sintonización de cada una de estas acciones es esencial para asegurar un control que cumpla con las especificaciones. La acción proporcional aborda los picos y las oscilaciones en la respuesta del sistema; la acción integral corrige el error en estado estable, acercándolo a cero, y la acción derivativa corrige los cambios rápidos en el transitorio (Reyes Sierra & Montaña Ortega, 2010).

La Ecuación 2-3 representa el comportamiento de un PID y se expresa como:

$$u(t) = Kp \left[e(t) + \frac{1}{Ti} \int e(t) dt + Td \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (2-3)$$

Donde:

$u(t)$, representa la salida del controlador.

$e(t)$, representa la señal de error actuante.

Kp , representa la ganancia del controlador.

Ti , representa el tiempo integral en segundos.

Td , representa el tiempo derivativo en segundos.

2.12 Controlador lógico programable

Diversas marcas y modelos de controladores están disponibles en el mercado, especialmente diseñados para la industria, lo que les confiere funciones, ventajas y características superiores. Estos dispositivos presentan versatilidad para gestionar diversos tipos de termopares, un amplio rango de corrientes, manteniendo su propósito común de controlar la temperatura. A continuación, se presentan algunos PLC con atributos similares (Hernández de la Cruz Juan Carlos, 2009).

2.12.1 PLC NANO

Por lo general, se trata de un PLC de tipo compacto, lo que implica la integración de la fuente de alimentación, la CPU y las entradas y salidas. Este tipo de PLC como se observa en la *Ilustración 2-13*, está diseñado para gestionar un conjunto de menos de 32 entradas y salidas. Sus capacidades incluyen el manejo de entradas y salidas digitales, así como la compatibilidad con módulos especiales. La alimentación es de 24 V DC con una memoria de programa de hasta 10 KB y una velocidad de procesamiento entre 10 KHz hasta 50 KHz (Cruz Quinzo & Goyes Nazate, 2010).



Ilustración 2-13: PLC NANO

Fuente: <https://i0.wp.com/www.ingmecafenix.com/wp-content/uploads/2018/01/PLC-nano.webp?resize=768%2C432&ssl=1>

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.12.2 PLC COMPACTO

El PLC compacto mostrado en la *Ilustración 2-14*, incluyen la fuente de alimentación de 24 V DC o 120/240 V AC, la CPU y los módulos de entradas y salidas, que pueden variar desde 32 hasta 256. Tienen la capacidad de gestionar tanto un número limitado como varios cientos de entradas y salidas, llegando aproximadamente a 500. A diferencia de los PLC de tipo Nano, presentan dimensiones más grandes. Son compatibles con diversos módulos especializados, como entradas y salidas analógicas, módulos contadores y de comunicación, así como interfaces de operador. La velocidad de procesamiento abarca desde 50 KHz hasta 1 MHz, con una memoria que varía entre 10 KB y 1 MB (Cruz Quinzo & Goyes Nazate, 2010).



Ilustración 2-14: PLC COMPACTO

Fuente: (Álvarez Calderón et al., 2013)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.12.3 PLC MODULAR

Estos PLC como se muestra en la *Ilustración 2-15*, constan de varios elementos que constituyen el controlador completo, como el Rack, la fuente de alimentación de 120/240 V AC o más según la capacidad que se requiera, la CPU y los módulos de entradas y salida. Desde la categoría de los Micro PLC, que admiten una cantidad significativa de entradas y salidas, hasta los PLC de alto rendimiento que tienen la capacidad de gestionar miles de entradas y salidas, se encuentran distintos tipos de PLC. La memoria de programa es de 1 MB en adelante y una velocidad de procesamiento mayor a 1 KHz (Cruz Quinzo & Goyes Nazate, 2010).

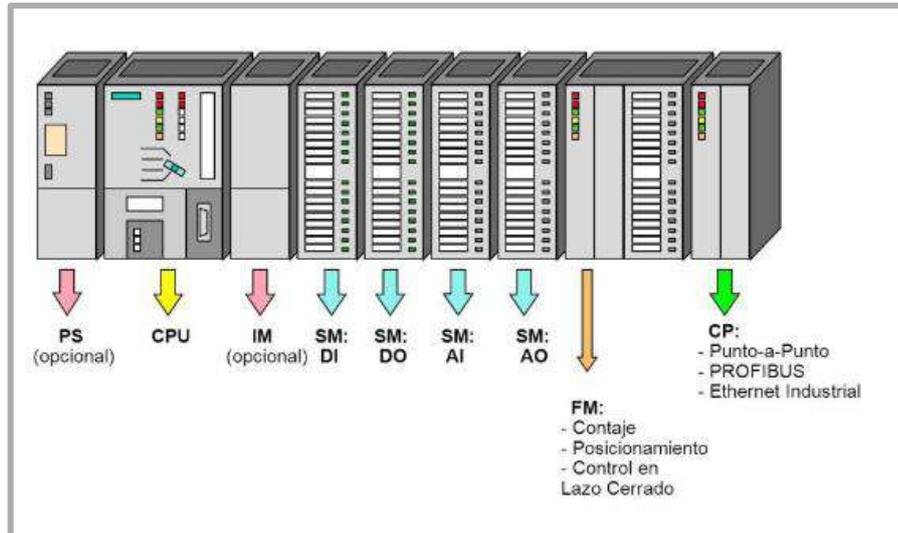


Ilustración 2-15: PLC MODULAR

Fuente: (Álvarez Calderón et al., 2013)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tabla 2-5: Características de los tipos de PLC

Tipos de PLC	Entradas/Salidas (E/S)	Alimentación	Memoria de programa	Velocidad de procesamiento
PLC NANO	Menos de 32 E/S	24 V DC	Hasta 10 KB	10 – 50 KHz
PLC COMPACTO	32 – 256 E/S	24 V DC o 120/240 V AC	10 KB – 1 MB	50 KHz – 1 MHz
PLC MODULAR	Puede ser expandible a cientos o miles de E/S	120/240 V AC o más, dependiendo de la capacidad	1 MB en adelante	Mayor de 1 MHz

Fuente: (Jorge Bautista, 2017)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Fundamentándose en la información recopilada de la *Tabla 2-5*, se elige un PLC Nano debido a su tamaño físico reducido, especialmente adecuado para aplicaciones específicas como el control de temperatura, lo que lo posiciona como la opción más favorable. Su costo competitivo y bajo consumo de energía son factores influyentes significativos. La simplicidad en su implementación refuerza la decisión. Estos elementos justifican la preferencia por el PLC Nano en comparación con otras variantes de PLC para aplicaciones industriales.

2.13 Actuador eléctrico

Son dispositivos eléctricos que convierten la energía almacenada de entrada en una fuerza física de salida para realizar un cambio específico en la posición, velocidad o estado de un elemento. Este proceso se lleva a cabo mediante la transformación controlada de energía, donde el actuador, a través de su funcionalidad canaliza la energía suministrada para generar una fuerza precisa que influye directamente en la modificación deseada de dicho elemento (Corona Ramírez et al., 2020).

2.13.1 Resistencias eléctricas

El calentamiento mediante resistencias eléctricas puede seguir dos enfoques: directo, donde la corriente eléctrica fluye a través de las piezas, o indirecto, donde las piezas se calientan mediante radiación, convección o una combinación de ambas, provenientes de las resistencias ubicadas cerca de las piezas. Ajustar el tiempo de calentamiento permite controlar la distribución de temperatura en la sección de la pieza, logrando una temperatura ligeramente superior en el centro en comparación con la superficie. Durante este proceso, la oxidación superficial y la decarburación no afectan significativamente la calidad del material (Echeverría Burgos & Reyes Olivares, 2016).

2.13.2 Resistencias metálicas

Las propiedades más relevantes de una aleación para resistencias incluyen, de manera destacada, su resistividad eléctrica, la cual experimenta cambios notables con la temperatura. Asimismo, el coeficiente de resistividad resulta útil; en este contexto, dicho coeficiente permanece prácticamente constante hasta los 1200 °C para aleaciones como el 80 Ni – 20 Cr (con una variación del 45 por 100) y el 70 Ni – 30 Cr (con una variación del 5 por 100). En la fabricación de resistencias para hornos, el uso de alambre es más común que la pletina, y el diámetro del alambre varía entre 1 y 12 mm, ofreciendo la posibilidad de seleccionar entre una amplia gama de diámetros estandarizados (Echeverría Burgos & Reyes Olivares, 2016).

2.14 Relés industriales

Un relé se define como un interruptor que se activa mediante un electroimán. Este último consiste en una barra de hierro dulce conocida como núcleo, envuelta por una bobina de hilo de cobre. En la *Ilustración 2-16*, se puede observar cómo el paso de corriente eléctrica a través de la bobina genera un campo magnético que magnetiza el núcleo de hierro. La potencia magnética resultante

del núcleo convertido en imán es directamente proporcional tanto a la intensidad de la corriente como al número de vueltas de la bobina (Cepeda Moreno & Erazo Hidalgo, 2010).

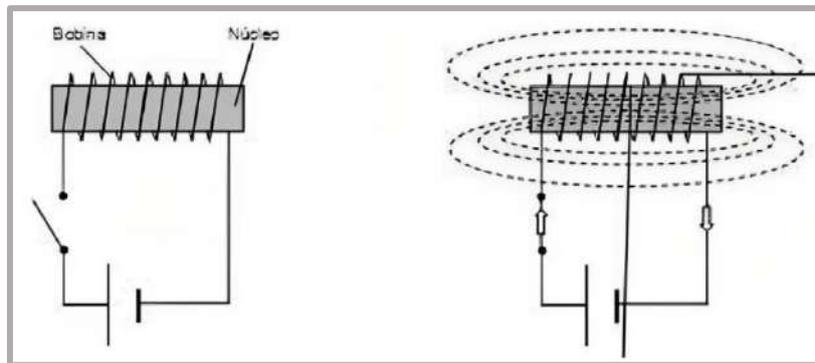


Ilustración 2-16: Esquema de un Relé

Fuente: (Cepeda Moreno & Erazo Hidalgo, 2010)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.13.1 Relé de estado sólido

Un Relé de Estado Sólido (SSR, por sus siglas en inglés, Solid State Relay) mostrado en la *Ilustración 2-17*, es un dispositivo electrónico diseñado como interruptor. Al aplicar una señal de control, que es una tensión específica entre dos de sus terminales, puede abrir o cerrar otro circuito que debe pasar por los otros dos terminales del SSR. Por lo general, este circuito a controlar maneja una mayor potencia, o al menos el SSR está configurado para permitir el paso de una corriente más elevada a través de esos terminales. Además, estos relés tienen la capacidad de controlar circuitos que operan con tensiones tanto alterna como continua (Fernández Angulo, 2022).

Los Solid State Relays (SSR) con la capacidad de detección de paso por cero son apropiados para cargas resistivas, capacitivas e inductivas con un factor de potencia comprendido entre 0.7 y 1. Es esencial tener en cuenta el uso apropiado de estos relés, considerando una serie de precauciones antes de su implementación, las cuales son (Agudelo Zuluaga, 2012):

- Evitar la aplicación de una tensión o corriente excesiva en los circuitos de entrada y salida del Solid State Relay (SSR).
- Asegurarse de que los tornillos de conexión estén debidamente apretados.
- Garantizar una adecuada ventilación del SSR. Si está montado en un panel de control con ventilación insuficiente, se debe instalar un sistema adicional de ventilación.

- Cuando se instala directamente en un panel de control y este actúa como disipador de calor, el panel debe estar fabricado con un material de baja resistencia térmica, como aluminio o acero.



Ilustración 2-17: Solid State Relay

Fuente: (ardobot, 2022)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.14 Interfaz humano máquina

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI, por sus siglas en inglés) mostrado en la *Ilustración 2-18*, representa el medio para la observación de las variables presentes en un proceso, tales como presión, temperatura, caudal, entre otras. Estos sistemas HMI actúan como una "ventana" para la supervisión de un proceso y pueden implementarse en dispositivos específicos como computadoras. Las señales del proceso son transmitidas a la HMI a través de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la PC, microcontroladores, etc. Es esencial que todos estos dispositivos mantengan una comunicación efectiva que la HMI pueda entender y procesar (Guachamín Campaña & Pásto Ríos, 2014).



Ilustración 2-18: HMI

Fuente: (IDEC, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.14.1 Estándar ANSI-ISA 101

El desarrollo del estándar proporciona herramientas a aquellos involucrados en el diseño e implementación, junto con directrices reconocidas como buenas prácticas para presentar información en una pantalla. Este estándar se ocupa de la designación, implementación y mantenimiento de las Interfaces Hombre-Máquina (HMI) en la automatización de procesos. Ofrece orientación para lograr una eficacia en la HMI que resulta en un control más seguro, efectivo y eficiente del proceso, tanto en situaciones normales como anormales. Aunque el estándar no establece pasos estrictos a seguir, sí genera pautas que, de alguna manera, orientan el proceso para lograr resultados óptimos. Se observa en la *Ilustración 2-19*, el recorrido entre cada fase del ciclo y las debidas retroalimentaciones que pueden generarse, demostrando la flexibilidad del estándar (Bohórquez et al., 2019).

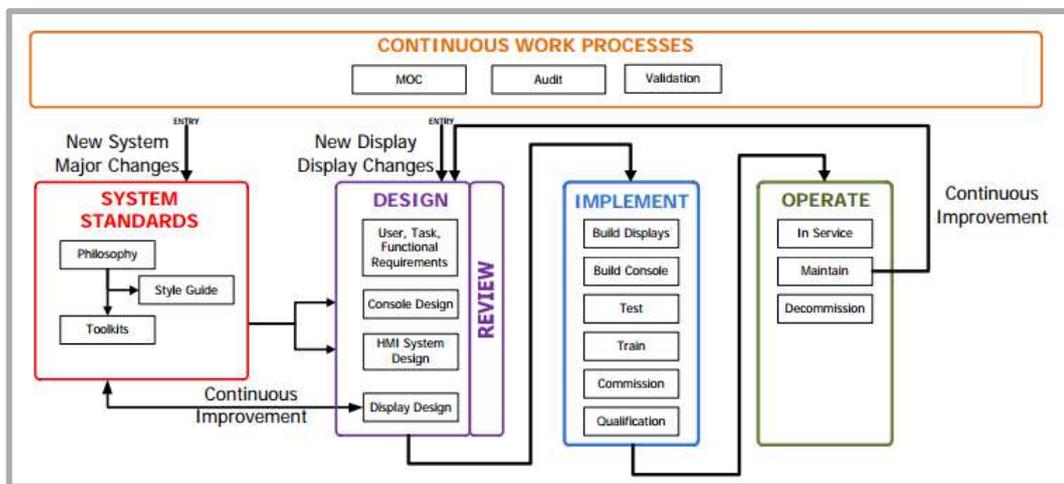


Ilustración 2-19: Modelo gráfico de la norma ANSI-ISA 101

Fuente: (Bohórquez et al., 2019)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.15 Protocolos de comunicación Industriales

El protocolo de comunicación implica la transmisión y recepción de información de forma punto a punto o multipunto en una línea o bus compartido. En este proceso, se otorgan permisos en momentos específicos para recibir o enviar información, constituyendo así un protocolo de comunicación. Para que la comunicación sea efectiva, es esencial que los sistemas que participan utilicen el mismo protocolo, estén en la misma red y, de esta manera, puedan comunicarse de manera efectiva, hablando el mismo idioma (Terán Salazar, 2015).

2.15.1 Bus de campo

Un sistema de transmisión de datos, conocido como bus de campo, simplifica de manera significativa la instalación y funcionamiento de maquinaria y equipos industriales en procesos de producción. La finalidad de este bus es reemplazar las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control, eliminando así la necesidad del tradicional bucle de corriente de 4 – 20 mA. Estos buses son, por lo general, redes digitales bidireccionales y multipunto, montadas sobre un bus serie, que interconecta dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Algunos ejemplos de buses de campo incluyen: PROFIBUS, INTERBUS, CAN BUS, LONWORKS, HART, WORLDFIP, FIELDBUS, MODBUS (Kaschel & Pinto, 2001).

2.16 Elemento de protección

Los dispositivos de protección tienen la responsabilidad de resguardar el circuito contra posibles sobrecargas, tanto en el sistema de alimentación como en el sistema de control. La elección de estos elementos se realiza considerando los requisitos técnicos, como los valores de voltaje y corriente principalmente, junto con otras características relevantes que se detallarán para cada uno de los dispositivos (Corella Boris Marcelo & Velasco Fabricio Ismael, 2016).

2.17 Elemento de mando y señalización

El elemento de mando y señalización muestra el estado de funcionamiento del horno se lo hace por medio de luces piloto de colores diferentes y un selector de posiciones deshabilitada, una de ellas que servirá como medida de protección en el caso de un paro de emergencia. Estos componentes posibilitan la interacción y comunicación entre un usuario y un sistema. Su función es fundamental en la operación y supervisión de diversos sistemas al facilitar la transmisión eficiente de información y comandos. El análisis de estos dispositivos implica examinar tanto los aspectos físicos como las interfaces digitales, incluyendo desde botones y palancas hasta pantallas y luces indicadoras (Corella Boris Marcelo & Velasco Fabricio Ismael, 2016).

La precisión en los sistemas de control y automatización dependen en gran medida de la correcta selección y aplicación de los elementos de mando y señalización. Estos componentes tienen un papel fundamente en la operatividad y supervisión de procesos industriales, facilitando la interacción entre el sistema y los operadores.



Ilustración 2-20: Señalización

Fuente: (Gonzaga & Rodriguez Cia. Ltda, s.f.)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.18 Gabinete

Los materiales utilizados en dispositivos electrónicos son susceptibles a diversos factores ambientales que pueden afectar su funcionamiento normal. Elementos como agua en sus diferentes formas, temperatura, altitud, salinidad, vibración, ruido electromagnético, entre otros, tienen un impacto significativo en los sistemas electrónicos. En la mayoría de los casos, los equipos eléctricos y electrónicos no están directamente expuestos al ambiente, sino que se encuentran resguardados en gabinetes como se muestra en la *Ilustración 2-21*, paneles de control o estructuras que actúan como un medio principal de protección contra los agentes mencionados. Para garantizar su adecuada protección, estos gabinetes o estructuras deben cumplir con normativas industriales, siendo las más relevantes las normas IP y NEMA, las cuales aseguran un nivel específico de resguardo contra polvo, agua y humedad (Plúas Andrade, 2010).



Ilustración 2-21: Gabinete Industrial

Fuente: (CAVEDI, s.f.)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

2.19 Herramientas de software

En el diseño de la estructura y la programación, se emplearán herramientas de software que aportarán al avance del proyecto de control y monitoreo de HEQC.

2.19.1 Solidworks

SolidWorks, un software CAD especializado en el diseño mecánico estructural en tres dimensiones, facilita el proceso integral del diseño mecánico, desde la concepción inicial de la idea por parte del diseñador hasta la generación de los planos técnicos esenciales para la fabricación. A través de la interfaz y las herramientas de diseño de Pieza, Ensamblaje y Dibujo, el usuario puede modelar tridimensionalmente la pieza de manera eficiente y crear las vistas necesarias para la elaboración de planos (Rodríguez Vidal & López Maroño, 2015).

2.19.2 IDE de WECON

Este software se utiliza para establecer comunicación con los controladores y programar la interfaz de la pantalla HMI. Facilita la configuración y conexión de las variables del proceso, posibilitando la visualización en el panel que permite a los usuarios interactuar con la máquina, software, sistema o proceso (Sangoluisa Yaguana & Yanez Chimbo, 2023).

2.19.3 Software de programación

El ambiente de desarrollo destinado a los controladores lógicos programables es generalmente reconocido como una forma de programación de nivel medio. Principalmente, se emplean diagramas de bloques y el lenguaje Ladder en el ámbito de la automatización industrial y el control de procesos. Dependiendo del controlador utilizado, este poseerá su propio software de programación con características y configuraciones específicas correspondientes al modelo y fabricante del PLC (Hernández Carrillo, 2012).

2.20 Normas

En la creación de los manuales para los HEQC, se seguirán normas estandarizadas para garantizar su correcta elaboración.

2.20.1 Norma ISA 5.1

Esta normativa establece de manera uniforme y estándar los métodos de representación, identificación y funciones inherentes a los instrumentos o dispositivos y sistemas de instrumentación empleados en la medición, seguimiento y control. Presenta un sistema de designación que incorpora sistemas de identificación y símbolos gráficos. Su objetivo es satisfacer los distintos procedimientos de diversos usuarios que necesitan identificar y representar gráficamente equipos de medición y control de sistemas. Esta norma se utiliza en varios sectores industriales, ya que se requiere para la elaboración de esquemas de sistemas de control, diagramas funcionales y esquemas eléctricos que describen la relación con el equipo de procesamiento y la funcionalidad de los equipos de medición y control (Carballo Sierra & Romero Lara, 2011).

2.20.2 Norma 82079-1

La norma DIN EN 82079-1 establece las pautas para el diseño y la elaboración de manuales de instrucciones destinados a máquinas, instalaciones y productos técnicos. Esta norma regula la estructura, contenido y presentación de manuales, abarcando tanto productos simples como complejos (Mendoza García, 2017).

2.20.3 Norma ANSI Z535

La norma ANSI Z535 sirve como un estándar que especifica los códigos de color aplicables a letreros, etiquetas y rótulos utilizados para prevenir accidentes. Este estándar abarca la identificación y disposición de equipos como los de primeros auxilios, extintores de incendios, áreas propensas a tropiezos y otros riesgos o dispositivos de seguridad. Los códigos de color definidos por ANSI Z535.1 abarcan nueve colores y diversas combinaciones (Mancipe Rodríguez, 2020).

2.20.4 Norma IEC 60204-1

La norma IEC 60204-1, que define los requisitos de seguridad eléctrica para maquinaria, desempeña un papel fundamental en el entorno industrial y de fabricación. Es esencial para asegurar la seguridad eléctrica en los equipos y sistemas empleados en diversas industrias. Esta norma establece pautas fundamentales que incluyen la protección contra descargas eléctricas, la prevención de cortocircuitos y la adecuada identificación de componentes. Al seguir las especificaciones de la IEC 60204-1, se garantiza una implementación segura y eficiente de

sistemas eléctricos en maquinaria, contribuyendo así a la integridad operativa y a la protección del personal involucrado en los procesos industriales (Moreno Solís & Ortiz López, 2021).

2.21 Diagramas P&ID

Los esquemas de tuberías e instrumentación, comúnmente referidos como diagramas P&ID o de canalizaciones de planta, tienen como propósito registrar toda la instrumentación asociada con los diagramas de flujo de procesos. Además, posibilitan la asignación de códigos a lo que se conoce comúnmente como la etiqueta del instrumento. La simbología empleada en estos diagramas de instrumentación se ha desarrollado conforme a los estándares establecidos por la ISA. En la *ilustración 2-22* se presenta el tipo de líneas utilizado y su respectivo significado (Carballo Sierra & Romero Lara, 2011).

Señal a proceso o alimentación de un dispositivo		Señal no definida	
Señal neumática		Señal eléctrica	 
Señal hidráulica		Tubo capilar	
Electromagnética o sónica guiada		Electromagnética o sónica no guiada	
Señales internas (software)		Señales eléctricas binarias	
Señales neumáticas binarias		Enlace mecánico	

Ilustración 2-22: Tipos de líneas en un diagrama P&ID

Fuente: (Carballo Sierra & Romero Lara, 2011)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se expone los requisitos necesarios para implementar el sistema de HEQC, incluyendo el funcionamiento de la puerta, las paredes de material refractario, los elementos calefactores, así como la cubierta externa con su revestimiento superficial destinado a prevenir el deterioro. Se describe la concepción y su diseño arquitectónico, el software y la programación empleados en el controlador.

3.1 Requerimientos del sistema HEQC.

A continuación, se detallan los requerimientos que debe cumplir el sistema de HEQC:

- El sistema HEQC debe ser diseñado con la finalidad de preservar su temperatura de manera constante a través de la implementación de un algoritmo de control. Este algoritmo está configurado de manera que el error en estado estacionario sea de ± 5 grados, asegurando una estabilidad térmica dentro de los márgenes establecidos. Esta funcionalidad permite que el horno mantenga la temperatura deseada.
- El sistema debe ser equipado con elementos como controladores, interfaz visual que posibilite su interconexión, permitiendo así la supervisión, control y registro histórico de la temperatura del proceso. Estos elementos de campo facilitan la comunicación eficiente entre los distintos componentes del sistema, posibilitando un monitoreo en tiempo real. La implementación de ajustes en el control y la creación de un historial detallado de las variaciones de temperatura a lo largo del proceso. Esta capacidad integral fortalece la gestión y la trazabilidad del sistema en su conjunto.
- El sistema HEQC dispone de un HMI que posibilita la modificación y establecimiento de la temperatura deseada, así como el tiempo de cocción. Esta interfaz permite a los usuarios realizar ajustes de manera intuitiva y eficiente, brindando un control preciso sobre los parámetros térmicos del horno. Con esta funcionalidad, se obtiene una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la operación del equipo, permitiendo la personalización de los procesos de cocción según las necesidades específicas.

- Debe generar alarmas para notificar fallos derivados del mal funcionamiento de los actuadores eléctricos. Esta funcionalidad permite una pronta identificación y respuesta ante cualquier irregularidad en el sistema, asegurando su funcionamiento.
- Que este equipado con un botón de emergencia que posibilita la desconexión completa del sistema eléctrico y electrónico. Esta medida de seguridad permite una intervención inmediata en situaciones críticas. El botón de emergencia se configura para ser de fácil acceso y uso.
- Se lleva a cabo la creación de un manual de usuario y un diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) para el sistema. Estos documentos están diseñados con el objetivo de proporcionar información completa al personal técnico encargado del mantenimiento y reparación del sistema como también para los usuarios finales. El manual técnico aborda los aspectos más especializados del sistema, mientras que el manual de usuario se enfoca en guiar a los usuarios en el funcionamiento y las características básicas. Por otro lado, el P&ID ofrece una representación gráfica clara de la configuración del HEQC facilitando la comprensión visual de los componentes y su interconexión.

3.2 Concepción de la arquitectura

En base a los requerimientos planteados, en la *Ilustración 3-1* se presenta la concepción general de todo el proyecto técnico, que está constituido por el tablero de control, los hornos que a partir de resistencias eléctricas conectadas al sistema de alimentación genera calor para la elaboración del proceso de quema de piezas cerámicas.

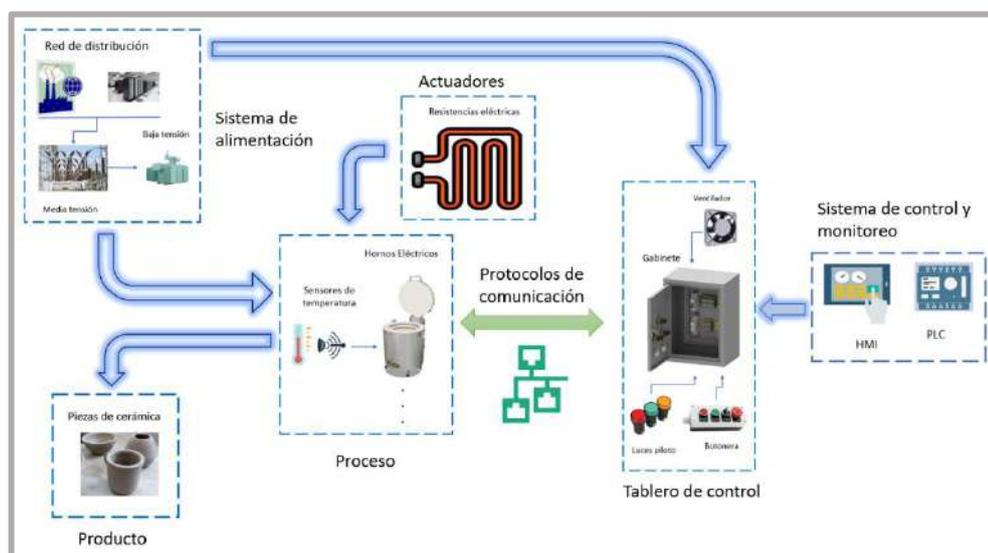


Ilustración 3-1: Concepción de la arquitectura del proyecto técnico

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

La operación del horno eléctrico se gestiona mediante el tablero de control, que alberga elementos como el HMI, pulsadores, indicadores y el PLC. A través de la interfaz HMI, los usuarios tienen la capacidad de introducir el valor deseado (Set Value) en el controlador y visualizar el valor actual (Present Value) proveniente del sensor de temperatura. Mediante el protocolo de comunicación establecido entre los controladores y la pantalla, permite el monitoreo en tiempo real del proceso, junto con la disponibilidad de recetas predefinidas para piezas de diseño común. Cabe destacar que el sistema HEQC está directamente conectado a la red eléctrica para la generación de calor, dando como resultado la producción de las piezas de cerámica.

3.3 Diseño de la arquitectura

Se proporcionan los esquemas de bloques con base en la concepción arquitectónica, detallando el funcionamiento de cada bloque como se muestra en la *Ilustración 3-2*.

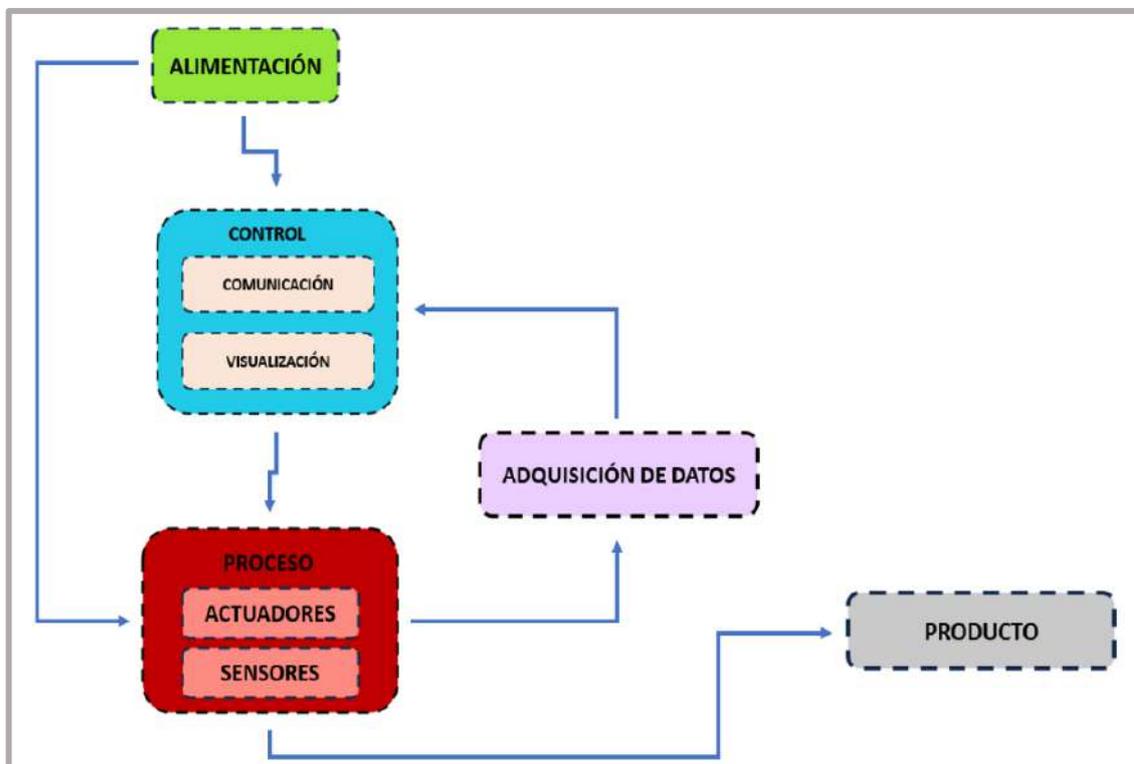


Ilustración 3-2: Diagrama de bloques del proyecto técnico

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.3.1 Bloque de adquisición de datos. – Incorpora un controlador Delta que posibilita la medición de la temperatura en la zona de proceso mediante sensores. Este bloque se encarga de almacenar los datos obtenidos en variables para su registro histórico. Mantiene comunicación con el bloque de control para la transmisión y visualización de los datos adquiridos a través del HMI.

3.3.2 Bloque de control. – Recibe la información proveniente del bloque de adquisición de datos. En este bloque, opera un PLC que establece conexión con el bloque de proceso para supervisar los actuadores y de esta manera, controlar la temperatura. Incluye un HMI con la capacidad de procesar y mostrar el Present Value (PV), así como ajustar el Set Value (SV). En el interior de este bloque se encuentra integrado el bloque de comunicación, encargado de transmitir y recibir datos mediante el protocolo de comunicación MODBUS. Este bloque de control está conectado al bloque de alimentación para su funcionamiento.

3.3.3 Bloque de proceso. – Está compuesto por resistencias eléctricas que generan calor mediante el efecto Joule dentro del sistema HEQC. Las resistencias se activan o desactivan de acuerdo con las señales enviadas por el bloque de control a los SSR. Las termocuplas tipo K desempeñan la función de medir la variable de temperatura y transmiten estas señales al bloque de adquisición de datos, facilitando su posterior transmisión al bloque de control. Este bloque de proceso se encuentra conectado al bloque de alimentación para su funcionamiento.

3.3.4 Bloque de alimentación. – Posee una conexión directa a la red eléctrica de 220 VAC, la cual suministra la energía necesaria para activar los actuadores. Asimismo, cuenta con una conexión a la red eléctrica de 110V que proporciona energía a una fuente de alimentación, generando así 24 VDC para el funcionamiento de la pantalla HMI y el PLC. La fuente de 110 VAC también alimentará a los controladores Delta.

3.3.5 Bloque de producto. – En este bloque se exhibe el resultado final del proceso, que consiste en la pieza cerámica tras haber pasado por el procedimiento de quema y esmaltado a temperaturas de 800 °C y 1200 °C, respectivamente. De esta manera, se culmina el bloque de proceso ejecutado por el sistema HEQC.

3.4 Hardware del proyecto técnico

Se definen los dispositivos de hardware que se emplearon en la ejecución del proyecto técnico para diseñar e implementar un sistema de control y monitoreo de temperatura en el sistema HEQC de los laboratorios de Diseño Gráfico. En este contexto, se detalla cada elemento junto con sus características más destacadas.

3.4.1 PLC LOGO V8.3 12/24 RCE

El controlador lógico programable utilizado pertenece a la familia de los PLC NANO, conformado por un módulo básico y módulos de expansión que se conectan según la cantidad de

entradas y salidas requeridas. Este dispositivo detecta diversas señales en un sistema automatizado y ejecuta acciones programadas a través del software LOGO. La *Ilustración 3-3* muestra el PLC LOGO V8.3 12/24 RCE, que incluye 8 entradas utilizables en modo analógico (4 de 0 a 10 V) con una alimentación de 12-24 VDC. Dispone de 4 salidas tipo relé y su número de modelo es 6ED1052-1MD08-0BA1. ¡Ofrece conectividad Ethernet para todos los módulos LOGO! 8 y tiene un rango de temperatura operativa extendido de -20 a 55 °C sin condensación (Oviedo Paredes, 2022).



Ilustración 3-3: PLC LOGO V8.3 12/24 VDC

Fuente: (Oviedo Paredes, 2022)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 3-1* se presenta las especificaciones técnicas más importantes del PLC LOGO V8.3 12/24 REC y su información técnica detallada se adjunta en el *Anexo A*.

Tabla 3-1: Especificaciones técnicas del PLC LOGO V8.3 12/24 REC

Especificación técnica	Detalles
Entradas	8
Tensión de alimentación	12 – 24 V DC
Margen admisible de alimentación	10.8 – 28.8 V DC
Salidas	4; relays
Corriente Continua	10 A con carga resistiva 3 A con carga inductiva
Frecuencia de conmutación	2 Hz con carga resistiva 0.5 Hz con carga inductiva

Tiempo de ciclo	< 0.1 ms/función
Display	Si
Temperatura Ambiente	-20 °C – 55 °C
Certificación	CSA, UL, FM, IEC 61131, VDE 0631
Cable de programación	Ethernet

Fuente: Ficha técnica del PLC LOGO V8.3

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.2 Termocupla T1300 WRN-010

La termocupla tipo K, también conocida como termocupla Chromel-Alumel, está compuesta por dos aleaciones principales: Chromel, una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, y Alumel, una aleación de 95% de níquel, además de aluminio, silicio y manganeso. Esta termocupla exhibe una capacidad para resistir temperaturas continuas elevadas en atmosferas oxidantes e inertes, alcanzando hasta 1300 °C. La *Ilustración 3-4* presenta la termocupla tipo K-8plg (200 mm) con revestimiento cerámico, diseñado para extender su vida útil y proporcionar un rango de medición de hasta 1300 °C (García Velásquez & Iguago Morocho, 2016).



Ilustración 3-4: Termocupla tipo K-8plg con revestimiento cerámico

Fuente: (Tiendacerámica, 2024)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.3 Cable de extensión para termopar tipo K

Para garantizar mediciones confiables y una producción segura, es necesario utilizar un cable compensado en conjunción con una termocupla, como se muestra en la *Ilustración 3-5*. La elección del cable debe ser específica al tipo de termocupla empleada, en este caso, se requiere un cable de extensión diseñado para termocuplas tipo K. Este cable tiene un rango de temperatura

máximo de 0 a 200 °C, con un límite de error estándar de 2.2 °C o 0.75 °C. Su función es transportar la señal del sensor de temperatura hacia el instrumento controlador, registrador o indicador. Estos cables están compensados de acuerdo con el tipo de termopar utilizado y siguen el código de colores "ANSI", estando disponibles en diferentes calibres, ya sea sólidos o flexibles (García Velásquez & Iguago Morocho, 2016).



Ilustración 3-5: Cable compensado para termocupla tipo K

Fuente: (Controles Industriales, S.R.L., 2022)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 3-2* se presenta las especificaciones técnicas del cable compensado para termopar tipo K de calibre 24 AWG con recubrimiento de fibra de vidrio/ fibra de vidrio/ acero inoxidable.

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas cable de extensión para termopar tipo K

Calibración ANSI	Nombres (Componentes)	Identificador	Código de color	Magnetismo
K	Chromel (Níquel – Cromo)	Positivo	Amarillo	NO
	Alumel (Níquel – Aluminio)	Negativo	Rojo	SI

Fuente: (García Velásquez & Iguago Morocho, 2016)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.4 *Disyuntor YCL7-63*

El disyuntor YCL7-63 mostrado en la *Ilustración 3-6*, desempeña un papel crucial en el sistema de distribución de los hornos, encargándose de la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, así como de la operación frecuente de encendido y apagado del HEQC. Este interruptor de circuito

se distingue por su estructura innovadora, siendo liviano y confiable. Además, presenta una larga vida útil y cumple con los estándares de la norma IEC 60898 (Carrión Ramón & Aulis Romero, 2015).



Ilustración 3-6: Disyuntor YCL 7-63

Fuente: (Industria Israel, 2020)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 3-3* se muestran las especificaciones técnicas del disyuntor miniatura.

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas de disyuntor YCL 7-63

Especificaciones Técnicas	
Modelo:	YCL7-63
Polos:	2
Tensión nominal:	240 VAC
Corriente nominal	32 A
Capacidad de ruptura	10 kA
Vida eléctrica:	10 000 veces
Marca:	CNC

Fuente: Ficha técnica del disyuntor YCL7-63

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.5 SSR-25DA 25 A INPUT 3-32 VDC OUTPUT 24-480 VAC

El SSR (Relé de Estado Sólido) consta de dos partes fundamentales: la parte de control y la parte de potencia. La primera se encarga de activar el propio relé, aplicando una tensión específica entre sus dos terminales de control. Al hacerlo, habilita la parte de potencia, que alimentará el sistema. En este contexto, se empleará un SSR-25DA 25 A INPUT 3-32 VDC OUTPUT 24-480 VAC, según se muestra en la *Ilustración 3-7*. Este dispositivo presenta varias ventajas, como un tamaño reducido, un funcionamiento silencioso y una conmutación más rápida y sin rebotes (García Daza, 2022).

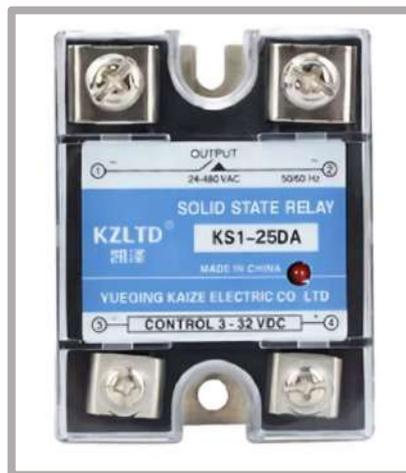


Ilustración 3-7: SSR-25DA

Fuente: (tokopedia, 2024)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 3-4* se muestra las especificaciones técnicas del SSR-25DA

Tabla 3-4: Especificaciones técnicas del SSR-25DA 20A

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de salida:	24 a 380 VAC
Corriente de salida:	20 A
Tensión de entrada:	3 – 32 VDC
Método de control:	CC A CA
Métodos de montaje:	Pernos fijos
Tiempo de conmutación:	≤ 10 ms

Fuente: Ficha técnica del SSR-25DA

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.6 Base porta fusible

Los portafusibles desempeñan un papel esencial en la protección contra sobrecargas y/o cortocircuitos que pueden surgir en las líneas eléctricas. Aunque garantizan la desconexión, es importante destacar que no son adecuados para funciones de aislamiento. Para fortalecer la seguridad del sistema eléctrico, se empleará el portafusibles como se muestra en la *Ilustración 3-8*. Este dispositivo cuenta con un fusible incorporado, lo que permite utilizar fusibles de diferentes amperajes para salvaguardar contra sobrecargas y cortocircuitos (Oviedo Paredes, 2022).



Ilustración 3-8: Porta Fusible de 32 A

Fuente: (ELECTROMATERIAL, s.f.)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.7 HMI PI3070ig

La pantalla táctil HMI modelo PI3070ig mostrada en la *Ilustración 3-9* facilita la interacción entre los operarios y el control del proceso, permitiendo el manejo y monitoreo directo de la variable crítica, que en este caso es la temperatura. Desde la pantalla, se puede visualizar la lectura de los sensores de temperatura, gestionar las alarmas del sistema, supervisar los tiempos, entre otras funciones. La estrecha relación entre el HMI y los controladores se evidencia en su capacidad para acceder a las variables utilizadas en la programación, controlándolas y visualizándolas en tiempo real. Además, ofrece la versatilidad de ser programado según las preferencias del operario, contribuyendo a la creación de un sistema de control intuitivo (Zamora Tandazo & Vásquez Briones, 2020).



Ilustración 3-9: HMI PI3070ig

Fuente: (Direct Industry, 2024)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 3-5* se presenta las características más importantes del HMI PI307ig y su información técnica detallada se adjunta en el *Anexo B*.

Tabla 3-5: Características del HMI PI730ig

Características	
CPU	A35, 1.2 GHz, 128M Flash, 128M DDRAM
Pantalla	7 pulgadas
Interfaces	Puerto serie COM 1: RS232, RS422 o RS485
Funciones relacionadas	V-NET
Sincronización de datos	Descarga Ethernet y la nube
Resolución	800*480
Tipo de retroiluminación	LED
Tarjeta SD	Compatible
Ethernet	Si
Voltaje de alimentación	24 VDC (12 ~ 28 VDC)
Protección del ambiente	IP65
USB	2.0

Fuente: Ficha técnica de la pantalla HMI modelo PI730ig

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.8 Controlador Delta DTB4848

Los dispositivos de control de temperatura son herramientas de campo empleadas para la medición y gestión de la temperatura. El modelo seleccionado para este propósito es el DTB4848 de la marca Delta. Este controlador utiliza una termocupla como entrada y proporciona una salida a través de relés. Internamente, está equipado con un procesador electrónico encargado de ejecutar el control según las necesidades del usuario. El controlador, ilustrado en la Figura 3-10, es capaz de llevar a cabo distintos tipos de control, como el control on-off, control PID o control por rampa programable. La elección del controlador Delta DTB4848 se basa en sus características de funcionamiento y su capacidad de comunicación RS-485 incorporada (Modbus ASCII, RTU), que posibilita la lectura de datos desde el PLC maestro (Cervantes Tafur, 2022).



Ilustración 3-10: Controlador Delta DTB4848

Fuente: (Lubi, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 3-6* se presenta las especificaciones técnicas más importantes del Delta DTB4848 y su información técnica detallada se adjunta en el *Anexo C*.

Tabla 3-6: Especificación técnica del controlador Delta DTB4848

Especificación técnica	
Tamaño:	48 x 48 mm
Monitor:	7 segmentos
Tipo de suministro:	110 VCA
Voltaje de operación:	Del 85% al 110%
Tipo de entrada:	Universal

Tipo de salida:	Corriente lineal
Modo de control:	Manual/On- Off/PID/Programa
Salida de alarma:	3
Salida de retransmisión:	No
Comunicación Modbus ASCII/RTU:	Si

Fuente: Ficha técnica del controlador DELTA DTB4848

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.9 Fuente de alimentación

La fuente de energía AC/DC como se muestra en la *Ilustración 3-11* cuenta con salidas individuales y múltiples, caracterizándose por un bajo consumo sin carga. Sus rangos de temperatura abarcan desde 0 °C hasta 70 °C y cumple con las normativas EMC EN55022, eliminando la necesidad de componentes adicionales de filtrado (Zamora Tandazo & Vásquez Briones, 2020).



Ilustración 3-11: Fuente S-120-24 AC-DC

Fuente: (VENCO, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la tabla 3-7, se muestra las características principales de la fuente de poder conmutada, en la cual se lista la descripción de cada una de las propiedades

Tabla 3-7: Especificación técnica de la fuente conmutada S-120-25 AC-DC

Voltaje de alimentación	110 – 220 V en AC
Protecciones	<ul style="list-style-type: none">▪ Cortocircuitos▪ Sobrecargas
Potencia	120 W
Voltaje de salida	24 V en DC
Corriente de salida	5 A

Fuente: Ficha técnica de la fuente conmutada

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.10 Horno eléctrico de resistencias con abertura superior

Los hornos que utilizan resistencias eléctricas generan calor mediante el efecto Joule al hacer pasar una corriente eléctrica. Dado que no hay combustión involucrada, no es necesario introducir aire del exterior. En este proyecto, se emplearán hornos eléctricos con resistencias y apertura superior, como se muestra en la *Ilustración 3-12*. Estos hornos, de forma octogonal y con un diámetro de 52 cm, funcionan con una tensión de entrada de 220 V y un consumo de corriente de 20 A para generar calor en su interior (Bish Takeuchi, 2009).



Ilustración 3-12: Horno eléctrico con abertura superior

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.4.11 Gabinete metálico 40x30x15

El gabinete de la *Ilustración 3-13* es utilizado en este proyecto técnico, incluyendo todos sus componentes como láminas metálicas, una estructura de 40 cm de ancho, 30 cm de largo y 15 cm de profundidad. Este gabinete es fácilmente transportable y puede ser colocado en el lugar considerado más adecuado. En él se instalará la pantalla HMI para monitorear el proceso de los hornos eléctricos con resistencias (Gutierrez Giraldo, 2020).



Ilustración 3-13: Gabinete metálico 40x30x15

Fuente: (rebra, 2023)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.5 Modelamiento matemático del sistema

El propósito de desarrollar un modelo matemático que se asemeje al comportamiento de la planta real consiste en anticipar el comportamiento del sistema y aplicar estrategias de control para alcanzar un resultado deseado que sea aplicable en la planta real.

3.5.1 Descripción del problema

Se busca gestionar la variable de entrada que corresponde al voltaje de la resistencia, con el objetivo de regular la temperatura interna del sistema HEQC como se muestra en la *Ilustración 3-12*.

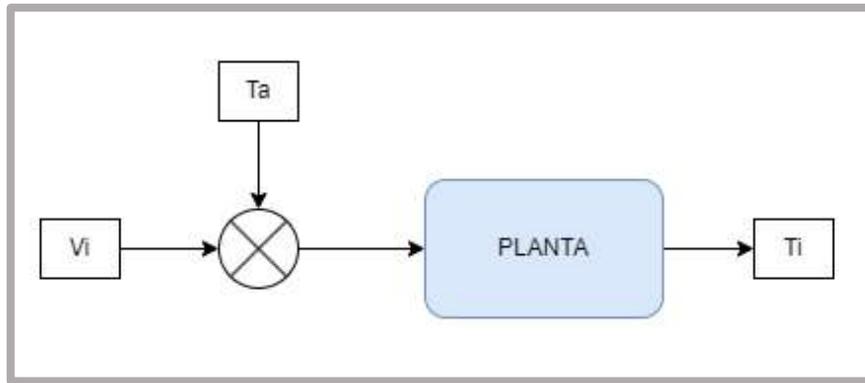


Ilustración 3-12: Parámetros del sistema

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Donde:

Voltaje de resistencia eléctrica [V_i]

Temperatura interna del HEQC [T_i]

Temperatura externa relativa del ambiente [T_a]

3.5.2 Representación térmica

Se propone la representación térmica del sistema mediante la consideración de la resistencia térmica de las paredes del horno, la temperatura relativa externa del entorno, la capacitancia térmica de las paredes del horno, la temperatura interna del horno y la tasa de flujo de calor que ingresa en potencia, tal como se muestra en la *Ilustración 3-13*.

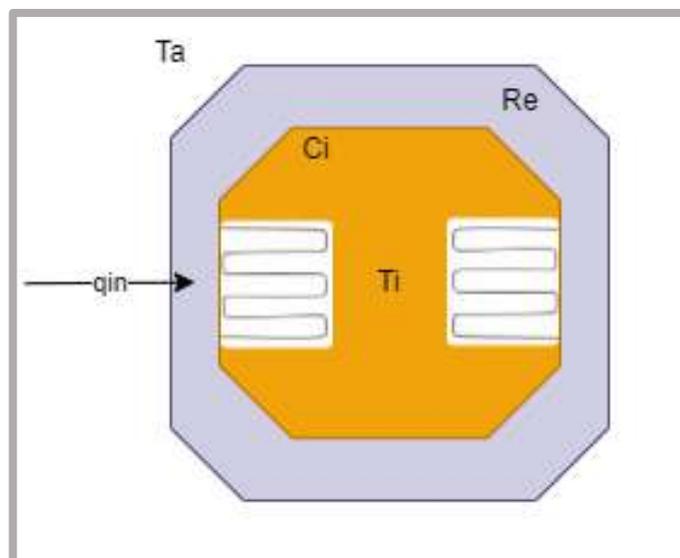


Ilustración 3-13: Representación técnica del sistema

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Donde:

q_{in} = tasa del flujo de calor entrante [W]

T_i = temperatura interna del horno [K]

C_i = capacitancia interna paredes del horno $\left[\frac{J}{K}\right]$

R_e = resistencia térmica de las paredes del horno $\left[\frac{K}{W}\right]$

T_a = temperatura externa relativa del ambiente [K]

3.5.3 Ecuaciones relacionadas en analogía del sistema

En el sistema térmico, se establece una analogía matemática entre los dominios térmico y eléctrico, por lo que se emplearán las ecuaciones siguientes:

3.5.3.1 Resistencia: Se expresa como el cambio en la temperatura ΔT en relación con el flujo de calor que ingresa q .

$$R = \frac{\Delta T}{q} \quad (3-1)$$

3.5.3.2 Capacitancia interna térmica: Se formula como la cantidad de calor generada por el material C multiplicada por su masa.

$$C_i = C * m \quad (3-2)$$

3.5.3.3 Capacitancia: El flujo de calor q es equivalente a la capacidad térmica del material multiplicada por la derivada de la temperatura con respecto al tiempo.

$$q = C \frac{dT}{dt} \quad (3-3)$$

3.5.3.4 Resistencia térmica: La resistencia térmica se calcula dividiendo el espesor de la lámina L entre la constante de conductividad térmica del acero inoxidable λ y el área del horno A .

$$R_e = \frac{L}{\lambda A} \quad (3-4)$$

3.5.4 Representación Eléctrica

A través de la analogía, se establece una representación eléctrica mostrada en la *Ilustración 3-14* donde la energía térmica de entrada se equipará a la energía térmica de salida más la energía térmica almacenada. Este equilibrio se conoce como el balance de energía como se muestra en la *ecuación 3-5*.

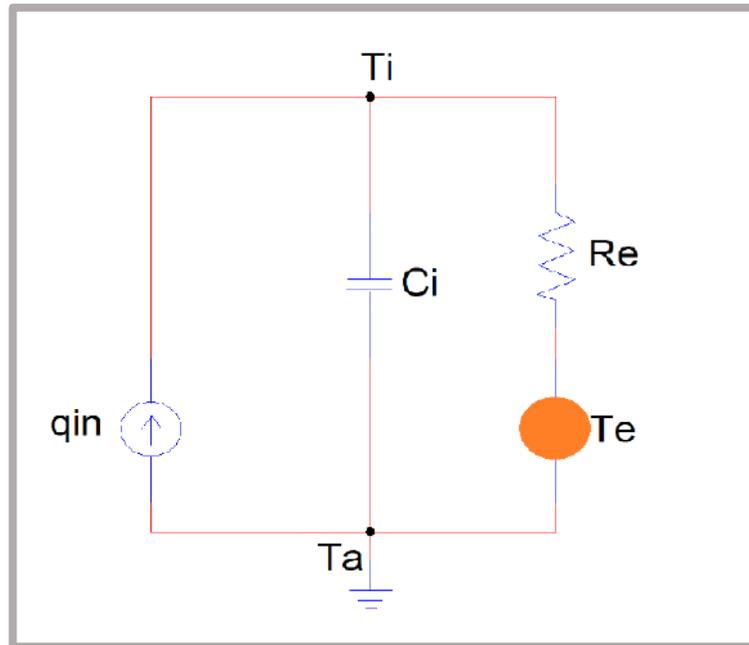


Ilustración 3-14: Representación eléctrica del sistema

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

$$q_{in} = \frac{T_i - T_a}{R_e} + C \frac{dT_i}{dt} \quad (3-5)$$

3.5.5 Función de transferencia

Para hallar la función de transferencia del sistema, se utiliza la *ecuación 3-5*, la cual refleja el equilibrio de energía, y luego se sustituye q_{in} por potencia como se muestra en la *ecuación 3-6*:

$$V * I = \frac{T_i - T_a}{R_e} + C \frac{dT_i}{dt} \quad (3-6)$$

Dado que se trata de un modelo lineal, se procede de a aplicar la Transformada de Laplace a la ecuación 3-6.

$$L \left[V * I = \frac{T_i - T_e}{R_e} + C \frac{dT_i}{dt} \right] \quad (3-7)$$

Obteniendo así la ecuación 3-8 en el dominio de la frecuencia.

$$V(s) * I = \frac{1}{R_e} [T_i(s) - T_e(s)] + s * C_i * T(s) \quad (3-8)$$

La función de transferencia $G(s)$ se obtiene al expresar la salida en relación con la entrada de la siguiente manera:

$$G(s) = \frac{T_i(s)}{V(s)} \quad (3-9)$$

$$G(s) = \frac{I * R_e * V(s) + T_e(s)}{(C_i * R_e * s + 1) * V(s)} \quad (3-10)$$

3.6 Funcionamiento del sistema HEQC

El procedimiento de operación inicia cuando el operador introduce la pieza cerámica en el horno. En ese momento, se inicia el precalentamiento del horno a una temperatura establecida de 300 °C, tanto para la cocción como para el esmaltado. Una vez que el horno alcanza la temperatura deseada, se procede a cerrar la tapa. Para el proceso de cocción, la temperatura se fija en 800 °C, mientras que para el esmaltado se ajusta entre 1100 °C hasta 1275°C.

Al concluir el tiempo de cocción o esmaltado, se permite que el sistema HEQC se enfríe durante al menos 24 horas. Una vez completado este periodo de enfriamiento, la pieza puede retirarse del horno, marcando así la conclusión del proceso. Según el procedimiento operativo del sistema HEQC, que incluye los dos procesos de cocción y esmaltado, se presenta a través del flujograma como se muestra en la *Ilustración 3-15*.

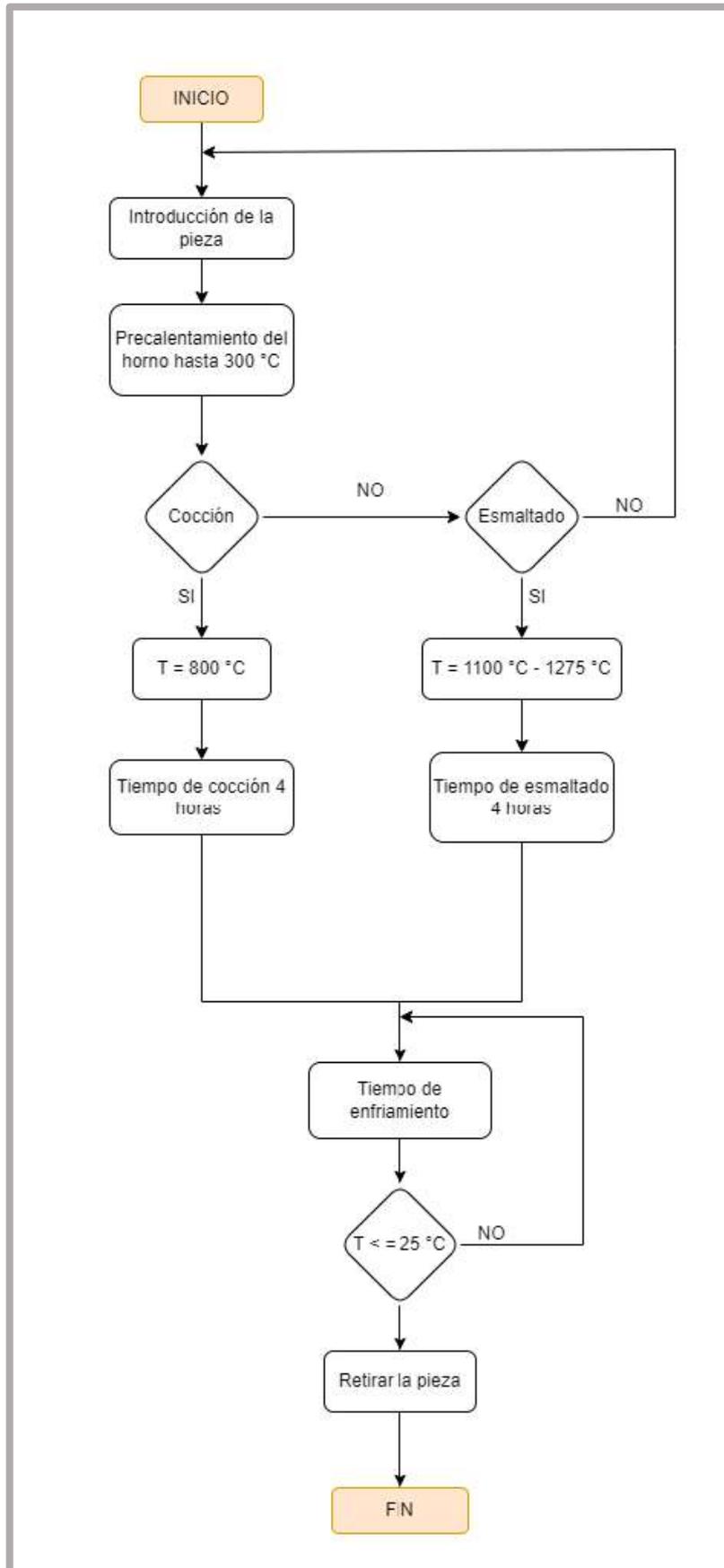


Ilustración 3-15: Flujo de proceso del HEQC

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7 Software de desarrollo del proyecto técnico

Los programas de desarrollo destinados al diseño del gabinete y a la programación de los dispositivos hardware.

3.7.1 *Diseño del gabinete*

Para diseñar el gabinete de control se usa el software Solidworks, se consideran aspectos cruciales como las dimensiones y el peso de los componentes, elementos de protección, un HMI, controladores, fuente de alimentación, pulsadores e indicadores como se muestra la *Ilustración 3-16*. La posición del gabinete en relación con el suelo juega un papel importante para asegurar el correcto funcionamiento del sistema HEQC y para facilitar las labores del usuario.

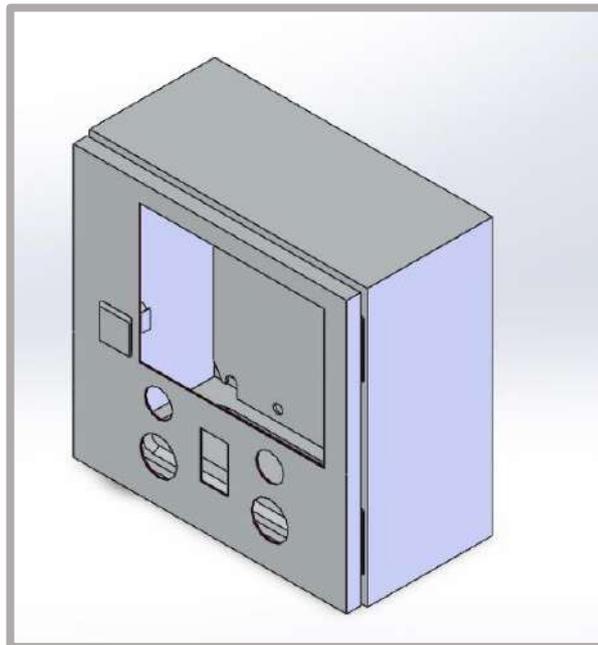


Ilustración 3-16: Diseño de gabinete en Solidworks

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7.2 *Parámetros del controlador PID*

Para obtener los valores de la función de transferencia, se definen las constantes del sistema y los datos de entrada, como se muestra en la *Ilustración 3-17*. Utilizando el toolbox “Transfer function model (tf)” de Matlab y aplicando al modelo matemático, se obtiene los valores de la función de transferencia (G), tal como se expresa en la *ecuación 3-11*.

```

L=0.0015; %Grosor del recubrimiento ceramico
Te=293.15; %Temperatura externa
I=20; %Corriente
La=16.3; %Landa
C=510; %Calor precipitado del material
A=11.05; %area del horno en metros cuadrados
Vm=220; %Voltaje maximo
Vi=210; %Voltaje de entrada
Re=L/La*A; %Resistencia termica de las paredes del horno
m=A*L*7980; %masa
Ci=C*m; %Capacitancia interna termica

%Funcion de transferencia
disp('Funcion de transferencia');
G=tf([I*Re*Vi*Te],[Ci*Re*Vi Vi])

```

Ilustración 3-17: Script de MATLAB

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

La función de transferencia (G) mostrada en el Command Window de Matlab es:

$$G = \frac{250.4}{1.44e04 s + 210} \quad (3-11)$$

Para configurar la acción de control del sistema, resulta crucial ajustar la temperatura a través de la aplicación de la técnica de control digital. En este contexto, se empleó el toolbox “pidtool” de Matlab, como se muestra en la ilustración 3-18. Es una herramienta especializada que permite diseñar y ajustar controladores PID de manera eficiente y precisa. Su importancia radica en su capacidad para simplificar y agilizar el proceso de diseño de controladores PID, lo que resulta fundamental en las aplicaciones de control e ingeniería y sistemas industriales.

La importancia del toolbox radica en su capacidad para optimizar el rendimiento del sistema de control mejorando la estabilidad, precisión y respuesta dinámica del sistema en tiempo real. Esto es crucial para garantizar un control eficaz y robusto en una amplia variedad de sistemas, desde sistemas de control de procesos industriales hasta aplicaciones de control de motores y de navegación.

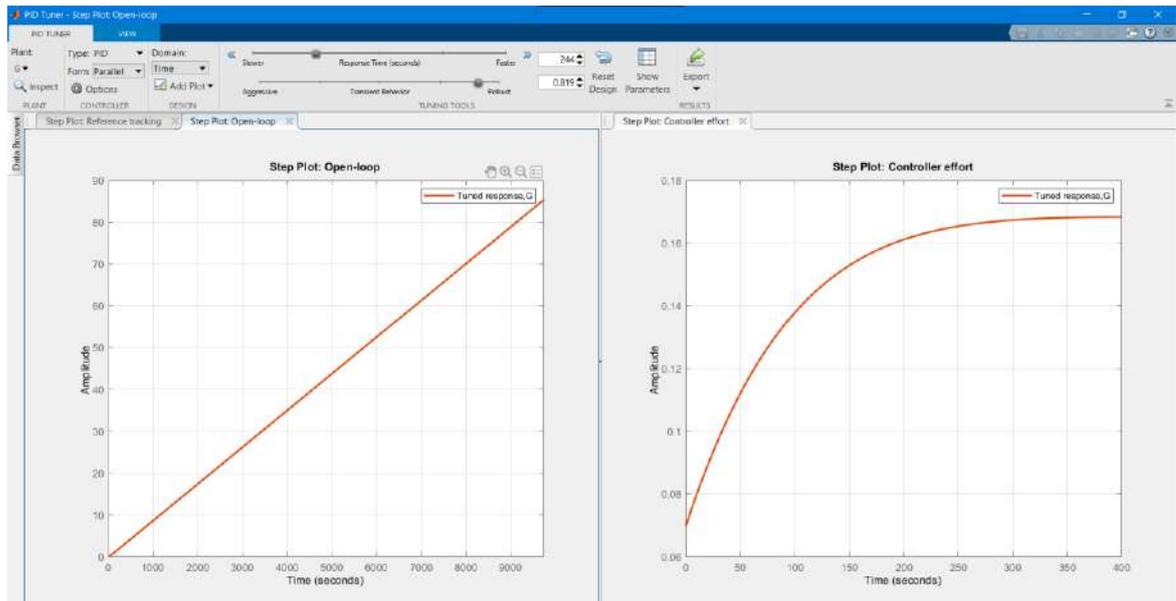


Ilustración 3-18: Toolbox de MATLAB "pidtool"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Al importar la *ecuación 3-11* al toolbox "pidtool" de matlab, se determinan los parámetros de K_p , K_i y K_d para el control PID. Los valores resultantes se presentan en la *Tabla 3-8*, los cuales son utilizados para obtener la respuesta del sistema, como se muestra en la *Ilustración 3-19*.

Tabla 3-8: Parámetros del controlador PID

Parámetros del controlador	
K_p	0.19696
K_i	0.0034932
K_d	0.000251

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

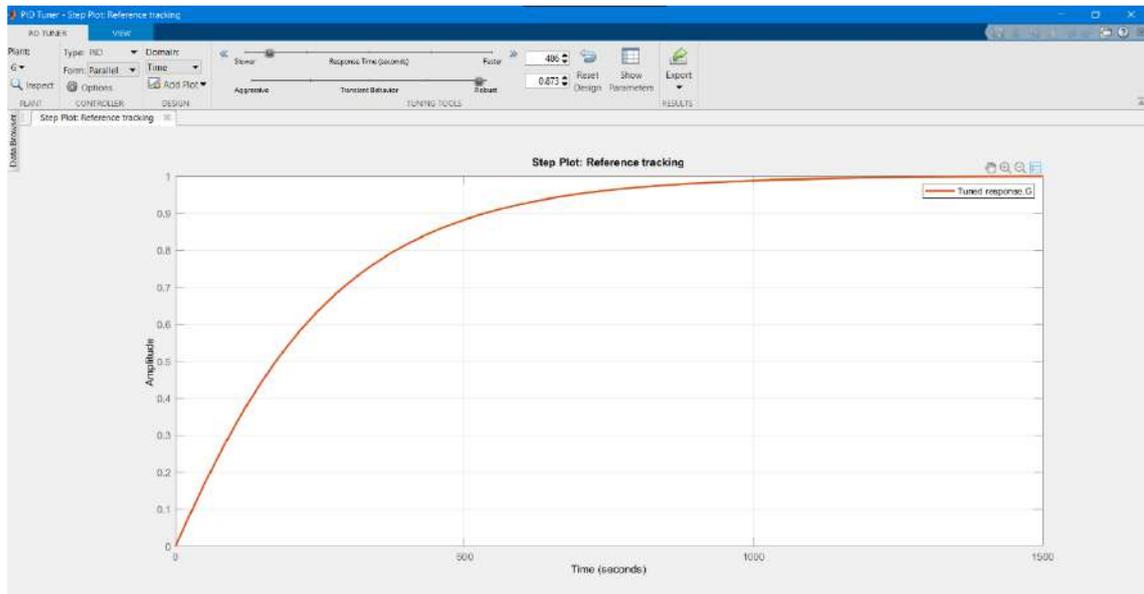


Ilustración 3-19: Respuesta del Controlador PID en el sistema

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Ilustración 3-19*, se evidencia que mediante el uso del control PID se logra la estabilidad del sistema. Dado que se trata de un horno de resistencias eléctricas con una abertura en la parte superior. El controlador inicia el encendido y apagado del SSR, eliminando de esta manera posibles picos u oscilaciones en la curva de salida del sistema, lo que resulta en una mayor similitud con el comportamiento real de la planta del sistema HEQC.

3.7.3 *Diseño del HMI*

Para crear la interfaz del HMI, se emplea el programa PISstudio, el cual posibilita la disposición de los componentes en la pantalla del HMI. Se opta por este software debido a que está diseñado específicamente para las pantallas de la marca WECON. En la *Ilustración 3-20* se muestra el entorno gráfico de PISstudio.

Para una mayor comprensión las pantallas del HMI están divididas en 4 pantallas, teniendo en cuenta que son propias de cada sistema HEQC y su distribución de pantallas son:

- **Principal:** muestra la caratula con los respectivos logos de la universidad y facultad y donde se elige el sistema HEQC a usar.
- **Selección de etapa:** se muestra el sistema HEQC a usar y las etapas disponibles para la operación del sistema, puede ser la etapa de cocción o esmaltado.



Ilustración 3-21: Diseño de la pantalla principal

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7.3.2 Pantalla de selección de etapa

Al pulsar el botón Horno A o Horno B en la pantalla principal, se accede a la pantalla de modo de selección de etapa, donde se ha incorporado la opción de elegir entre los dos tipos de operación cocción y esmaltado, permitiendo al usuario seleccionar. Además, se muestra si el horno seleccionado está en línea, pudiendo enviar datos y recibir cambios en su operación adicionalmente se dispone de la hora actual en la que se iniciara el proceso de quema. El diseño de la pantalla de modo de selección de etapa descrito en este párrafo se visualiza en la *Ilustración 3-22*.



Ilustración 3-22: Diseño de la pantalla modo de selección de etapa

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7.3.3 Pantalla de monitoreo

En esta pantalla del HMI se cuenta con los indicadores gráficos de temperatura en tiempo real de la temperatura alcanzada y la temperatura requerida, un indicador cuando la temperatura ha alcanzado la etapa de precalentamiento, así tenemos un histórico del aumento de la temperatura en el horno siendo la gráfica de color rojo y la de color azul siendo el valor óptimo para la quema, para lo cual se dispone de visualizadores numéricos para la mejor comprensión de cómo va el proceso y al valor que debe llegar siendo de visualización y no de configuración, también se tiene un indicador si el horno sigue en línea o necesita revisión del operario. Además de que en esta pantalla no se puede cambiar los parámetros ya que existe otra pantalla con ese fin, esta pantalla se lo muestra en la *Ilustración 3-23*.

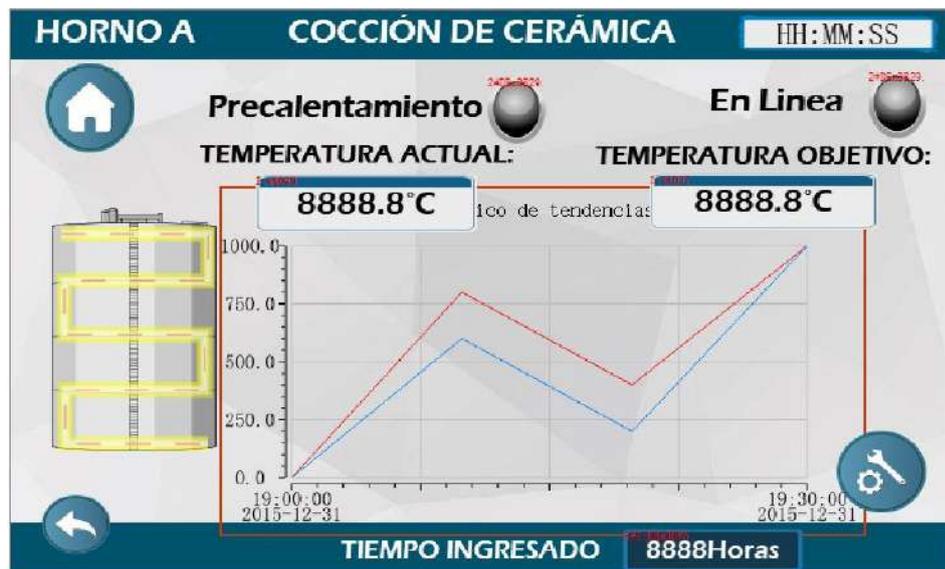


Ilustración 3-23: Diseño de la pantalla de monitoreo

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7.3.4 Pantalla configuración de parámetros

En esta pantalla del HMI se cuenta, con el apartado de configuración de la temperatura deseada donde dependiendo de la etapa tiene restricciones ya que en la etapa de cocción el valor permitido es de 100°C hasta los 950°C y en la etapa de esmaltado las temperaturas permitidas son de 1000°C hasta los 1250°C, a su vez se tiene el indicador si el horno está en línea o puede recibir estos cambios cuando este encendido de color verde, se puede también configurar el valor de temperatura para la etapa de precalentamiento, adicionalmente se tiene botones para el regreso a la pantalla principal y de nuevo a la pantalla de monitoreo del sistema HEQC y por último se tiene un espacio designado para la visualización del tiempo ya que se debe tener en cuenta para la

realización de toda la quema y que esta sea de forma óptima y no dañe las piezas dentro de los hornos, esta pantalla se lo muestra en la *Ilustración 3-24*.



Ilustración 3-24: Diseño de la pantalla configuración de parámetros
Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7.4 Señales de entrada y salida

Es necesario y fundamental a la hora de programar establecer las señales de entrada y salida que intervienen en el sistema, están deben ser etiquetadas en el PLC. Las entradas y salidas que tenemos para el sistema se muestran en la *Tabla 3-9*:

Tabla 3-9: Descripción de las entradas y salidas para el PLC

Entradas (I)	Nombre	Descripción
I0	PARO DE EMERGENCIA	Señal de entrada del botón zeta
Salida (Q)	Nombre	Descripción
Q0	SSR_A	Señal de salida para activar el SSR de control de tablero A
Q1	SSR_B	Señal de salida para activar el SSR de control de tablero B
Q3	L_A_A	Señal de salida para la luz piloto amarilla A
Q4	L_A_B	Señal de salida para la luz piloto amarilla B

Memorias (M)	Nombre	Descripción
M30	Maux1	Memoria auxiliar 1 para condición
M31	Maux3	Memoria auxiliar 2 para condición
M32	Maux5	Memoria auxiliar 3 para condición
M33	Maux7	Memoria auxiliar 4 para condición

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7.5 Diagrama grafcet

Para realizar la secuencia de programación se utiliza el procedimiento denominado grafcet, el cual permite desarrollar y facilitar la programación para cualquier PLC, este método es bien conocido por llevar a cabo procedimientos secuenciales para la automatización de procesos, permitiendo la modificación fácil y sencilla del programa. En la *Ilustración 3-25*, se muestra el grafcet del sistema de control y monitoreo del sistema HEQC.

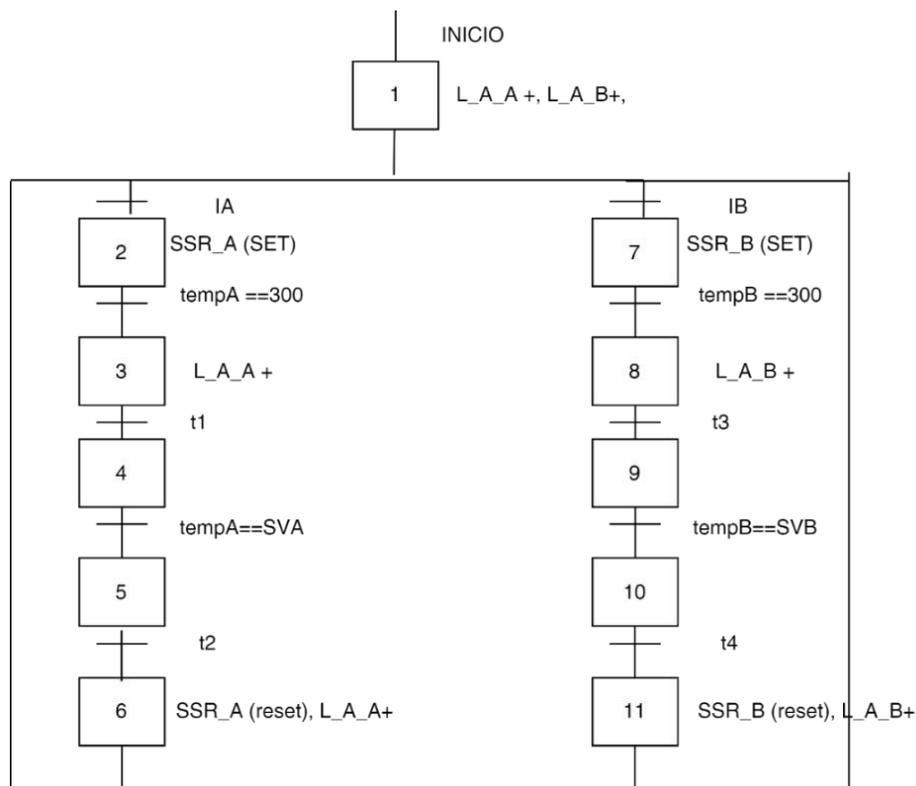


Ilustración 3-25: Diagrama grafcet del sistema HEQC

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

- La primera etapa es accionada por un botón en la pantalla HMI, la cual activa el tablero de control general, que a su vez espera el accionamiento de los selectores de cada sistema HEQC.
- Para pasar a una segunda etapa debe haber cumplido que se active IA desde el HMI y seleccionando HORNO A, en esta etapa se activa el SSR_A.
- Para pasar a una tercera etapa debe cumplirse que la temperatura del sistema HEQCA este en los 300°C, dentro de esta etapa se realiza la activación de la luz piloto en el tablero de control general.
- La cuarta etapa se activa cuando ha pasado un tiempo previsto en que el operador debe bajar la tapa del horno con las piezas ya dentro.
- Para pasar a una quinta etapa debe haber cumplido que la temperatura del proceso haya llegado al Set Value A ingresado por el operario siendo esta una temperatura acorde a los parámetros de cocción (150° C hasta 950° C) o esmaltado (1000° C hasta 1250° C).
- La sexta etapa se activa cuando el temporizador haya acabado el proceso de quema al cabo de 4 h aprox., en esta etapa se detendrá el SSR_A y se activara el L_A_A para la verificación de la pieza después de 24h y a la espera de un nuevo proceso de quema activado desde el HMI.
- Para pasar a una séptima etapa debe haber cumplido que se active IB desde el HMI y seleccionando HORNO B, en esta etapa se activa el SSR_B.
- Para pasar a una octava etapa debe cumplirse que la temperatura del sistema HEQCB este en los 300°C, dentro de esta etapa se realiza la activación de la luz piloto en el tablero de control general.
- La novena etapa se activa cuando ha pasado un tiempo previsto en que el operador debe bajar la tapa del horno con las piezas ya dentro.
- Para pasar a una décima etapa debe haber cumplido que la temperatura del proceso haya llegado al Set Value B ingresado por el operario siendo esta una temperatura acorde a los parámetros de cocción (150° C hasta 950° C) o esmaltado (1000° C hasta 1250° C).

- La onceava etapa se activa cuando el temporizador haya acabado el proceso de quema al cabo de 4 h aprox., en esta etapa se detendrá el SSR_B y se activara el L_A_B para la verificación de la pieza después de 24h y a la espera de un nuevo proceso de quema activado desde el HMI.

3.7.6 Obtención de las ecuaciones del proceso

Una vez que se ha completado la secuencia de operación del proceso junto con su correspondiente grafcet, se procede a obtener las ecuaciones que más adelante serán útiles para la programación del PLC en el software correspondiente.

Para obtener las ecuaciones, se debe seguir una regla específica que establece que para obtener la ecuación actual se debe seguir: "etapa anterior por transición anterior, más la etapa actual por la siguiente etapa negada". Siguiendo este principio, se muestran las ecuaciones de cada etapa en la *Tabla 3-10*.

Tabla 3-10: Ecuaciones de las etapas del grafcet

ETAPA	ECUACIÓN
1	$INICIO + M1 * \overline{M2} + M1 * \overline{M7}$
2	$M1 * IA + M6 * IA + M2 * \overline{M3}$
3	$M2 * (tempA = 300) + M3 * \overline{M4}$
4	$M3 * t1 + M4 * \overline{M5}$
5	$M4 * (tempA = SVA) + M5 * \overline{M6}$
6	$M5 * t2 + M6 * \overline{M2}$
7	$M1 * IB + M11 * IB + M7 * \overline{M8}$
8	$M7 * (tempB = 300) + M8 * \overline{M7}$
9	$M8 * t3 + M9 * \overline{M10}$
10	$M9 * (tempB = SVB) + M10 * \overline{M11}$
11	$M10 * t4 + M11 * \overline{M7}$

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.7.7 Programación del PLC

La programación del PLC se la puede realizar en diagramas de bloques o diagrama de escalera "Ladder" a través del programa "LOGO!Soft Comfort V8.3", el cual es perteneciente de la

empresa SIEMENS. Este software posibilita la configuración, creación de la lógica y carga del programa al PLC LOGO 12/24/RCE, cuya interfaz gráfica se muestra en la *Ilustración 3-26*.

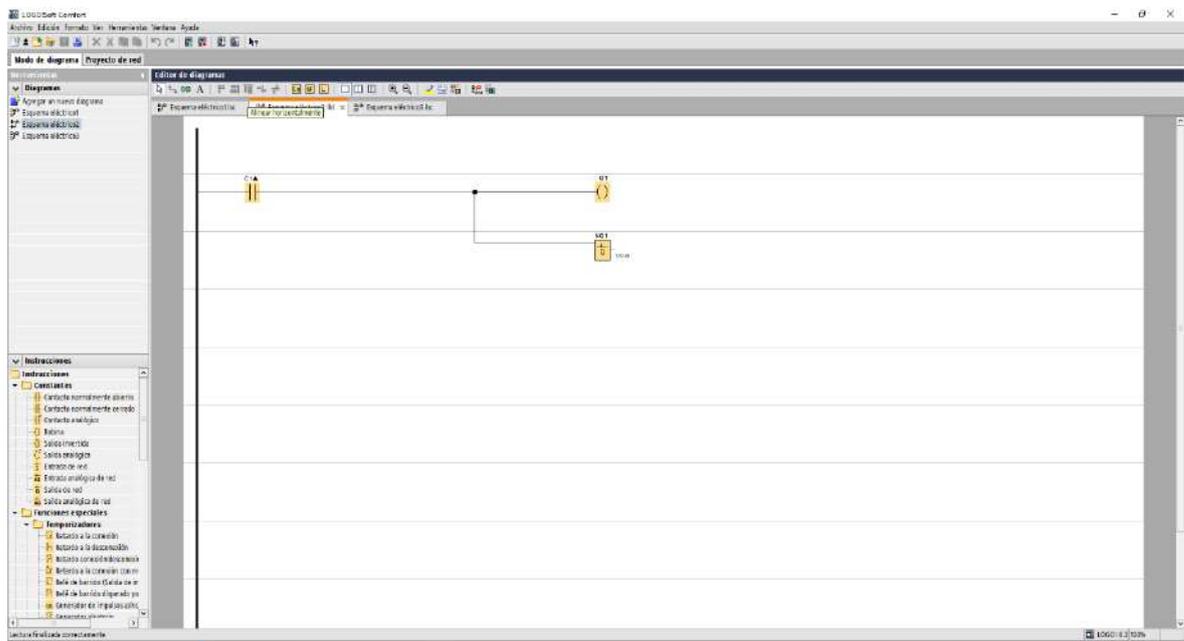


Ilustración 3-26: Interfaz gráfica del software LOGO!Soft Comfort V8.3.

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

A continuación, procedemos a mostrar la programación Ladder, basándonos en las ecuaciones de la *Tabla 3-9*, de cada una de las etapas con sus respectivas adaptaciones para el paro de emergencia, selección entre hornos y etapas, y memorias ocupadas en la comunicación del HMI, que se tratarán posteriormente. La programación en diagrama de bloques se muestra en el Anexo D.

Para la etapa número uno del ladder, se colocan los contactos del selector de inicio en la posición para el funcionamiento. También se coloca en serie el paro del HMI. En la etapa dos y tres, se coloca los contactos del selector en la posición para el funcionamiento en el sistema HEQCA, también se dispone de una entrada desde el HMI que funciona como paro de emergencia, aparte del pulsador físico del paro, se lo coloca en serie el paro del HMI, esto se lo muestra en la *Ilustración 3-27*.

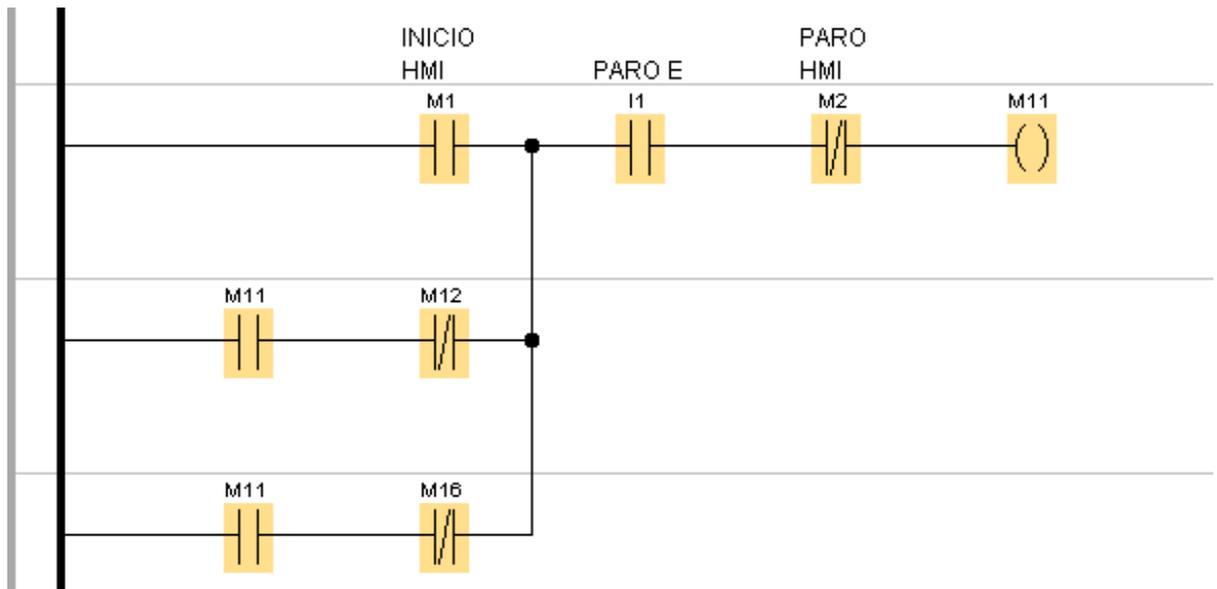


Ilustración 3-27: Diagrama Ladder de las etapas número uno, dos, tres

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Para la etapa número cuatro y cinco, se coloca los contactos del selector en la posición para el funcionamiento en el sistema HEQCA, también se dispone de una entrada desde el HMI que funciona como paro de emergencia, aparte del pulsador físico del paro y se lo coloca en serie el paro del HMI, esto se lo muestra en la *Ilustración 3-28*.

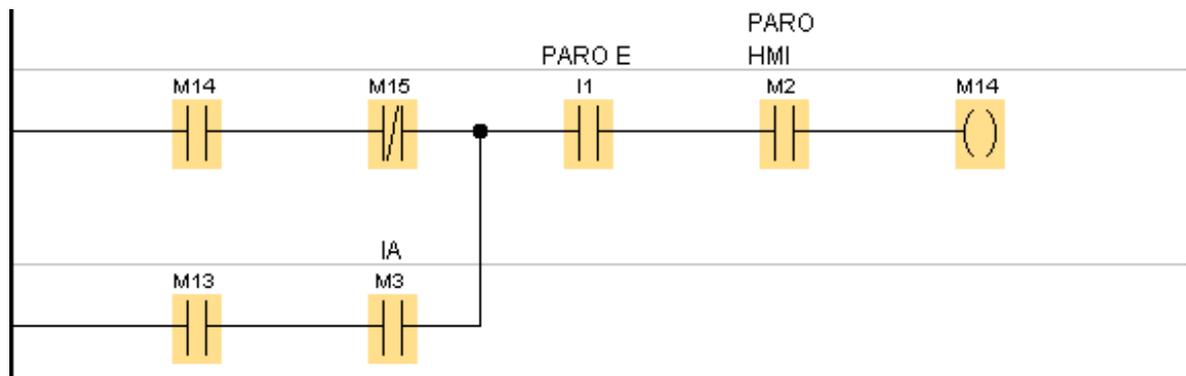


Ilustración 3-28: Diagrama Ladder de las etapas número cuatro y cinco

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Finalmente se tiene la etapa número seis, siete, ocho y nueve, que de igual manera se debe colocar los contactos del selector en la posición para el funcionamiento en el sistema HEQCB, también se dispone de una entrada desde el HMI que funciona como paro de emergencia, aparte del pulsador físico del paro, se lo coloca en serie el paro del HMI, esto se lo muestra en la *Ilustración 3-29*.

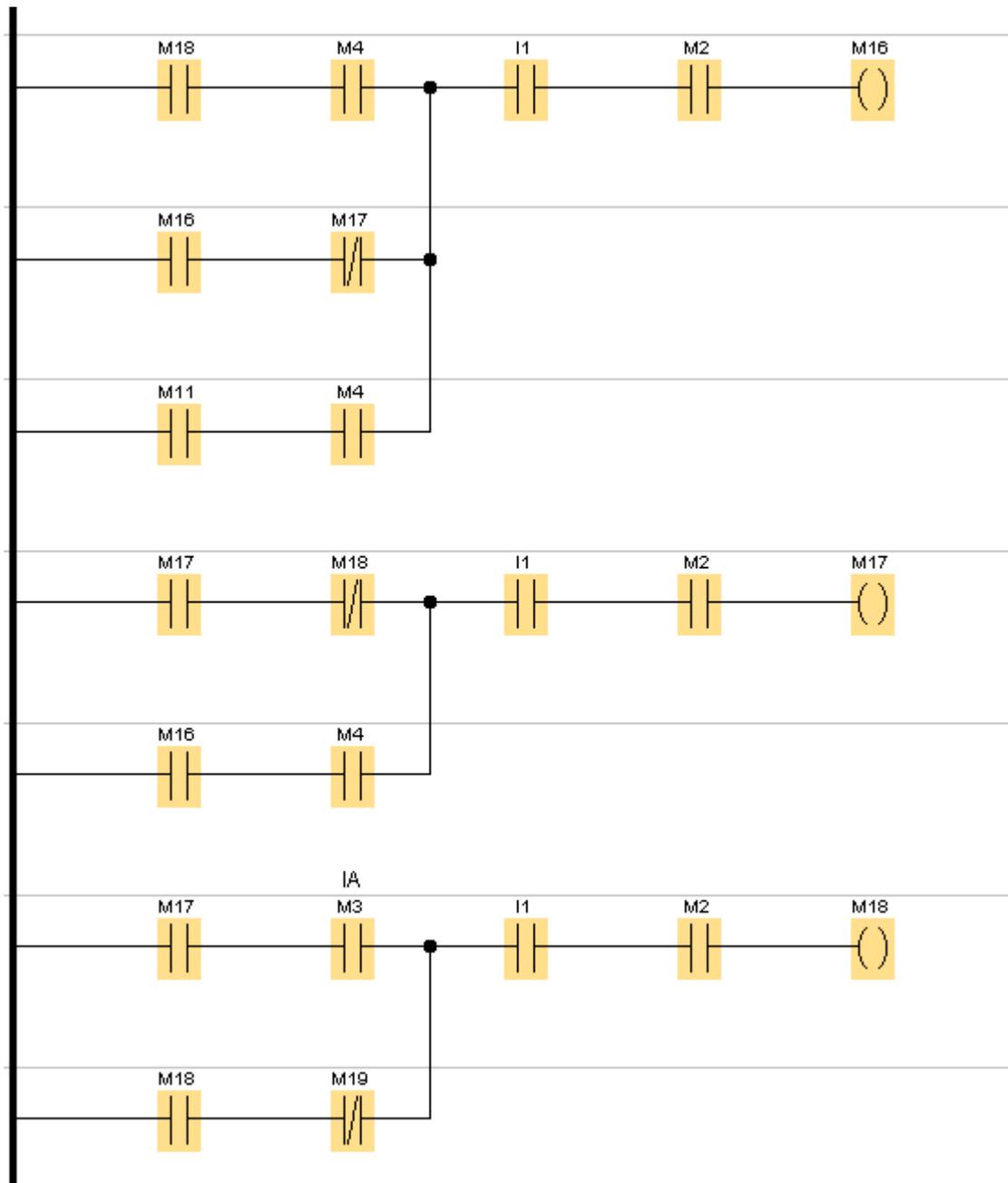


Ilustración 3-29: Diagrama Ladder de las etapas número seis, siete, ocho y nueve

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.8 Diseño eléctrico

Se aborda el dimensionamiento de la protección para el proyecto técnico, así como el de los conductores para el cableado de los diferentes componentes. Además, se detallan las conexiones eléctricas del módulo del PLC, el módulo de control del sistema HEQC.

3.8.1 Protección

Para proteger el sistema de posibles fallos, es fundamental utilizar dispositivos de protección que minimicen las consecuencias graves. Entre estos dispositivos se encuentran los disyuntores termomagnéticos, como el breaker, que resguardan el circuito ante cortocircuitos. El dimensionamiento de estos dispositivos se realiza en base a la corriente total del circuito, y se puede encontrar esta corriente utilizando la *ecuación 3-12*.

$$I_T = \sum_{n=1}^m i_n \quad (3-12)$$

Donde:

I_T = Consumo de corriente total del circuito

i_n = Consumo de corriente de cada elemento del circuito

Se ha utilizado todos los elementos detallados en la *Tabla 3-11* para la implementación del prototipo. Esta tabla muestra el consumo de corriente de cada componente, lo que nos permite calcular el consumo total de corriente del circuito aplicando la *ecuación 3-12*. De esta forma, podemos dimensionar el disyuntor termomagnético de manera adecuada.

Tabla 3-11: Consumo de corriente de los elementos del circuito de control general

Cantidad	Elemento	Consumo nominal de corriente total
1	PLC LOGO	400 mA
1	Pantalla HMI Wecon	400 mA
1	Selector	10 mA
1	Pulsador de emergencia	10 mA
2	Luz piloto	20 mA
2	SSR	24 mA
Total		0.85 A

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Según la *Tabla 3-11* el consumo de corriente total del sistema de control general es de 0.85 A, por lo tanto, el disyuntor termomagnético debe soportar esta corriente, pero dado que en el mercado no existe ese valor comercial, se ha dispuesto en montar un disyuntor de 1 A, el cual si es un valor comercial.

Tabla 3-12: Consumo de corriente de los elementos del circuito de control HEQC A

Cantidad	Elemento	Consumo nominal de corriente total
1	Controlador DTB4848	300 mA
2	Resistencia eléctrica	35 A
1	SSR	12 mA
1	Selector	10 mA
1	Luz piloto	10 mA
Total		35.33 A

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Según la *Tabla 3-12* el consumo de corriente total del sistema de control general es de 35.33 A, por lo tanto, el disyuntor termomagnético debe soportar esta corriente, pero dado que en el mercado no existe ese valor comercial, se ha dispuesto en montar un disyuntor de 40 A, el cual si es un valor comercial.

Tabla 3-13: Consumo de corriente de los elementos del circuito de control HEQC B

Cantidad	Elemento	Consumo nominal de corriente total
1	Controlador DTB4848	300 mA
2	Resistencia eléctrica	35 A
1	SSR	12 mA
1	Selector	10 mA
1	Luz piloto	10 mA
Total		35.33 A

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Según la *Tabla 3-13* el consumo de corriente total del sistema de control general es de 35.33 A, por lo tanto, el disyuntor termomagnético debe soportar esta corriente, pero dado que en el mercado no existe ese valor comercial, se ha dispuesto en montar un disyuntor de 40 A, el cual si es un valor comercial.

3.8.2 Dimensionamiento de conductor eléctrico

Al dimensionar el cableado del tablero eléctrico para el proyecto técnico, se tienen en cuenta las corrientes de consumo de los elementos eléctricos y electrónicos. La selección del calibre de los conductores eléctricos se basa en el estándar AWG (American Wire Gauge), el cual proporciona en una tabla la cantidad máxima de corriente que puede transportar en función de su calibre, como se muestra en la *Tabla 3.14*.

Tabla 3-14: Estándar AWG para calibre y corriente máxima cable solido THHN

AWG	Dia mm	Max Amps
6	13.29	75
8	8.36	55
10	5.25	40
12	3.3	30
14	1.45	25
16	1.29	18
18	0.82	14

Fuente: (Sandoya Unamuno et al., 2018)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Al dimensionar el calibre del conductor, nos hemos basado en la *Tabla 3-14*, donde hemos identificado que las resistencias eléctricas los que más corriente consumen en cada tablero de control de horno “A” y horno “B”. A esta corriente le sumamos el 25% de su valor, lo que nos da como resultado 38.9 A. Con esta corriente en consideración, hemos seleccionado conductores de cobre tipo THHN de calibre 10 AWG para conectar las líneas de fase y neutro de la fuente de alimentación, y dentro del tablero de control general se toma en cuenta conductores de cobre flexible tipo TFF de calibre 22 AWG para el cableado del tablero y los actuadores que manejan una corriente continua de 24 VDC, tal como se observa en la *Tabla 3-15*.

Tabla 3-15: Estándar AWG para calibre y corriente máxima TFF

AWG	Dia mm	Max Amps
20	0.519	1.5
22	0.327	0.92
24	0.205	0.577

Fuente: (Lie, 2024)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.8.3 Diagrama de conexiones eléctricas

Para elaborar el esquemático de las conexiones eléctricas del módulo del LOGO PLC, se utiliza el software Autocad, el cual nos permite obtener la simbología de todos los componentes eléctricos. Este módulo está compuesto por el LOGO PLC, botoneras, luces piloto, una fuente conmutada de 24 voltios y los módulos de cada HEQC. En la *Ilustración 3-30* se muestra el diagrama de conexiones eléctricas.

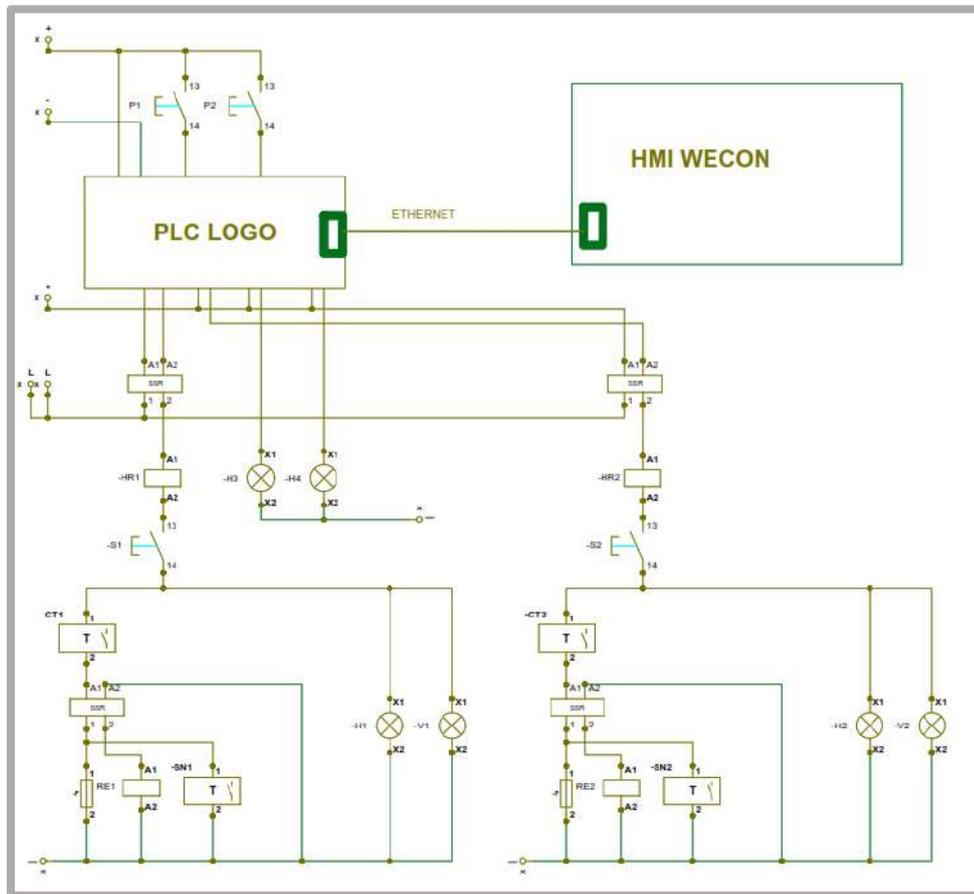


Ilustración 3-30: Diagrama de conexiones eléctricas

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 3-16* podemos observar la descripción de los elementos usados en el diagrama de conexión a través del software Autocad.

Tabla 3-16: Descripción de los elementos de conexión

Elemento	Descripción del contacto
H1	Luz piloto color verde A
H2	Luz piloto color verde B

H3	Luz piloto color amarillo A
H4	Luz piloto color amarillo B
S1	Selector de dos posiciones A
S2	Selector de dos posiciones B
P1	Pulsador paro de emergencia (Zeta)
SSR1	Relay de estado sólido Control A
SSR3	Relay de estado sólido Control B
SSR2	Relay de estado sólido HORNO A
SSR4	Relay de estado sólido HORNO B
CT1	Controlador horno A
CT2	Controlador horno B
SN1	Sensor de temperatura horno A
SN2	Sensor de temperatura horno B
F	Fusible
RE1	Resistencia eléctrica horno A
RE2	Resistencia eléctrica horno B

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

El ensamble físico del tablero de control principal y los tableros de distribución para el sistema HEQC A y B, se lo muestra en la *Ilustración 3-31*, *3-32* y *3-33* respectivamente, en los cuales se encuentran todos los componentes ensamblados y listo para su funcionamiento de acuerdo a su conexión eléctrica mostrada en la *Ilustración 3-30*.



Ilustración 3-31: Implementación de módulo PLC y HMI en el tablero de control general

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024



Ilustración 3-32: Implementación del tablero del horno A

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024



Ilustración 3-33: Implementación del tablero del horno B

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.9 Implementación total del sistema

Una vez concluida la implementación, en la *Ilustración 3-34* se muestra la disposición del área destinada al proceso de cocción y esmaltado, un área que indica peligro de quemaduras o alta temperatura para los usuarios que van a hacer uso del sistema HEQC. Es posible ajustar el valor establecido desde la pantalla HMI y este cambio se efectuará de manera automática en los controladores Delta. Esto permite realizar el control mediante los SSR de cada horno de acuerdo con las preferencias del usuario. Se puede ajustar el tiempo en minutos en el cual los hornos eléctricos van a estar en funcionamiento, para esto se debe considerar la cantidad de piezas para ajustar el tiempo de cocción a las que van a ser sometidas durante el proceso.



Ilustración 3-34: Implementación final del proceso

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

3.10 Diagrama P&ID

Para confeccionar el diagrama de tuberías e instrumentación, también conocido como P&ID, se siguió la normativa ISA S5.1, que proporciona directrices detalladas sobre la simbología y nomenclatura apropiadas para cada instrumento. En la *Ilustración 3-35* se presenta el diseño específico del P&ID para el sistema de control y monitoreo de temperatura en hornos eléctricos destinados a la cocción de cerámica, con el propósito de facilitar la comprensión. En la *Tabla 3-17* se exhibe la simbología empleada en dicho diseño, y de manera similar, en la *Tabla 3-18* se detalla la nomenclatura asignada a los componentes. Es importante señalar que, para diferenciar instrumentos del mismo tipo, se utilizan letras del abecedario.

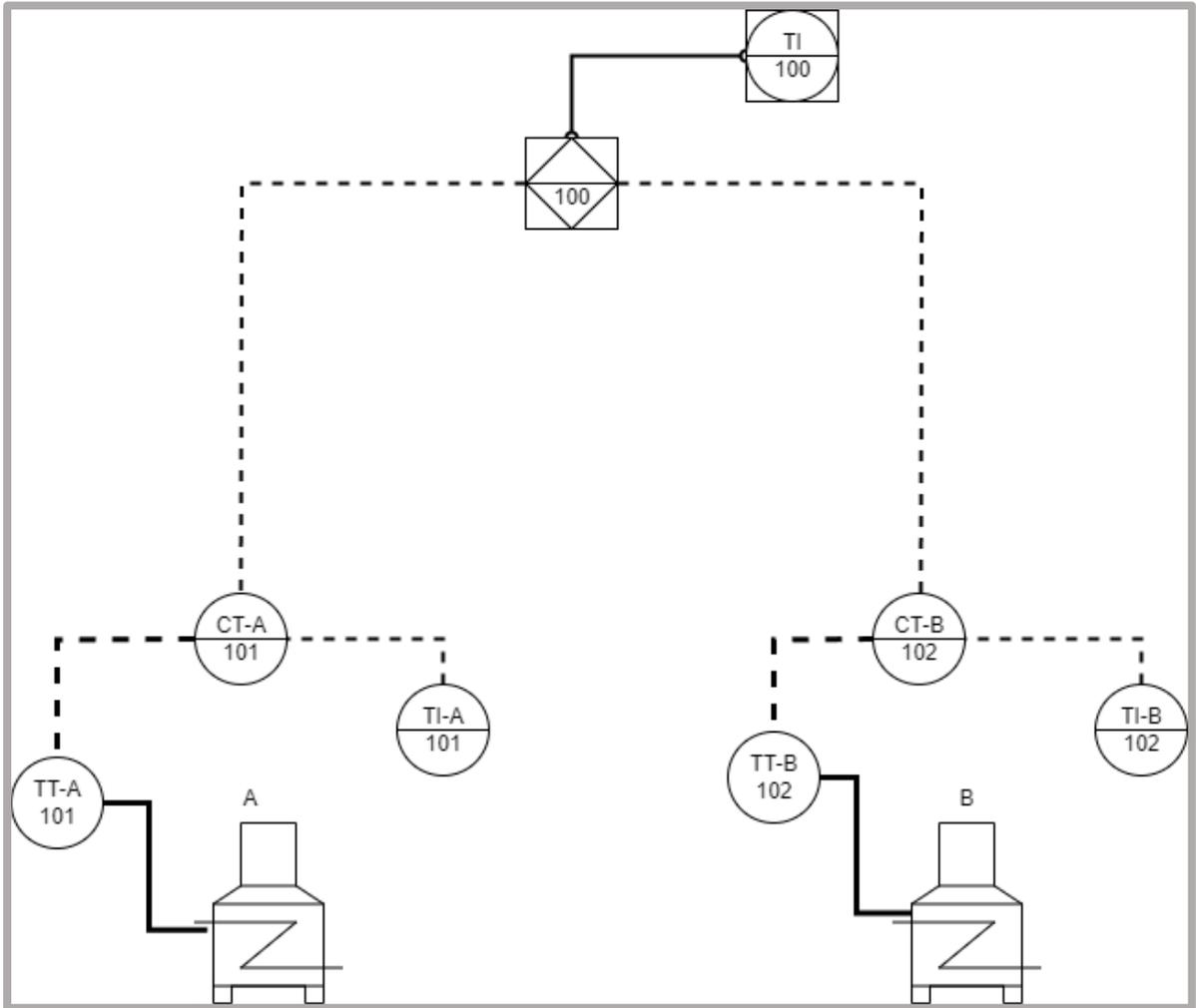
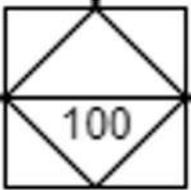
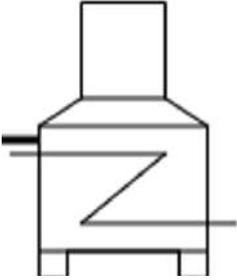
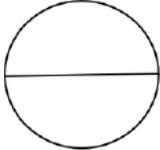
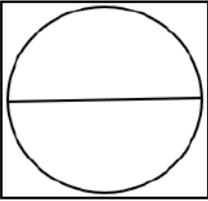


Ilustración 3-35: Diagrama P&ID del proceso

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tabla 3-17: Simbología utilizada en el diagrama P&ID

Símbolo	Instrumento	Descripción
	Controlador Programable	Lógico PLC ubicado en el tablero principal

	Horno eléctrico	-
	Instrumentos	Instrumentos montados en campo
	Display	Display compartido montado en campo
	Señal eléctrica	-
	Enlace de datos	Comunicación entre PLC y HMI

Fuente: (Nogales Nieto & Tapia Bolagay, 2018)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tabla 3-18: Nomenclatura utilizada en el diagrama P&ID

Nomenclatura	Descripción
TT	Transmisor de temperatura
CT	Controlador de temperatura
TI	Indicador de temperatura

Fuente: (Nogales Nieto & Tapia Bolagay, 2018)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

CAPITULO IV

En el cuarto capítulo, dedicado al análisis e interpretación de resultados, se exponen las pruebas llevadas a cabo como parte integral del proyecto. Dichas pruebas estuvieron centradas en la fiabilidad del sensor, los intervalos de respuesta entre el HMI PI3070ig y el controlador DTB4848, medición del tiempo requerido para calentar el horno, así como el tiempo total del sistema de control.

4. ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE RESULTADOS

Se iniciaron las pruebas de tiempo, que involucraron la medición de los intervalos con un cronómetro. Se registró el tiempo necesario en cada etapa para el sistema HEQC.

4.1 Consideraciones Generales

Los procedimientos estadísticos dependen de la normalidad, de modo que recurrir a una prueba de normalidad para terminar si se rechaza este supuesto constituye un paso importante en el análisis. La aplicación de los datos pretende garantizar la robustez de los análisis estadísticos. El diseño de la metodología de la prueba de hipótesis se desarrolla empleando el concepto de hipótesis nula, que se aplica a cualquier afirmación que se desee examinar y se representa como H_0 . La refutación de H_0 resulta en la validación de la hipótesis alternativa, identificada como H_1 (Flores Carlos, Flores Karla 2021).

Para evaluar la normalidad de una variable, se emplea la prueba de Shapiro-Wilks, particularmente para muestras de tamaño inferior a 30. La hipótesis nula de esta prueba postula que la muestra proviene de una distribución normal. El objetivo es rechazar dicha hipótesis nula con un nivel de significancia predefinido, en este caso, del 5% o 0.05. Si la probabilidad generada por la prueba de Shapiro-Wilk supera el nivel de significancia establecido, se infiere que los datos siguen una distribución normal. En solo un 5% de las muestras, el intervalo podría ser incorrecto. Los niveles de confianza más comúnmente empleados son el 95%, el 99% y el 90%. A medida que aumenta el nivel de confianza, la certeza de que el valor del parámetro se encuentra dentro del intervalo también aumenta (Flores Carlos, Flores Karla 2021).

4.2 Pruebas de funcionamiento

Se llevó a cabo las pruebas de funcionamiento del sistema HEQC. Se realizaron mediciones de tiempos y temperaturas de todo el proceso. Posteriormente, se generó la matriz de normalidad aplicando el criterio de Shapiro-Wilk.

4.2.1 Etapa de precalentamiento del sistema HEQC

Se llevó a cabo las mediciones del tiempo con respecto a la temperatura, una vez encendido el sistema HEQC con la tapa abierta hasta los 300 °C, como se muestra en la *Ilustración 4-1*.



Ilustración 4-1: Proceso de precalentamiento de los HEQC

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 4-1* se presentan los registros de tiempos mediante el uso de un cronómetro, así como las temperaturas registradas durante la fase de precalentamiento del sistema HEQC. Se documentó la temperatura indicada por el controlador Delta en 18 muestras, con un intervalo de 10 minutos para cada muestra.

Tabla 4-1: Tiempos de duración en la etapa de precalentamiento de los hornos A y B

Número de muestras	Tiempo [min]	Temperatura horno A [°C]	Temperatura horno B [°C]
1	10	25	27
2	20	85	87

3	30	106	107
4	40	158	159
5	50	194	196
6	60	209	209
7	70	217	219
8	80	234	236
9	90	240	239
10	100	246	247
11	110	255	258
12	120	262	263
13	130	268	269
14	140	273	274
15	150	281	282
16	160	288	289
17	170	293	293
18	180	300	300

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Después de obtener los datos, fue necesario realizar la prueba de normalidad a los tiempos con respecto a la temperatura registrados en la etapa de precalentamiento de los hornos A y B. Esto se llevó a cabo aplicando el criterio estadístico de Shapiro-Wilk mediante la herramienta de software SPSS. Los resultados obtenidos después de realizar la prueba de normalidad se presentan en la *Tabla 4-2*.

Tabla 4-2: Prueba de normalidad para la etapa del precalentamiento

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo	0.19	18	.200*	0.859	18	0.112
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a Corrección de significación de Lilliefors						

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Basándose en la información de la *Tabla 4-2* y considerando que la muestra es inferior a 30, según el estadístico de Shapiro-Wilk, se llegó a la conclusión de que los datos efectivamente se ajustan a una distribución normal. Esto se evidenció al observar que la probabilidad es de 0.112, valores que superan el nivel de significancia de 0.05. Por lo que se determina que no existe error en la medición y se garantiza la medida.

La *Ilustración 4-2* exhibe de manera gráfica las mediciones de temperatura realizadas en las 18 pruebas del HEQC "A". De manera similar, en la *Ilustración 4-3* se presenta gráficamente la medición de temperatura correspondiente al HEQC "B".

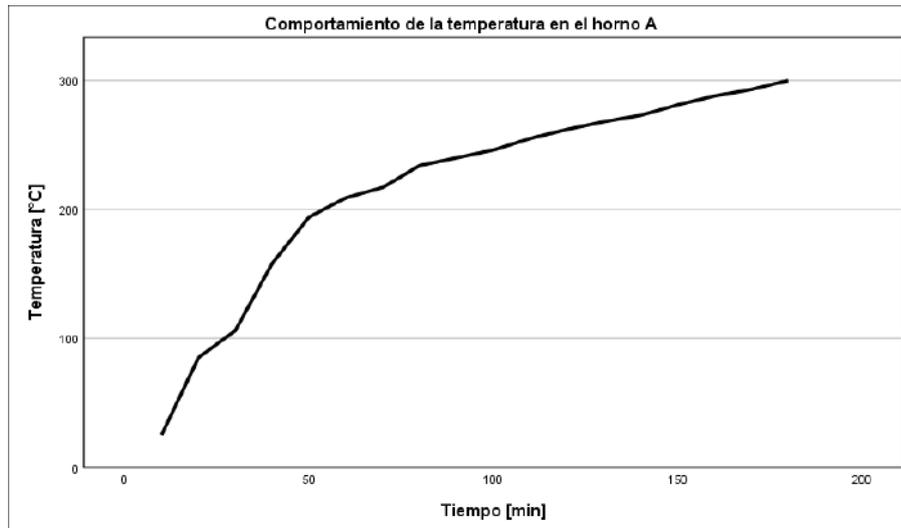


Ilustración 4-2: Comportamiento de la temperatura en la etapa de precalentamiento del HEQC "A"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

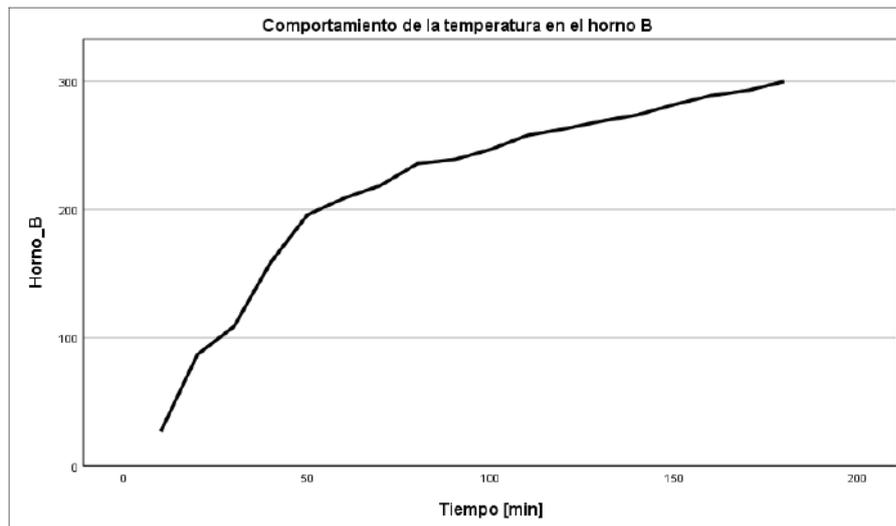


Ilustración 4-3: Comportamiento de la temperatura en la etapa de precalentamiento del HEQC "B"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

4.2.2 Etapa de cocción del sistema HEQC

Se verificó el funcionamiento del sistema HEQC en la etapa de cocción como se muestra en la *Ilustración 4-4*, se consideró que debe finalizar la etapa de precalentamiento para cerrar la tapa

hasta los 800 °C para asegurar que el calor generado por las resistencias eléctricas se concentre en el interior del horno sin perturbaciones externas.



Ilustración 4-4: Proceso de cocción de los HEQC

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

La *Tabla 4-3* muestra los valores de tiempos mediante el uso de un cronómetro, así como las temperaturas registradas durante la etapa de cocción del sistema HEQC. Se llevó a registro la temperatura indicada por el controlador Delta en 20 muestras, con un intervalo de 10 minutos para cada muestra.

Tabla 4-3: Tiempos de duración en la etapa de cocción de los hornos A y B

Número de muestras	Tiempo [min]	Temperatura horno A [°C]	Temperatura horno B [°C]
1	10	300	300
2	20	394	358
3	30	440	422
4	40	476	461
5	50	504	494
6	60	541	522
7	70	569	556
8	80	597	581
9	90	629	621
10	100	651	640
11	110	672	663

12	120	691	681
13	130	722	703
14	140	731	727
15	150	747	739
16	160	759	754
17	170	772	766
18	180	785	778
19	190	792	789
20	200	800	801

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Una vez obtenidos los datos, se procedió a realizar la prueba de normalidad a los tiempos con respecto a las temperaturas registradas durante la etapa de cocción del sistema HEQC. Esta evaluación se efectuó mediante la aplicación del criterio estadístico de Shapiro-Wilk utilizando la herramienta de software SPSS. Los resultados de esta prueba de normalidad se encuentran detallados en la *Tabla 4-4*.

Tabla 4-4: Prueba de normalidad para la etapa de cocción

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo	0.118	20	.200*	0.928	20	0.142
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con base en los datos presentados en la *Tabla 4-4* y tomando en cuenta que la muestra es menor a 30, se concluyó, según el estadístico de Shapiro-Wilk, que los datos se ajustan efectivamente a una distribución normal. Esto se confirmó al notar que la probabilidad es de 0.142, valores que superan el nivel de significancia de 0.05. Por lo que se determina que no existe error en la medición y se garantiza la medida.

En la *Ilustración 4-5* se muestra gráficamente el registro de las mediciones de temperatura realizadas en las 20 pruebas llevadas a cabo en el HEQC "A". De manera análoga, la *Ilustración 4-6* exhibe gráficamente la medición de temperatura en función del tiempo correspondiente al HEQC "B".

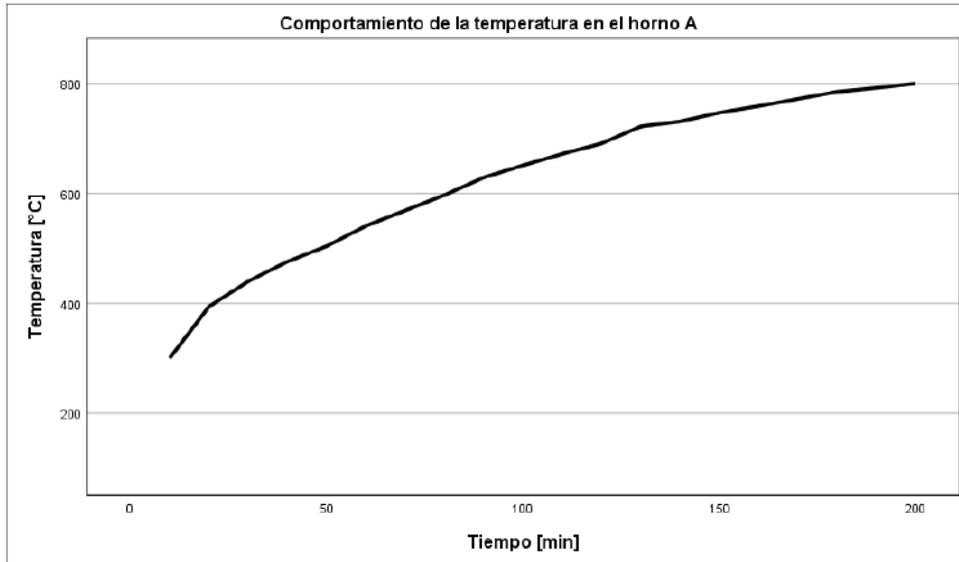


Ilustración 4-5: Comportamiento de la temperatura en la etapa de cocción del HEQC "A"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

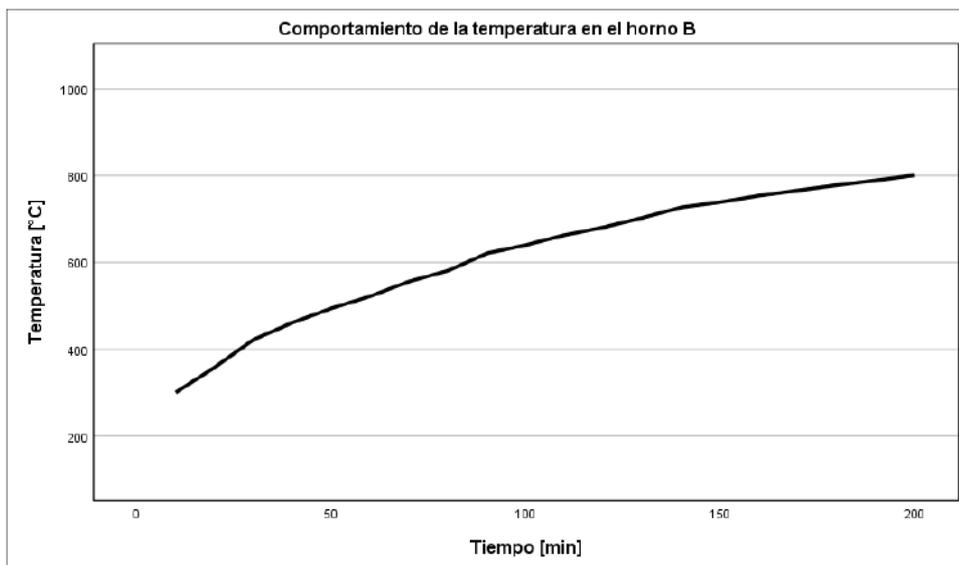


Ilustración 4-6: Comportamiento de la temperatura en la etapa de cocción del HEQC "B"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

4.2.3 Etapa de esmaltado

Se verificó el funcionamiento del sistema HEQC durante la fase de esmaltado, como se observa en la *Ilustración 4-7*. Se consideró, al igual que la etapa de cocción se debe finalizar la etapa de precalentamiento para cerrar la tapa hasta los 1100 °C o 1275 °C dependiendo de la tonalidad del esmalte, para garantizar que el calor generado por el efecto Joule de las resistencias eléctricas se concentre internamente sin perturbaciones externas.



Ilustración 4-7: Proceso de esmaltado de los HEQC

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Los registros de tiempos mediante el uso de un cronómetro, así como las temperaturas registradas durante la etapa de esmaltado del sistema HEQC se presentan en la *Tabla 4-5*. Se llevó a registro la temperatura indicada por el controlador Delta en 22 muestras, con un intervalo de 15 minutos para cada muestra.

Tabla 4-5: Tiempos de duración en la etapa de esmaltado de los hornos A y B

Número de muestras	Tiempo [min]	Temperatura horno A [°C]	Temperatura horno B [°C]
1	15	800	801
2	30	814	818
3	45	831	835
4	60	846	850
5	75	851	854
6	90	862	866

7	105	878	882
8	120	894	898
9	135	910	914
10	150	926	930
11	165	942	946
12	180	958	962
13	195	974	978
14	210	990	994
15	225	1002	1010
16	270	1018	1026
17	285	1034	1042
18	300	1050	1054
19	315	1066	1070
20	330	1082	1086
21	345	1098	1102
22	360	1114	1117

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Luego de obtener los datos, se llevó a cabo la prueba de normalidad a los tiempos registrados durante la etapa de esmaltado del sistema HEQC. Esta evaluación se realizó aplicando el criterio estadístico de Shapiro-Wilk utilizando la herramienta de software SPSS. Los resultados de dicha prueba de normalidad se detallan en la *Tabla 4-6*.

Tabla 4-6: Prueba de normalidad para la etapa de esmaltado

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo	0.094	22	.200*	0.955	22	0.393
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Considerando los datos proporcionados en la *Tabla 4-6* y teniendo en cuenta que la muestra es inferior a 30, se llegó a la conclusión, según el estadístico de Shapiro-Wilk, de que los datos se ajustan de manera efectiva a una distribución normal. Esta conclusión se respalda al observar que la probabilidad es de 0.393, valores que superan el nivel de significancia de 0.05. Por lo que se determina que no existe error en la medición y se garantiza la medida.

En la *Ilustración 4-8*, se exhibe gráficamente el seguimiento de las mediciones de temperatura en función del tiempo, realizadas en las 22 pruebas realizadas en el horno "A". De manera similar, en la *Ilustración 4-9* se presenta de forma gráfica la medición de temperatura en relación con el tiempo correspondiente al horno "B".

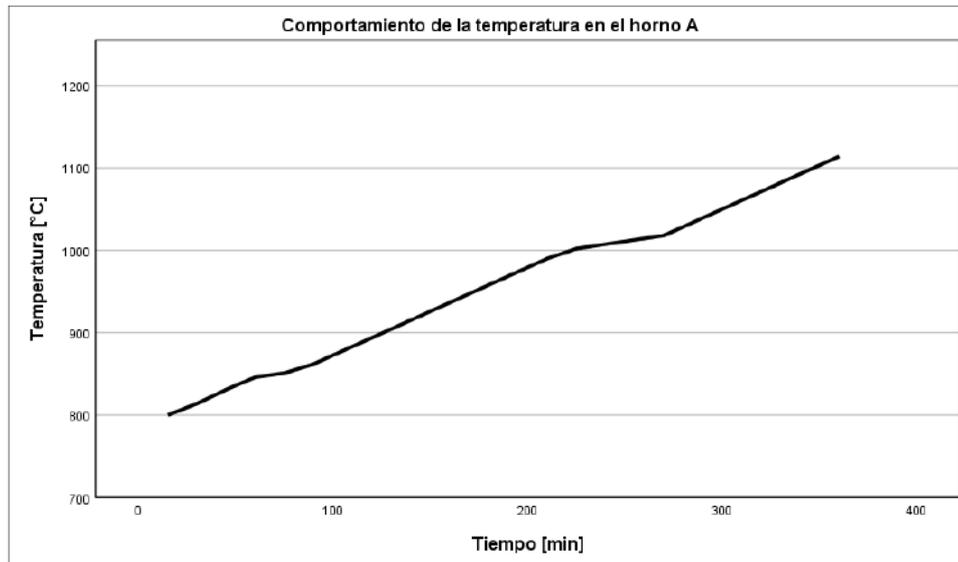


Ilustración 4-8: Comportamiento de la temperatura en la etapa de esmaltado del HEQC "A"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

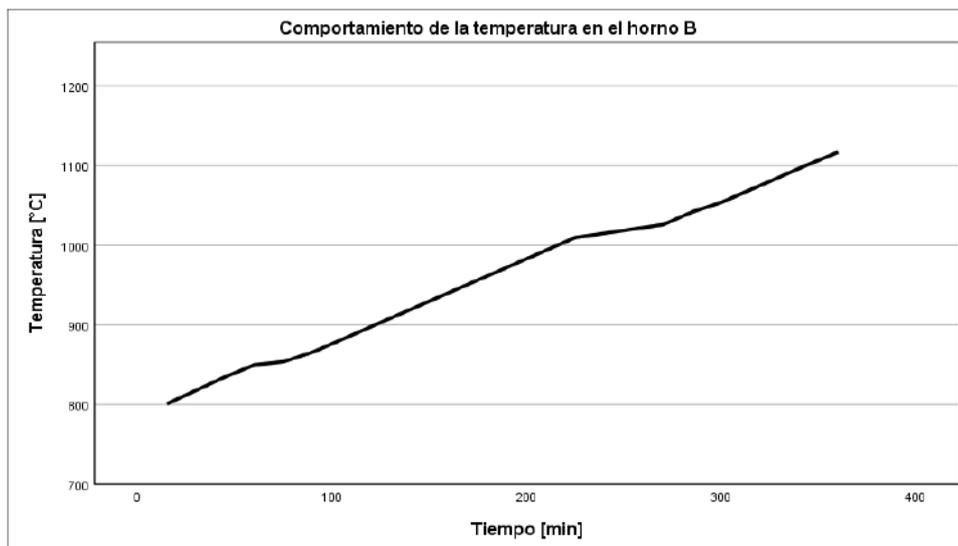


Ilustración 4-9: Comportamiento de la temperatura en la etapa de esmaltado del HEQC "B"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

4.2.4 *Etapa de control para cocción*

Se verificó el control del sistema HEQC durante la etapa de control para la cocción, asegurando que la temperatura no excediera el valor establecido. Esta fase se realizó con la tapa cerrada, ya

que es una continuación de la etapa de cocción diseñada para lograr la dureza deseada en la pieza cerámica, manteniendo la temperatura en 800 °C durante un período de 4 horas, mediante los parámetros del control PID ingresados en el controlador Delta DTB4848. Este control permitió obtener un error de ± 2 °C.

La *Tabla 4-7* presenta los registros de tiempos mediante el uso de un cronómetro, así como las temperaturas registradas durante la etapa de control para el proceso de cocción del sistema HEQC. Se realizó la medición de la temperatura cuando alcanzaba el valor establecido por el usuario, que en esta etapa es de 800 °C, se realizó 24 muestras con un intervalo de 10 minutos para cada muestra.

Tabla 4-7: Tiempos de duración en la etapa control para la cocción de los hornos A y B

Número de muestras	Tiempo [min]	Temperatura horno A [°C]	Temperatura horno B [°C]
1	10	800	801
2	20	800	801
3	30	800	801
4	40	801	800
5	50	801	800
6	60	800	801
7	70	800	801
8	80	800	801
9	90	800	801
10	100	801	800
11	110	800	801
12	120	800	801
13	130	800	801
14	140	801	800
15	150	801	800
16	160	800	801
17	170	800	801
18	180	800	801
19	190	801	800
20	200	800	801

21	210	800	801
22	220	800	801
23	230	801	800
24	240	801	800

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Después de adquirir los datos, se procedió a realizar la prueba de normalidad a los tiempos registrados durante la etapa de control para la cocción del sistema HEQC. Esta evaluación se llevó a cabo mediante la aplicación del criterio estadístico de Shapiro-Wilk utilizando la herramienta de software SPSS. Los resultados de esta prueba de normalidad se encuentran especificados en la *Tabla 4-8*.

Tabla 4-8: Prueba de normalidad para la etapa de control en la cocción

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo	0.173	24	.200*	0.959	24	0.416

a. Corrección de significación de Lilliefors

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Basándose en la información proporcionada en la *Tabla 4-8* y considerando que la muestra es inferior a 30, se llegó a la conclusión, según el estadístico de Shapiro-Wilk, de que los datos se ajustan de manera efectiva a una distribución normal. Esta afirmación se respalda al observar que la probabilidad es de 0.416 para el tiempo, valores que superan el nivel de significancia de 0.05. Por lo que se determina que no existe error en la medición y se garantiza la medida.

En la *Ilustración 4-10* se presenta de manera gráfica el registro de las mediciones de temperatura en función del tiempo, realizado en las 24 muestras del horno "A". De manera similar, en la *Ilustración 4-11* se exhibe gráficamente la medición de temperatura en relación con el tiempo correspondiente al horno "B".

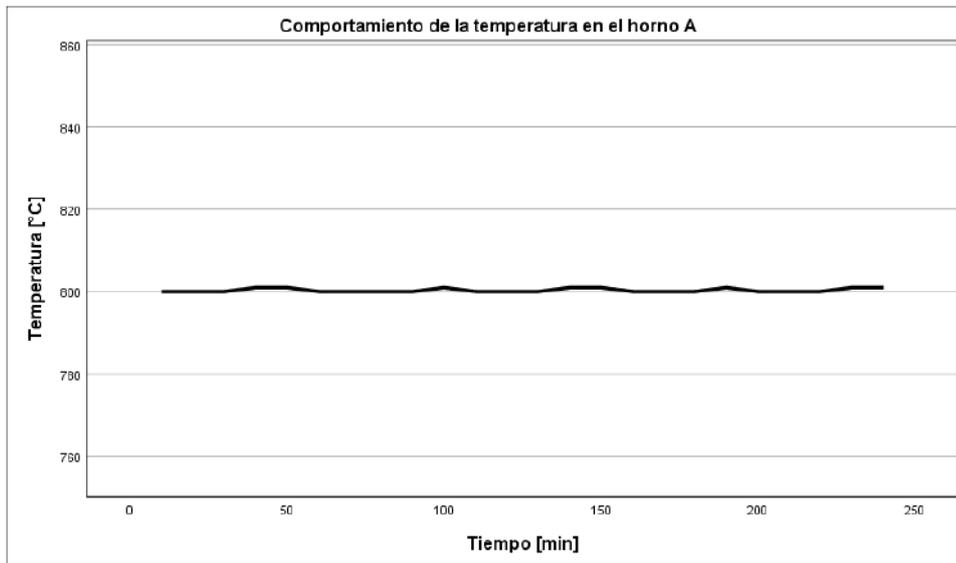


Ilustración 4-10: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para cocción del HEQC "A"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

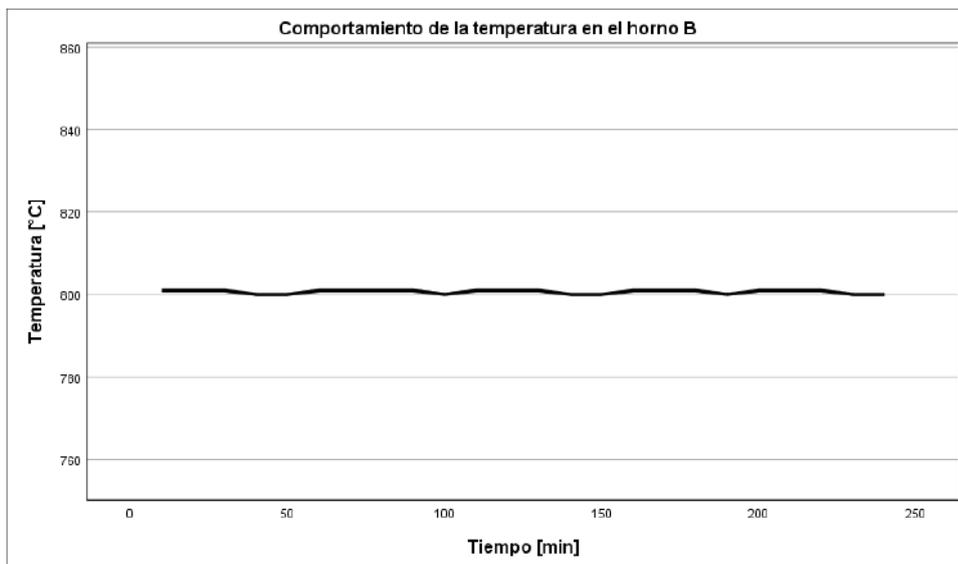


Ilustración 4-11: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para cocción del HEQC "B"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

4.2.5 Etapa de control de esmaltado

Se verificó el control del sistema HEQC durante la etapa de control para el esmaltado, garantizando que la temperatura no superara el valor preestablecido. Esta etapa se desarrolló con la tapa cerrada, siendo una continuación de la fase de esmaltado diseñada para lograr la decoración y coloración deseada en las piezas cerámicas. Se mantuvieron temperaturas entre 1100 y 1275 °C, variando según la tonalidad de color seleccionada durante 4 horas aprox. Utilizando los

parámetros del control PID ingresados en el controlador Delta DTB4848. Este control permitió alcanzar un margen de error de ± 2 °C.

La *Tabla 4-9* muestra registros de tiempos mediante el uso de un cronómetro, así como las temperaturas registradas durante la etapa de control para el proceso de esmaltado del sistema HEQC. En esta fase, se procedió a medir las temperaturas cuando alcanzaban el valor establecido por el usuario, que variaba entre 1100 y 1275 °C según el color del esmalte, se realizó 16 muestras con un intervalo de 15 minutos para cada muestra.

Tabla 4-9: Tiempos de duración en la etapa control para el esmaltado de los hornos A y B

Número de muestras	Tiempo [min]	Temperatura horno A [°C]	Temperatura horno B [°C]
1	15	1098	1101
2	30	1100	1100
3	45	1100	1101
4	60	1101	1101
5	75	1101	1100
6	90	1100	1101
7	105	1100	1100
8	120	1100	1100
9	135	1100	1101
10	150	1101	1101
11	165	1101	1100
12	180	1100	1101
13	195	1100	1100
14	210	1100	1100
15	225	1100	1101
16	270	1101	1101

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tras obtener los datos, se llevó a cabo la prueba de normalidad a los tiempos registrados durante la etapa de control de esmaltado del sistema HEQC. Esta evaluación se realizó mediante la aplicación del criterio estadístico de Shapiro-Wilk utilizando la herramienta de software SPSS. Los resultados de esta prueba de normalidad están detallados en la *Tabla 4-10*.

Tabla 4-10: Prueba de normalidad para la etapa de control para el esmaltado

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo	0.079	16	.200*	0.976	16	0.929
* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a Corrección de significación de Lilliefors						

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con base en los datos presentados en la Tabla 4-10 y considerando que la muestra es menor a 30, se concluyó, según el estadístico de Shapiro-Wilk, que los datos se ajustan de manera efectiva a una distribución normal. Esta afirmación se respalda al observar que la probabilidad es de 0.929 para el tiempo, valores que superan el nivel de significancia de 0.05. Por lo que se determina que no existe error en la medición y se garantiza la medida.

En la *Ilustración 4-12* se exhibe de forma gráfica el seguimiento de las mediciones de temperatura en función del tiempo, realizadas en las 16 muestras del horno "A". De manera análoga, en la *Ilustración 4-13* se presenta gráficamente la medición de temperatura en relación con el tiempo correspondiente al horno "B".

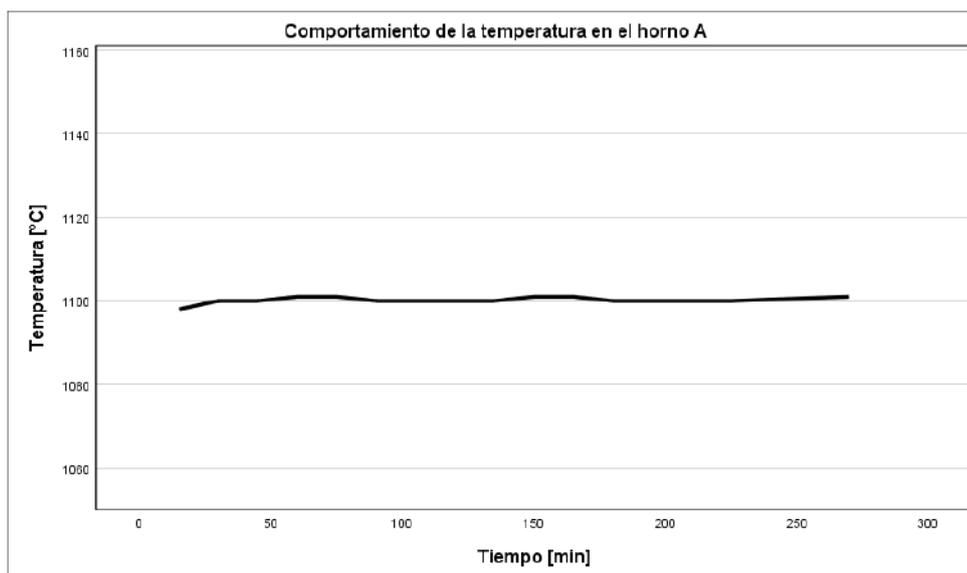


Ilustración 4-12: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para el esmaltado del HEQC "A"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

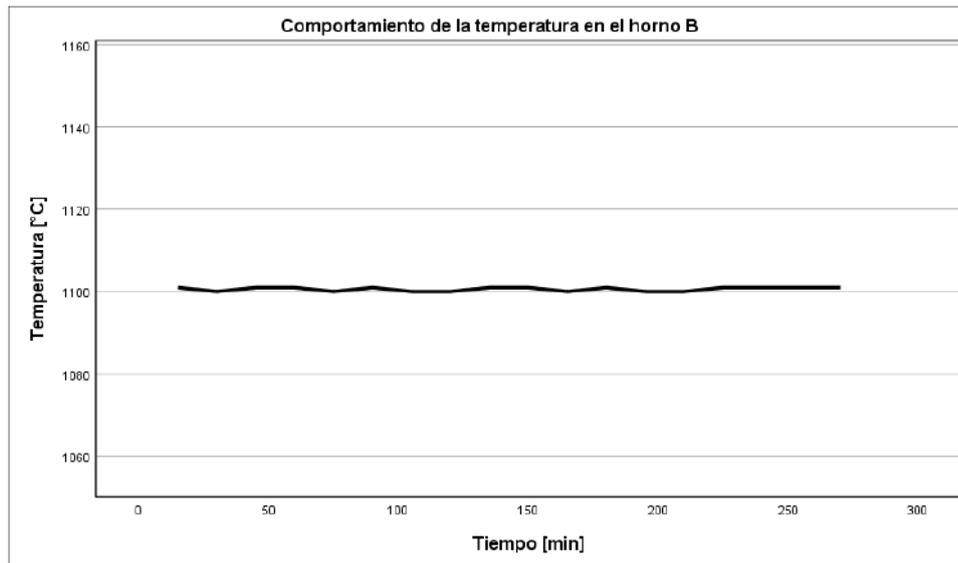


Ilustración 4-13: Comportamiento de la temperatura en la etapa de control para el esmaltado del HEQC "B"

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

4.3 Validación de la termocupla T1300 WRN-010

Se verificó la validez de la termocupla tipo K utilizando dos equipos: el tacómetro Extech Instruments y el Raynger 3i Plus. El objetivo era confirmar los valores de temperatura registrados por la termocupla.

4.3.1 Validación con Termómetro Extech

El propósito de esta prueba consiste en validar la termocupla tipo K, en particular el modelo T1300 WRN-010, junto con el termómetro Extech Instruments modelo RPM10, que se puede observar en la *Ilustración 4-14*. La hoja de especificaciones técnicas indica que el termómetro tiene un rango de medición de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $315\text{ }^{\circ}\text{C}$, el cual utilizaremos para la etapa de precalentamiento. Además, se destaca que cuenta con la nota patentada U.S. Patente 7,111,981. Las especificaciones técnicas completas del termómetro se encuentran detalladas en el Anexo E.

En la *Tabla 4-11* se presentan las 19 muestras obtenidas al medir la temperatura en la etapa de precalentamiento del sistema HEQC con el termómetro RPM10 y la termocupla tipo K en intervalos de 10 minutos para cada muestra.



Ilustración 4-14: Tacómetro Exttech RPM10

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tabla 4-11: Toma de muestras de temperatura en precalentamiento

Número de muestras	Tiempo [min]	Sensor T1300 WRN-010 [°C]	Termómetro RPM10 [°C]
1	10	16	17
2	20	22	23
3	30	36	36
4	40	59	59
5	50	88	89
6	60	103	103
7	70	127	127
8	80	148	149
9	90	169	169
10	100	188	189
11	110	206	206
12	120	222	222
13	130	237	237
14	140	251	251
15	150	264	264
16	160	276	277
17	170	288	288
18	180	297	297
19	190	307	308

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Después de obtener los datos, se realizó la prueba de normalidad a las temperaturas registradas por la termocupla tipo K y el termómetro RPM10. Esta evaluación se llevó a cabo aplicando el criterio estadístico de Shapiro-Wilk utilizando la herramienta de software SPSS. Los resultados de esta prueba de normalidad se encuentran detallados en la *Tabla 4-12*.

Tabla 4-12: Pruebas de normalidad del elemento sensorial con tacómetro RPM10

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sensor	0.109	19	.200*	0.930	19	0.172
Tacómetro	0.108	19	.200*	0.930	19	0.174
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Basándose en la información proporcionada en la *Tabla 4-12* y tomando en cuenta que la muestra es menor a 30, se concluyó, según el estadístico de Shapiro-Wilk, que los datos se ajustan de manera efectiva a una distribución normal. Esta afirmación se respalda al observar que la probabilidad es de 0.172 en el sensor y 0.174 en el termómetro, valores que superan el nivel de significancia de 0.05. Por lo que se determina que no existe error en la medición y se garantiza la medida.

4.3.2 Validación con termómetro infrarrojo Raynger 3i Plus

Esta prueba se centró en validar la termocupla tipo K, específicamente el modelo T1300 WRN-010, junto con el termómetro infrarrojo Raynger 3i Plus, como se muestra en la *Ilustración 4-15*. Según la hoja técnica, el termómetro tiene un rango de medición de 400 °C a 2000 °C, el cual fue utilizado para la etapa de cocción o esmaltado. Es importante destacar que el termómetro está certificado de acuerdo con los estándares RF, incluyendo (CE) ETSI EN 300328 V1.8.1 y (FCC) 47 CFR. Las especificaciones técnicas completas del termómetro se encuentran detalladas en el Anexo F.



Ilustración 4-15: Termómetro Raynger 3i Plus

Fuente: (FLUKE Process Instruments, 2024)

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Tabla 4-13* se exhiben las 25 muestras obtenidas al registrar la temperatura durante la etapa de esmaltado mediante el uso del termómetro Raynger 3i Plus y la termocupla tipo K en intervalos de 10 minutos para cada muestra.

Tabla 4-13: Toma de muestras de temperatura en proceso de esmaltado

Número de muestras	Tiempo [min]	Sensor T1300 WRN-010 [°C]	Termómetro Raynger 3i Plus [°C]
1	10	422	422
2	20	461	461
3	30	494	493
4	40	522	522
5	50	556	556
6	60	581	580
7	70	621	621
8	80	640	640
9	90	663	663
10	100	681	682
11	110	703	704
12	120	727	727
13	130	739	739
14	140	754	754
15	150	766	766
16	160	778	779
17	170	789	789

18	180	797	797
19	190	810	809
20	200	822	821
21	210	831	831
22	220	839	839
23	230	846	846
24	240	867	867
25	250	889	889

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Tras recopilar los datos, se ejecutó la prueba de normalidad a las temperaturas documentadas por la termocupla tipo K y el termómetro Raynger 3i Plus. Este análisis se realizó mediante la aplicación del criterio estadístico de Shapiro-Wilk utilizando el software SPSS. Los resultados de esta evaluación de normalidad se describen en detalle en la *Tabla 4-14*.

Tabla 4-14: Pruebas de normalidad del elemento sensorial con Raynger 3i Plus

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sensor	0.128	25	.200*	0.933	25	0.102
Termómetro	0.128	25	.200*	0.933	25	0.100
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con base en los datos presentados en la *Tabla 4-15* y considerando que la muestra es inferior a 30, se llegó a la conclusión, según el estadístico de Shapiro-Wilk, de que los datos se ajustan de manera efectiva a una distribución normal. Esta afirmación se sustenta al observar que la probabilidad es de 0.102 para el sensor y 0.100 para el termómetro, valores que superan el nivel de significancia de 0.05. Por lo que se determina que no existe error en la medición y se garantiza la medida.

4.4 Análisis económico del proyecto técnico

En la *Tabla 4-15*, se presentan los costos totales requeridos para el desarrollo y ensamblaje del proyecto técnico denominado sistema de control y monitoreo de temperatura para HEQC, donde, se detallan los costos de los elementos utilizados que corresponden a su compra en Ecuador sin considerar las obras de ingeniería aplicada.

Tabla 4-15: Análisis económico para la implementación del sistema HEQC

Cantidad	Componente electrónico	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1	PLC LOGO 12/24/RCE	\$180	\$180
2	Termocuplas T1300 WRN-010	\$60	\$120
4	Relé de estado sólido 25 DA	\$10	\$40
2	Disyuntor YCL-63	\$16	\$32
1	Base porta fusible	\$12	\$12
1	Fusible de 6 A	\$3	\$3
2	Controladores Delta DTB4848	\$120	\$240
1	HMI PI3070ig	\$490	\$490
1	Fuente de alimentación S-10-24 AC/DC	\$30	\$30
1	Gabinete metálico 40x30x15 cm	\$35	\$35
4	Cable compensado para termocupla tipo K	\$6	\$24
4	Luces piloto	\$2.50	\$10
4	Pulsadores	\$2.50	\$10
1	Varios	\$10	\$10
Costo total			\$1236

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con base en la información de la *Tabla 4-15*, se observa que el costo total de la automatización del sistema HEQC es de 1236 dólares americanos (USD), valor que no incluye los hornos eléctricos.

4.5 Pruebas del sistema HEQC

Las pruebas realizadas comprenden dos parámetros. El primero tiene como objetivo evaluar el sistema con la quema de una pieza de cerámica, mientras que el segundo se enfoca en evaluar el consumo energético del sistema durante el proceso de quema.

4.5.1 *Quema de pieza cerámica*

El proceso para quemar una pieza de cerámica de características específicas empieza con la etapa de precalentamiento hasta llegar a 300 °C, la etapa de cocción hasta los 800 °C y durante 4 horas se debe cocinar la pieza a esa temperatura, al final se deja enfriar por 24 horas antes de retirar la pieza del horno.



Ilustración 4-16: Pieza de cerámica

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Ilustración 4-16* se observa 2 piezas cerámicas con distintas tonalidades esto debido a que la pieza de la izquierda ya paso por el proceso de quema con un peso de 286 gramos, una altura de 7 cm y diámetro de 7.5 cm, la otra pieza escogida para la validación tiene un peso 346 gramos, una altura de 10 cm y diámetro de 7.5 cm.



Ilustración 4-17: Proceso de precalentamiento con una pieza de cerámica

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

En la *Ilustración 4-17* se observa la fase de precalentamiento con la pieza en el interior del horno, terminada está etapa se procede a cerrar la tapa. En la etapa de cocción cuando la temperatura

llega a los 800 °C se mantiene estable durante 4 horas para su quema y el resultado de este proceso se muestra en la *Ilustración 4-18*.



Ilustración 4-18: Pieza cerámica al finalizar el proceso de cocción

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

4.5.2 Consumo energético del sistema HEQC

Durante la quema de la pieza escogida se procedió a tomar medidas de corriente y tensión con el sensor PZEM-004T AC Single Phase 80-260V 100A TTL Modbus AC Smart Voltage Power Energy Meter Ammeter Voltmeter Wattmeter, sensor que permitió el envío de datos al computador con lo que se generó las tablas del consumo energético durante una quema.



Ilustración 4-19: Sensor de tensión y corriente

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Se tomaron 25 muestras cada 10 minutos con el sensor PZEM-004T durante la etapa de precalentamiento y hasta llegar al valor establecido para la etapa de cocción que es de 800 °C, ya que es donde el horno trabaja a carga completa.

Tabla 4-16: Toma de muestras de tensión y corriente en el proceso de quema

Número de muestras	Tiempo [min]	Tensión[v]	Corriente [A]	Potencia [kW]
1	10	220	20	4.4
2	20	220	20	4.4
3	30	220	20	4.4
4	40	220	20	4.4
5	50	220	20	4.4
6	60	220	20	4.4
7	70	220	20	4.4
8	80	220	20	4.4
9	90	220	20	4.4
10	100	220	20	4.4
11	110	220	20	4.4
12	120	220	20	4.4
13	130	220	20	4.4
14	140	220	20	4.4
15	150	220	20	4.4
16	160	220	20	4.4
17	170	220	20	4.4
18	180	220	20	4.4
19	190	220	20	4.4
20	200	220	20	4.4
21	210	220	20	4.4
22	220	220	20	4.4
23	230	220	20	4.4
24	240	220	20	4.4
25	250	220	20	4.4

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con base en los datos presentados en la *Tabla 4-16*, se determina que durante la etapa de precalentamiento y hasta llegar al valor establecido de temperatura se tiene un consumo de 17.6 kW/h a plena carga.

Se midió tensión y corriente cuando el horno estuvo a 800°C, durante 4 horas que es el tiempo para la quema de piezas cerámicas, se tomó 240 muestras cada 15 segundos con el sensor PZEM-004T y se generó una tabla con los promedios de consumo por horas.

Tabla 4-17: Toma de muestras de tensión y corriente en el proceso de quema cuando se llega a la temperatura objetivo

Tiempo [min]	Tensión[v]	Corriente promedio [A]	Potencia [kW]
60	220	7.25	1.595
120	220	7.18	1.576
180	220	7.49	1.647
240	220	7.22	1.588
Consumo promedio			6.41

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

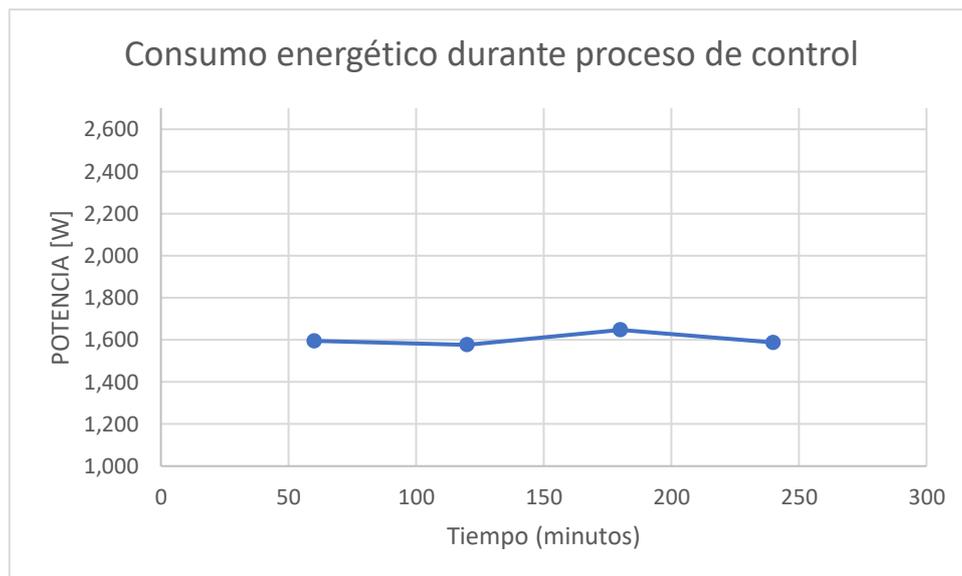


Ilustración 4-20: Consumo de energía del horno durante el control de la temperatura

Realizado por: Morán P., Laica B., 2024

Con los datos de la *Tabla 4-17* se determinó que en el proceso de control de temperatura durante las 4 horas de quema de la pieza cerámica se obtuvo un consumo energético aproximado de 6.41

kW/h, siendo menor al consumo a plena carga esto se debe a que el controlador DTB4848 mantiene estable la temperatura. Por lo que el promedio de consumo energético para un proceso del sistema HEQC que duró aproximadamente 9 horas con la pieza seleccionada de características peso 346 gramos, una altura de 10 cm y diámetro de 7.5 cm es de 24.01 kW/h.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó el sistema de control y monitoreo de temperatura para los HEQC, el cual está compuesto por un sistema eléctrico, sistema de control, protocolos de comunicación. Se verificó el sistema de control, en el que se logró mantener estable la temperatura del valor establecido con un mínimo error de $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Este proceso de calentamiento se efectúa con la activación y desactivación de resistencias eléctricas.
- Durante la investigación del estado del arte se encontró que el control idóneo y oportuno durante el proceso garantiza obtener una pieza cerámica con dureza y durabilidad, por eso se desarrolló un sistema de control PID que permita regular la temperatura, un sistema de apagado automático para optimizar el proceso cuando el operador no se encuentre presente.
- El sistema de monitoreo se realizó a través de la comunicación serial entre los controladores y la pantalla HMI para visualizar y controlar la temperatura en tiempo real. Los sensores deben poseer un tipo de recubrimiento especial por los rangos de temperatura que se utilizan en este proceso de quema.
- Según las pruebas de funcionamiento la etapa de precalentamiento alcanza los $300 \text{ }^\circ\text{C}$ en un aproximado de 3 horas considerando que en esta etapa el horno debe estar con la tapa abierta, las etapas de cocción y esmaltado son con la tapa cerrada para mantener la temperatura uniforme dentro del horno, las temperaturas de esta etapa son $800 \text{ }^\circ\text{C}$ para cocción y entre $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $1275 \text{ }^\circ\text{C}$ para esmaltado esto debido al tipo de color del esmalte para la pieza cerámica.
- Durante la etapa de control de cocción y esmaltado se determinó que este funciona con un error de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura que no representa daños en la pieza cerámica al ser una variación demasiado pequeña. Esta prueba se realizó con un cronómetro con 24 muestras cada 10 minutos para la etapa de cocción y 16 muestras cada 15 minutos para la etapa de esmaltado.
- De las pruebas de validación de la termocupla tipo k, se utilizó dos tipos de termómetros que cuentan con sus respectivas certificaciones, se determinó que las termocuplas funcionan sin

ningún problema o error, además los criterios de normalidad obtenidos de las pruebas, son mayores que el nivel de significancia, dando como resultado el correcto funcionamiento y se garantizó la medida.

- En base al análisis económico realizado para el diseño e implementación de sistema HEQC, se determinó que el costo de la automatización es accesible para la industria que se dedicada a la quema de cerámica.
- En referencia a las pruebas de funcionamiento de todo el sistema HEQC con una quema, se realizó encuestas a los docentes y técnicos del laboratorio de diseño gráfico en donde se establece que el sistema cumple con los requerimientos establecidos.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda investigar la posibilidad de implementar sistemas de recuperación de calor en los hornos de cerámica. Estos sistemas permiten aprovechar el calor residual generado durante el proceso de cocción para otros fines, como calentar agua o generar electricidad, lo que puede ayudar a reducir el consumo de energía.
- Con los datos del consumo energético se recomienda explorar nuevas formas de energía que puedan ser utilizadas en los hornos de cerámica, como las energías renovables, para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuir el impacto ambiental, estas pueden ser la energía solar y la energía eólica, la implementación de nuevas formas de energía requerirá un análisis detallado de viabilidad técnica, económica y ambiental.
- Para investigaciones futuras, se puede ampliar el proyecto técnico mediante la integración de un sistema de supervisión remoto que permita informar al usuario el estado de la quema del proceso sin la necesidad de estar presente físicamente en la ubicación de los hornos.
- Se recomienda el uso de equipo adecuado para la manipulación del sistema HEQC, que soporte altas temperaturas con el fin de evitar mala manipulación y daños a la salud del personal técnico.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Agudelo Zuluaga, L. F.** *AUTOMATIZACIÓN, REFORMA Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE PC DE DOS HORNOS DE SECADO ELÉCTRICOS, EN LA EMPRESA SYTECSA S.A.* TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA, 2012.
2. **Aguilera Vidal, H., Gilces Reyes, A. P., Rosero Carvajal, G. N., & Villavicencio Parrales, A. D.** Prototipo de funcionamiento de sensor infrarrojo de seguridad en una dobladora hidráulica de la mecánica industrial. *Journal of Business and Entrepreneurial Studie*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.72>
3. **Aguirre Corrales, H., & Orozco Hincapié, C. A.** ESTUDIO DINAMICO DE UN HORNO DE RESISTENCIAS ELECTRICAS CONVERTIDO A GAS. *Scientia Et Technica, XV*, 2009, págs. 339–344.
4. **ALPHAOMEGA.** 2023. Disponible en: <https://www.alphaomega-electronics.com/es/sensores-y-sondas/2268-os137-sensor-transmisor-de-temperatura-infrarrojo.html>
5. **Álvarez Calderón, A. F., Herrera Suarez, I. P., & López, L. F.** *MÓDULO DIDÁCTICO PLC DVP-SS PARA EL LABORATORIO DE MAQUINAS I DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO* [INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO], 2013. Disponible en: <https://doi.org/https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/209>
6. **Álvarez Monasterios, E. L.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA LA CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL* [UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS], 2023. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/31953>
7. **Ardobot.** (2022). <https://www.ardobot.co/rele-de-estado-solido-ssr-25-da-25a-380v-3-32vdc.html>
8. **Avella Molano, N. L.** *MODELADO Y DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL AVANZADO PARA HORNOS ELÉCTRICOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS*, 2015, Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1725>
9. **Bish Takeuchi, J.** *Diseño y construcción de un horno de cerámica*, 2009. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/6119>
10. **Bohórquez, E. D., Prado, E. A., & Ramirez, M. F.** *Implementación de la norma ISA 101, sobre las HMI, pertenecientes a los módulos de instrumentación de la Universidad ECCI*, 2019.
11. **CarboSystem.** (2023). <https://carbosystem.com/tipos-de-hornos-industriales/>

12. **Cáceres Hernández, A. A., Vásquez Romero, R. R., & Funes Martínez, C. M.** *“DISEÑO DE UN HORNO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS ENFOCADO A LA INDUSTRIA CERÁMICA.”*, 2003.
13. **Cáceres Ortiz, T. E., & Enríquez Velásquez, J. P.** *IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO CONTROLADO POR TOUCH PANEL PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI], 2016. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3661>
14. **Calvo, C. S.** HORNOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE ALEACIONES FERROSAS Y NO FERROSAS MELTING FURNACES USED IN THE MANUFACTURE OF FERROUS AND NON-FERROUS ALLOYS, 2015. In *Scientia* (Vol. 17).
15. **Camacho Salvador, J. M.** *Medida de temperatura de precisión con sensor RTD y microcontrolador* [UNIVERSIDAD DE ALMERÍA], 2020. Disponible en: <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10835/9920>
16. **Canillada Huerta, Á.** *CERÁMICA: ORIGEN, EVOLUCIÓN Y TÉCNICAS*, 2007.
17. **Carballo Sierra, J., & Romero Lara, D.** *TUTORIAL NORMA ISA S5.1 Y DIAGRAMAS P&ID* [Universidad Tecnológica de Bolívar], 2011. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12585/995>
18. **Carrión Ramón, N. P., & Aulis Romero, L. G.** *REINGENIERÍA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, TRANSPORTE Y VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA MUNICIÓN CALIBRE 9MM, PARA LA EMPRESA DE MUNICIONES “SANTA BÁRBARA E.P.”* Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015.
19. **Castaño Giraldo, S. A., Hernández Gómez, D. S., & Gallo Blandón, J. H.** CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA PARA UN HORNO DE CURADO DE PRENDAS ÍNDIGO UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA, 2013. *Revista Politécnica ISSN 1900-2351*, 9, 69–81. Disponible en: <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/342/318>
20. **Castillo Riojas, O., & Rodríguez Montana, N. E.** *Características de hornos para productos cerámicos del Parque Minero Industrial El Mochuelo, localidad 19 de Bogotá, D.C.*, 2004.
21. **CAVEDI.** (s.f.). <https://www.megacavedi.com.ec/producto/gabinete-metalico-para-epp/>
22. **Cepeda Moreno, S. R., & Erazo Hidalgo, F. O.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA REPRESENTACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS CON PLC Y SCADA IN TOUCH, CASO PRÁCTICO HORNO DE ACTIVACIÓN DE PEGAMENTO* [ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO], 2010. Disponible en: <https://doi.org/http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3629>

23. **Cervantes Tafur, H. D.** *SISTEMA AUTOMATIZADO PARA UNA MÁQUINA INDUSTRIAL UTILIZADA EN EL PROCESO DE TINTURADO DE PRENDAS EMPLEANDO MANUFACTURA FLEXIBLE* [Universidad Técnica del Norte], 2022. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12287>
24. **Controles Industriales, S.R.L.** <https://vzcontroles.com/producto/cable-termocupla-tipo-e-20-33hilos/>, 2022.
25. **Contreras, C., Ledesma, E., & Franco, R.** DISEÑO DE UN HORNO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS. *CyTAL 2014 – VI Jornadas de Ciencia y Tecnología Para Alumnos*, 2014, págs. 321–326.
26. **Corella Boris Marcelo, P., & Velasco Fabricio Ismael, R.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO CALENTADO POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS QUE TRABAJE EN UN RANGO DE TEMPERATURAS ENTRE 1000 A 1350 GRADOS CENTÍGRADOS, Y CONTROLADO POR UN SISTEMA COMPUTARIZADO*, 2016.
27. **Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J.** *Sensores Y Actuadores Introduccion* (Issue 2014), 2020- Disponible en: https://books.google.com/books/about/Sensores_y_Actuadores.html?hl=es&id=wMm3BgAAQBAJ
28. **Cruz Quinzo, B. L., & Goyes Nazate, J. C.** “MONITOREO EN TIEMPO REAL DESDE INTERNET DE LAS ETAPAS DE PRENSADO, ESMALTADO Y COCIDO DEL FORMATO 31X31 DE ECUACERÁMICA.” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2010.
29. **Diaz Astudillo, J. A.** *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACION DE UN HORNO A GAS USADO EN LA QUEMA DE CERAMICA*. UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, 2011.
30. **Direct Industry.** <https://www.directindustry.es/prod/wecon-technology-coltd/product-121853-2069629.html>, 2024.
31. **Duarte Barrero, D. F., & Vargas Álvarez, J. D.** *DISEÑO DE HORNO ELÉCTRICO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS CON ATMÓSFERA CONTROLADA*, 2018.
32. **Dutan Rodríguez, P. M.** *DISEÑO Y RECONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO CON CALENTAMIENTO ELÉCTRICO* [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE INGENIERÍA], 2000. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11755>
33. **Echeverria Burgos, T. F., & Reyes Olivares, C. M.** *DISEÑO, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE RECALENTAMIENTO UTILIZANDO RESISTENCIAS ELÉCTRICAS Y EL SOFTWARE SOLIDWORK*. [UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO], 2016. Disponible en:

- <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/43dcc71b-13ce-47dd-b401-0fd0e26c9c6d/content>
34. **ELECTROMATERIAL.** (s.f.). <https://www.electromaterial.com/Portafusible-de-carril-DIN-para-fusible-cilindrico-T-0-10x38>
 35. **Fernández Angulo, L.** *Control de un relé de estado sólido mediante una aplicación Qt empleando Ethernet y Bus CAN* [UNIVERSIDAD DE ALCALÁ], 2022. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10017/50827>
 36. **Flores Tapia, C. E., & Flores Cevallos, K. L.** *PRUEBAS PARA COMPROBAR LA NORMALIDAD DE DATOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS:: ANDERSON-DARLING, RYAN-JOINER, SHAPIRO-WILK Y KOLMOGÓROV-SMIRNOV*, 2021. *Societas*, 23(2), 83–106. Disponible en: <https://matriculapre.up.ac.pa/index.php/societas/article/view/2302>
 37. **FLUKE** *Process Instruments.* <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/products/infrared-temperature-solutions/handheld-pyrometers/raytek-raynger-3i-plus>, 2024.
 38. **García Daza, I.** *CONTROL DE UN RELÉ DE ESTADO SOLIDO MEDIANTE UNA APLICACIÓN QT EMPLENADO ETHERNET Y BUS CAN* [UNIVERSIDAD DE ALCALÁ], 2022. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10017/50827>
 39. **García Higuera, A.** *El control automático en la industria*, 2005. Disponible en: https://books.google.com/books/about/El_control_autom%C3%A1tico_en_la_industria.html?hl=es&id=MzLgX4uM-00C
 40. **García Velásquez, J. L., & Iguago Morocho, F. A.** *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE CUECE Y CURADO DE RESINA Y CERÁMICA PARA LA MICROEMPRESA CERÁMICAS NOVA*, 2016. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12402>
 41. **Gonzaga & Rodríguez** *Cia. Ltda.* (s.f.). <https://electricoindustrial.com.ec/2021/03/15/elementos-de-control-y-senalizacion/>
 42. **Guachamín Campaña, J. C., & Pásto Ríos, C. D.** *Implementación de una HMI para monitoreo de variables ambientales en los laboratorios del CICAM (Centro de Investigaciones y Control Ambiental), automatización y monitoreo de destiladores, monitoreo de estufa y mufla* [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL], 2014. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7371>
 43. **Gutierrez Giraldo, O. E.** *DISEÑO DE GABINETE DIDÁCTICO PARA UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE* [Universidad tecnológica de Pereira], 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/13244>
 44. **Hernández Carrillo, B.** *SIMULACIÓN Y CONTROL DE TEMPERATURA DEL HORNO PARA LA ELABORACIÓN DE ESMALTE CERÁMICO* [Instituto Politécnico Nacional],

2012. Disponible en:
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10525/82.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
45. **Hernández de la Cruz Juan Carlos.** *SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ENCENDIDO DE UN HORNO ELÉCTRICO BASADO EN UN CONTROL DE POTENCIA TIPO INTEGRAL*, 2009.
46. **IDEC.** <https://us.idec.com/idec-us/en/USD/Operator-Interfaces/HMI/c/HMI>, 2023.
47. **Industria Israel.** <https://www.importacionesisrael.com/producto/mini-breaker-ac-ycl7-2polos-x-63amp/>, 2020.
48. **Jorge Bautista, J.** *OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE CORTE DE TELA DE LA TEXTILERÍA AMÉRICA SAC MEDIANTE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON PLC, BAJO EL ESQUEMA DE LA LÓGICA PROGRAMADA* [UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR], 2017. Disponible en:
<https://doi.org/https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/480>
49. **Kaschel, H., & Pinto, E.** *Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales*, 2001. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/228759624>
50. **Lie, J.** *Tabla de calibres y tamaños de cables: lo que necesita saber*, 2024.
51. **Lubi.** <https://automation.lubielectronics.com/product/dtb4848cr/>, 2023.
52. **Mancipe Rodríguez, O. E.** *“Logística a la altura.”*, 2020. Disponible en:
<http://hdl.handle.net/10654/37042>
53. **Marrugo Carreazo, D. E., Guerrero Gómez, G., & Gómez Camperos, J. A.** (2015). *Desarrollo de instrumento virtual enfocado en la adquisición de datos para generar perfiles de temperatura en hornos*, 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2047>
54. **Mendoza García, M. H.** *La posesión de traducciones de textos técnicos del alemán al castellano* [Universidad Autónoma de Barcelona], 2017. Disponible en:
<https://hdl.handle.net/10803/457362>
55. **Mendoza, S. A.** (s.f.). *SCRIBD.* <https://es.scribd.com/document/332721383/Horno-de-Arco-Elctrico>
56. **Moreno Solís, J. L., & Ortiz López, G.** *Diseño e Integración de Máquina Flexible Utilizada para el Control de Calidad de Componentes de un Motor Combustión Interna*, 2021. 13(9), 1307. Disponible en:
<http://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/539>
57. **Nogales Nieto, V. L., & Tapia Bolagay, F. V.** *AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO INDUSTRIAL PARA EL SECADO Y DESPRENDIMIENTO DEL BARNIZ EN BOBINADOS PARA LA EMPRESA MALEMEC S.A.*, 2018. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15779>

58. **Ortiz Mejía, J. L., & Valderrama Escudero, G.** *CONTROL EN CASCADA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR* [CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR], 2003. Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/3604/0009976.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
59. **Oviedo Paredes, J. F.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RECIPIENTES CONTROLADO POR UN RELÉ PROGRAMABLE*, 2022. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/xmlui/handle/123456789/218>
60. **PEAK SENSORS.** (s.f.). <https://peaksensors.com/blog/resistance-thermometer/what-is-rtd-sensor-and-how-does-it-work/>
61. **Plúas Andrade, L.** *Protección de sistemas eléctricos contra agentes ambientales*, 2010.
62. **rebra.** <https://industriasrebra.com/tienda/productos-en-linea/cofres-2/>, 2023.
63. **Reyes Sierra, H. I., & Montaña Ortega, M. F.** *MODELAMIENTO Y CONTROL DIGITAL DE TEMPERATURA PARA HORNO ELECTRICO.* PONTIFICA UNIVERSIDAD JAVERIANA, 2010.
64. **Rodríguez Vidal, C., & López Maroño, J.** *Diseño mecánico con Solidworks 2015*, 2015. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=c6e6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=solidworks+&ots=oCPG8vahh0&sig=tvIPsAKQ15_zFSm0Zo0oOkycdUA#v=onepage&q=solidworks&f=false
65. **Sánchez Molina, J., Andrea Orozco Cacique, J., & Peñaloza Isidro, L.** EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLAS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS REFRACTARIOS QUE SIRVAN PARA LA RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DE LOS HORNOS UTILIZADOS EN NORTE DE SANTANDER, 2014. In *Rev. Invest. Univ. Quindío. (Col.)* (Vol. 26, Issue 1).
66. **Sánchez Molina, J., & Díaz García, J. I.** *Introducción a los Hornos Utilizados en la Industria Cerámica Tradicional*, 2011.
67. **Sandoya Unamuno, A. D., Chica Martínez, L., Ordoñez, G. R., & Arias Zambrano, J. L.** *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Instalaciones Eléctricas*, 2018.
68. **Sangoluisa Yaguana, K. R., & Yanez Chimbo, O. R.** *CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA EL ENVASADO DE PRODUCTOS LIQUIDOS Y VISCOSOS* [INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO VIDA NUEVA], 2023. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/348>
69. **SICOELEC.** <https://www.sicoelecgroup.com/producto/termocuplas/>, 2023.
70. **Sio-2.** (s.f.). <https://www.sio-2.com/es/71-hornos-ceramica-electricos>
71. **Terán Salazar, R. F.** *Implementación de una red de comunicación industrial para el módulo didáctico del PLC S7-1200 para el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería en*

- Mantenimiento eléctrico*, 2015. Disponible en:
<https://doi.org/http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4854>
72. **Tiendacerámica.** <https://tiendaceramica.com.ec/product/termopar-tipo-k-8-plg-revestimiento-ceramico-1300c/>, 2024.
73. **tokopedia.** <https://www.tokopedia.com/procig/ssr-25da-dc-ac-25a-solid-state-relays-220v-ac-output-3-32v-procig>, 2024.
74. **Vara, J., & Yene, E.** *Técnicas de cocción de cerámica, tablas de temperatura y pirómetros*, 2018.
75. **VENCO.** <https://www.vencoel.com/producto/fuentes-ac-dc/>, 2023.
76. **Zamora Tandazo, J. P., & Vásquez Briones, B. V.** *Diseño del sistema electrónico, control y monitoreo de un horno de secado para recuperación y mantenimiento de motores eléctricos en industrias papeleras*, 2020. Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57238>



ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE DATOS DEL PLC LOGO V8.3 12-24-RCE

SIEMENS

Hoja de datos

6ED1052-1MD08-0BA1



Figura sinilar

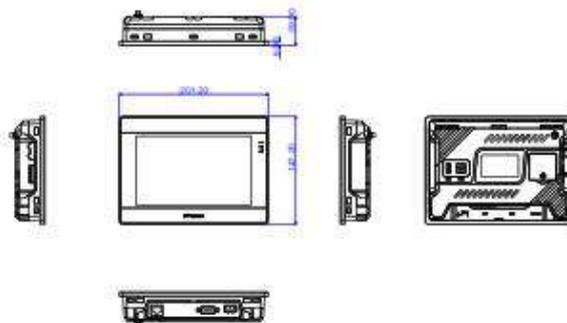
LOGO! 12/24RCE, mód. lógico, display FA/E/S: 12/24 V DC/relé, 8 DI (4 AI)/4 DO, mem. 400 bloques, posibilidad de ampliación modular, Ethernet, servidor web integrado, Datalog, páginas web personalizadas, tarjeta microSD estándar para LOGO! Soft Comfort a partir de V8.3, proyectos anteriores ejecutables conexión a la nube en todos los aparatos base LOGO! 6.3

Display	
Con display	SI
Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 12 V DC	SI
• 24 V DC	SI
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,5 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,5 V
Hora	
Programadores horario	
• Cantidad	400; Max. 400, según la función
• Reserva de marcha	450 h
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8; de ellas, 4 aptas como E analógicas (0 a 10 V)
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa
Intensidad de salida	
• para señal *1* rango admisible para 0 a 55 °C, máx.	10 A
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	3 A
— con carga resistiva, máx.	10 A
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
• Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial	SI; Desparasitado según EN 55011, clase límite B
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	SI
Homologación CSA	SI
Homologación UL	SI
Homologación FM	SI
desarrollado conforme a IEC 61131	SI
según VDE 0631	SI
Homologaciones navales	
	SI
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente en servicio	
• mín.	-20 °C; Sin condensación
• máx.	55 °C
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
• mín.	-40 °C
• máx.	70 °C
Altitud en servicio referida al nivel del mar	
• Temperatura ambiente-presión atmosférica-altitud de instalación	Tmín ... Tmáx a 1 050 hPa ... 735 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)
Dimensiones	
Ancho	71,5 mm
Altura	90 mm
Profundidad	60 mm
Última modificación:	26/02/2021

ANEXO B: HOJA DE DATOS DEL HMI PI3070IG

Human Machine Interface		7" HMI PI3070ig		CE FC		RoHS			
Model	COM	Ethernet	Monitoring	Alarm	Data Record	Validity	WiFi / 4G	Pass-through	Script
PI3070ig	2 in 1	1	100	20	50	60 days	4G	Serial	YES

SPECIFICATIONS		Linux 4.9.11 QT based	
Main	OS	Linux 4.9.11 QT based	
Display	Processor	Cortex A35 1.2GHz	
	Size	7"	
	Screen	TFT	
	Resolution	800*480	
	Color	16,000k colors	
	Brightness (cd/m2)	250	
	Backlight	LED	
Storage	Backlight Lifetime	50,000 hours	
	Touch Panel	High precision four-wire resistive	
	Memory	128 MB	
	Flash	128 MB	
	SD Card Slot	YES	
RTC	USB Port	USB2.0 Host + USB2.0 Client	
	Real-time clock	--	
IO Port	Calendar	Yes	
	COM1	CN1:RS422/RS485	
		CN2:RS232	
		CN3:RS485	
	COM2	--	
	COM3	--	
	Ethernet	x1	
	CANopen	--	
	Wi-Fi	--	
	4G LTE	Optional	
Power	Rated Power	< 15W	
	Power Voltage	DC 24V	
	Input range	DC 12 ~ 28V	
Enclosure	Shell Color	Grey	
	Shell Material	PC+ABS	
	Overall Size (mm)	201.2W*147.2H*39.0D	
	Mounting Size (mm)	192.0W*138.0H	
	Mounting Method	Panel Mount	
	Weight (Kg)	0.52	
Environment	Working Temperature	30 ~ 70°C	
	Storage Temperature	-10 ~ 60°C	
	Humidity	10 ~ 90% RH (Non-condensing)	
	Vibration Resistance	10 ~ 25 Hz (X, Y, Z direction 2G/30 minutes)	
Software	Cooling	Air Cooling	
	Programming	PIStudio	
	Remote Access	--	
	Email Alarm	--	
	IP Camera	--	
	Audio Output	--	
	Video Player	--	
Certificates	Data Tool	Yes	
	IP Code	IP65 (Front panel)	
	CE	CE Marked	
	FCC	FCC Class A	
	UL	--	



ANEXO C: HOJA DE DATOS DEL CONTROLADOR DELTA DBT4848



DELTA Temperature Controller DTB Series User Manual



Product Information: DTB Series Temperature Controller
 Model: DTB4848
 Part No: DTB4848-01
 Copyright © 2018 Delta Electronics, Inc. All rights reserved.

B Series Temperature Controller User Manual

1. Precaution

- CAUTION/Warning Electric Shock**
 - Do not touch the AC terminals while the power is supplied to the controller to prevent an electric shock.
 - Make sure power is disconnected while checking the unit inside.
 - The symbol indicates that this Delta B Series Temperature Controller is protected throughout by DOUBLE INSULATION or PERFORMANCE ISOLATION (equivalent to Class II of IEC 60335).
- WARNING**

This controller is an open-type temperature controller. Make sure to evaluate any dangerous application in which a serious human injury or serious property damage may occur.

 - Always use recommended solder-less terminals. Push terminal with insulation (PI) screw, width is 7.0mm, Ø Drive for DTB 4824, hole diameter 3.2mm. (Solder size: M3 x 4.5 (MM) 6.1 x 8.8 square washer). Solder size for DTB4848, M3 x 4.5 (MM) 6.1 x 8.8 square washer. Recommended tightening torque: 0.4 Nm. (4kgf cm). Applicable wire: Colored wire of 2 mm², 2.5 mm², 3.5 mm² to 24 AWG. These be sure to tighten them properly.
 - Do not allow dust or foreign objects to fall inside the controller to prevent it from malfunctioning.
 - Never modify or disassemble the controller.
 - Do not connect anything to the "No use" terminals.
 - Make sure all wires are connected to the correct polarity of terminals.
 - Do not raise analog input voltage in places subject to: (a) Dust or condensation and liquid; (b) High humidity and high operation; (c) Vibration and shock; (d) High voltage and high frequency.
 - Adjust the power of when wiring and changing a temperature sensor.
 - Be sure to use compensating wires that match the thermocouple types when extending or connecting the thermocouple wires.
 - Please use wires with resistance when extending or connecting a platinum resistance thermometer (RTD) to the controller and please route power wires as far as possible from feed wires to prevent interference and induced noise.
 - Do not use acid or alkaline liquids for cleaning. Please use a soft dry cloth to clean the controller.
 - The indicators is not furnished with a power switch or fuse. Therefore, it a fuse or power switch is required, install the protection circuit to the instrument. Recommended fuse rating: Rated voltage 250V, Rated current 1A, Fuse type: Time-lag fuse.
 - Note: This controller does not provide overload protection. Use of this product requires that suitable (overcurrent protection devices) must be added to meet compliance with all relevant electrical standards and codes. (Rated 250 V, 10 Amps max.) A suitable disconnecting device should be provided near the controller in the end-use installation.

2. Display, LED and Pushbuttons



- PV Display:** To display the process value or parameter type.
SV Display: To display the setpoint, parameter offset or reset value, manipulated variable or set value of the parameter.
- AT:** Auto-tuning LED. Flashes when the Auto-tuning operation ON.
OUT1/OUT2: Output LED lights when the outputs ON.
- Function key:** Press this key to select the desired function mode and confirm setting value.
Memo key: Press this key to set parameters within function mode.
Temp. Temperature unit LED: Celsius, °F, Fahrenheit.
ALM1 ~ ALM4: Alarm output LED. Lights when ALM1, ALM2, ALM3 is ON.
Downkey: Press this key to decrease values displayed on the SV display. Hold down this key to scroll up the decorations.
Up key: Press this key to increase values displayed on the SV display. Hold down this key to scroll up the horizontal action.

3. Ordering Information

DTB Series	DTB: Delta B Series Temperature Controller
(1) Panel Size (mm)	4848: 110 DIN W/A x 48mm; 4858: 116 DIN W/A x 48mm; 4868: 120 DIN W/A x 48mm; 4878: 124 DIN W/A x 48mm
(2) 1st Output Output Selection	A: Power output, SPOT (SPST), 110V DIN and 120V DIN series, 230VAC, 5A B: Voltage sense output, 14V ± 10%, -20% (Max. 40mA) C: DC current output, 4 ~ 20mA, L, L, linear voltage output, 0 ~ 5V, 0 ~ 10V F: Rear output, SPOT (SPST), 110V DIN and 120V DIN series, 230VAC, 5A V: Voltage sense output, 14V ± 10%, -20% (Max. 40mA)
(3) 2nd Output Group Selection	A: No output B: No output C: No output D: No output E: No output F: No output G: No output H: No output I: No output J: No output K: No output L: No output M: No output N: No output O: No output P: No output Q: No output R: No output S: No output T: No output U: No output V: No output W: No output X: No output Y: No output Z: No output
(4) EVENT signal	None; No EVENT input; No CT (Current transformer); E: EVENT input is provided; No CT (Current transformer) F: CT function is provided; No EVENT input; V: Value output

Note 1: DTB4848 series do not offer function provided and no extra alarm output supported, but user can set 2nd output as 2nd alarm output.
 Note 2: DTB4846 series only one alarm output when optional function supported, but user can set 2nd output as 2nd alarm output.
 Note 3: "Value control" with feedback selection is only available for DTB4805R5V.

4. Specifications

Input Voltage	100 to 240VAC, 50/60Hz
Operation Voltage Range	50% to 110% of rated voltage
Power Consumption	5VA max.
Memory Protection	EEPROM 4K bit (non-volatile memory (number of writes: 100,000))
Display Method	2 line x 4 character 7-segment LED display Process value (PV); Red color, Set point (SV); Green color
Display/Method	Thermocouple K, J, T, E, Ni, R, S, B, L, U, TXK 3-wire Platinum RTD: PT100, PT1000
sensor type	Analog input: 0 ~ 5V, 0 ~ 10V, 0 ~ 30 mA, 4 ~ 20 mA, 0 ~ 50 mV
Control Mode	PID, ON/OFF, Manual or PID program control (Ramp/Soak control) Relay output: SPST (SPST), 110V DIN and 120V DIN series, Max. load 230VAC, 5A relative load Voltage sense output: DC 14V, Max. output current 40mA
Control Output	Current output: DC 4 ~ 20mA output (Load resistance: Max. 600Ω) Linear voltage output: 0 ~ 5V, 0 ~ 10V 0 or 1 digit to the right of the decimal point (selectable)
Display Accuracy	Analog input: 150 msec per scan Thermocouple or Platinum RTD; 400 msec per scan
Sampling Rate	0 or 1 digit to the right of the decimal point (selectable)
RS-485 Communication	MODBUS ASCII / RTU communication protocol
Vibration Resistance	10 to 20 Hz, 1.5m/s ² for 10min, each in X, Y and Z directions
Shock Resistance	Max. 300m/s ² , 3 times in each 3 axes, 0 directions
Ambient Temperature	0 °C to +50 °C
Storage Temperature	-30 °C to +60 °C
Altitude	1000m or less
Relative Humidity	35% to 80% (non-condensing)

5. Temperature Sensor Type and Temperature Range

Input Temperature Sensor Type	Register Value	LCD Display	Temperature Range
0~20mA Analog Input	17	0.00	-999 ~ 9999
4~20mA Analog Input	16	0.00	-999 ~ 9999
0~20mA Analog Input	15	0.00	-999 ~ 9999
0~10V Analog Input	14	0.00	-999 ~ 9999
0V~5V Analog Input	13	0.00	-999 ~ 9999
Platinum Resistance (PT100)	12	0.00	-200 ~ 600°C
Platinum Resistance (PT100)	11	0.00	-20 ~ 400°C
Thermocouple TXK type	10	0.00	-200 ~ 600°C
Thermocouple U type	9	0.00	-200 ~ 600°C
Thermocouple L type	8	0.00	-200 ~ 600°C
Thermocouple B type	7	0.00	100 ~ 1800°C
Thermocouple S type	6	0.00	0 ~ 1700°C
Thermocouple R type	5	0.00	0 ~ 1700°C
Thermocouple N type	4	0.00	-200 ~ 1300°C
Thermocouple E type	3	0.00	0 ~ 600°C
Thermocouple T type	2	0.00	-200 ~ 400°C
Thermocouple J type	1	0.00	-100 ~ 1300°C
Thermocouple K type	0	0.00	-200 ~ 1300°C

Note 1: An optional 250Ω precision resistor should be connected when the current input is selected as the input temperature sensor type.
 Note 2: **SP** Operation mode must be set all of sensor type to specify decimal point position. Except for the thermocouple B, S, R type, the 4 point positions of all the other thermocouple type input sensors can be set.
 The default range of analog input is -999 ~ 9999. For example, when a 0~20mA analog input is selected as the input temperature sensor type indicates 0mA and 9999 indicates 20mA. To change the input range to 0 ~ 2000, then C indicates 0mA and 2000 indicates 20mA. Once display equal to 0.01mA.

6. Operation

There are three modes of operation: operation, regulation and initial setting. When power is applied, controller gets into the operation mode. Press the **key** to switch to regulation mode. If the **key** is pressed for more than 3 seconds, controller will switch to the initial setting mode. Pressing the **key** will enter in the regulation mode or initial setting mode, hence the controller is return to the operation mode. PV/SV: Set the temperature set point and display the temperature process value. Use **key** to set the temperature set point.

Setting method: While in any function mode, press the **key** to select the desired function and use the **key** to change settings. The next flow chart shows how to switch for settings and internal functions.

Regulation Mode	Operation Mode	Initial Setting Mode
RL Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set parameters within control. Press key to confirm.	10PR Set multi-type. Press key to confirm.
Auto Auto-tuning (Set in PID control and RSM mode) Press key to start auto-tuning.	1234 Load key to set	

0.01 Time setting for valve from full close to full open. (Display when valve control is ON) Press \uparrow \downarrow	0.02 Display and adjust output value (choose 1st PID control mode and manual RUN (start)) Press \uparrow \downarrow	0.03 ACOU, BTU communication format selection Press \uparrow \downarrow
0.04 Valve dead band setting (Display when valve control is ON) Press \uparrow \downarrow	0.05 Manual 1 and output value (Display in manual PID control mode and manual RUN (start)) Press \uparrow \downarrow	0.06 Communication address setting Press \uparrow \downarrow
0.07 Upper/limit regulation of valve output with feedback is controller. (Display when valve signal feedback function is ON) Press \uparrow \downarrow	0.08 Control range of external CT (The controller changes the current value when the external CT of the control output is ON) Press \uparrow to select low temperature Press \downarrow to select high temperature	0.09 Communication baud rate setting Press \uparrow \downarrow
0.09 Upper/limit regulation of valve output with feedback is controller. (Display when valve signal feedback function is ON) Press \uparrow \downarrow	0.10 Valve length setting Press \uparrow \downarrow	0.11 Delay hi setting Press \uparrow \downarrow
0.12 Absolute temperature resolution value (Display when valve feedback function is ON) Press \uparrow \downarrow	0.13 Request upper limit of output value (The setting display when analog output) Press \uparrow \downarrow	0.14 Manual 2 setting Press \uparrow to return manual stop setting
0.15 Request lower limit of output value (The setting display when analog output) Press \uparrow \downarrow		

*1 Scale = 2.0kA - 1.0kV for heating output value.
PID mode selection: any one of 4 groups PID modes (0-3) can be selected. When 0-4, program will automatically select 1 group PID mode.

0.16 Select P (0-4) or I (0-4) or D (0-4) PID setting (0-4) Press \uparrow \downarrow to Settings PID.	0.17 PID setting (0-4) Press \uparrow \downarrow	0.18 PID setting (0-4) Press \uparrow \downarrow
0.19 Proportion band setting (0-9) Press \uparrow \downarrow	0.20 Proportion band setting (0-9) Press \uparrow \downarrow	0.21 Proportion band setting (0-9) Press \uparrow \downarrow
0.22 Integration time setting (0-9) Press \uparrow \downarrow	0.23 Integration time setting (0-9) Press \uparrow \downarrow	0.24 Integration time setting (0-9) Press \uparrow \downarrow
0.25 Derivative time setting (0-9) Press \uparrow \downarrow	0.26 Derivative time setting (0-9) Press \uparrow \downarrow	0.27 Derivative time setting (0-9) Press \uparrow \downarrow
0.28 Manual 1 setting (0-9) Press \uparrow \downarrow to PID controller setting	0.29 Manual 2 setting (0-9) Press \uparrow \downarrow to PID controller setting	

Pattern and step setting selector set **0.30** parameter. The following display is the example operation of pattern No. 0.

0.31 Select operation setting pattern number (0-9) Press \uparrow \downarrow to select pattern	0.32 Set temperature of step No. 0 (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.33 Set actual stop time when program control is executing (0-99.9) Press \uparrow \downarrow
0.34 Call pattern and step setting selector switch to 0.35 and continue setting	0.36 Set operation execution cycle (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.37 Set operation execution cycle (0-99.9) Press \uparrow \downarrow
0.38 Set step No. 0T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.39 Set step No. 0T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.40 Set step No. 0T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow
0.41 Set step No. 1T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.42 Set step No. 1T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.43 Set step No. 1T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow
0.44 Set step No. 2T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.45 Set step No. 2T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow	0.46 Set step No. 2T in order (0-99.9) Press \uparrow \downarrow

8 Alarm Outputs

Set Value	Alarm Type	Alarm Output Operation
0	Alarm function disabled	Output OFF
1	Deviation upper and lower limit This alarm output operates when PV value is higher than the setting value DV(AL-H) or lower than the setting value DV(AL-L).	ON (H) / OFF (L)
2	Deviation upper limit This alarm output operates when PV value is higher than the setting value DV(AL-H).	ON
3	Deviation lower limit This alarm output operates when PV value is lower than the setting value DV(AL-L).	OFF
4	Reverse deviation upper and lower limit This alarm output operates when PV value is in the range of the setting value DV(AL-H) and the setting value DV(AL-L).	ON (H) / OFF (L)
5	Absolute value upper and lower limit This alarm output operates when PV value is higher than the setting value AL-H or lower than the setting value AL-L.	ON (H) / OFF (L)
6	Absolute value lower limit This alarm output operates when PV value is lower than the setting value AL-L.	OFF
8	Deviation upper and lower limit with standby suspension This alarm output operates when PV value reaches set point (SV value) and the reached value is higher than the setting value DV(AL-H).	ON
10	Deviation upper and lower limit with standby suspension This alarm output operates when PV value reaches the set point (SV value) and the reached value is lower than the setting value DV(AL-L).	OFF
11	Hydrostatic upper-limit alarm output This alarm output operates if PV value is higher than the setting value DV(AL-H). This alarm output is OFF when PV value is lower than the setting value DV(AL-L).	ON (H) / OFF (L)
12	Hydrostatic lower-limit alarm output This alarm output operates if PV value is lower than the setting value DV(AL-L). This alarm output is OFF when PV value is higher than the setting value DV(AL-H).	OFF (H) / ON (L)
13	CT alarm output This alarm operates when the current measured by transformer (CT) is lower than AL-L or higher than AL-H. This alarm output is disabled only for the controller with current transformer.	ON (H) / OFF (L)
14	When program control is shut status, alarm output is ON.	ON
15	When RAMP UP status happens to PID program control, alarm output is ON.	ON
16	When RAMP DOWN status happens to PID program control, alarm output is ON.	ON
17	When STOP status happens to PID program control, alarm output is ON.	ON
18	When RUN status happens to PID program control, alarm output is ON.	ON

Note: AL-H and AL-L: 0.000kA, 0.1kA, 0.2kA, 0.3kA, 0.4kA, 0.5kA, 0.6kA, 0.7kA, 0.8kA, 0.9kA, 1.0kA

7 Dual Loop Output Control (Heating / Cooling Control)

Temperature control can be achieved either by heating or cooling. In DTB series, heating and cooling can be operated simultaneously (Dual Loop output control) to control temperature control. When Dual Loop output control is used, two control outputs must be connected to the heating and cooling devices. Please refer to the following for the connection.

0.01 This parameter is used to select heating or cooling action. If controls either heating or cooling function in this controller. When selecting **0.01**, 1st output group is heating (inverse) control, and when selecting **0.02**, 1st output group is cooling (forward) control. An error indicates that user can operate Dual Loop output control function in this controller. When selecting **0.03**, 1st output group is heating (forward) control and 2nd output group is cooling (inverse) control. When selecting **0.04**, 1st output group is cooling (forward) control and 2nd output group is heating (inverse) control.

In DTB series, P (Proportional Band), Integral Time) and D (Derivative Time) parameters are automatically set by using the Auto-tuning (AT) function.

0.05 This parameter is for the control mode that must be Dual Loop output control with PID control method overhauls. The value 0 (1) and 0 (1) of 1st output group can be set independently. The P value of 2nd output group is equal to 1P value of 1st output group **0.05** and the value 0 (1) and 0 (1) of 2nd output group are the same as the value 0 (1) and 0 (1) of 1st output group.

0.06 Dead Band, shown as the following figure 1, 2 and 3. This parameter sets an area in which the heating and cooling control output is 0 centering around the set point in a Dual Loop output control mode.

0.07 Settings lock. To avoid incorrect operation, two key lock functions are provided.

0.08 Lock 1 can lock all settings. All parameters and temperature settings can be locked to disable changes. **0.09** Lock 2 can lock settings except the DV (Dead point) value. All parameters and temperature settings can be locked with the exception of the DV value. Press **0.08** and **0.09** simultaneously, the "Lock" status can be released.

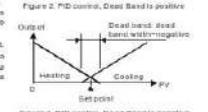
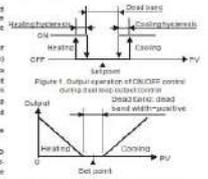


Figure 3: PID control, Dead Band is negative.

9 Current Transformer (CT) Function

The Current Transformer (CT) function is used with the alarm output. When using a current transformer (CT) with the controller, change the corresponding alarm output mode to mode 13 (alarm output set value is 13), then turn on operation mode and set the current lower-limit and current upper-limit. You can set current alarm range between 0.5A ~ 30A. Display resolution is 0.1A and measure accuracy is +/- 0.5A.

10 EVENT Inputs Function

There are two optional event inputs (contact inputs) supported (EVENT1 and EVENT2) in DTB series.

EVENT1: RUN/STOP parameter (Operation Mode) or via the communication. User also can control RUN/STOP operation by EVENT 1 in DTB series. The control output is ON if the circuit of EVENT 1 is open when the controller is operating. Otherwise, the controller will stop output if the circuit of EVENT 1 is short or when the system parameter of the controller is set to STOP mode.

EVENT2: DTB series allows user can switch two temperature setting value by changing the status (open/closed) of EVENT 2. Each temperature setting value has independent control parameters.

11 PID Program Control (Ramp/Soak Program Control)

Description of Function and Parameters Setting:
PID program control by 8 patterns (Pattern No. 0-7) is supported in DTB series. Each pattern contains 8 steps (step No. 0-7), one Link Pattern parameter, one Cycle parameter and one Actual Step parameter.

Start Pattern: **0.01** is operation mode and it is used to set the start Pattern of PID program control (this parameter appear in **0.02** mode only).

Steps: include set point X and execution time T, these two parameters setting. The set point (SV) should reach temperature X after the period of execution time T. If the set point is the same as the result of the previous setting, then it is called Soak program control. If not, then it is called Ramp program control. Therefore, PID program control is also called Ramp/Soak program control. The default of step No. 0 in this controller is Soak program control. The controller will control the temperature (PV) to reach the set point X and then keep the temperature at set point X. The period of execution time is time T which provided by step No. 0.

Link Pattern Parameter: For example, when set **0.02** to 3, it indicates that pattern No. 2 will execute next after the execution of pattern No. 1. If set to **0.02**, it indicates the program will stop after executing the current pattern and the temperature will keep at the set point of the last step.

Cycle Parameter: Additional execution cycle number. For example, when set **0.03** to 2, it indicates that pattern No. 4 should execute twice in addition, include origin one time execution, total execute three times.

Actual Step Parameter: Execution step number per pattern (can set 0-7). For example, when set **0.04** to 2, it indicates that pattern No. 7 will not execute other steps than step 0 to step 0.

Execution: When **0.05** is set to **0.05**, the program will start to execute in order from the step 0 of start pattern. When **0.05** is set to **0.06**, the program will stop and the control output is disabled. When **0.05** is set to **0.07**, the program will stop and the temperature at that time will be controlled at the set point before program stop. Select **0.08** again, then the program will restart and execute from the step 0 of start pattern. When **0.05** is set to **0.09**, the program will stop and the temperature at that time will be controlled at the set point before program hold. Select **0.09** again, then the program will follow the stop before hold and start to execute through the rest of the time.

Display: During PID program control, the DV default display is P*XX, P indicates the current execution pattern and XX indicates the current execution step. Press **0.10** to change the display item. After select **0.10**, press **0.11** key, and then the temperature set point of the current execution step will display on SV display. After select **0.12**, press **0.13** key, and then the residual time of the current execution step will display on SV display.

12 PID Control

One group can be selected from any one of 4 groups PID parameters (P, I, D, IOP) for PID control. After AT PID value and temperature setting will be stored in the selected one group. **0.14** ~ **0.17** PIDn, n=0-4 from which 0-3 correspond to each PID parameter. **0.18** n=4, auto PID parameter. Program will automatically select a most useful PID parameter based on current temperature setting. Displayed SV values correspond to **0.19** ~ **0.23**.

0.19 Temperature setting corresponded to the selected PID parameter via user-defined or AT.

Valve Control:
When use valve control as output control, there are 2 Relay outputs for motor forward/reverse control, one (output 1) for valve open the other (output 2) for valve close. The output volume is controlled by valve open/close and it can be set with feedback function enabled or disabled. When feedback is disabled, output 1 will keep output while valve fully opens and output 2 will keep output while valve fully closes. But if feedback is enabled, please follow the parameter setting for valve control as follows.

0.20 Time for valve from full close to full open.

0.21 Dead Band setting of valve. The value of current valve output minus previous one must be greater than Dead Band value; otherwise, valve will remain OFF.

0.22 Signal feedback setting. ON for enabling feedback and OFF for disabling feedback.

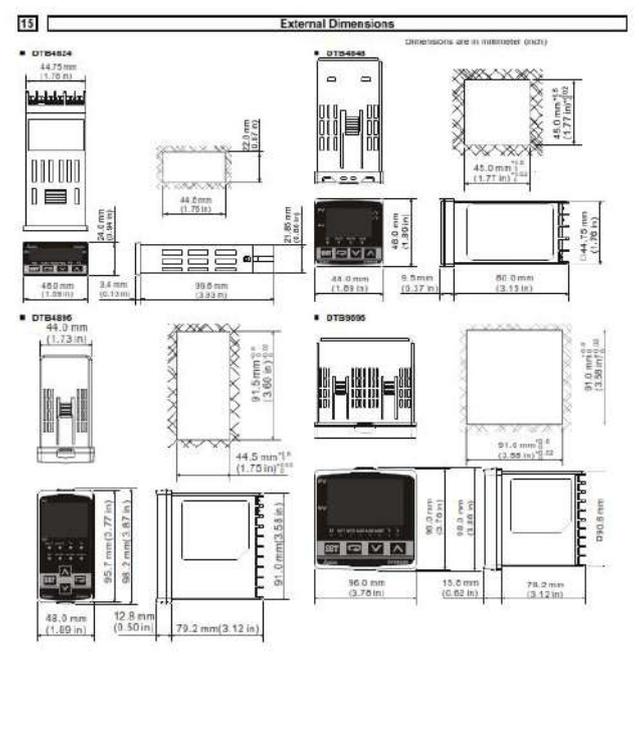
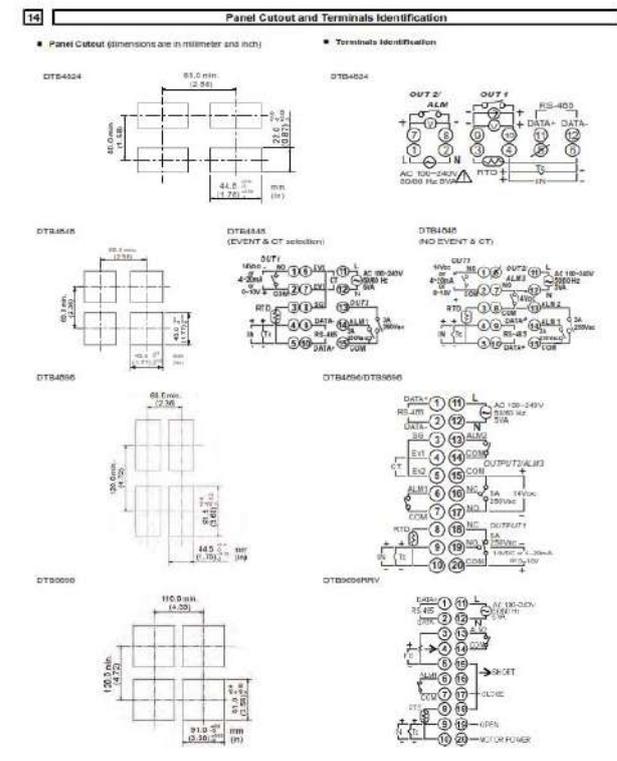
0.23 set to "1", it means signal feedback function is activated and will come up sections as follows:

- 0.23a** Upper/Lower limit of value feedback by auto-tuning. **0.23a** must set to **0.23a** for showing up this setting.
- 0.23b** D/A value when valve fully opens. Set **0.23b** to be "1" for auto setting or "0" for manual setting.
- 0.23c** D/A value when valve fully closes. Set **0.23c** to be "1" for auto setting or "0" for manual setting.

Note: If feedback function setting is with program, program will use the setting as feedback disabled.

RS-485 Communication		
1. Receiving transmission speed: 2400, 4800, 9600, 19200, 38400bps		
2. Non-supported format: 7 N, 1 or 0, 2 or 8, E, J		
3. Communication protocol: Modbus (ASCII or RTU)		
4. Parity code: 0x3 to read the contents of register (Max. 5 words), 0x5 to write 1 (one) word into register, 0x2H to read the bits data (Max. 16 bits), 0x5H to write 1 (one) bit into register.		
Address	Content	Explanation
1000H	Process value (PV)	Measuring unit is 0.1, updated once time in 0.1 second. The following measuring value display indicates error occur: R000H: Initial process (Temperature value is not got yet) R001H: Temperature sensor is not connected R004H: Temperature sensor input error R005H: Cannot get temperature value, ACC input error R007H: Memory checksums error
1001H	Set point (SV)	Unit is 0.1 °C or °F
1002H	Upper limit of temperature range	The data content should not be higher than the temperature range
1003H	Lower limit of temperature range	The data content should not be lower than the temperature range
1004H	Alarm instantaneous output time	Please refer to the contents of the "Temperature Sensor Type and Temperature Alarm" for detail
1005H	Control method	0: PID, 1: ON/OFF, 2: manual tuning, 3: PID program control
1006H	Heating/cooling control selection	0: Heating, 1: Cooling, 2: Heating/Cooling, 3: Cooling/Heating
1007H	1st group of heating/cooling control time	0-99, 0.0-9.9 sec
1008H	2nd group of heating/cooling control time	0-99, 0.0-9.9 sec
1009H	PB Proportional band	0-1 - 99.9
100AH	TI Integral time	0-999
100BH	TD Derivative time	0-999
100CH	Proportional output	0-100%, unit 0.1%
100DH	Proportional control output error value	0-100%, unit 0.1%
100EH	The setting of COEF when Dual Loop control control are used	0-01 - 99.99
100FH	The setting of Dead band when Dual Loop control control are used	0-999 - 9999
1010H	Hydrostatic setting value of the 1st output group	0 - 9999
1011H	Hydrostatic setting value of the 2nd output group	0 - 9999
1012H	Output value read and write of Output 1	Unit is 0.1%, write operation is valid under manual tuning mode only.
1013H	Output value read and write of Output 2	Unit is 0.1%, write operation is valid under manual tuning mode only.
1014H	Upper limit regulation of analog linear output	Unit = 2.0mA/Current Output = 1.39V/Linear Voltage Output
1015H	Lower limit regulation of analog linear output	Unit = 2.0mA/Current Output = 1.39V/Linear Voltage Output
1016H	Temperature regulation value	999-9999, unit 0.1
1017H	Alarm device setting	0-3
1018H	Time for valve from full open to full close	0-1-999.9
1019H	Dead Band setting of valve	0-100%, unit 0.1%
101AH	Upper limit of feedback signal set by valve	0-99.9
101BH	Lower limit of feedback signal set by valve	0-10.4
101CH	PID parameter activation	0-4
101DH	SV value corresponding to PID value	Only valid within available range, unit: 0.1 scale
1020H	Alarm 1 type	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1021H	Alarm 2 type	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1022H	Alarm 3 type	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1023H	Alarm 4 type	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1024H	Upper limit alarm 1	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1025H	Lower limit alarm 1	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1026H	Upper limit alarm 2	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1027H	Lower limit alarm 2	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1028H	Upper limit alarm 3	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
1029H	Lower limit alarm 3	Please refer to the contents of the "Alarm Output" for detail
102AH	Alarm ACK status	00: All ACK, 01: Alarm 1, 02: 2, 03: 3, 04: All, 05: OUT1, 06: OUT1 & 2, 07: All, 08: AT
102BH	Alarm acknowledgement status	00: Set, 01: Release, 02: Up, 03: Down, 04: to push
102CH	Swing lock status	0: Normal, 1: All swing lock, 11: Lock others than SV value
102DH	SV reset value	Unit: 0.1%
102EH	Software version	V1.00 indicates the 100

102FH	Step pattern number	0-7
1030H	Actual step number setting inside the compressed pattern	0-7 = N, indicate that this pattern is executed from step 0 to step N
1031H	Step number for repeating the execution of the compressed pattern	0-39 indicate that this pattern has been executed for 1 - 100 times
1032H	Line pattern number setting of the compressed pattern	0-3: 0 indicates the program end, 0-7 indicates the next execution pattern number after executing the current pattern
2000H-2003H	Pattern 0-7 temperature set point setting. Pattern 0 temperature is set to 2000H-2003H	0-999 - 9999
2004H-2007H	Pattern 0-7 execution time setting. Pattern 0 time is set to 2004H-2007H	Time 0 - 999 (1 minute per scale)
3000H	Address and Content of S1 Register / First bit of reading will put into S1, Write data = FF00H for bit set, 0000H for bit clear	
3001H	Communication watch selection	0: normal status, write is disabled, 0: default, Communication error is checked, 1
3002H	Temperature unit display selection	0: linear input (default), 1: °F, 2
3003H	Alarm point position selection	0: 0: 0 (default), 0: 1
3004H	Control RUN/STOP setting	0: STOP, 1: RUN (default)
3005H	STOP setting for PID program control	0: RUN (default), 1: STOP
3006H	Temporarily STOP for PID program control	0: RUN (default), 1: Temporarily STOP
3007H	Write feedback setting status	0: via feedback (default), 1: feedback function
3008H	Auto-tuning value method status	0: Stop AT (default), 1: Start AT

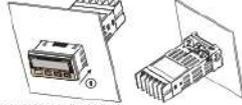


16 Mounting

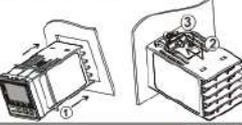
Mounting Method

- Step 1: Insert the controller through the panel cutout.
- Step 2: Insert the mounting bracket into the mounting groove at the top and bottom of the controller.
- Step 3: Push the mounting bracket forward until the bracket stops at panel wall.
- Step 4: Insert and tighten screws on bracket to secure the controller in place. (The screw torque should be 0.8kgf-cm to 1.5kgf-cm)

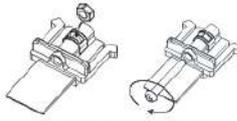
DTB4024 Mounting Method:



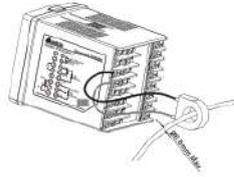
DTB4040/4080/5690 Mounting Method:



Mounting Bracket Installation



CT Wiring Method (if CT function is selected)



17 Error Acknowledge and Display

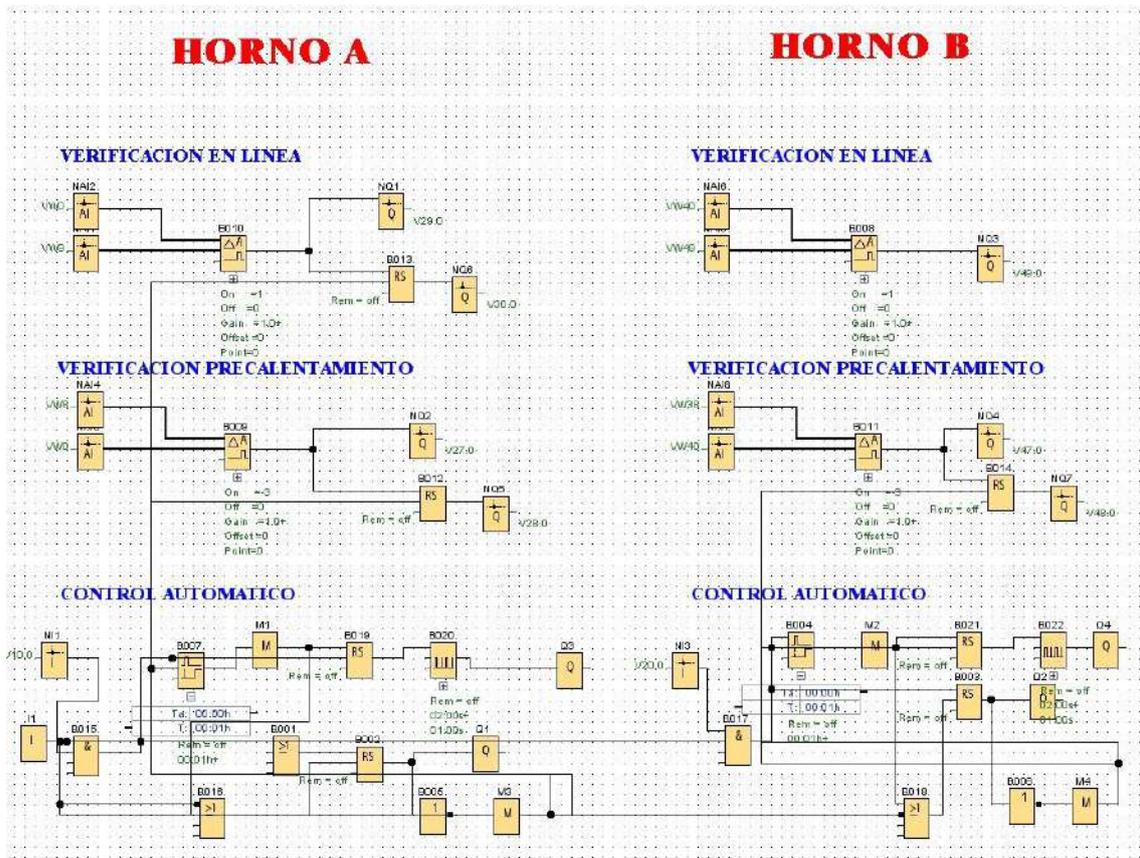
Communication error code response description:

Error status 102E1-475011	PV read back 1000H475011	Error status
0001H	N/A	PV unstable
0002H	0002H	Re-init: No temperature at this time
0003H	0003H	Input sensor did not connect
0004H	0004H	Input signal error
0005H	N/A	Over input range
0006H	0006H	A/D C test
0007H	N/A	EEPROM read/write error

Display message:

Power On	Normal display
PV 0.00 DTB series, Firmware V1.50	00.00 Present value
SV 0.00 Output VR type with Event option	00 Set value
Sensor didn't connect	
PV 0.00 No	0.00 Error
SV 0.00 Connect	0.00 Input
EEPROM error	
PV 0.00 Error	0.00 Input over range
SV 0.00 EEPROM	0.00 PV flash when over

ANEXO D: PROGRAMACIÓN EN DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PLC LOGO V8.3



ANEXO E: HOJA DE DATOS TERMÓMETRO RPM10



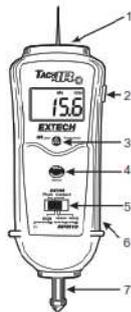
Modelo RPM10 Tacómetro de contacto / Foto Láser con Termómetro IR



Patentada

Descripción del medidor

1. Sensor del foto tacómetro, termómetro IR sensor y fuente láser
2. Botón MED/IR
3. Botón termómetro IR
4. Botón Memoria
5. Selector de función
6. Compartimiento de la batería (abierto)
7. Husillo del tacómetro de contacto



Introducción

Felicitaciones por su compra del Tacómetro de contacto y foto láser con termómetro IR sin contacto Modelo RPM10 de Extech. Este tacómetro permite tomar medidas de RPM y velocidad lineal por contacto y medidas de RPM y temperatura por IR sin contacto. El haz del puntero láser proporciona medidas precisas a larga distancia para medidas de foto tacómetro y además identifica el punto de medida para pruebas de temperatura sin contacto. Con el cuidado apropiado este medidor proveerá muchos años de servicio confiable y seguro.

PRECAUCIONES

- El uso inapropiado de este medidor puede causar daños, choque, lesiones o la muerte. Lea y comprenda este manual de usuario antes de operar el medidor.
- Este dispositivo no es un juguete y no debe llegar a manos de niños. Contiene objetos peligrosos y piezas pequeñas que los niños pueden tragar. En caso de que un niño trague alguna, por favor llame inmediatamente a un médico.
- No deje las baterías y material de empaque sin atención; pueden ser un peligro para los niños si los usan como juguetes.
- Si no va a usar el dispositivo durante largo tiempo, quite las baterías para prevenir que se derramen.
- Las baterías dañadas o vencidas pueden causar cauterización al contacto con la piel. Por lo tanto, es recomendable usar siempre guantes para tales casos.
- Verifique que las baterías no están en corto. No deseche las baterías en fuego.
- No vea ni dirija directamente el indicador del láser en un ojo. Los láseres visibles de la energía baja no presentan normalmente un peligro, sino pueden presentar un cierto potencial para el peligro si están vistos directamente por periodos de tiempo extendidos.



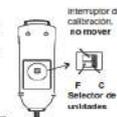
Operación del medidor

Pantalla LCD Reversible

La pantalla del medidor indica las medidas del foto tacómetro y termómetro IR en una dirección y las medidas de contacto en la dirección opuesta. Esto facilita al usuario leer los dígitos de la medida en ambos modos de medición con el medidor sueltado en cualquier dirección.

Selección de unidades de temperatura

Las unidades de temperatura indicadas son seleccionadas por medio de interruptor ubicado en el compartimiento de la batería. Para seleccionar las unidades (F/°C), abra el compartimiento de la batería y mire las baterías. Fije el interruptor para las unidades deseadas.

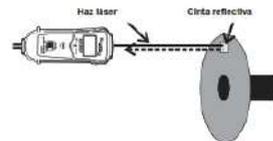


MEDICIÓN SIN CONTACTO CON EL FOTO TACÓMETRO

1. Apunte el brazo ajustador de cinta reflectiva de buen tamaño a la superficie u objeto bajo prueba.
2. Mueva el selector de función a la posición PHOTO (foto).
3. Apunte el puntero láser hasta el dispositivo bajo prueba a una distancia entre 50 a 2000 mm (2" a 75').
4. Presione el botón para medición (localizado sobre el lado derecho del medidor) y alinee el haz del puntero láser con el trazo de cinta reflectiva.
5. Verifique que el indicador de vigillencia (L) aparece en la LCD cuando el objeto bajo prueba pase a través del haz de luz.
6. Suelte el botón de medición cuando la lectura de RPM se establezca en la pantalla LCD.
7. Si las rpm son menos de 50, apunte bracos adicionales de cinta reflectiva. Divida la lectura indicada en la pantalla por la cantidad de bracos de cinta reflectiva para calcular las rpm.

NOTA: La iluminación ambiental brillante puede interferir con el haz de luz reflejado. En algunos casos puede ser necesario sombreado el área.

PRECAUCIÓN: Los objetos giratorios pueden ser peligrosos. Extrema sus precauciones.



MEDIDAS DE RPM POR TACÓMETRO DE CONTACTO

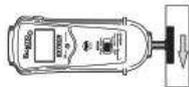


1. Instale una de las puntas de contacto para RPM en el husillo.
2. Mueva el selector de función a la posición CONTACT (contacto).
3. Presione el botón de medida mientras que ejerce una ligera presión sobre la punta de contacto contra el centro del eje giratorio.
4. Suelte el botón de medida cuando la lectura se estabilice en el indicador (aprox. 2 segundos).



Puntas para RPM por contacto

MEDIDAS LINEALES DE VELOCIDAD DE SUPERFICIE (ft/min o m/min)



Rueda para velocidad lineal

1. Instale la rueda para velocidad lineal en el husillo.
2. Deslice el selector de función a la posición SURFACE SPEED "ft/min" o "m/min" (velocidad de superficie).
3. Presione el botón medir y sostenga la rueda de velocidad de superficie contra la superficie en movimiento.
4. Suelte el botón de medida cuando la lectura se estabilice en el indicador (aprox. 2 segundos).

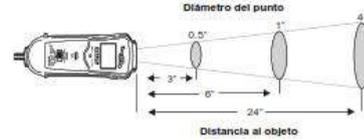
5

RPM10-EU-SP-V2.2-3/11

MEDIDAS DE TEMPERATURA SIN CONTACTO

1. Apunte el medidor a la superficie que va a medir.
2. Presione el botón rojo \odot termómetro IR.
3. Use el puntero láser para identificar el punto exacto que va a medir.
4. El área de la superficie que va a medir debe ser mayor al tamaño del punto como se determina en la especificación de distancia al objetivo.
5. Lea la temperatura en la pantalla.

ADVERTENCIA: No mire directamente o apunte el puntero láser hacia los ojos. Los rayos láser visibles de baja potencia normalmente no presentan un peligro, sin embargo, pueden ser peligrosos si se ven directamente durante largos periodos de tiempo.



Recuperación de MIN/MAX y última lectura

El medidor registra las lecturas Máxima, Mínima y Última para el periodo de tiempo que presiona el botón medir. Estos valores registrados en memoria pueden ser recuperados directamente en la pantalla del medidor. Las lecturas permanecerán en pantalla durante aproximadamente cuatro segundos después de presionar un botón.

1. Presione la tecla Memoria una vez. Aparece el icono "Last" (última) con la lectura registrada.
2. Presione de nuevo la tecla Memoria. Aparece el icono "MAX" junto con la máxima lectura registrada.
3. Presione de nuevo la tecla Memoria. Aparece el icono "MIN" junto con la mínima lectura registrada.

6

RPM10-EU-SP-V2.2-3/11

Especificaciones

Base de tiempo	Cristal de cuarzo de 4.9152 MHz
Indicador	Pantalla LCD Reversible de 5 dígitos 16mm (0.6")
Fuente de luz láser	Menor a 1 mW. Diodo láser rojo clase 2 (0.45nm aprox.)
Distancia de detección	50 a 2000 mm (2 a 79") dependiente de la iluminación ambiental y RPM
Memoria	Última lectura y MIN/MAX
Condiciones de operación	0 °C a 50 °C (32 °F a 122 °F); RH 80% Max
Fuente de tensión	4 baterías 1.5 V AA
Consumo de energía	24mA CD aprox. (>100hrs uso continuo)
Peso	300g (10.6oz.) Incluyendo batería
Tamaño	210 x 50 x 50 mm (8.3 X 3.1 X 2.0")
Accesorios	(4) baterías 1.5 y cinta reflectiva 600 mm (24"), adfiamientos giratorios (1) velocidad de superficie y (2) rpm y estuche
Nota patentada	U.S. Patente 7,111,981

Especificaciones de escala

	Escala	Resolución	Precisión (% lect.)
Foto tacómetro	10 a 99,999 RPM	0.1 rpm (<1000rpm) 1 rpm (>1000 rpm)	± (0.05% + 1d)
Tacómetro de contacto	0.5 a 19,999 rpm	0.1 rpm (<1000rpm) 1 rpm (>1000 rpm)	± (0.05% + 1d)
Velocidad de Superficie	0.2 a 6000 ft/min	0.1 ft/min (<1000ft/min) 1 ft/min (>1000ft/min)	± (1% + 1d)
Velocidad de Superficie	0.05 a 1999.9 m/min	0.01 M/min (<100m/min) 0.1 M/min (>100 m/min)	± (1% + 1d)
Distancia de detección del fototacómetro	Típica de 50 a 2,000 mm (2 a 79") La especificación requiere el uso de trozos de cinta reflectiva de 10mm cuadrados y 1,800 rpm. La distancia máxima y mínima de detección cambiará con las diferencias en condiciones ambientales, cinta reflectiva y velocidades mayores a 1,800 rpm.		

Especificaciones del termómetro IR

Escala / resolución	-20 a 315°C (-4 a 600°F)	1°C/1°F
Precisión	± 3% de la lectura o ± 3°C (5°F) la que sea mayor. Nota: La precisión está especificada para la siguiente escala de temperaturas ambientales: 15 a 20°C (54 a 62°F)	
Emisividad	0.95 valor fijo	
Campo de visión	D/S = Aprox. Relación de 6:1 (D = distancia, S = punto)	
Potencia Láser	Menor a 1 mW	
Respuesta al espectro	6 a 14 µm (longitud de onda)	

7

RPM10-EU-SP-V2.2-3/11

Reemplazo de la batería

El indicador de batería débil aparece como ⏻ en la pantalla. Para reemplazar las baterías, abra los dos tornillos cabeza Phillips que aseguran la tapa posterior de la batería y levante la tapa. Reemplace las cuatro baterías AA de 1.5V y reinstale la tapa.

Usted, como usuario final, está legalmente obligado (Reglamento de baterías) a regresar todas las baterías y acumuladores usados; el desecho en el desperdicio o basura de la casa está prohibido! Usted puede entregar las baterías o acumuladores usados, gratuitamente, en los puntos de recolección de nuestras sucursales en su comunidad o donde sea que se verifiquen las baterías o acumuladores.
Desecho
Cumpla las estipulaciones legales vigentes respecto al desecho del dispositivo al final de su vida útil.

Copyright (c) 2011 Ettech Instruments Corporation (a FLIR company)
Reservados todos los derechos. Involucrando el derecho de reproducción total o parcial en cualquier medio.

8

RPM10-EU-SP-V2.2-3/11

ANEXO E: ENCUESTA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HEQC

ENCUESTA PARA VALIDAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HEQC



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

Las siguientes preguntas servirán para verificar el funcionamiento del sistema de control y supervisión de temperatura en HEQC

PREGUNTA	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
¿EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA ES FÁCIL DE ENTENDER Y OPERAR?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
¿EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA RESPONDE A LOS AJUSTES QUE REALIZA DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
¿QUÉ TAN SATISFECHO ESTÁ CON LA PRECISIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿CÓMO CALIFICARÍA LA FACILIDAD DE USO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
¿CÓMO CALIFICARÍA LA SEÑALÉTICA EN LA PREVENCIÓN DE PROBLEMAS ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
¿CÓMO CALIFICARÍA SU SATISFACCIÓN CON EL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE TEMPERATURA EN LOS HEQC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
¿CÓMO CALIFICARÍA LA CAPACITACIÓN SOBRE EL USO ADECUADO DEL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE TEMPERATURA EN LOS HEQC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 21/03/2024

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: Pablo Andrés Morán Ipiales Bryan Fabricio Laica Tulmo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Electrónica y Automatización
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización
<p style="text-align: center;"> Ing. José Luis Morales Gordón Director del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán Asesor del Trabajo de Integración Curricular</p>