



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO ELÉCTRICO
UTILIZADO EN EL PROCESO DE CURADO DE BARNIZ AISLANTE
EN BOBINADOS EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.**

AUTOR: PAUCAR IZA DARWIN DANILO

DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCAN HUGO RAMIRO

SANGOLQUÍ, SEPTIEMBRE 2016



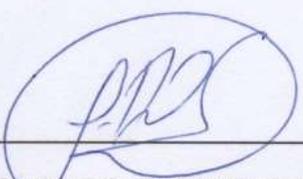
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO ELÉCTRICO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CURADO DE BARNIZ AISLANTE EN BOBINADOS EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.”***, realizado por el señor ***DARWIN DANILO PAUCAR IZA*** ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***DARWIN DANILO PAUCAR IZA*** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 31 de agosto del 2016



ING. HUGO RAMIRO ORTIZ TULCAN
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACION Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DARWIN DANILO PAUCAR IZA**, con cédula de identidad N° 1719866731, declaro que este trabajo de titulación **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO ELÉCTRICO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CURADO DE BARNIZ AISLANTE EN BOBINADOS EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A."** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 31 de agosto del 2016

DARWIN DANILO PAUCAR IZA

C.C. 1719866731



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACION Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **DARWIN DANILO PAUCAR IZA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO ELÉCTRICO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CURADO DE BARNIZ AISLANTE EN BOBINADOS EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 31 de agosto del 2016

DARWIN DANILO PAUCAR IZA

C.C. 1719866731

DEDICATORIA

Por ser el pilar que me mantuvo de pie en este largo camino, dedico este trabajo lleno de esfuerzo y dedicación a mi madre **Rosario Iza**, por su apoyo incondicional, por su amor infinito, por todo su esfuerzo y sacrificio, a ti madre por ser la persona que confió en mí a ojos cerrados en todo momento. También dedico este maravilloso logro a mi padre, a mis hermanas, a mis abuelitos que están en el cielo y a todas las personas que supieron apoyarme de una u otra manera.

Danilo

AGRADECIMIENTO

La culminación de esta hermosa carrera retribuyo principalmente a Dios y a ti Virgencita del Quinche por todas las bendiciones y la fuerza constante que me diste a lo largo de este camino, para superar cada obstáculo y alcanzar todas las metas propuestas con éxito hasta el día de hoy.

Agradezco infinitamente a mi madre, por haber estado a mi lado en cada momento difícil de mi vida, por tus sabias palabras que me llenaban de aliento para luchar y seguir adelante, por todos tus consejos llenos de sabiduría que día a día me hacían crecer como persona y por la confianza que siempre depositaste en mí, en cada una de mis acciones y decisiones.

Estoy inmensamente agradecido con mi padre, por estar pendiente de mi formación profesional de principio a fin y ser mi apoyo moral y económico en todas las etapas de mi vida. Gracias a toda mi familia y amigos, quienes fueron partícipes de este hermoso logro, a mi primo Junior por su apoyo constante en esta última etapa de vida universitaria. Por último agradezco a mi director Ing. Hugo Ortiz, quien supo guiarme y contribuir de manera profesional para el desarrollo del presente trabajo.

Danilo

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4. ALCANCE.....	6
CAPÍTULO II.....	11
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
2.1. INTRODUCCIÓN.....	11
2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE REBOBINADO ...	12
2.2.1. PROCESO DE REBOBINADO.....	13
2.2.2. PROCESO DE BARNIZADO Y CURADO.....	19
2.3. HORNOS INDUSTRIALES	21
2.3.1. HORNO DE RESISTENCIAS.....	22
2.3.2. HORNO PARA SECADO Y CURADO	23
2.4. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	24
2.4.1. TIPOS DE SISTEMA DE CONTROL	26
2.4.2. CONTROL ON-OFF CON HISTÉRESIS.....	27

2.4.2.1.	HISTÉRESIS	28
2.5.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO..	28
2.5.1.	AUTÓMATA PROGRAMABLE	28
2.5.2.	DISPOSITIVOS DE MANDO Y MANIOBRA	30
2.5.2.1.	ELEMENTOS DE MANDO MANUALES.....	30
2.5.2.2.	ELEMENTOS DE MANDO AUTOMÁTICOS	30
2.5.3.	DISPOSITIVOS DE CONMUTACIÓN	31
2.5.4.	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	32
2.5.5.	SENSORES	33
2.5.5.1.	INTERRUPTOR DE POSICIÓN	33
2.5.5.2.	SENSOR DE TEMPERATURA.....	34
2.5.6.	SEÑALIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN	35
CAPÍTULO III		37
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL		37
3.1.	REQUERIMIENTO DEL SISTEMA	37
3.2.	NIQUELINAS	39
3.2.1.	DISTRIBUCIÓN Y CONEXIÓN	40
3.3.	ALIMENTACIÓN PRINCIPAL.....	40
3.3.1.	DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOMETIDA PRINCIPAL	41
3.3.2.	DIAGRAMA UNIFILAR DE ACOMETIDA PRINCIPAL.....	42
3.4.	DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	44
3.4.1.	CONSIDERACIONES PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA	45
3.4.2.	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	47
3.4.2.1.	TIPO DE TERMOTAR	49
3.5.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	50
3.5.1.	MÓDULO DE SEÑAL TERMOPAR.....	54
3.5.2.	FUENTE DE PODER	55
3.6.	PANEL DE OPERADOR.....	56
3.7.	ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA	57
3.7.1.	DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE MÓDULOS Y ENTRADAS ...	57
3.7.2.	DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE SALIDAS	60

3.8.	DISEÑOS DE CIRCUITOS DE POTENCIA.....	62
3.8.1.	CIRCUITO DE POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS.....	63
3.8.2.	CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS VENTILADORES.....	64
3.8.3.	CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS MOTORREDUCTORES .	65
3.9.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL	66
3.10.	DIMENSIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS.....	67
3.10.1.	CIRCUITO DE CONTROL	67
3.10.1.1.	ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN	68
3.10.1.2.	RELÉ AUXILIAR.....	69
3.10.1.3.	ELEMENTOS DE MANDO Y MANIOBRA.....	70
3.10.1.4.	FUSIBLES	74
3.10.1.5.	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO	75
3.10.2.	CIRCUITO DE POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS.....	76
3.10.2.1.	CÁLCULO DE CONSUMO DE CORRIENTE	76
3.10.2.2.	RELÉ DE ESTADO SÓLIDO TRIFÁSICO	77
3.10.2.3.	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.....	78
3.10.2.4.	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO	80
3.10.3.	CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS VENTILADORES.....	81
3.10.3.1.	CONTACTORES	81
3.10.3.2.	EQUIPOS DE PROTECCIÓN.....	84
3.10.3.3.	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO	85
3.10.4.	CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS MOTORREDUCTORES .	86
3.10.4.1.	CONTACTORES	87
3.10.4.2.	EQUIPOS DE PROTECCIÓN.....	88
3.10.4.3.	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO	89
3.10.5.	CIRCUITO DE ACOMETIDA PRINCIPAL.....	90
3.10.5.1.	INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO FIJO.....	91
3.10.5.2.	INTERRUPTOR TRIFÁSICO PRINCIPAL.....	91
3.10.5.3.	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO ENCHUFABLE	92
3.11.	TABLERO DE CONTROL	93
3.11.1.	DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS INTERNOS	93
3.11.2.	DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS EXTERNOS	95

3.12.	DISEÑO DE LAS INSTALACIONES	97
3.12.1.	DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES.....	97
3.12.2.	DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA.....	100
CAPÍTULO IV	.....	102
DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL	.....	102
4.1.	CONDICIONES DE OPERACIÓN	102
4.1.1.	MODO MANUAL	102
4.1.2.	MODO AUTOMÁTICO	103
4.2.	SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN.....	105
4.3.	PROGRAMACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL PLC	106
4.3.1.	DIAGRAMA DE FLUJO	107
4.3.2.	PROGRAMACIÓN DEL PLC	111
4.4.	DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI	118
4.4.1.	HMI (INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA)	118
4.4.2.	ARQUITECTURA DEL HMI	119
4.4.3.	CONFIGURACIÓN DEL HMI EN TIA PORTAL V13	120
4.4.4.	DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LAS HMI	121
4.4.4.1.	VENTANA PRINCIPAL.....	121
4.4.4.2.	VENTANA DE INICIO DE SECCIÓN	121
4.4.4.3.	VENTANA DE PRESENTACIÓN.....	122
4.4.4.4.	VENTANA DE ESTADO	123
4.4.4.5.	VENTANA DE MODO MANUAL.....	124
4.4.4.6.	VENTANA DE MODO AUTOMÁTICO.....	126
CAPÍTULO V	.....	128
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	.....	128
5.1.	ESTRUCTURA METÁLICA	128
5.2.	MONTAJE DE LAS RESISTENCIAS.....	130
5.2.1.	CONEXIÓN Y CABLEADO DE LAS RESISTENCIAS	131
5.2.2.	CABLE PARA ALTA TEMPERATURA.....	132
5.2.3.	CABLEADO INTERNO.....	133
5.2.4.	CONEXIÓN TIPO DELTA DE LAS RESISTENCIAS	133
5.3.	MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL.....	134

5.3.1.	MONTAJE DE CANALETAS Y RIEL DIN	135
5.3.2.	MONTAJE DE LOS ELEMENTOS INTERNOS	136
5.3.3.	MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN	138
5.3.4.	MONTAJE DEL GABINETE MODULAR	139
5.4.	INSTALACIÓN DE SENSORES	140
5.4.1.	INTERRUPTOR DE POSICIÓN	140
5.4.2.	TERMOCUPLA TIPO K.....	140
5.5.	CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS	141
5.6.	MONTAJE DEL PANEL DE OPERADOR Y PLC	143
5.7.	PUESTA EN MARCHA Y ETIQUETADO	144
CAPÍTULO VI	.....	146
PRUEBAS Y RESULTADOS	.....	146
6.1.	SUMINISTRO ELÉCTRICO	146
6.2.	GENERADOR DE FASE	147
6.3.	PRUEBAS DE TEMPERATURA MÁXIMA.....	148
6.3.1.	PRUEBAS DE TEMPERATURA MÁXIMA CON UN GENERADOR TRIFÁSICO	148
6.3.2.	PRUEBAS DE TEMPERATURA MÁXIMA CON SUMINISTRO ELÉCTRICO Y GENERADOR DE FASE	150
6.3.3.	RELACION DE TEMPERATURAS MÁXIMAS CON 2 ZONAS ACTIVAS.....	154
6.4.	PRUEBAS DE CONTROL DE TEMPERATURA	155
6.5.	CURADO DE BARNIZ AISLANTE	157
CAPITULO VII	.....	160
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	160
7.1.	CONCLUSIONES	160
7.2.	RECOMENDACIONES.....	161
BIBLIOGRAFÍA	.....	163
ANEXOS	.....	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño externo del horno eléctrico	7
Figura 2. Dimensionamiento frontal del horno eléctrico.....	7
Figura 3. Datos del motor	13
Figura 4. Tapa de motor de inducción	14
Figura 5. Molde de la bobina.....	14
Figura 6. Ubicación del formón para corte	15
Figura 7. Ranuras limpias	16
Figura 8. Estator completamente aislado.....	16
Figura 9. Bobinadora manual	17
Figura 10. Introducción de bobinas al estator.....	17
Figura 11. Aislamiento y amarrado de bobinas.....	18
Figura 12. Sujeción del bobinado	19
Figura 13. Proceso de barnizado recomendado	20
Figura 14. Barnizado del motor.....	21
Figura 15. Horno industrial	22
Figura 16. Horno de resistencias.....	22
Figura 17. Horno de curado y secado.....	24
Figura 18. Elementos de un sistema automático	25
Figura 19. Definición de elementos.....	25
Figura 20. Diagrama de bloque de lazo abierto	26
Figura 21. Diagrama de bloque de lazo cerrado.....	27
Figura 22. Lazo de histéresis	28
Figura 23. Control ON-OFF con histéresis.....	28
Figura 24. Modelos de autómatas programables marca SIEMENS	29
Figura 25. Elementos de mando manual.....	30
Figura 26. Elementos detectores y sensores	31
Figura 27. Dispositivos de conmutación	32
Figura 28. Elementos de protección.....	32
Figura 29. Interruptor de tipo varilla flexible con resorte.....	34
Figura 30. Esquema de una termocupla	35
Figura 31. Señalización luminosa.....	35
Figura 32. Señalización óptica.....	36
Figura 33. Distribución y conexión de las resistencias	40
Figura 34. Circuito de acometida principal.....	42
Figura 35. Diagrama unifilar de acometida principal	43
Figura 36. Circuito de control	45
Figura 37. Curva característica del controlador	46
Figura 38. Diagrama de bloques del controlador	47
Figura 39. Ventajas y desventajas de termómetros	48
Figura 40. Termocupla tipo K.....	50

Figura 41. PLC S7-1200	53
Figura 42. Módulo de señal termopar SM 1231 TC.....	54
Figura 43. Fuente Logo Power 24 VDC.....	55
Figura 44. Simatic HMI KTP400 BASIC	56
Figura 45. Conexión de módulos y entradas	59
Figura 46. Conexión de salidas tipo relé	61
Figura 47. Circuito de potencia de las resistencias	63
Figura 48. Circuito de potencia de los ventiladores.....	64
Figura 49. Circuito de potencia con cambio de giro para los motorreductores.....	65
Figura 50. Arquitectura del sistema de control	67
Figura 51. Interruptor de posición con varilla flexible	73
Figura 52. Interruptor termo magnético fijo	91
Figura 53. Interruptor automático enchufable.....	92
Figura 54. Diagrama de distribución de elementos internos (mm).....	94
Figura 55. Diagrama de distribución de elementos externos (mm)	96
Figura 56. Características de cables tipo THHN Flex 600V 90°	98
Figura 57. Características del conductor XL-PE/PVC 1000V 90°	99
Figura 58. Número máximo de conductores en tubería conduit.....	100
Figura 59. Control de temperatura con lazo de histéresis	104
Figura 60. Entorno TIA PORTAL V13.....	105
Figura 61. Diagrama de flujo parte A	108
Figura 62. Diagrama de flujo parte B	110
Figura 63. Bloques de funciones	111
Figura 64. Bloques del programa	111
Figura 65. Señal de entrada del estado de la puerta	112
Figura 66. Condiciones para la salida del coche	112
Figura 67. Activación de las resistencias en modo manual.....	113
Figura 68. Reseteo de los actuadores en modo manual	113
Figura 69. Activación del proceso	114
Figura 70. Control ON-OFF con histéresis.....	114
Figura 71. Reseteo de parámetros ingresados	115
Figura 72. Reseteo de proceso y cronómetros	115
Figura 73. Rango de ingreso de temperatura.....	116
Figura 74. Adquisición de la señal termopar.....	116
Figura 75. Señales de salida al PLC.....	117
Figura 76. Datos del programa almacenados.....	117
Figura 77. Arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles	119
Figura 78. Pantalla para diseño HMI.....	120
Figura 79. Ventana principal.....	121
Figura 80. Ventana de inicio de sesión.....	121
Figura 81. Ventana de presentación	122
Figura 82. Ventana de estado.....	123
Figura 83. Ventana de visor de errores	124

Figura 84. Ventana de modo manual.....	124
Figura 85. Ventana de monitoreo de modo manual	125
Figura 86. Ventana de modo automático	126
Figura 87. Ventana de monitoreo	126
Figura 88. Lana de vidrio	128
Figura 89. Paredes metálicas con aislamiento.....	129
Figura 90. Estructura externa e interna del horno	129
Figura 91. Sujetadores de mármol	130
Figura 92. Pruebas de calor	131
Figura 93. Instalación de tubería metálica anillada	131
Figura 94. Cable para alta temperatura.....	132
Figura 95. Terminales tipo ojo de níquel	132
Figura 96. Cableado interno	133
Figura 97. Cableado de las resistencias	133
Figura 98. Conexiones de los conductores con aisladores.....	134
Figura 99. Gabinete modular.....	134
Figura 100. Montaje de canaletas	135
Figura 101. Montaje de canaletas	136
Figura 102. Bornera cubierta IN13, 3 POLOS.....	136
Figura 103. Borneras LEG RIEL de 10 mm y 4 mm.....	137
Figura 104. Montaje de los elementos del sistema	137
Figura 105. Perforación para elementos de mando	138
Figura 106. Ubicación de elementos de mando.....	138
Figura 107. Ventilador e interruptor principal.....	139
Figura 108. Ubicación del gabinete modular	139
Figura 109. Sensor de posición	140
Figura 110. Acople de la termocupla	141
Figura 111. Terminales tipo puntera	141
Figura 112. Terminales tipo U.....	141
Figura 113. Remache de los terminales puntera y tipo U.....	142
Figura 114. Conexión de los elementos del sistema.....	142
Figura 115. Pruebas de funcionamiento.....	143
Figura 116. Montaje del panel de operador y PLC	143
Figura 117. Puesta en marcha del sistema.....	144
Figura 118. Etiquetado interno.....	145
Figura 119. Etiquetado externo.....	145
Figura 120. Medidor electrónico bifásico trifilar	147
Figura 121. Generador de la tercera fase	147
Figura 122. Generador trifásico	148
Figura 123. Temperatura Máxima de 2 zonas con un generador trifásico	149
Figura 124. Temperatura Máxima de 2 zonas.....	150
Figura 125. Temperatura Máxima de 1 zona.....	152
Figura 126. Relación de temperaturas Máximas	154

Figura 127. Curva resultante del control de temperatura	155
Figura 128. Monitoreo del control de temperatura a 115°C	156
Figura 129. Monitoreo del control de temperatura a 100 °C	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas de las resistencias.....	8
Tabla 2. NORMAS IEC 947	38
Tabla 3. Datos técnicos de termocupla tipo K	49
Tabla 4. Características requeridas del PLC	52
Tabla 5. Datos técnicos de PLC seleccionado	53
Tabla 6. Datos técnicos de módulo seleccionado.....	55
Tabla 7. Datos técnicos de Fuente Logo Power	56
Tabla 8. Datos técnicos de Basic panel seleccionado	57
Tabla 9. Datos técnicos de luces piloto	68
Tabla 10. Datos técnicos de licuadora giratoria	69
Tabla 11. Consumo de corriente del circuito de control.....	69
Tabla 12. Datos técnicos del relé seleccionado	70
Tabla 13. Datos técnicos del pulsador de paro seleccionado.....	71
Tabla 14. Datos técnicos de pulsadores	72
Tabla 15. Datos técnicos del selector de 2 posiciones seleccionado.....	73
Tabla 16. Datos técnicos de interruptor de posición seleccionado	74
Tabla 17. Datos técnicos de bases porta fusibles generales.....	74
Tabla 18. Datos técnicos de los fusibles seleccionados.....	75
Tabla 19. Datos técnicos del interruptor automático seleccionado	75
Tabla 20. Datos técnicos del relé de estado sólido seleccionado.....	77
Tabla 21. Datos técnicos del ventilador seleccionado	78
Tabla 22. Datos técnicos de los fusibles seleccionados.....	79
Tabla 23. Datos técnicos del interruptor termo magnético seleccionado.....	80
Tabla 24. Datos técnicos de interruptor automático seleccionado.....	80
Tabla 25. Datos técnicos del motor del ventilador	81
Tabla 26. Categorías de empleo de los contactores	82
Tabla 27. Datos técnicos de los contactores seleccionados.....	83
Tabla 28. Datos técnicos de los fusibles seleccionados.....	84
Tabla 29. Datos técnicos de guarda motores seleccionados.....	85
Tabla 30. Datos técnicos del interruptor automático trifásico seleccionado	86
Tabla 31. Datos técnicos del motor del reductor.....	87
Tabla 32. Datos técnicos de los contactores seleccionados.....	88
Tabla 33. Datos técnicos de los fusibles seleccionados.....	88
Tabla 34. Datos técnicos de guarda motores seleccionados.....	89
Tabla 35. Datos técnicos de interruptor automático	90
Tabla 36. Consumo de corriente máximo	90
Tabla 37. Datos técnicos de interruptor termo magnético fijo seleccionado	91
Tabla 38. Datos técnicos de Interruptor trifásico principal.....	92
Tabla 39. Datos técnicos de interruptor automático enchufable.....	93
Tabla 40. Datos técnicos del gabinete modular	95

Tabla 41. Selección de calibres de los conductores	99
Tabla 42. Selección del calibre del conductor de acometida principal	100
Tabla 43. Tuberías anilladas metálicas seleccionadas	101
Tabla 44. Tubería conduit metálica seleccionada.....	101
Tabla 45. Condiciones para activar los actuadores independientemente.....	103
Tabla 46. Condiciones para activar el proceso	105
Tabla 47. Direcciones IP para red PROFINET	107
Tabla 48. Niveles de seguridad	122
Tabla 49. Descripción de los botones de la ventana de presentación	123
Tabla 50. Descripción de parámetros del modo manual	125
Tabla 51. Descripción de parámetros del modo automático	127
Tabla 52. Parámetros promedio de zona 1 y 2 con generador trifásico.....	149
Tabla 53. Parámetros promedio de zona 1 y 2 con suministro eléctrico actual.....	151
Tabla 54. Parámetros promedio de zona 1 con suministro eléctrico actual	153
Tabla 55. Temperaturas máximas de trabajo	155
Tabla 56. Ciclos de horneado sugeridos por el fabricante	158
Tabla 57. Ciclos de horneado experimentales	159

RESUMEN

El presente proyecto incluye el diseño e implementación de un sistema de control automático para un horno eléctrico, utilizado en el proceso de curado de barniz aislante en bobinados en la Empresa Siproelectrik S.A. El horno es una de las máquinas más importantes utilizadas en el proceso de rebobinado, ya que una de sus funciones, es la de trabajar como planta de secado para el mantenimiento de motores y principalmente para el curado de la capa de barniz aislante en los bobinados. Actualmente la empresa utiliza un horno a gas para motores de pequeñas dimensiones, lo cual implica altos riesgos para los operadores y problemas legales para la empresa, así como posibles daños en el bobinado a causa de la inestabilidad de la temperatura a la cual debe ser sometida. Por lo tanto, la empresa ha diseñado y construido una estructura moderna de un horno eléctrico, lo cual implicó realizar el diseño e implementación de un sistema de control automático, que consta de un control térmico mediante la técnica ON-OFF con histéresis, el control de dos ventiladores utilizados para la circulación del aire caliente en el interior del horno y el control de dos motorreductores acoplados a una plataforma utilizada como vagón para el ingreso y salida del motor con el bobinado a ser procesado. Para la manipulación eficaz y eficiente del sistema de control automático, se desarrolló una interfaz humano – máquina intuitiva y funcional, el cual consta de dos modos de operación, supervisión y monitoreo de las variables del proceso.

PALABRAS CLAVE:

- **CURADO**
- **BOBINADOS**
- **INESTABILIDAD**
- **CONTROL TÉRMICO**
- **HISTÉRESIS**
- **MOTORREDUCTORES**

ABSTRACT

This project includes the design and implementation of an automatic control system for an electric furnace, used in the process of cured of insulating varnish in windings in Siproelectrik S.A. Company. The furnace is one of the most important machines used in the rewinding process, since one of its functions is to work as a drying plant for engine maintenance and mainly to cure the layer of insulating varnish in the windings. Currently the company uses a gas furnace for small-sized engines, which involves high risks for operators and legal problems for the company, also possible damages to the winding due to the instability of the temperature at which must be submitted. Therefore, the company has designed and built a modern structure of an electric furnace, that's why involved making the design and implementation of an automatic control system, which consists of a thermal control by ON-OFF technique with hysteresis, the control of two fans used for circulating hot air in inside of the furnace and control of two gear motors coupled to a platform, used as wagon for entry and exit of the engine with winding to be processed. For effective and efficient manipulation of automatic control system, it was developed an intuitive and functional human-machine interface, which has two modes of operation, supervision and monitoring of process variables.

KEYS WORDS:

- **CURED**
- **WINDINGS**
- **INSTABILITY**
- **THERMAL CONTROL**
- **HYSTERESIS**
- **GEAR MOTORS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El proceso de rebobinado de motores, generadores y transformadores de baja, media y alta tensión, es uno de los principales servicios que ofrece la Empresa Siproelectrik S.A, al momento de detectar cortocircuito o quemadura del arrollamiento de los mismos, lo cual implica un proceso complejo que requiere de una serie de etapas que se menciona a continuación: (MURILLO & SERNA, 2010)

- **Extracción de bobinas viejas.**

Dependiendo de la potencia y dimensión del motor, se procede a extraer las bobinas fundidas, en el caso de ser un motor con grandes dimensiones, este debe ser expuesto a altas temperaturas para que los materiales electroaislantes lleguen a su fundición y facilite la extracción de las bobinas.

- **Limpieza del estator**

La limpieza del estator consiste en quitar los residuos impregnados en las ranuras del estator por el proceso de cocción que haya sufrido con anterioridad.

- **Aislamiento de ranuras**

Este aislamiento es necesario para evitar el contacto físico con el rotor, y posteriormente para encapsular las bobinas en las ranura mediante laminados aislantes DMD, NMN y NKN.

Para el aislamiento es utilizado cartones aislantes (Elemyl, Presphan, Mylar, Nomex, Fibra roja, Pertinax, Micarta).

- **Rebobinado**

Para el rebobinado del motor primero se realizar los cálculos pertinentes como número de conductor, número de espiras, entre otros, de acuerdo a la aplicación utilizada. Posteriormente se ingresa las bobinas en las respectivas ranuras.

- **Conexiones**

Los terminales de las bobinas serán conectadas de acuerdo a la configuración deseada. Estos terminales deben estar lo más compactas posible, de tal manera que se utilice material electro aislante como: spaghetiss de tela, algodón, vidrio o poliéster para recubrir el cable de los terminales y cintas del mismo material para la sujeción de las bobinas.

- **Barnizado**

El barnizado es una de las etapas más importantes ya que se debe seleccionar cuidadosamente el tipo de barniz aislante adecuado para cada necesidad, esto dependerá de las características del bobinado y el material electro aislante utilizado.

Antes de la impregnación las bobinas se calentarán a una temperatura de 105 – 110°C, se mantendrá esta temperatura durante el tiempo necesario para que la evaporación del agua sea lo más completa posible. Este tiempo dependerá de la masa a calentar y variará en función de la humedad relativa ambiente.

Este procedimiento debe efectuarse cuidadosamente, ya que la humedad retenida provoca un retardo en el secado del barniz, disminuye los valores de aislación y puede ser causa de fallas en la rigidez dieléctrica por polarización de las moléculas del agua o ionización de las mismas. Posteriormente se debe enfriar la masa a impregnar.

Para la impregnación se debe tomar en cuenta:

- La viscosidad del barniz.
 - Tiempo de impregnación.
 - Escurrido del barniz.
 - Curado de la película del barniz.
-
- **Curado del barniz aislante**

El proceso de curado modifica las características del barniz en función de la temperatura y tiempo del proceso. El curado de la capa de barniz varía de acuerdo al tipo de barniz empleado pero en general debe tenerse en cuenta que:

- La evaporación de solventes debe hacerse en forma lenta, se evita así la formación de una capa superficial seca que encierra y dificulta la salida de los solventes del interior de la masa a impregnar.
- En general el horno se tendrá a una temperatura inicial de aproximadamente 40°C elevándose la misma en forma suave hasta alcanzar la temperatura de curado recomendada por el fabricante del barniz.
- Esta temperatura se mantendrá durante el tiempo necesario para el curado del mismo y dependerá de la masa a calentar y del tiempo que se tarde en alcanzar el equilibrio térmico entre la temperatura leída en el termómetro y la masa metálica que se está impregnando.
- Cada barniz utilizado tiene una forma de aplicación y curado específico.

Por lo tanto el presente proyecto incluye el diseño y la implementación de un sistema de control automático para un horno eléctrico, que conste principalmente de un sistema de control térmico, el cual permita realizar el proceso de secado y curado de la capa de barniz aislante debido a que, en la actualidad la empresa cuenta con un horno a gas relativamente pequeño, el cual presenta un riesgo inminente para los operarios.

Uno de los problemas es que el operario debe estar regulando el flujo de gas para que este no exceda el límite de temperatura que necesita el proceso de curado. Con este proyecto el proceso será más seguro y mantendrá la calidad del bobinado de los motores que es el principal requerimiento de la Empresa.

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Con la ejecución de este proyecto se busca dar solución a las principales necesidades de la Empresa SIPROELECTRIK S.A., empresa dedicada a servicios técnicos, mantenimiento y rebobinado de motores, generadores y transformadores de baja, media y alta tensión.

En la empresa el horno es una de las máquinas más importantes utilizadas en el proceso de rebobinado, ya que su función principal es la de trabajar como planta de secado para el mantenimiento de motores y principalmente para el curado de la capa de barniz aislante cuando se realiza el proceso de rebobinado.

En la actualidad los trabajadores que se encuentran en la sección eléctrica, utilizan un horno a gas que lo manipulan de forma manual, es decir ingresan el motor en una caja de acero, posteriormente encienden una llama y ingresan en el horno. El control de flujo lo realizan de forma manual, regulando la válvula del tanque de gas.

Al existir altas temperaturas, dentro de las actividades mencionadas, existe un riesgo inminente para los operadores que las realizan ya que pueden existir fugas en el tanque de gas y principalmente si no se regula a la temperatura límite del barniz, el bobinado se dañará lo que provocará pérdidas económicas. Además toma mucho tiempo realizar los procesos descritos con anterioridad, invirtiendo notorias cantidades de gas y logrando el acabado del motor rebobinado en tiempo considerablemente largos.

Frente a esto se pretende diseñar e implementar un sistema de control automático para un horno eléctrico, a fin de poder realizar el proceso de mantenimiento y curado del barniz de forma eficiente de manera que se vaya mejorando la calidad de aislamiento del nuevo arrollamiento.

En este proyecto se buscará automatizar varias partes del proceso, de esta manera eliminar riesgos que pueden causar daños a los operadores y problemas legales para la empresa.

Para los procesos mencionados se implementará un sistema de control térmico que permita realizar el proceso de mantenimiento y curado del barniz aislante impregnado en el bobinado de motores, generadores y transformadores, para que exista un aislamiento de calidad en los bobinados, obteniendo la temperatura requerida para dicho proceso. Así evitar la formación de una capa superficial seca que encierre y dificulte la salida de los solventes del interior de las bobinas.

La prioridad del proyecto es diseñar un sistema de control automático para un horno eléctrico, por ende es necesario realizar cambios que nos permitan generar un ahorro de recursos económicos al optimizar el consumo de los principales elementos que son parte del proceso.

Otro de los aspectos que se puede mejorar con la implementación del proyecto es la optimización de los tiempos que demora el proceso de curado del barniz aislante acorde a las hojas técnicas de cada barniz, además de incrementar la calidad del curado de la película de barniz mediante dicho proceso.

El proyecto que se pretende realizar es un aporte para la empresa. Se pretende satisfacer la necesidad de diseñar e implementar un sistema de control automático para un horno eléctrico, el cual posea un sistema de control automático óptimo, eficaz y eficiente, además de diseñar e implementar un HMI pensado y centrado en el usuario, siendo este intuitivo y funcional para la persona que lo maneja.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Mejorar la calidad del bobinado de los motores, generadores y transformadores mediante un óptimo proceso de curado del barniz aislante, aumentando la productividad de la empresa y disminuyendo a la vez riesgos laborales a causa de la manipulación directa del proceso por los operarios.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables que intervienen en el proceso de curado del barniz aislante.
- Optimizar los tiempos de ejecución del proceso de curado de barniz aislante, aumentando la eficiencia y productividad de las operaciones.
- Implementar una técnica de control eficiente que se ajuste a los ciclos de curado sugeridos por el fabricante del barniz.
- Optimizar el accionamiento y manipulación del sistema mediante una interfaz eficiente y centrada en el usuario.
- Evaluar el desempeño del sistema de control automático diseñado e implementado para verificar su correcta funcionalidad.

1.4. ALCANCE

Para el desarrollo del presente proyecto inicialmente cabe mencionar que el diseño estructural y construcción del horno lo ha realizado el Departamento Mecánico de la Empresa Siproelectrik S.A.

De manera que se dimensionó el tamaño de la caja y la selección del material que se utilizará para su estructura, quedando este de la manera mostrada en las figuras 1 y 2.

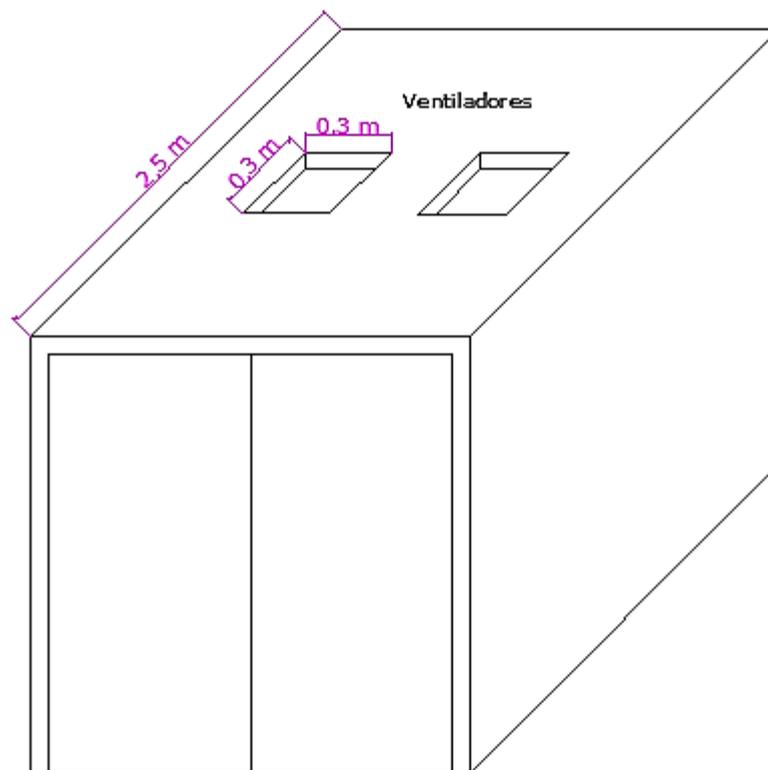


Figura 1. Diseño externo del horno eléctrico

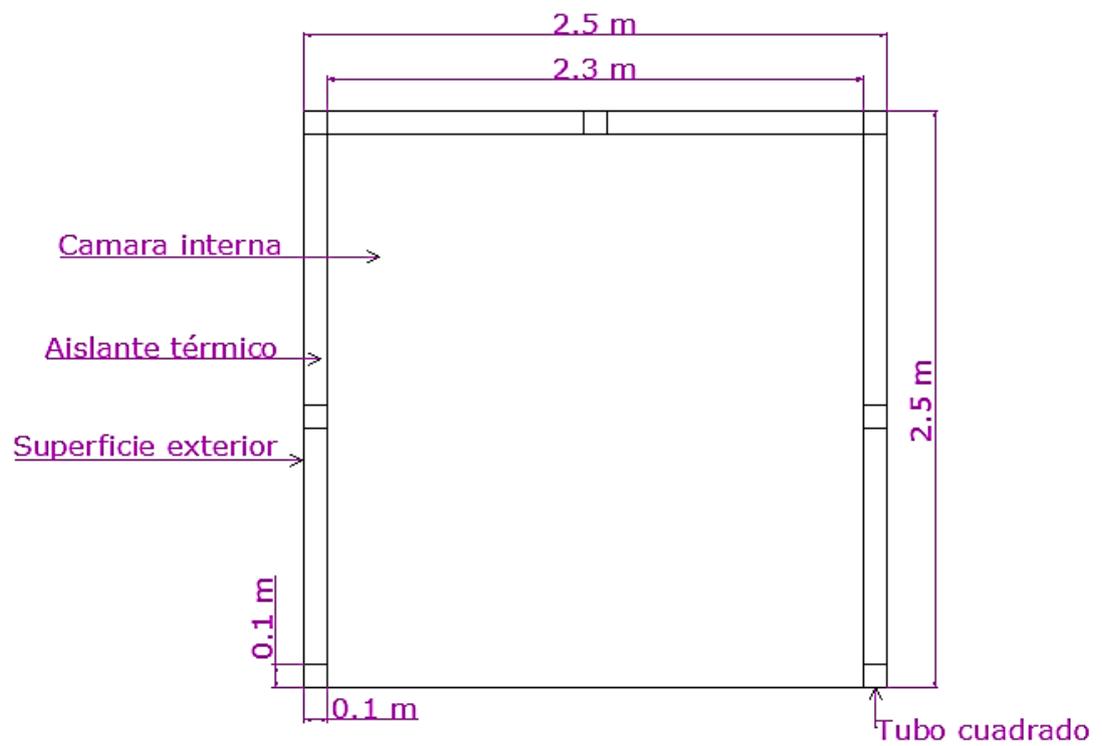


Figura 2. Dimensionamiento frontal del horno eléctrico

Por otro lado, la empresa Siproelectrik S.A., optó por el asesoramiento técnico de la empresa **RETENA S.A**, para adquisición correcta de las resistencias, diagnosticando el tipo de resistencias, el número de resistencias y la potencia de cada una para cumplir la temperatura máxima de trabajo (150°C), que es la principal necesidad del horno.

De acuerdo al asesoramiento técnico, la tabla 1 describe las especificaciones de las resistencias que la empresa adquirió.

Tabla 1.
Especificaciones técnicas de las resistencias

Resistencia	Especificación
Tipo	Tubular
Longitud	2.20 m
# Resistencias	6
Potencia total	18 KW
Potencia individual	3 KW
Tensión	220 V
Resistencia	13 Ω

En la primera parte del proyecto se realizará la selección de materiales y dispositivos, así como de sus especificaciones técnicas y funciones en el sistema, para así caracterizar detalladamente el proceso que se desea automatizar y controlar. Para apoyar y documentar la identificación del sistema se realizarán los respectivos diagramas eléctricos en Autocad Electrical 2015, y diagramas de bloques y flujo del proceso a automatizarse.

La segunda parte del proyecto consiste en el diseño del sistema de control automático, el dimensionamiento y la selección e instalación de los equipos de automatización: sensores, transmisores, actuadores y equipos de control, elementos de mando y maniobra y dispositivos de protección que permitan el control de los ventiladores, motorreductores y control térmico sin dejar de lado las normas de seguridad que se debe cumplir para implementar un sistema de control térmico. Para esto se debe definir la técnica de control que se utilizará, se establecerá también una interfaz de usuario y las normas que se utilizarán para este diseño.

En esta parte se realizará un análisis y selección del controlador a utilizarse, del tipo de programación y de los módulos necesarios para las conexiones del sistema.

Una vez seleccionado el controlador se analizará el proceso y se seleccionará la técnica de control a realizar los cuales pueden ser: ON-OFF, ON-OFF con histéresis, etc. Para posteriormente programar el controlador con la lógica acorde al proceso, de manera que se proceda a realizar las pruebas necesarias con diferentes valores de temperaturas y tiempos. Así también pruebas de funcionamiento de los actuadores utilizados para el accionamiento de los motores y verificar el correcto funcionamiento del circuito de cambio de giro utilizado para el ingreso y salida de la plataforma.

La tercera y última parte del proyecto corresponde al diseño e implementación de una interfaz humana – máquina sencilla e intuitiva para el operador, el cual por requerimientos de la Empresa necesita de un selector de 2 posiciones para elegir el rango de operación de trabajo, por ejemplo se podrá seleccionar:

- N° Zonas = 1, equivale al accionamiento de 3 resistencias.
- N° Zonas = 2, equivale al accionamiento de 6 resistencias.

Este requerimiento se lo realiza debido a problemas de suministro de energía que posee la empresa en estos momentos. Pues poseen un generador de fase, lo que implica caídas de Tensión cuando se activan algunas máquinas eléctricas al mismo tiempo. Por lo tanto el Basic Panel deberá constar de un modo manual, un modo automático y monitoreo de las variables de entrada y salida al controlador.

En el modo manual el usuario podrá activar de manera independiente los respectivos actuadores del proceso que pueden ser: Relés de estado sólido trifásicos y contactores, que a su vez activarán las resistencias y los motores de los ventiladores y reductores acorde a las condiciones implementadas en el programa del controlador.

En el modo automático el usuario podrá ingresar la temperatura (°C) y el tiempo (Horas) para el mantenimiento o curado del barniz aislante impregnado en las bobinas de motor, generador o transformador y a su vez el operador podrá monitorear el proceso mediante la visualización del cambio de las variables implicadas en el proceso.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años el ser humano ha desarrollado diferentes avances tecnológicos en las industrias, con el objetivo de mejorar la productividad de las empresas, disminuir el riesgo laboral hacia los trabajadores, disminuir la participación de operadores en trabajos forzados y en ciertas áreas peligrosas evitar el accionamiento directo de un sistema por el operador. Este avance tecnológico eficaz, eficiente y funcional es denominado automatización.

Por lo tanto, la automatización se puede definir como el desempeño mecanizado de distintas operaciones, dirigidas de una manera automática y sincronizada, mediante computadoras programadas y la tecnología adecuada para lograr un mayor control y la mejor toma de decisiones en cada fase del proceso de producción (PERE PONSA & VILANOVA ARBÓS, 2005).

En la actualidad muchas industrias están muy automatizadas, o bien utilizan tecnología de automatización en alguna etapa de sus actividades. Las industrias relacionadas con la automatización son básicamente la industria manufacturera y la industria de procesos, de manera que la industria manufacturera se caracteriza por la presencia de máquinas herramientas de control numérico por ordenador como núcleo de sistemas de fabricación flexible. En esta industria, se destaca el uso de estaciones robotizadas en tareas de soldadura por arco o por puntos, pintura, montaje, etc., de forma que en la actualidad la necesidad de automatizar es elevada si se desea ofrecer productos de calidad en un entorno competitivo.

En cuanto a la industria de procesos, existen fábricas de productos de naturaleza más o menos continua, como la industria petroquímica, cementera, alimenticia, farmacéutica, etc. (PERE PONSA & VILANOVA ARBÓS, 2005)

Existen ciertas empresas dedicadas a la prestación de servicios técnicos o al desarrollo de proyectos eléctricos o mecánicos, que en la actualidad utilizan la automatización de ciertas etapas en un proceso para mejorar la productividad del servicio, aumentar la eficiencia y disminuir riesgos laborales a causa de la incorrecta manipulación de cierta etapa. Por ejemplo la empresa Siproelectrik S.A. destinada a la ejecución de servicios técnicos presenta actividades como análisis de vibración y balanceo en máquinas industriales, mantenimiento eléctrico - mecánico de motores entre otras. En la actualidad una de las actividades que más demanda, es el rebobinado de motores, en donde una de las etapas principales es el curado de barniz aislante impregnado en las bobinas, por lo tanto la automatización se centra básicamente en la manipulación de un sistema de manera sencilla, intuitiva pero a la vez eficiente, así como obtención de cierto grado de temperatura mediante un algoritmo de control para realizar este proceso de manera correcta y sobre todo mejorando la calidad del nuevo bobinado.

En nuestro país se ha introducido ya la Automatización en cierto grado. Pero los aparatos con que se realiza la automatización de Procesos no se fabrican aquí (PLC o Computadoras Digitales).

2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE REBOBINADO

El rebobinado de motores eléctricos es una de las actividades más realizadas al momento de detectar cortocircuito o quemadura del arrollamiento del motor. La cual consiste en retirar el arrollamiento antiguo y confeccionar el nuevo, éste puede ser realizado por una rebobinadora de banco manual o rebobinadoras eléctricas las que pueden ser semiautomáticas o automáticas.

Por lo tanto, el rebobinado consiste en arrollar el alambre esmaltado sobre un molde giratorio provisto de gargantas de guía, que mediante un accionamiento manual o automático, se da movimiento rotacional al molde, de ésta manera se cuenta el número de espiras por bobina éstas pueden ejecutarse individualmente (una sola vez) o bien por grupos (varias cada vez). Posteriormente se realiza el proceso de barnizado y curado y las pruebas de aislamiento.

2.2.1. PROCESO DE REBOBINADO

El proceso de rebobinado de un motor consta de varias etapas, lo cual implica el desarrollo secuencial de estas. A continuación se describe los pasos necesarios para lograr el objetivo (MURILLO & SERNA, 2010).

- **Toma de datos del motor**

Es importante realizar la toma de datos del motor eléctrico a medida que se desarrolla el rebobinado para evitar cualquier tipo de problema. Los datos técnicos que se debe tomar son los mostrados en la figura 3.

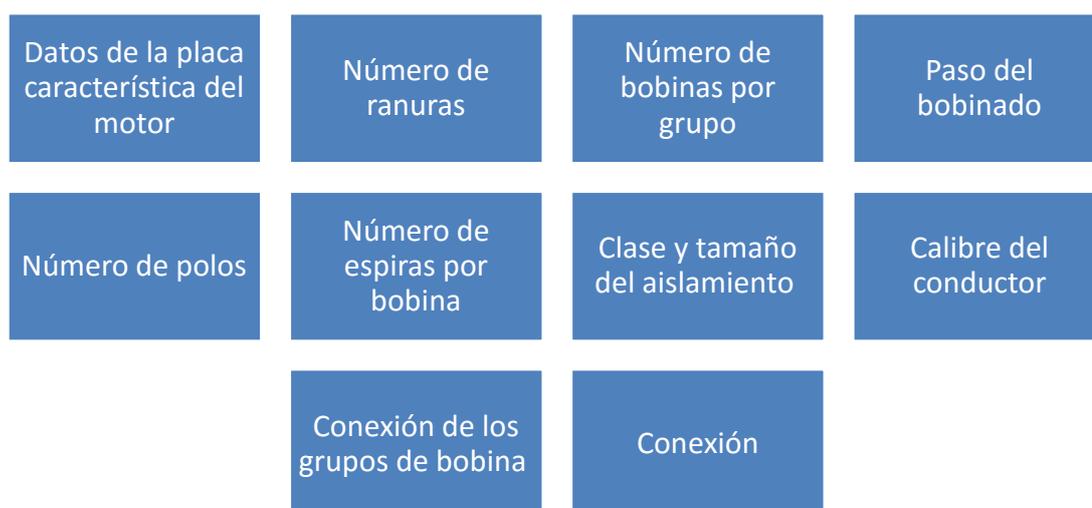


Figura 3. Datos del motor

- **Destapar el motor**

Antes de proceder a destapar el motor como se muestra en la figura 4, es necesario que la persona que lo esté ejecutando realice marcas entre el estator y la tapa, mediante una herramienta llamada “punto”. De esta manera al momento de volver a ensamblar el motor no tendrá ningún inconveniente.



Figura 4. Tapa de motor de inducción

(BARRETA, 2008)

- **Realizar el molde de la nueva bobina**

Antes de sacar las bobinas del estator, es necesario hacer el molde para las nuevas bobinas; sacando provecho de las bobinas quemadas que están elaboradas y medidas en las ranuras. De manera que se debe tomar un pedazo de alambre para bobinado como se muestra en la figura 5 y sobreponer encima del bobinado dañado para así obtener un molde para las futuras bobinas y grupo de bobinas como se muestra en la siguiente figura.



Figura 5. Molde de la bobina

(MURILLO & SERNA, 2010)

- **Extracción de las bobinas quemadas**

Dependiendo de la potencia y dimensión del motor, se procede a extraer las bobinas fundidas de cada ranura del estator pero en el caso de ser un motor de grandes dimensiones, éste debe ser sometido a altas temperaturas para que los materiales electro aislantes lleguen a su fundición y facilite a su vez la extracción de las bobinas.

Este proceso se realiza cortando el alambre con un formón como se muestra en la figura 6, teniendo cuidado de no dañar las chapas del estator. Una vez retirada la bobina se puede anotar calibre del alambre medido con un calibre o galga y número de espiras por bobina. (BARRETA, 2008)



Figura 6. Ubicación del formón para corte

(BARRETA, 2008)

- **Limpieza de las ranuras del estator**

En esta etapa se debe limpiar las ranuras del estator mediante el uso de un cepillo de acero o la herramienta necesaria, ya que habrá residuos de aislación quemada y trozos de alambre dañado impregnados en las ranuras del estator debido a la quemadura del arrollamiento. Es necesario que todas las ranuras queden completamente limpias como se puede observar en la figura 7 para continuar con la siguiente etapa del proceso.



Figura 7. Ranuras limpias

(MURILLO & SERNA, 2010)

- **Aislamiento de ranuras estáticas**

En cada ranura se coloca un aislamiento como se muestra en la figura 8, para evitar el contacto entre los conductores de la bobina y el circuito magnético. Para esto se debe encapsular las bobinas en las ranura mediante laminados aislantes DMD, NMN y NKN.

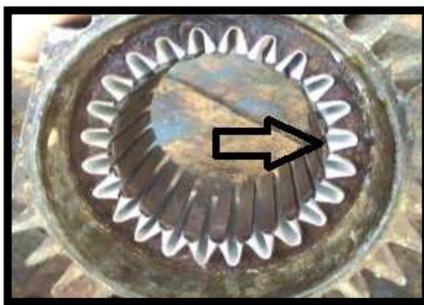


Figura 8. Estator completamente aislado

(MURILLO & SERNA, 2010)

- **Confección de bobinas nuevas**

Una vez culminado el molde, haber realizado los cálculos respectivos como número de calibre, número de espiras, etc., se procede a realizar las nuevas bobinas mediante un accionamiento manual o automático dando un movimiento rotacional al molde. La mayor parte de empresas dedicadas a este servicio utiliza una bobinadora manual ajustando la distancia de las mordazas que correspondan para cada caso como se observa en la figura 9.

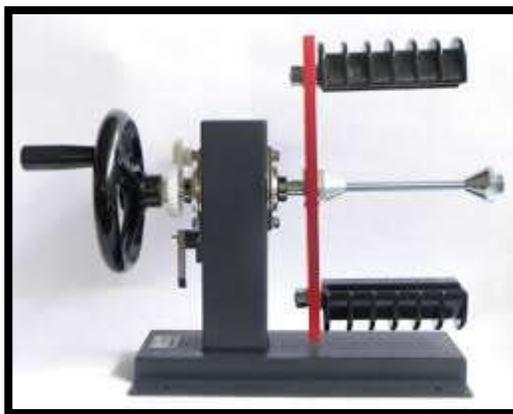


Figura 9. Bobinadora manual

(BARRETA, 2008)

- **Introducción de bobinas en las ranuras**

Cuando se procede a introducir una bobina o un grupo de bobinas en las ranuras del estator, se debe tener en cuenta hacia donde van a quedar los principios y finales de las bobinas, por lo tanto primero se desamarra el lado de bobina que se va a introducir, posteriormente se comienzan a meter las espiras en la ranura de una en una o por grupos pequeños de espiras como se muestra en la figura 10, una vez metido el lado de la bobina se cuña para evitar que se salga, después se procede a meter el otro lado de la bobina, e igualmente se cuña; el proceso se repite para las demás bobinas. (BARRETA, 2008)

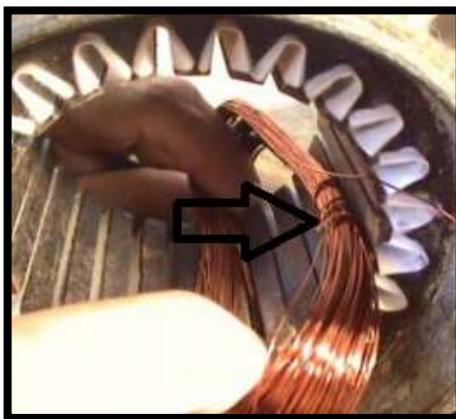


Figura 10. Introducción de bobinas al estator

(MURILLO & SERNA, 2010)

- **Aislamiento de las bobinas o grupo de bobinas**

Una vez introducidas todas las bobinas, deben ser separadas para evitar cortos entre cada grupo de bobinas. Para la separación se utiliza el mismo material dieléctrico que se empleó en las ranuras del estator. Es necesario amarrar las bobinas en la parte que sobresale de las ranuras como se muestra en la figura 11, para que al momento de meter el papel aislante entre las bobinas, sea fácil, también para evitar que queden alambres por fuera que puedan hacer contacto con la otra bobina. (BARRETA, 2008)

En esta etapa es necesario que el amarre de las bobinas sea simétrico y esté completamente ajustado, de manera que no haya problemas al momento de realizar las conexiones y volver a ensamblar el motor.

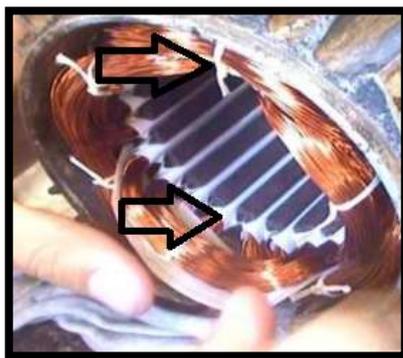


Figura 11. Aislamiento y amarrado de bobinas

(BARRETA, 2008)

- **Conexión de las bobinas**

Para la conexión de las bobinas se debe tener en cuenta los datos que se tomaron de la placa del motor y datos que se desarrollaron en el transcurso del proceso, así por ejemplo:

- Número de bobinas por grupos.
- Grupos de bobinas.
- Número de polos.
- Conexión de los grupos de bobina.
- Conexión.

De manera que con estos datos la persona que esté ejecutando el trabajo sabrá como conectar los principios y finales de los grupos de bobinas, y que conductores quedaran para formar la conexión trifásica (Δ , Y, ó Y-), y los conductores que quedarán como las fases.

- **Sujeción de las bobinas**

Una vez realizado las conexiones respectivas se procede a amarrar todo el bobinado como se muestra en la figura 12, de manera que se amarra primero la parte donde no hay empalmes y posteriormente se amarra el lado de las bobinas por donde salen los cables de las fases. Este amarrado se realiza para que las bobinas queden firmes y compactas, de manera que al momento de barnizar no exista movimiento. (BARRETA, 2008)

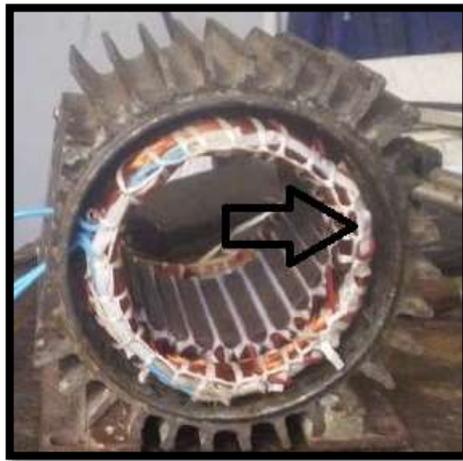


Figura 12. Sujeción del bobinado

(BARRETA, 2008)

2.2.2. PROCESO DE BARNIZADO Y CURADO

El proceso de barnizado y curado son las últimas etapas del proceso de rebobinado. Para esto primeramente se debe tomar en cuenta el tipo de barniz que se utilizará ya que dependiendo de la dimensión del motor y uso se elegirá un determinado barniz aislante, el cual conste de las especificaciones técnicas requeridas al proceso que vaya a ser sometido.

- **Barnizado**

Este procedimiento debe efectuarse cuidadosamente, ya que la humedad retenida provoca un retardo en el secado del barniz, disminuye los valores de aislación y puede ser causa de fallas en la rigidez dieléctrica por polarización de las moléculas del agua o ionización de las mismas.

Para la impregnación se debe tomar en cuenta: (MOTORTICO, 2014)

- La viscosidad del barniz.
- Tiempo de impregnación.
- Escurrido del barniz.
- Curado de la película del barniz.

Conviene discutir el proceso de barnizado, siguiendo las recomendaciones del fabricante del barniz o resina. La Figura 13 muestra los pasos mínimos recomendados, con datos particulares del barniz de la marca Dolphs, modelo BC 345A, para curado al horno. **NOTA: Cada tipo de barniz o resina tiene sus propios requerimientos.** (MOTORTICO, 2014)

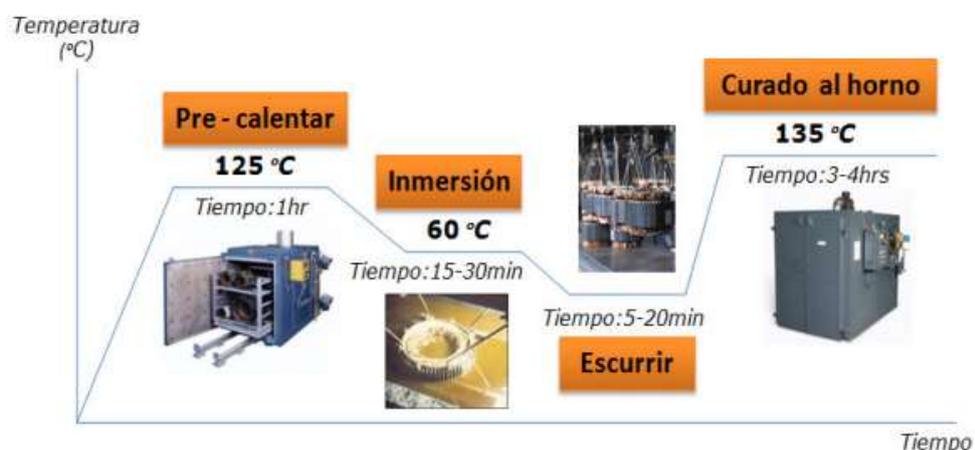


Figura 13. Proceso de barnizado recomendado

(MOTORTICO, 2014)

Los pasos que se deben seguir para un correcto proceso de barnizado y curado es el siguiente:

- **Precalear:** elimina humedad, libera tensiones concentradas, prepara el bobinado para recibir el barniz.

- **Dejar enfriar:** permitir al bobinado enfriarse a una temperatura adecuada, esto ayuda a bajar la viscosidad del barniz, para que pueda penetrar.
- **Barnizar:** por inmersión, espray o goteo. Si es por inmersión (el más recomendado), dejar un tiempo sumergido.
- **Ecurrir:** permitir a los excedentes del barniz abandonar el estator.
- **Horneado/curado:** por un tiempo y a una temperatura según indique el fabricante del barniz o resina.

Para barnizar se puede hacer uso de un inyector como se muestra en la figura 14, se deben barnizar todas las bobinas por todas las partes incluso los lados de bobina que van por dentro de las ranuras para evitar que las bobinas hagan contacto con ellas y se produzca un corto. Después de haber barnizado, se deja que el barniz se seque y luego se procede a ponerle las tapas procurando colocarlas en el mismo orden que tenían al principio y también tener precaución de apretar los tornillos en cruz para que la tapa del motor vaya ajustando igual por todas las partes, y no quede un lado más ajustado que otro. (BARRETA, 2008)



Figura 14. Barnizado del motor

(BARRETA, 2008)

2.3. HORNOS INDUSTRIALES

Un horno industrial es un equipo que calienta a una temperatura muy superior a la ambiente, materiales o piezas situadas dentro de un espacio cerrado como se muestra en la figura 15.

Con el calentamiento se pueden fusionar metales, ablandarlos, vaporizarlos o recubrir piezas con otros elementos para crear nuevos materiales o aleaciones y aplicaciones como es el curado de barniz aislante en el proceso de rebobinado de motores eléctricos.



Figura 15. Horno industrial

(MARTINEZ NAYA, 2015)

2.3.1. HORNO DE RESISTENCIAS

Existen los llamados hornos de resistencia que son aquellos que obtienen la energía eléctrica a través de resistencias eléctricas que se calientan por el efecto Joule (MARTINEZ NAYA, 2015). Es decir, las resistencias transferirán el calor a la carga a través de la radiación.

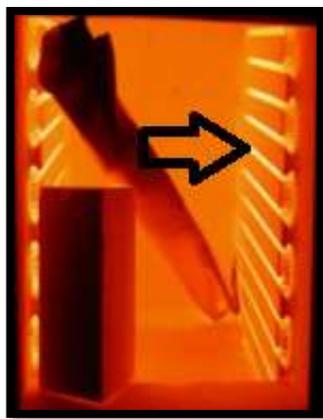


Figura 16. Horno de resistencias

(MARTINEZ NAYA, 2015)

Este tipo de hornos de calentamiento por radiación suelen alcanzar temperaturas de hasta 1200 °C (MARTINEZ NAYA, 2015). En su interior podemos encontrar resistencias eléctricas de hilo bobinado tipo Kanthal. Otra formas por las cual se transmite el calor es por convección.

Por convección se emplea en procesos hasta 400 °C, como se muestra en la figura 16. Los hornos disponen de un sistema de recirculación forzada de aire caliente por medio de **ventiladores**. El aire circula a través de las resistencias eléctricas blindadas. La temperatura máxima de estos hornos está muy limitada ya que los ventiladores también están sometidos a estas temperaturas críticas.

La energía calorífica necesaria para el calentamiento de los hornos procede de:

- Resistencias de hilo bobinado Kanthal.
- Resistencias blindadas tubulares en general.

2.3.2. HORNO PARA SECADO Y CURADO

El horno para utilizar en procesos de secado y curado de barniz aislante en máquinas eléctricas debe tener dos características fundamentales, debe contar con: **circulación de aire y extracción de gases** (MOTORTICO, 2014). La circulación de aire por convección es importante para asegurar una temperatura uniforme en el interior del horno.

La extracción de gases producto del curado del barniz es clave para evitar el fenómeno conocido como "Lavado del barniz", que se da cuando los gases de los solventes quedan en el interior de la cámara del horno, desplazando el barniz del bobinado, el fenómeno es el siguiente: El propio solvente al calentarse y ascender puede llegar a arrastrar en su convección el barniz que hay en la parte exterior del bobinado. Los solventes al ir saliendo por evaporación arrastran la capa de barniz exterior hasta dejarlo completamente limpio. En general, el horno tiene las siguientes funciones:

- Evaporar los solventes en barnices con solventes.

- Promover la reacción química de solidificación, en resinas sin solventes. (MOTORTICO, 2014)

La figura 17 representa un horno típico de curado.

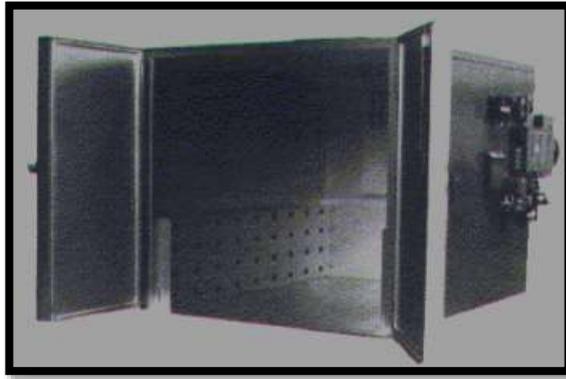


Figura 17. Horno de curado y secado

(MOTORTICO, 2014)

2.4. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Un sistema de control automático es aquel que controla una variable física sin intervención humana. Esta variable física puede ser: temperatura, velocidad, presión, flujo, nivel, etc. El controlar una magnitud física como las mencionadas anteriormente es estrictamente necesario para el buen desarrollo de determinados procesos sobre todo en la industria. (LÓPEZ, 2013)

El control automático llamado simplemente automatización ha sido la base sobre la cual descansa el gran adelanto industrial de los países más poderosos del planeta. Esto es así porque los procesos industriales susceptibles de ser automatizados, cuando operan así, entregan un producto de mucha mejor calidad que cuando son manejados nada más por personas.

Un sistema de control automático posee varios elementos, los cuales permiten que un proceso tome acciones ante diferentes reacciones del medio. En la figura 18 se muestra los elementos de un sistema de automatización.

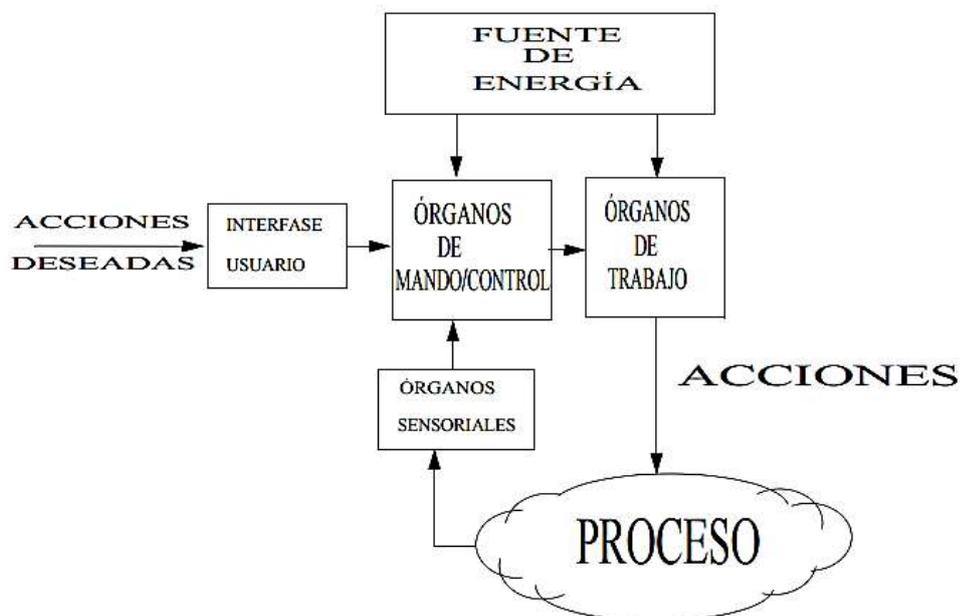


Figura 18. Elementos de un sistema automático

(LÓPEZ, 2013)

En la figura 19 se describe brevemente los conceptos de los elementos de un sistema automático (LÓPEZ, 2013).

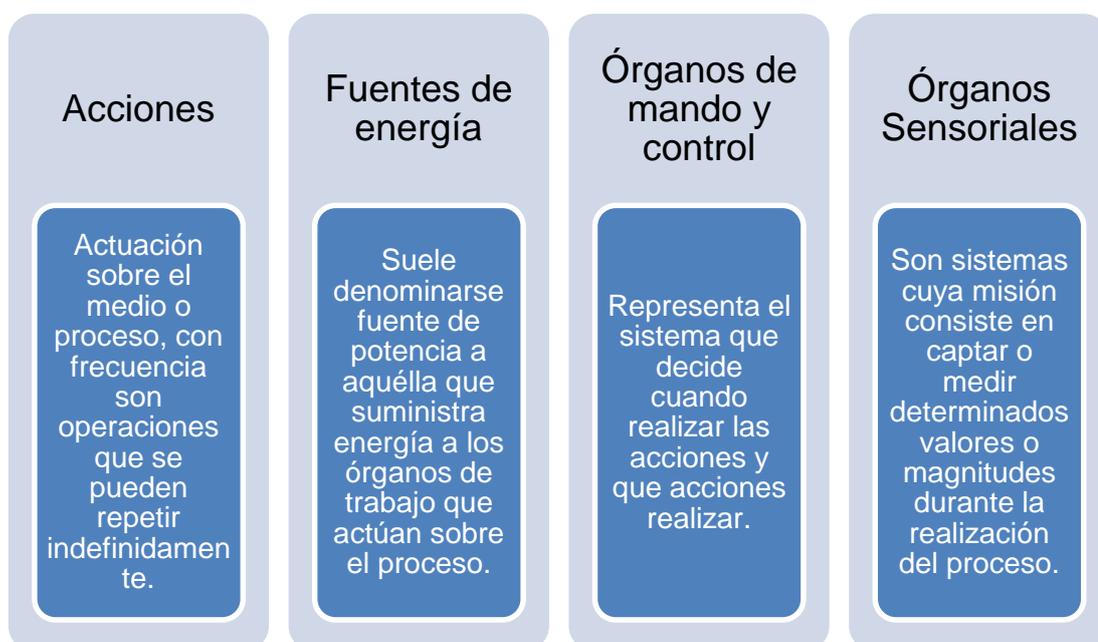


Figura 19. Definición de elementos

2.4.1. TIPOS DE SISTEMA DE CONTROL

Existen 2 tipos de sistemas de control principales los cuales son:

- **DE LAZO (o BUCLE) ABIERTO**

Aquellos en los que la acción de control es independiente de la salida, es decir, que la señal de salida no influye sobre la entrada. Su diagrama de bloques puede representarse en la figura 20. (ONORO, 2010)



Figura 20. Diagrama de bloque de lazo abierto

A continuación se menciona la ventaja e inconveniente de este tipo de sistema.

- ✓ **Ventajas:** Facilidad de diseño.
- ✓ **Inconvenientes:** Incapacidad de respuesta ante perturbaciones.

- **DE LAZO (o BUCLE) CERRADO**

Aquellos en los que la acción de control depende en parte de la salida (parte de la señal de salida, convenientemente tratada, se realimenta introduciéndose de nuevo en el sistema como una entrada más). (ONORO, 2010)

Para utilizar este tipo de sistema es necesario tomar en cuenta el concepto de Realimentación, el cual es común en este sistema.

Concepto de Realimentación: Propiedad por la cual se compara la salida con la entrada al sistema, de modo que se establezca una función entre ambas. También se la denomina “feedback”. Su diagrama de bloques puede representarse en la figura 21.

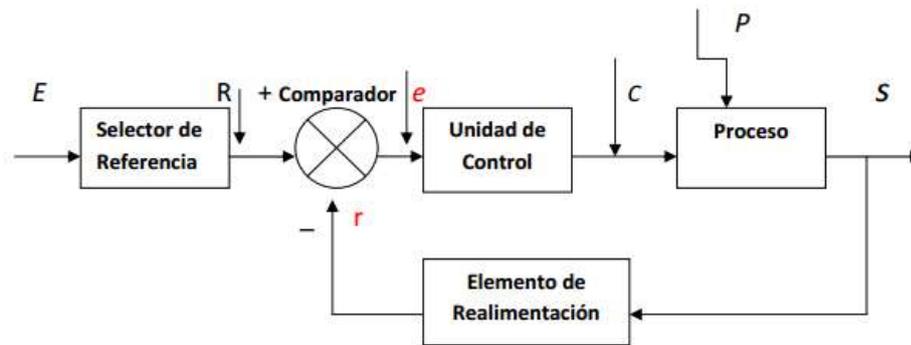


Figura 21. Diagrama de bloque de lazo cerrado

La ventaja e inconveniente de este tipo de sistema es:

- ✓ **Ventajas:** Mejor respuesta ante perturbaciones, mejor precisión en la respuesta.
- ✓ **Inconvenientes:** Dificultad en su diseño, utilización de muchos componentes.

2.4.2. CONTROL ON-OFF CON HISTÉRESIS

Es la regulación más simple y económica, se utiliza en aplicaciones que puedan admitir una oscilación continua entre dos límites, pero sería necesario que la evolución del proceso sea lento (TOAPANTA SOTO, 2012). Muchos reguladores incorporan esta regulación básica y en ocasiones se combinan con otro tipo de controladores utilizándolos cuando el error es grande y cambiando de forma automática a otro controlador cuando el error se aproxima a cero.

Para evitar un número excesivo de conmutaciones se incluye un **lazo de histéresis** como se muestra en la figura 22. La histéresis es como una oposición a experimentar cualquier cambio, cosa que normalmente sería un efecto perjudicial para ciertas aplicaciones por lo que se debe escoger adecuadamente las aplicaciones en las cuales este controlador funcionaria. Su respuesta es de tipo todo o nada, de forma que se conecta cuando la variable regulada ha descendido hasta un valor por debajo de la variable de consigna y solo se desconecta cuando dicha variable supera el límite superior de la variable de consigna.

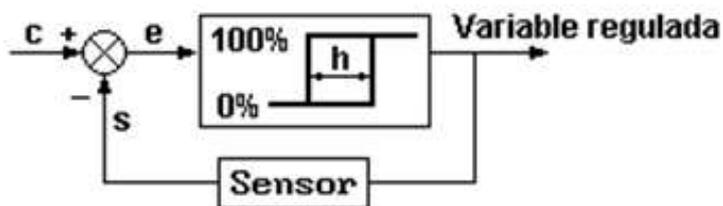


Figura 22. Lazo de histéresis

2.4.2.1. HISTÉRESIS

La banda de histéresis es la diferencia máxima en los valores de salida del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida (TOAPANTA SOTO, 2012). En la figura 23 se muestra un control con lazo de histéresis.

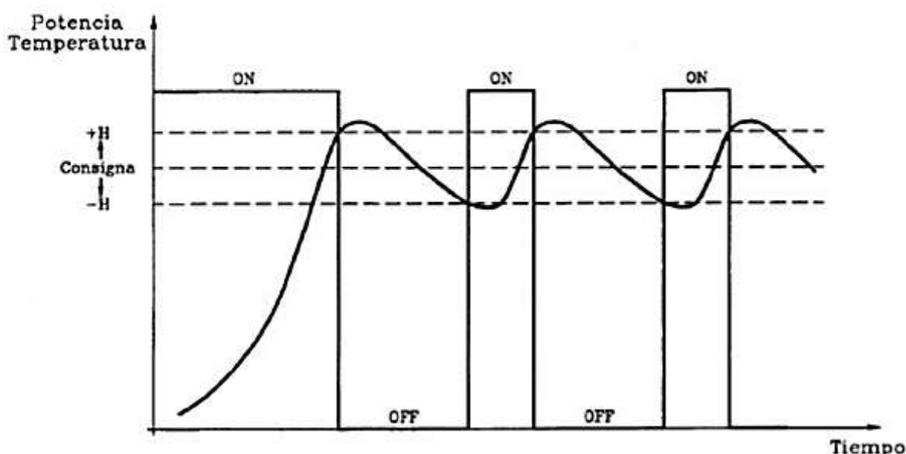


Figura 23. Control ON-OFF con histéresis

(TOAPANTA SOTO, 2012)

2.5. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

2.5.1. AUTÓMATA PROGRAMABLE

Un autómata programable, también denominado PLC (Controlador Lógico Programable), es un dispositivo electrónico capaz de gestionar los circuitos de automatismos industriales de forma programada (MARTÍN CASTILLO & GARCÍA GARCÍA, 2011). Una de las marcas más utilizadas en la industria sin duda es SIEMENS.

Existen diferentes modelos como se muestra en figura 24, acorde a la aplicación o necesidad del proceso a ser automatizado.



Figura 24. Modelos de autómatas programables marca SIEMENS

(MARTÍN CASTILLO & GARCÍA GARCÍA, 2011)

En la actualidad el uso de los autómatas programables está generalizado en la industria, aunque en otros sectores, como la domótica, también tiene gran presencia. Los PLC permiten procesar de forma inteligente las señales precedentes de multitud de variables físicas que existen en los procesos industriales y actuar en consecuencia.

En ciertos procesos industriales los automatismos realizados son mediante lógica de contactos, lo cual implica un gran número de elementos a utilizar (relés, temporizadores, contactores, etc.) y presenta mayor complejidad en la conexión del cableado. Por lo tanto si, por necesidades del proceso industrial, es necesario modificar el funcionamiento de una instalación de este tipo, no queda más remedio que recablear el circuito de mando, lo cual conlleva pérdida de tiempo y dinero.

Por lo tanto La forma más flexible y económica de realizar la automatización de algún proceso industrial, es sustituir el circuito cableado de mando por un **autómata programable**. De esta forma, cualquier cambio en el funcionamiento del proceso se hace reprogramando el **PLC**, sin necesidad de mover el cableado o realizando modificaciones mínimas en él. (MARTÍN CASTILLO & GARCÍA GARCÍA, 2011)

2.5.2. DISPOSITIVOS DE MANDO Y MANIOBRA

Los elementos o dispositivos de mando son componentes que permiten al operario ordenar la ejecución de operaciones diversas, tales como el arranque, la parada, el cambio de velocidad, etc., de diferentes máquinas eléctricas, como por ejemplo los motores. (SARMIENTO, 2011)

Aunque los dispositivos de mando son variados y de muy diferente naturaleza, actualmente se pueden dividirlos en dos grandes bloques. (SARMIENTO, 2011)

2.5.2.1. ELEMENTOS DE MANDO MANUALES

Los elementos de mando manuales son aquellos que el operario acciona para conectar, desconectar y en general gobernar las instalaciones eléctricas. Su clasificación se muestra en la figura 25.

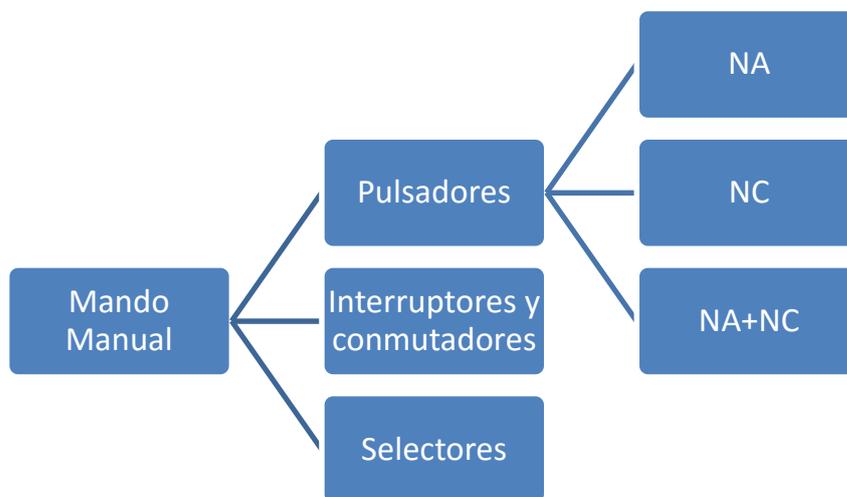


Figura 25. Elementos de mando manual

2.5.2.2. ELEMENTOS DE MANDO AUTOMÁTICOS

Los detectores automáticos y sensores permiten la conexión, desconexión y mando en general de instalaciones eléctricas sin intervención directa de un operario.

Estos elementos de mando deben ser seguros y fiables, pues en general nadie se encarga de supervisar continuamente su funcionamiento. (SARMIENTO, 2011)

Hoy en día se puede encontrar en el mercado una multitud de elementos detectores y sensores para la detección y medida de gran número de variables físicas como se muestra en la figura 26.



Figura 26. Elementos detectores y sensores

2.5.3. DISPOSITIVOS DE CONMUTACIÓN

Un motor eléctrico, como cualquier otro receptor, ha de estar dotado de un dispositivo que permita su adecuada conexión a la red de alimentación. A dicho dispositivo se le exige:

- Que realice la conexión y desconexión en carga.
- Que dicha conmutación la verifique en una sola maniobra.
- Que su corte sea omnipolar. Es decir que el dispositivo cortará las fases y el neutro de la red.

En la figura 27 se muestran los tipos de dispositivos de conmutación. (SARMIENTO, 2011)

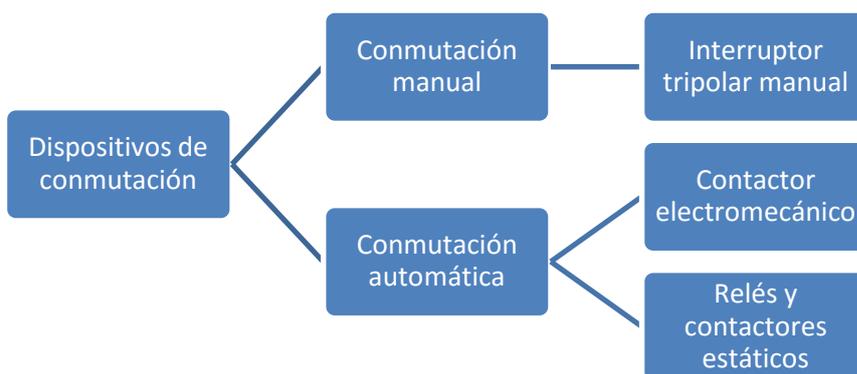


Figura 27. Dispositivos de conmutación

2.5.4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella. Existen muchos tipos de protecciones como se muestra en la figura 28, que pueden hacer a una instalación eléctrica completamente segura ante cualquier contingencia, pero hay dos que deben usarse en todo tipo de instalación: alumbrado, domesticas, fuerza, redes de distribución, circuitos auxiliares, etc., ya sea de baja o alta tensión.

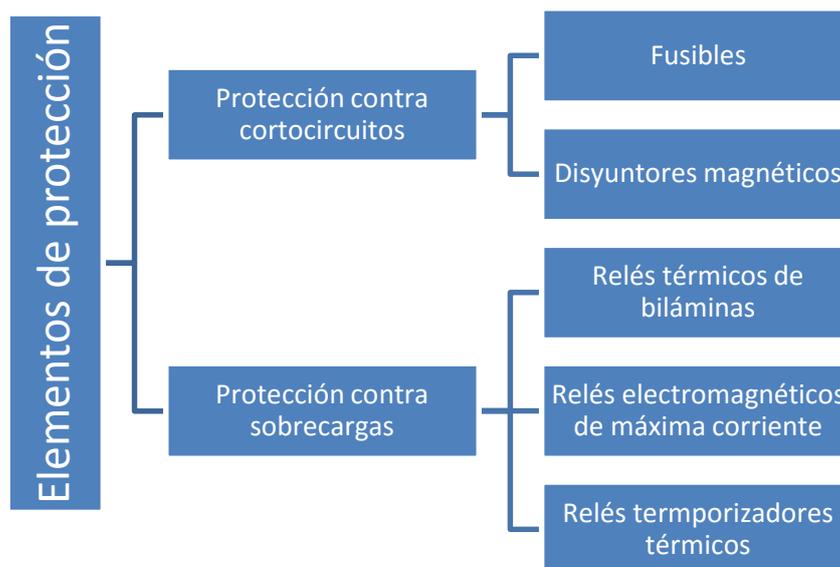


Figura 28. Elementos de protección

2.5.5. SENSORES

Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser: intensidad lumínica, temperatura, distancia, posición, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

2.5.5.1. INTERRUPTOR DE POSICIÓN

Son interruptores que detectan la posición de un elemento móvil, mediante un mecanismo de accionamiento. Son muy habituales en la industria para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999). Existen multitud de tipos de interruptores, que se cumplen como final de carrera, que se distinguen por el elemento móvil que genera la señal eléctrica de salida. Se tienen, por ejemplo, los de lengüeta, bisagra, palanca con rodillo, varilla, palanca metálica con muelle, de pulsador, etc.

El interruptor de posición de tipo varilla flexible con resorte, es uno de los más robustos para detectar el cierre o apertura de una puerta, ya que al momento de cerrar de forma brusca no habrá daños en su estructura mecánica, simplemente se forzará la varilla flexible para el cambio de estado.



Figura 29. Interruptor de tipo varilla flexible con resorte

(INASEL, 2015)

2.5.5.2. SENSOR DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios de señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares. (ARAGONÉS, 2003)

El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico. (ARAGONÉS, 2003)

- **Termocuplas**

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera una tensión muy pequeña, del orden de los milivolts la cual aumenta con la temperatura (ARAGONÉS, 2003). La figura 30 muestra un esquema de ejemplo de una termocupla cualquiera.

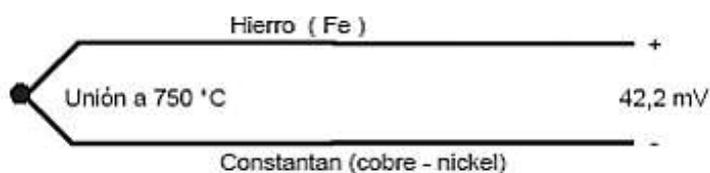


Figura 30. Esquema de una termocupla
(ARAGONÉS, 2003)

2.5.6. SEÑALIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN

Los elementos de señalización se utilizan para indicar a los operarios el estado en que se encuentran los elementos de mando y control de una máquina eléctrica o en este caso de un proceso industrial.

La señalización de los equipos consiste en testigos, generalmente luminosos que se emplean en instalaciones para poder disponer de la información del estado del funcionamiento de la misma, por ejemplo, una luz roja indica una señal de emergencia, o paro del sistema. Los colores de las luces piloto son similares a los pulsadores que se utiliza en dicho proceso. Así un pulsador rojo es un elemento que se pulsará en caso de peligro y una verde para poner en marcha el sistema como se observa en la figura 31, en función de la norma vigente **NTE INEN 439:1984**, referente a la Norma Técnica Ecuatoriana de COLORES, SEÑALIZACIÓN Y SIMBOLOS DE SEGURIDAD. (INEN, SEÑALES Y SIMBOLOS DE SEGURIDAD, 2013)



Figura 31. Señalización luminosa

En la mayoría de los procesos industriales es necesario monitorizar ciertos parámetros o variables como: valor de la temperatura, tiempo, etc. Por lo tanto, se utiliza la señalización óptica, que en este caso se trata de una interfaz humano-máquina, como se puede observar en la figura 32.



Figura 32. Señalización óptica

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El diseño de un sistema de control es un ejemplo específico de diseño en ingeniería. El cual se centra en aplicar los conocimientos científicos y diversas técnicas adquiridas con el objetivo de obtener la configuración, especificaciones e identificación de los parámetros claves de un sistema propuesto para satisfacer una necesidad real.

3.1. REQUERIMIENTO DEL SISTEMA

Los requerimientos por parte de la empresa Siproelectrik S.A., para el sistema de control automático para el horno eléctrico que será diseñado e implementado son los siguientes:

- Sistema de control basado en un controlador lógico programable.
- Para la visualización, monitoreo y control de mando del proceso se requiere de un panel de operador táctil.
- La comunicación entre el PLC y el Panel View debe ser vía Ethernet.
- Control de temperatura ON-OFF con histéresis.
- Implementación de un selector de 2 posiciones en el tablero de control, que permita seleccionar el número de zonas (niquelinas).
- Control de 4 motores de tipo jaula de ardilla de 1HP, utilizados para 2 ventiladores y 2 reductores.
- Implementación de pulsadores e interruptores para la desconexión inmediata de cargas en caso de emergencia y para operaciones de mantenimiento.
- Implementación de señalización luminosa.

Para todos los requerimientos mencionados hay que tomar en cuenta ciertos aspectos que se menciona a continuación:

- **Seguridad**

El sistema de control automático debe garantizar la seguridad para el personal de operación y mantenimiento, por lo tanto se deberá aplicar las normas de seguridad correspondientes para procesos industriales, así mismo los dispositivos de protección, control y conmutación deberán ser dimensionados y seleccionados correctamente mediante el uso de las normas generales relativas a los equipos de baja tensión **IEC 947** que se describen en la tabla 2, para garantizar la vida útil de todos los componentes eléctricos y electrónicos.

Tabla 2.
NORMAS IEC 947

Familias de productos	Normas Internacionales	Normas Españolas
Contactores	IEC 60947-4-1	UNE-EN 60947-4-1
Contactores auxiliares	IEC 60947-5-1	UNE-EN 60947-5-1
Aparatos de control y protección (integral)	IEC 60947-6-2	UNE-EN 60947-6-2
Arrancadores – Motores	IEC 60947-4-1	UNE-EN 60947-4-1
Detectores	IEC 60947-5-2	UNE-EN 60947-5-2
Disyuntores	IEC 60947-2	UNE-EN 60947-2

- **Tensión y frecuencia del suministro energético**

Este aspecto es uno de los más importantes, ya que por el momento la Empresa cuenta con un sistema trifásico a 220 VAC, 60 Hz pero el medidor eléctrico tiene una capacidad máxima de 63 A. El cual puede afectarse si se ocupa varios dispositivos eléctricos simultáneamente.

Es por eso que se utilizará un selector del número de zonas a trabajar, de manera que únicamente en la noche se podrá trabajar al 100%.

- **Adaptación del sistema**

El sistema de control automático deberá tener la posibilidad de adaptarse a modificaciones o inclusión de otro proceso con el mismo autómatas en el mismo gabinete modular.

- **Condiciones ambientales**

Las condiciones ambientales son factores que se debe tomar en cuenta ya que el horno se encuentra en un lugar expuesto a interferencias como son: ruido, polvo y vibraciones para los componentes y dispositivos eléctricos y electrónicos que estarán dentro del gabinete modular.

3.2. NIQUELINAS

La tabla 1 mostrada en el alcance del Capítulo I, describe las especificaciones técnicas de las resistencias que la empresa adquirió.

Por lo tanto para cubrir el siguiente requerimiento planteado por la empresa Siproelectrik S.A:

- Implementación de un selector de 2 posiciones en el tablero de control, para seleccionar el número de zonas (niquelinas) a trabajar.

La primera parte del diseño se centró en la distribución de las niquelinas que pueden ser seleccionadas para ser operativas de acuerdo a la necesidad del operador y el tipo de conexión que se implementará de acuerdo a las especificaciones de las resistencias y principalmente a las especificaciones del suministro energético de la empresa que son los siguientes:

- Sistema trifásico 220 VAC
- 60 Hz

3.2.1. DISTRIBUCIÓN Y CONEXIÓN

Para realizar una distribución equilibrada y tomando en cuenta la forma del horno lo más lógico es distribuir 3 resistencias para la zona 1 y 3 resistencias para la zona 2.

Para el tipo de conexión que se va a realizar hay que tomar en cuenta que las resistencias adquiridas son a 220 VAC, por lo tanto se procederá a realizar 2 conexiones de tipo delta, cada una de ellas con 3 resistencias como se muestra en la figura 33.

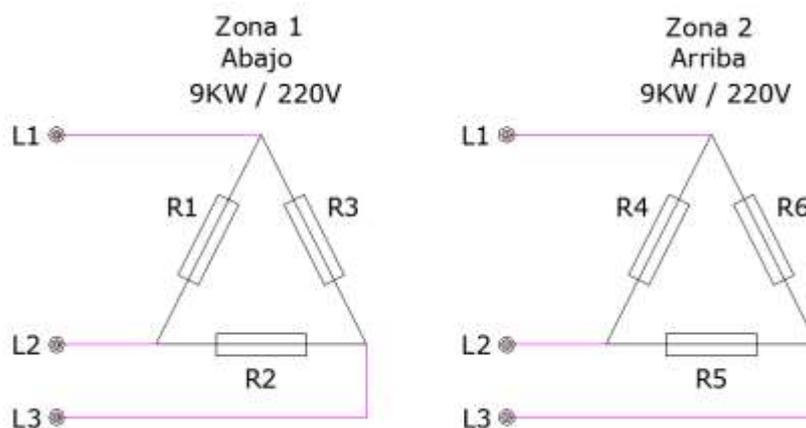


Figura 33. Distribución y conexión de las resistencias

Cabe mencionar que cada zona de trabajo será activado independientemente mediante el autómata programable. Ya que la señal de control activará un conmutador trifásico para abrir o cerrar el paso de corriente a cada zona de trabajo.

3.3. ALIMENTACIÓN PRINCIPAL

Para la alimentación al gabinete de control, la empresa puso a disposición el uso de un tablero de distribución secundario, ya que este tiene la capacidad necesaria para alimentar al nuevo proceso implementado. Además el tablero de distribución mencionado está en un lugar cercano al horno eléctrico por lo tanto se evitará sobre costos en la compra de cable y tubería de acometida.

La pérdida de tensión entre la fuente de la corriente eléctrica y el punto de carga reducirá. El tablero de distribución secundario es un sistema trifásico a 220 VAC que alimenta a dos circuitos:

- La alimentación al circuito de control de una línea de 110 VAC y neutro, lo cual comprende PLC, fuente de corriente continua, pulsadores, relé y luces piloto como elementos de señalización.
- Alimentación a los 3 circuitos de fuerzas trifásica a 220 VAC que son: circuito de potencia de resistencia, circuito de potencia de ventiladores y circuito de potencia de motorreductores.

Para poder analizar y determinar los dispositivos de protección necesarios primeramente se desarrolló el respectivo diagrama de fuerza y diagrama unifilar para lo cual se debe seleccionar y dimensionar los dispositivos de protección correspondientes.

3.3.1. DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOMETIDA PRINCIPAL

Es de gran relevancia mencionar que el dimensionamiento de cada dispositivo que interviene en los diseños de los circuitos de control y potencia se lo describe en la sección **(3.10. DIMENSIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS)**

A partir de tablero de distribución secundario, se utilizará el sistema trifásico para la alimentación del circuito de control y los de fuerza. Para lo cual se tuvo que implementar seccionadores por protección y seguridad de los operadores, de manera que se implementó:

- **Interruptor automático trifásico (BR1) mostrado en la figura 34.**

Es un elemento de protección de sobrecarga en la intensidad de corrientes, este dispositivo se dimensionará para el consumo de corriente total de todos los circuitos instalados. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

- **Interruptor seccionador 3F de mando giratorio (SM) mostrado en la figura 34.**

Es un seccionador principal manual, utilizado para cortar la circulación de corriente de todos los circuitos implementados en el gabinete para mantenimiento u otro proceso que requiera del apagado de todo el sistema.

- **Interruptor termo magnético trifásico fijo (D1) mostrado en la figura 34.**

Es un dispositivo que protege la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

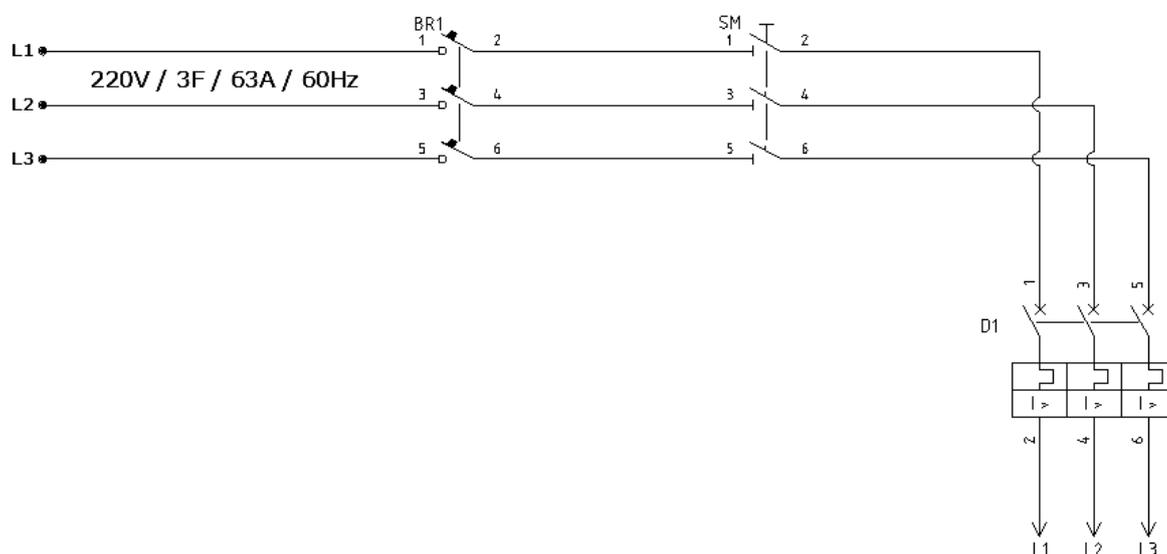


Figura 34. Circuito de acometida principal

3.3.2. DIAGRAMA UNIFILAR DE ACOMETIDA PRINCIPAL

El diagrama unifilar se desarrolló con el objetivo de poder apreciar el punto de partida de la distribución de energía hacia el sistema, las etapas de potencia que existe en el tablero de distribución secundaria, los seccionadores y dispositivos de protección de cada circuito de control y potencia, la misma que será la base para la identificación en el diseño y selección de los dispositivos y componentes que se utilizará para cada circuito. Los interruptores automáticos BR2, BR3, BR4, BR5 mostrados en la figura 35, utilizados para cada circuito son dimensionados acorde a la corriente total de cada circuito.

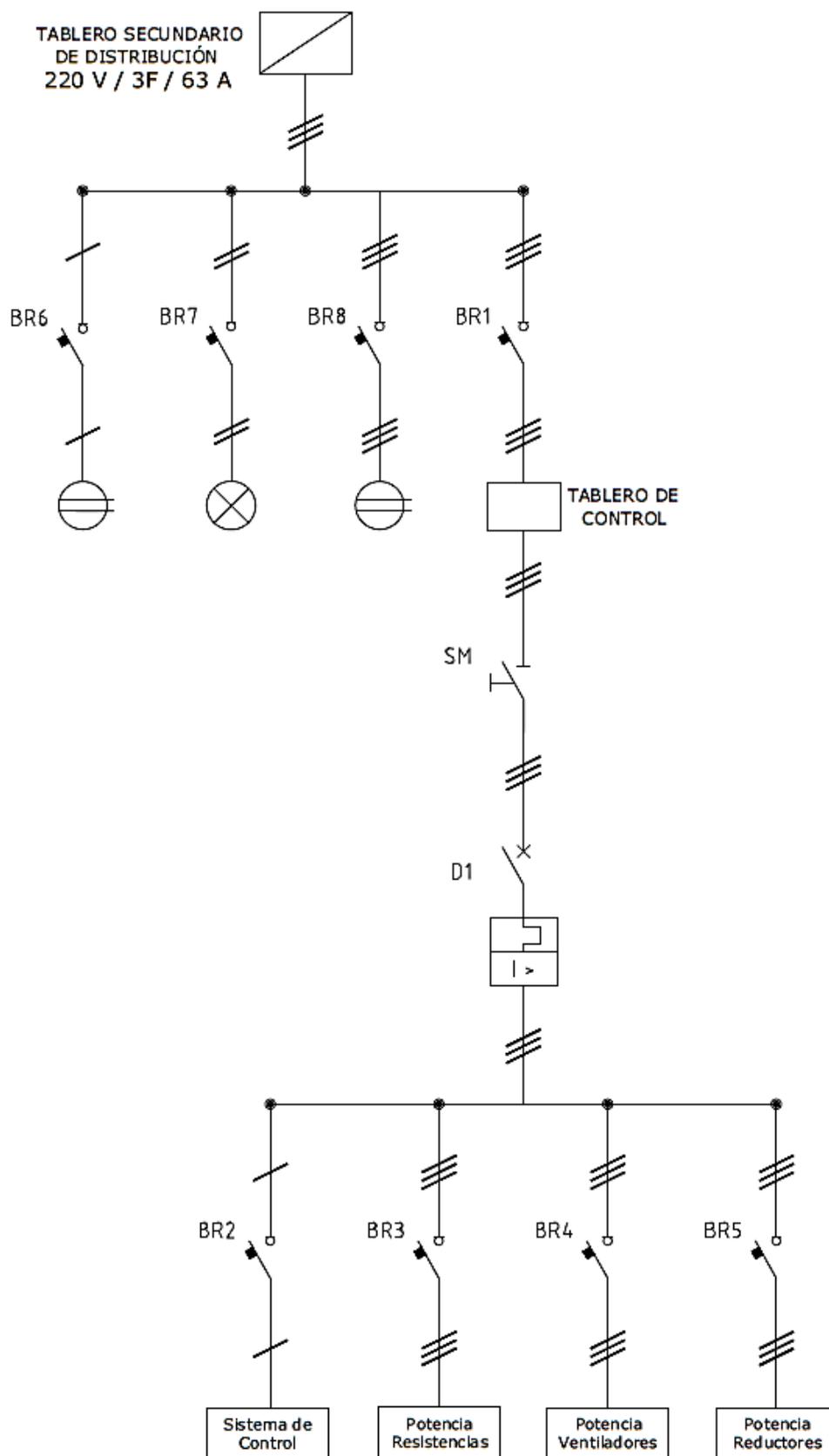


Figura 35. Diagrama unifilar de acometida principal

3.4. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control mostrado en la figura 36, fue diseñado a partir de los requerimientos de la empresa principalmente por el uso correcto de los elementos de mando y control.

A continuación se describe las funciones y elementos que debe tener el circuito de control para su óptima funcionalidad:

- El sistema debe contar de un interruptor automático monofásico (**BR2**), como seccionador del circuito de control, ya que en caso de que exista alguna anomalía, el operador tenga la posibilidad de abrir o cerrar el paso de corriente únicamente en dicho circuito.
- Cuando se haya energizado todo el sistema mediante el interruptor seccionador 3F de mando giratorio (**SM**), mostrado en la figura 34 del circuito de acometida principal, se deberá encender una luz piloto (**Hp**) como señal de energización en todo el sistema.
- Por requerimiento de la empresa el sistema debe tener un pulsador de paro de emergencia (**Pe**) implementado en el tablero de control para desactivar el sistema de control por completo en caso de algún problema o peligro.
- Para el encendido el sistema debe tener un pulsador (**Pm**), el cual mediante el enclavamiento del relé (**C1**), encenderá el PLC, la fuente de poder, una luz piloto de encendido (**Hm**) y alimentará a las luces piloto de las siguientes condiciones:
- Si los contactos auxiliares de los contactores de los 2 ventiladores (**KM1 Y KM2**) están activados se encenderá la luz piloto de ventiladores (**HV**).
- Si los contactos auxiliares de los contactores para giro anti horario de los motorreductores (**KM3 Y KM4**) están activados se encenderá la luz piloto de plataforma ingreso (**HCe**).

- Si los contactos auxiliares de los contactores para giro horario de los motorreductores (**KM5 Y KM6**) están activados se encenderá la luz piloto de plataforma salida (**HCS**).

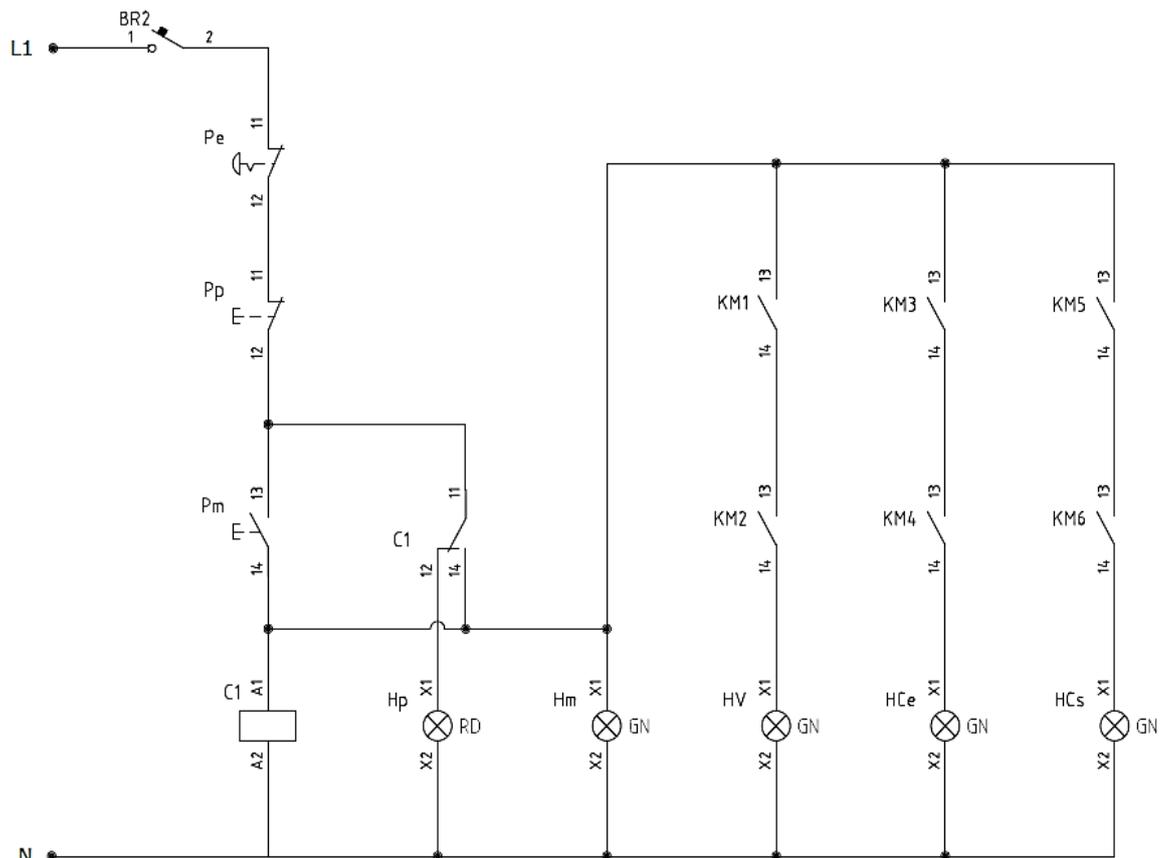


Figura 36. Circuito de control

3.4.1. CONSIDERACIONES PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA

El proceso térmico requiere de un accionamiento de forma automática que permita manipular 2 conmutadores, los cuales permitirán el paso de corriente a las 2 zonas de trabajo (resistencias) de acuerdo a las condiciones requeridas por el proceso. Por lo tanto, se debe hacer uso de la magnitud física temperatura medida mediante un sensor que se encuentra dentro del horno.

Se estudió los ciclos de curado recomendado por los fabricantes del barniz aislante como se observa en el (**ANEXO 4. BARNIZ BC346-DS-1**).

De manera que al utilizar períodos de tiempos de curado y no tiempos exactos, y llegar a obtener altas temperaturas para su proceso, es posible tener un margen de tolerancia.

Por lo tanto, se diseñó e implementó un sistema de control de lazo simple con un margen de tolerancia no mayor a los 3 °C.

El calentamiento de las resistencias en el horno será medido por un sensor y comparado con una señal interna del PLC (set point). Su respuesta es de tipo todo o nada, de forma que se conecta cuando la variable regulada ha descendido hasta un valor por debajo de la variable de consigna y solo se desconecta cuando dicha variable supera el límite superior de la variable de consigna como se observa en la figura 37.

Cabe mencionar que por el mismo problema de desgaste se utilizará relés de estado sólido trifásicos como actuadores de manera que el cambio de estado se lo realice de manera electrónica y con mayor rapidez, evitando así daños en los contactos en caso de utilizar contactores electromecánicos.

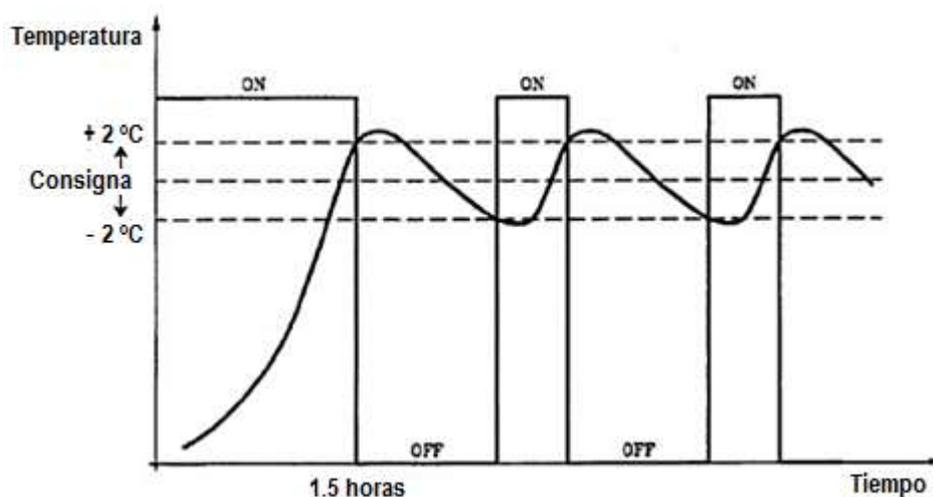


Figura 37. Curva característica del controlador

El controlador diseñado se lo muestra en la figura 38, de manera que la banda de histéresis permita que la salida del PLC no cambie de forma brusca, evitando un número excesivo de conmutaciones, lo cual evitrá el deterioro los contactos de las salidas de tipo relé del PLC.

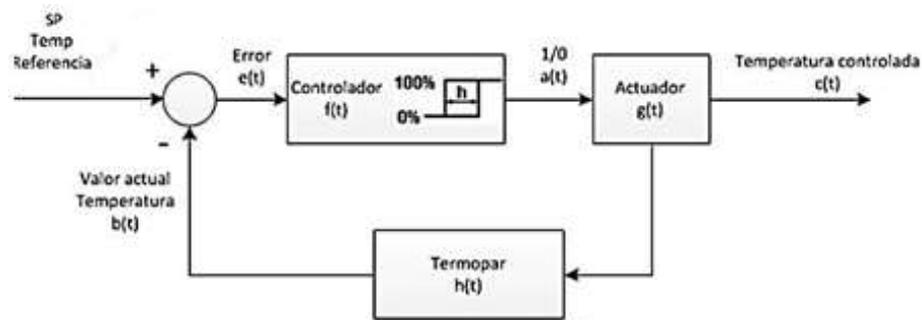


Figura 38. Diagrama de bloques del controlador

3.4.2. MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Seleccionar un sensor de temperatura puede ser muy sencillo y algunas veces difícil, pero siempre el objetivo es hacerlo bien. Esto es porque los sensores, especialmente para uso científico o para ingeniería pueden significar la diferencia entre mediciones repetibles (METAS, 2006)

Se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura para realizar las mediciones, por lo tanto el ingeniero debe decidir cuál de los sensores debe seleccionar para cada situación en particular.

A fin de seleccionar el mejor termómetro para cada aplicación de debe tomar en cuenta los siguientes factores.

- Temperatura máxima
- Rango de temperatura a medir
- Exactitud
- Velocidad de respuesta
- Costo
- Requerimiento de mantenimiento
- **Tipo de medición:** Normalmente las mediciones se puede por inmersión (líquidos y gases) y en superficies mediante mecanismos de acople.

El objetivo es medir con exactitud y con tolerancias aceptables.

La figura 39 muestra las ventajas y desventajas para la selección de los distintos sensores de temperatura.

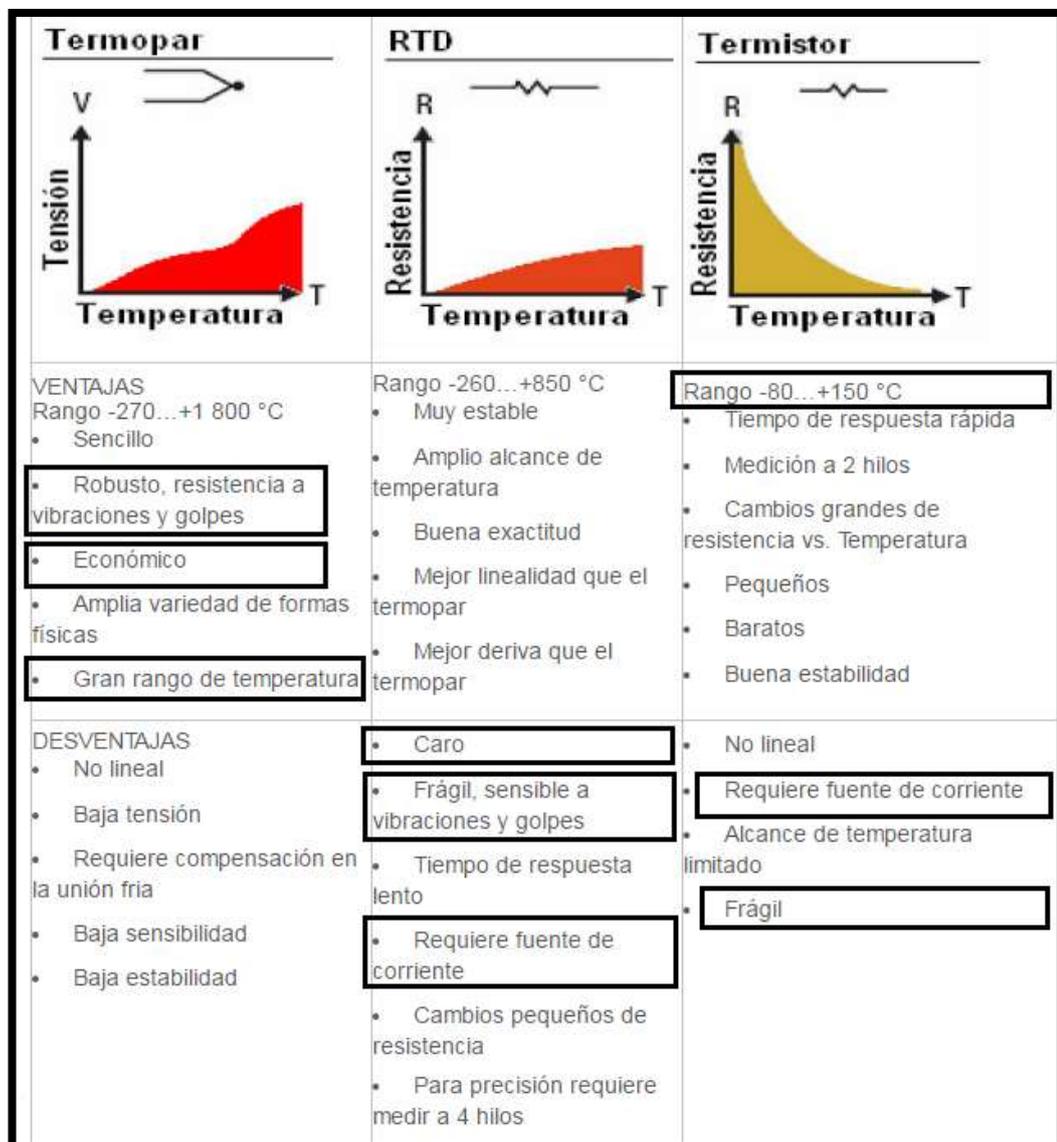


Figura 39. Ventajas y desventajas de termómetros

(METAS, 2006)

De acuerdo a las características de cada sensor mostradas en la figura 39, se toma en consideración las ventajas del termopar como son: robusto, económico y presenta un gran rango de temperatura, además de ser el más común utilizado industrialmente en comparación de un RTD y Termistor que son frágiles, requieren fuente de corriente.

Este sensor termopar presenta una gran ventaja al operar con PLC de marca Siemens como lo es el S7-1200 ya que se dispone de módulos de expansión de señal termopar para la adquisición de señales de tipo TC.

Para la medición de temperatura el sensor es colocado en un lugar estratégico al interior del horno, evitando realizar uniones no intencionales del termopar por la distancia hasta el gabinete de control, lo cual ocasionaría la generación de errores de medida, sobre todo, en caso de altas temperaturas de conexiones. Además, existiría **Interferencias electromagnéticas**, que son habituales en instalaciones industriales y afectan a las instalaciones de termopares, para evitarlas se recomienda utilizar cable trenzado y apantallado con mylar. (METAS, 2006)

3.4.2.1. TIPO DE TERMOTAR

El termopar que se ocupará para la medición de temperatura es de tipo K, ya que su aplicación es típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C además no existe problema por oxidación como lo tiene el termopar tipo J, ya que su cable de aleación es de hierro. La tabla 3 describe las características del termopar tipo K. (ARAGONÉS, 2003)

Tabla 3.

Datos técnicos de termocupla tipo K

Tc	Cable + Aleación	Cable – Aleación	Rango (°C)	Volt max (mV)	Ventaja
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8	Uso continuo en atmósferas oxidantes

Por lo tanto, tomando en cuenta el lugar específico de ubicación del sensor, se decidió adquirir el termopar mostrado en la figura 40, con las siguientes características:

- Termocupla NM-2180-K

- Bulto 15cm
- Rosca 1/8 NPT
- 1.5 m de cable

La instalación se lo realiza dentro de la perforación de un tubo cuadrado metálico de 5x5 cm, lo cual implica que el bulto sea mayor a 5 cm y que posea rosca para su ajuste y estabilidad.

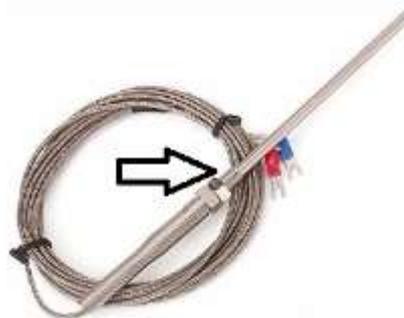


Figura 40. Termocupla tipo K

3.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Uno de los requerimientos de la empresa Siproelectrik S.A. es que sea un sistema de control basado en un controlador lógico programable. Este requerimiento se lo dispone ya que en la empresa existen otros procesos que pueden ser automatizados en el futuro, por ejemplo actualmente la empresa requiere de un teclé eléctrico, por lo tanto se puede implementar este algoritmo de control dentro de la programación de PLC.

Para la selección de autómata programable, primeramente, se deberá describir el funcionamiento del sistema y posteriormente se deberá elegir el autómata de acuerdo a las necesidades del sistema.

- **Descripción del funcionamiento del sistema**

Los arranques y paros del sistema se los realizan de forma manual mediante el uso de pulsadores, el uso de un pulsador de emergencia para desactivar el sistema por completo y el uso de un selector para elegir el número de zonas a trabajar, los cuales son manipulados por los operarios.

Estos dispositivos de control son alimentados y su salida debe ser en VAC o VDC, dependiendo del actuador que va a ser activado para cumplir una función en específico dentro del proceso.

Los dispositivos de entrada y salida que intervienen en el sistema son los siguientes:

- Motores de inducción de tipo jaula de ardilla.
- Elementos de mando y control.
- Contactores y Relés.
- Relés de estado sólido.
- Pantalla HMI.
- Módulos de expansión.
- Sensor de temperatura.
- Interruptor de posición.

El PLC que va a ser seleccionado debe cumplir con las siguientes características:

- 2 entradas discretas a 220 VAC o 110 VAC, los cuales llegan desde el circuito de control para la alimentación del PLC.
- 1 entrada discreta a 24 VDC, señal que llega desde el selector de N° de zonas operacionales.
- 1 entrada discreta a 24 VDC, señal que llega de un interruptor de posición para detectar si la puerta del horno se encuentra abierta o cerrada.
- 2 entradas discretas a 24 VDC, señales que llega de 2 interruptores de posición para detectar si la plataforma se encuentra fuera o dentro del horno.
- 4 entradas discretas a 24 VDC, señales que llegan de los contactos auxiliares de los guarda motores para detectar falla de los dispositivos de protección.

- 4 salidas discretas a 110 VAC, señales que van del PLC para activar una baliza, ventiladores, un circuito de cambio de giro para la plataforma utilizada como coche.
- 2 salidas discretas a 24 VDC, señales que van del PLC para activar 2 relés de estado sólido trifásicos, utilizado como actuadores de las 2 zonas de resistencias.
- Adicional a esto se debe utilizar un módulo termopar SM 1231 TC, para la adquisición de la señal de la termocupla, este se utiliza como circuito de acondicionamiento preciso y exacto, ya que en el lugar que se encuentra el horno existe diversas interferencias como ruido, vibraciones y polvo.

Por lo tanto las características necesarias que debe tener el PLC para cumplir todas las exigencias y requerimientos para el correcto funcionamiento del proceso se describe en la tabla 4.

Tabla 4.
Características requeridas del PLC

Parámetros	Detalle
Alimentación	110 VACAC - 220 VACAC
Comunicación	Ethernet
Entradas discretas 24 VDC	8
Salidas discretas 110 VAC	4
Salidas discretas 24 VDC	2
Temperatura ambiente	30°C

- **Selección del autómata programable**

De acuerdo a las características técnicas que el sistema automático requiere, tomando en cuenta la factibilidad de adquisición por parte de la empresa y la calidad de la marca, se decidió utilizar un PLC siemens S7-1200 como se muestra en la figura 41.



Figura 41. PLC S7-1200

(SIEMENS, SIMATIC S7-1200, 2009)

En la tabla 5, se describen las características técnicas del autómata programable seleccionado. (SIEMENS, SIMATIC S7-1200, 2009)

Tabla 5.

Datos técnicos de PLC seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Modelo	S7-1200
CPU	CPU 1212C - AC/DC/relay
Alimentación	85 - 264 VAC
Corriente de entrada	240 mA
Memoria de trabajo	25KB
Memoria de carga	1 MB
Resolución	14 bits
Entradas discretas	8 entradas discretas 24 VDC / 6mA
3 Salidas discretas tipo relé	5 – 250 VAC / 2A
2 Salidas discretas tipo relé	5 – 30 VDC / 2A
Entradas análogas	2 entradas análogas 40 mA / 10V
Módulo de comunicación	Ethernet
Temperatura máxima	60°C

3.5.1. MÓDULO DE SEÑAL TERMOPAR

Se debe utilizar un módulo de señal termopar, para la adquisición de la señal de la termocupla. Este módulo se utiliza para obtener mayor exactitud y precisión en los valores medidos. Uno de los problemas es que existe ciertas interferencias como: ruido, vibraciones y polvo en donde se encuentra ubicado el horno, lo cual dificulta que un circuito de acondicionamiento tenga la precisión necesaria.

El uso de este módulo también se enfatiza ya que la empresa cuenta con un horno a gas de menores dimensiones, el cual a futuro se modernizará, por ende se podrá utilizar el mismo autómatas y el mismo módulo de señal termopar, ya que este cuenta con 4 entradas.

En la figura 42 se muestra el módulo de expansión de señal termopar SM 1231 TC utilizada para la adquisición de la señal de la temperatura del horno.



Figura 42. Módulo de señal termopar SM 1231 TC

(SIEMENS, MODULOS DE SEÑALES DE TERMOPAR SM 1231, 2010)

En la tabla 6, se describen las características técnicas de módulo seleccionado. (SIEMENS, MODULOS DE SEÑALES DE TERMOPAR SM 1231, 2010)

Tabla 6.**Datos técnicos de módulo seleccionado**

Datos técnicos	Descripción
Modelo	SM 1231 AI4 x TC x16 bit
Alimentación	24 VDC
Corriente de entrada	40 mA
Número de entradas	4
Resolución	15 bits más signo
Temperatura máxima	40°C

3.5.2. FUENTE DE PODER

La fuente de poder es necesaria, ya que las entradas discretas del PLC son de 24 VDC. Así mismo el módulo de señal termopar SM 1231 y el panel táctil que se utiliza requieren de 24 VDC para ser alimentados. En las características que debe cumplir el autómata programable, se consideró que se necesita de 2 salidas discretas de 24 VDC, por lo tanto, es indispensable la fuente de poder de 24 VDC para alimentar a las salidas de tipo relé que se utilizarán para la activación de conmutadores de 24 VDC.

De manera que se decidió utilizar la Fuente Logo Power de 24 VDC de marca siemens como se muestra en la figura 43.

**Figura 43. Fuente Logo Power 24 VDC**

(SIEMENS, FUENTE DE ALIMENTACIÓN LOGO!Power, 2004)

En la tabla 7, se describen las características técnicas de la fuente de poder que se utilizará para la alimentación de los equipos de corriente continua. (SIEMENS, FUENTE DE ALIMENTACIÓN LOGO!Power, 2004)

Tabla 7.

Datos técnicos de Fuente Logo Power

Datos técnicos	Descripción
Alimentación	100 - 240VAC
Intensidad de entrada	0.66 - 2.22 A
Tensión de salida	24 VDC
Corriente de salida	2.5 A
Temperatura máxima	55°C

3.6. PANEL DE OPERADOR

Uno de los requerimientos de la empresa fue que para la visualización, monitoreo y control de mando del proceso se requiere de un panel de operador táctil, por lo tanto se debe considerar las siguientes características:

- Proveer máxima flexibilidad y fácil actualización del software.
- Puerto de comunicación vía Ethernet.
- Manejo del panel a través de teclado, pantalla táctil o mando por teclas táctil.
- Puerto USB para conexión de mouse y teclado.

Por lo tanto, se decidió utilizar un Basic Panel de la marca siemens SIMATIC HMI KTP400 BASIC mostrado en la figura 44, ya que es compatible con el PLC S7-1200, es uno de los paneles más básicos utilizados en la industria y utiliza el mismo software de programación, lo cual implica ahorro económico en la adquisición del software de programación.

**Figura 44. Simatic HMI KTP400 BASIC**

En la tabla 8, se describen las características técnicas del Basic Panel seleccionado. (SIEMENS, SIMATIC HMI KTP400 BASIC, 2014)

Tabla 8.

Datos técnicos de Basic panel seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Modelo	KTP400 BASIC
IP	6av2 123-2db03-0ax0
Alimentación	24 VDC
Intensidad de entrada	25mA
Memoria de usuario	10Mb
Resolución	Horizontal 480 pixeles Vertical 272 pixeles
Nº de colores	65536
Teclas táctiles	4
Tamaño	4 pulgadas

De acuerdo a la selección del PLC, módulos necesarios y el panel de operador se desarrolla el análisis de entradas y salidas del sistema así como el diagrama de conexiones tanto de entrada como salida de dichos dispositivos.

3.7. ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA

Las entradas y salidas del sistema están en función de los actuadores a controlar, por ende es necesario el uso de sensores como termocupla o interruptores de posición para conocer el estado del sistema.

3.7.1. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE MÓDULOS Y ENTRADAS

Es necesaria la alimentación de 110 VAC al PLC S7-1200 y a la fuente de poder VDC, el cual permite la alimentación de 25 VDC del módulo de expansión de señal termopar y del Basic panel. Estas conexiones se muestran en la figura 45. A continuación se describe las señales de entrada al PLC.

ENTRADAS:

- **AI.1:** Termocupla para la medición de temperatura en el interior del horno (TC1)
- **I0.0:** Selector de zonas de trabajo (SR).
- **I0.1:** Interruptor de posición (SP), para conocer el estado de la puerta del horno si está abierto o cerrado.
- **I0.2:** Interruptor de posición (SD), para detectar si la plataforma se encuentra dentro del horno.
- **I0.3:** Interruptor de posición (SF), para detectar si la plataforma se encuentra fuera del horno.
- **I0.4:** Contacto auxiliar del guarda motor del ventilador 1 (D4).
- **I0.5:** Contacto auxiliar del guarda motor del ventilador 2 (D5).
- **I0.6:** Contacto auxiliar del guarda motor del motorreductor 1 (D6).
- **I0.7:** Contacto auxiliar del guarda motor del motorreductor 2 (D7).
- **C1/14:** Este nodo es la salida del relé el cual alimenta a todos los dispositivos al momento de enclavarse. Verificar este nodo en el diagrama de la **figura 36**.

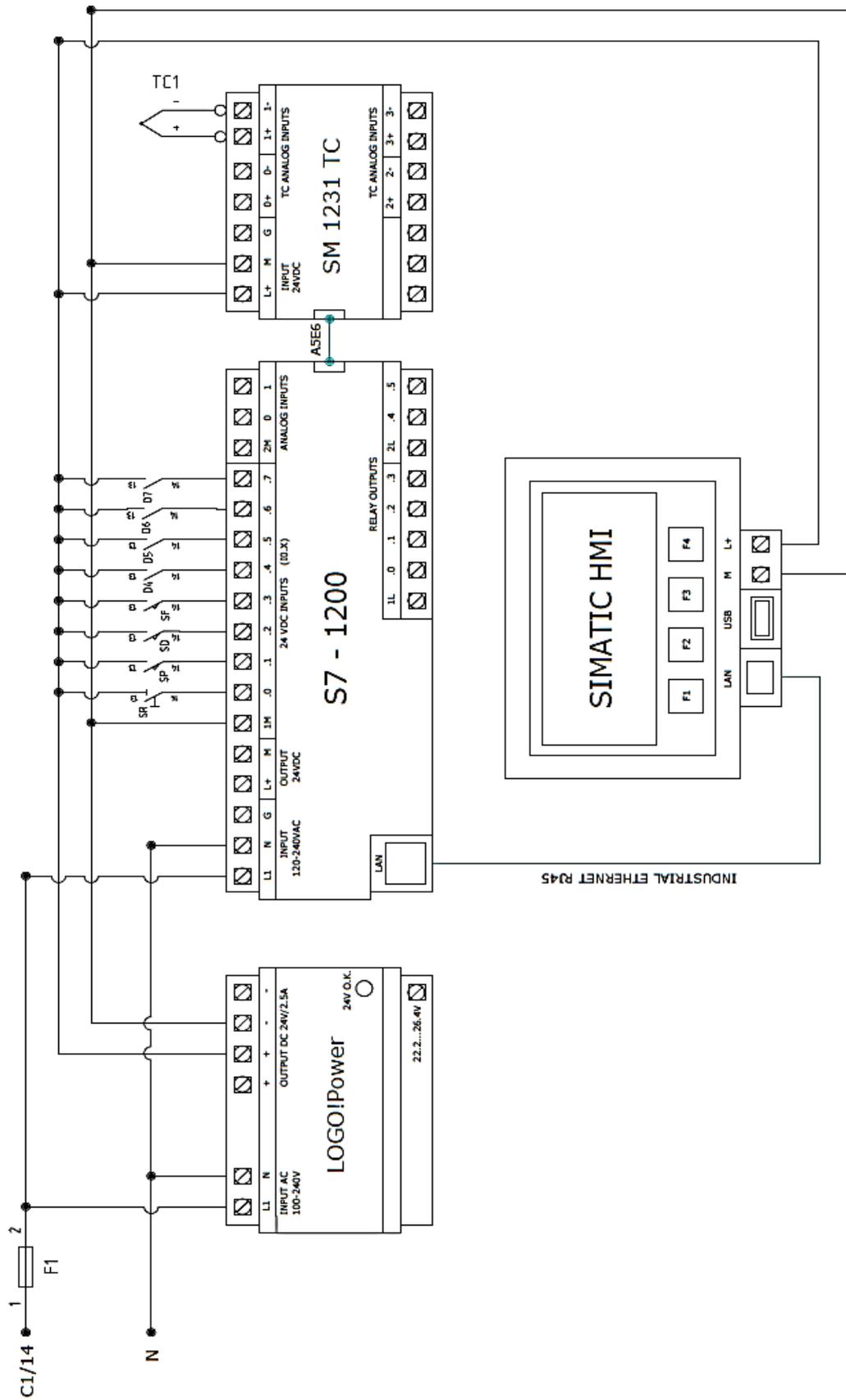


Figura 45. Conexión de módulos y entradas

3.7.2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE SALIDAS

Las salidas de tipo relé del PLC S7-1200 poseen 2 líneas de alimentación que a su vez divide las salidas en 4 para una línea y 2 para la otra. Por lo tanto, se utilizan 4 salidas a 110 VAC para la activación de las bobinas de los contactores y 2 salidas a 24 VDC para activar 2 relés de estado sólido trifásicos los cuales permiten el paso de corriente a las 2 zonas de trabajo.

SALIDAS A 110 VACAC:

- **Q0.0:** Señal que alimenta al ventilador interno (V1), el cual por motivos de seguridad presenta un interruptor (S1) en caso de mantenimiento. Esta señal también alimenta a una licuadora redonda tipo led (HP), la cual actúa como señal luminosa del proceso térmico activo.
- **Q0.1:** Señal de control que alimenta a las bobinas de los contactores (KM1 y KM2), los cuales permiten el paso de corriente a los 2 motores de los ventiladores.
- **Q0.2:** Señal de control que alimenta a las bobinas de los contactores (KM3 y KM4), los cuales permiten el paso de corriente a los 2 motores de los reductores con giro anti horario para el ingreso de la plataforma al horno.
- **Q0.3:** Señal de control que alimenta a las bobinas de los contactores (KM5 y KM6), los cuales permiten el paso de corriente a los 2 motores de los reductores con giro horario para la salida de la plataforma al horno.

SALIDAS A 24 VDC:

- **Q0.4:** Señal de control que activa el relé de estado sólido trifásico (SSR1), el cual permiten el paso de corriente hacia la zona de trabajo N° 1 (**R1, R2 y R3**) en conexión tipo delta y la luz piloto (HD1).
- **Q0.5:** Señal de control que activa el relé de estado sólido trifásico (SSR2), el cual permiten el paso de corriente hacia la zona de trabajo N° 2 (**R4, R5 y R6**) en conexión tipo delta y la luz piloto (HD2).

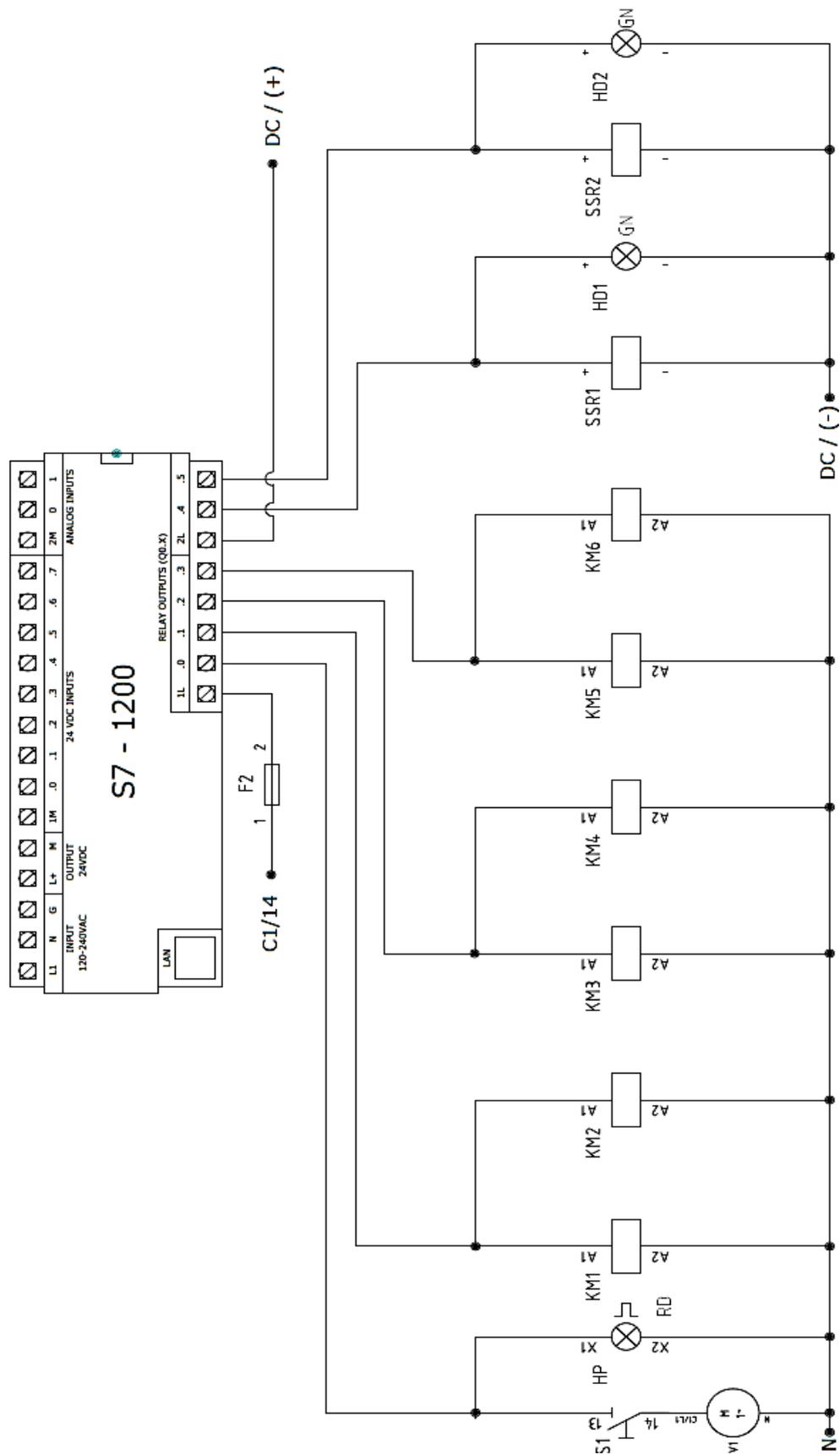


Figura 46. Conexión de salidas tipo relé

3.8. DISEÑOS DE CIRCUITOS DE POTENCIA

Para los diseños de circuitos de potencia se tomó en consideración las funciones y constitución de los arrancadores mencionados en el manual electrotécnico telesquemario. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

Los arrancadores reúnen los elementos necesarios para controlar y proteger los motores eléctricos. De la elección de éstos depende el rendimiento de toda la instalación: nivel de protección, funcionamiento con velocidad constante o variable, etc. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

El arrancador garantiza las siguientes funciones:

- **SECCIONAMIENTO**

Para manipular las instalaciones o las máquinas y sus respectivos equipos eléctricos con total seguridad, es necesario disponer de medios que permitan aislar eléctricamente los circuitos de potencia y de control de la red de alimentación general. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

- **PROTECCIÓN**

Todos los arrancadores deben incluir obligatoriamente:

- ✓ **Protección contra los cortocircuitos**, para detectar y cortar lo antes posible las corrientes anómalas superiores a $10 I_n$,
- ✓ **Protección contra las sobrecargas**, para detectar los aumentos de corriente hasta $10 I_n$ y cortar el arranque antes de que el recalentamiento del motor y de los conductores dañe los aislantes.

- **CONMUTACIÓN**

La conmutación consiste en establecer, cortar y, en el caso de la variación de velocidad, ajustar el valor de la corriente absorbida por un motor. Según las necesidades, esta función puede realizarse con aparatos:

- ✓ **Electromecánicos:** contactores, contactores disyuntores y disyuntores motores.
- ✓ **Electrónicos:** relés y contactores estáticos, arrancadores ralentizadores progresivos, variadores y reguladores de velocidad.

3.8.1. CIRCUITO DE POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS

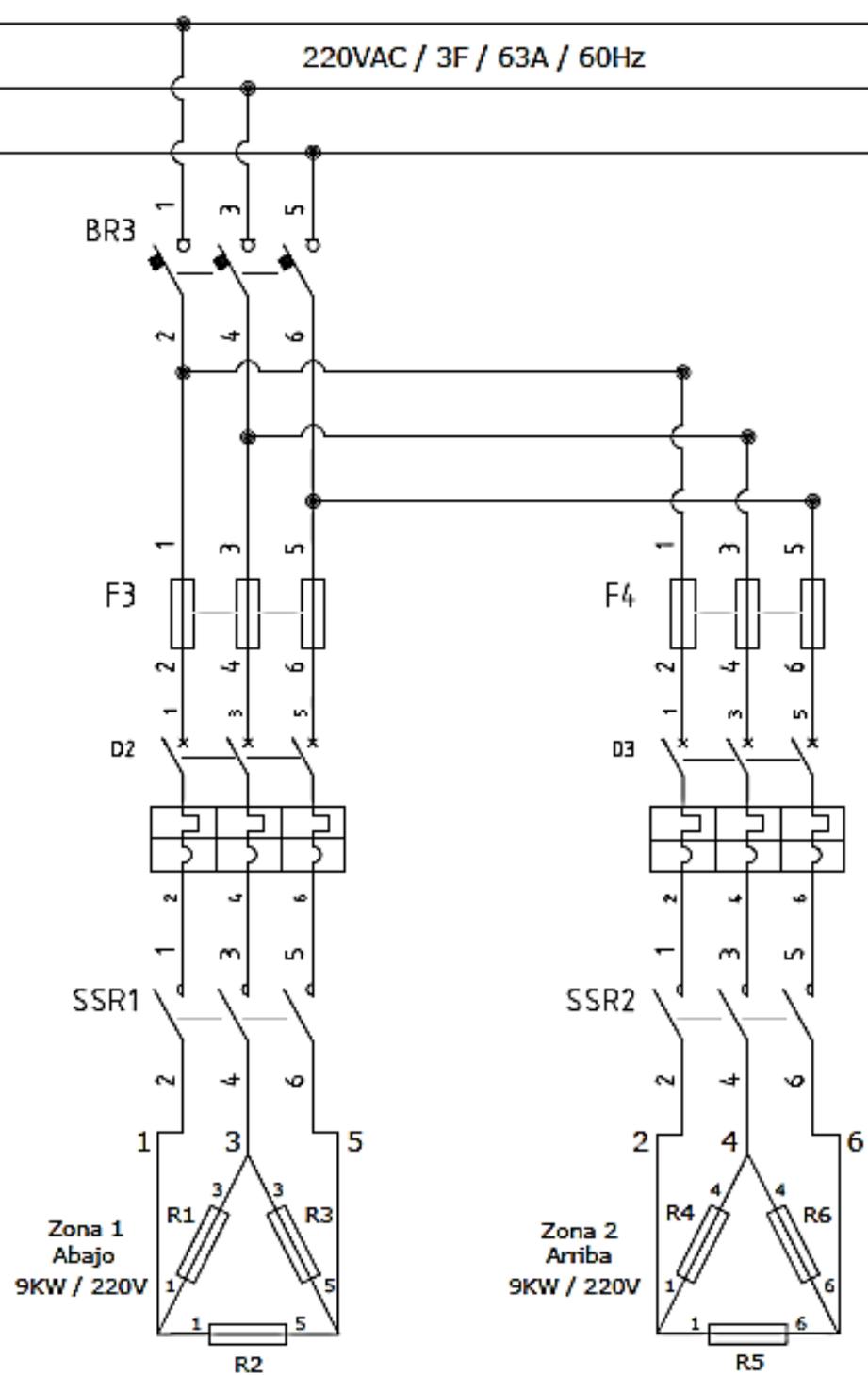


Figura 47. Circuito de potencia de las resistencias

3.8.2. CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS VENTILADORES

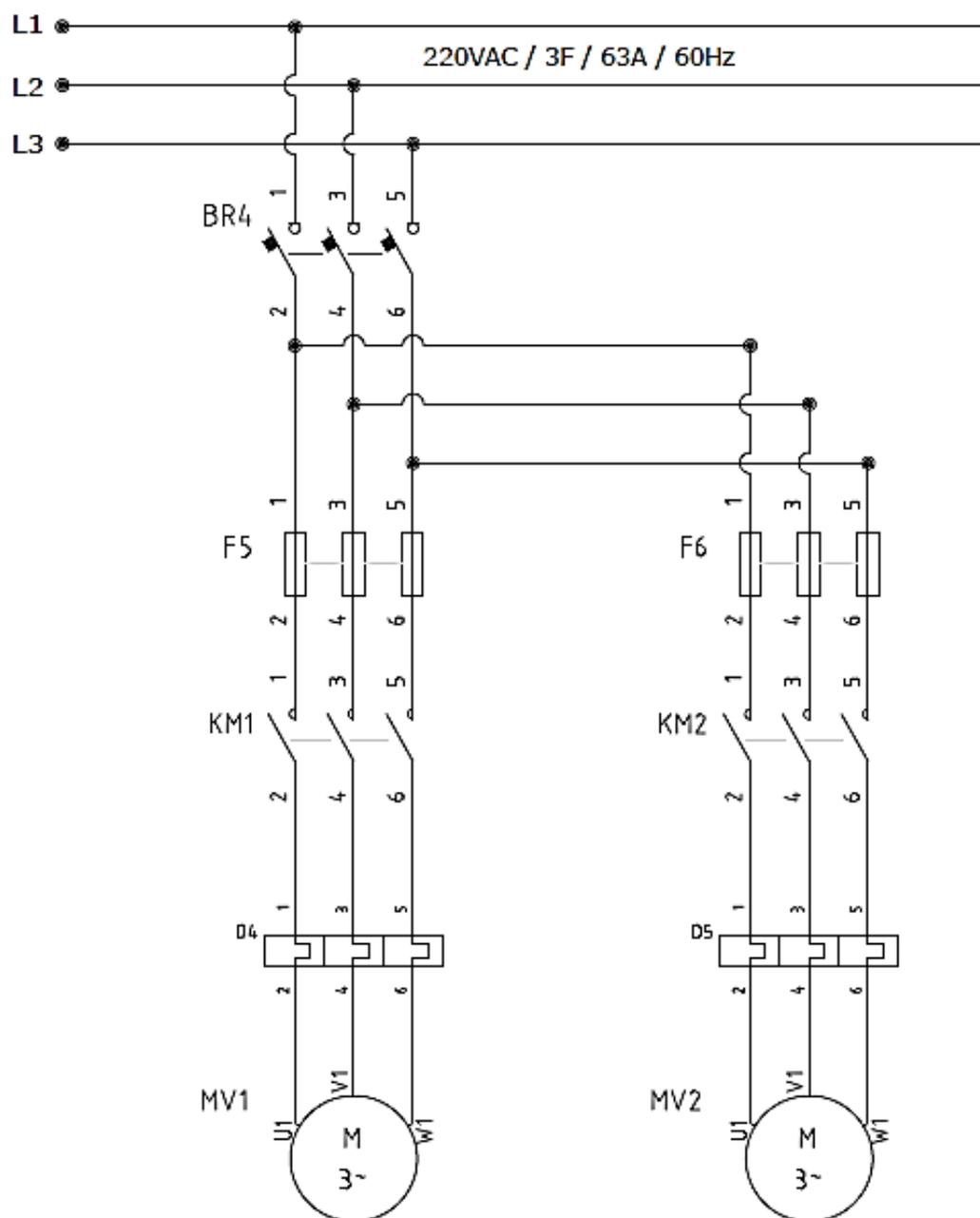


Figura 48. Circuito de potencia de los ventiladores

3.8.3. CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS MOTORREDUCTORES

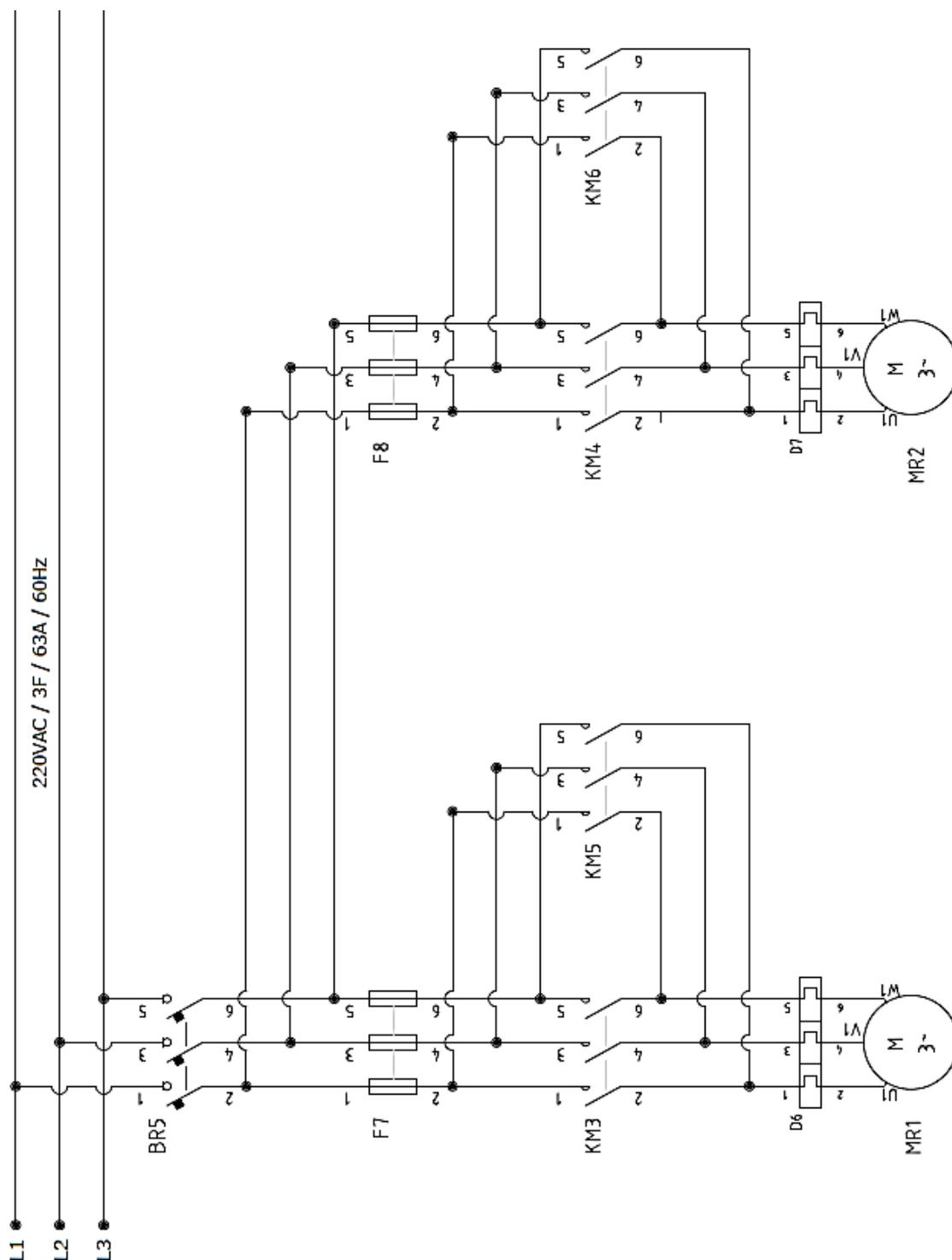


Figura 49. Circuito de potencia con cambio de giro para los motorreductores

3.9. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

Los dispositivos que intervienen en el sistema de control automático deberán ser dimensionados correctamente acorde a la aplicación y función en el sistema. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

DISPOSITIVOS DE CONTROL Y POTENCIA

- Pulsadores
- Sensores
- Selectores
- Indicadores luminosos
- Relé de control
- Controlador Lógico Programable con entradas y salidas discretas
- Módulo de expansión
- Fuente de poder
- Basic Panel KTP 400
- Contactores electromecánicos
- Relés de estado sólido trifásico

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

- Interruptores automáticos
- Interruptores termo magnéticos
- Fusibles
- Guarda motores

ACTUADORES

- Motores de inducción
- Resistencias

Mediante el diagrama mostrado en la figura 48, se puede verificar la arquitectura que presenta el sistema de control automático para el horno eléctrico desarrollado.

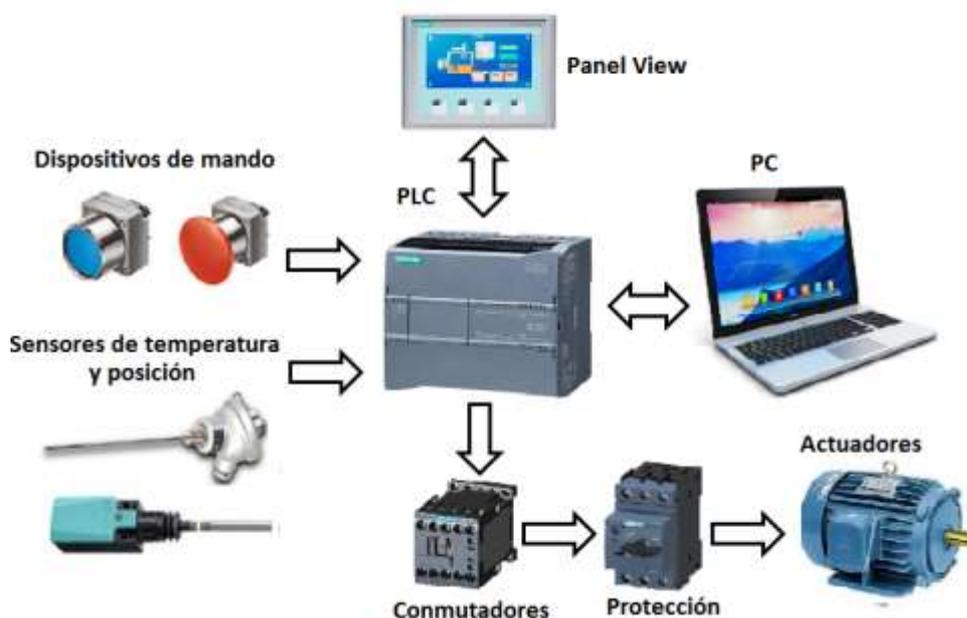


Figura 50. Arquitectura del sistema de control

3.10. DIMENSIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS

A continuación se detallan los componentes que intervienen en el sistema, su dimensionamiento y sus características principales. Cabe mencionar que por convenio laboral, la Empresa Siproelectrik S.A., cotizó y adquirió los dispositivos en la empresa INASEL, de manera que todos los dispositivos son de la marca Siemens. (INASEL, 2015)

3.10.1. CIRCUITO DE CONTROL

Las nomenclaturas de todos los dispositivos que intervienen en el circuito de control se muestran en la **figura 36. Circuito de control**.

Para el dimensionamiento del circuito de control se tomará en cuenta el consumo máximo de corriente que alimentarán a las luces piloto, fuente de alimentación de 24 VDC y al PLC. En el dimensionamiento de PLC y fuente de poder mostrados en las tablas 5 y 7 se observa el consumo de corriente, por lo tanto es necesario conocer el consumo de corriente de los elementos de señalización para dimensionar el resto de dispositivos.

3.10.1.1. ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN

- **LUCES LUMINOSAS**

Para la señalización luminosa en el tablero de control se ubicaron 7 luces piloto. En la tabla 9 se describe la función específica de cada luz piloto implementado en el tablero de control.

Tabla 9.

Datos técnicos de luces piloto

Color	Tensión	Corriente	Descripción	Serie
Verde (Hm)	110	20mA	Arranque del sistema	3SB3648 -
Verde (Hv)	VACAC		Ventiladores activados	6BA40
Verde (HCe)			Plataforma ingresando	
Verde (HCS)			Plataforma Saliendo	
Rojo (Hp)	110	20mA	Paro del sistema	3SB3648 -
	VACAC			6BA20
Verde (HD1)	24 VDC	20mA	Zona 1 activa	3SB3644 -
Verde (HD2)			Zona 2 activa	6BA40

Como se observa en la tabla 9, las 5 luces piloto han sido dimensionadas para trabajar a 110 VAC, mientras que 2 luces piloto a 24 VDC son señales luminosas de las salidas tipo relé del PLC alimentadas con 24 VDC que activan los relés de estado sólido trifásicos para abrir o cerrar el paso de corriente a las zonas de trabajo (resistencias). Este circuito se lo puede verificar en la figura 44 de salidas de tipo Relé.

- **LICUADORA GIRATORIA**

La licuadora giratoria tipo led (**HP**), es una señal luminosa de color rojo para identificar que el horno eléctrico se encuentra realizando un proceso térmico, este es activado mediante la salida tipo relé del PLC (**Q0.0**).

En la tabla 10, se describen las características técnicas de la licuadora giratoria seleccionada.

Tabla 10.

Datos técnicos de licuadora giratoria

Datos técnicos	Descripción
Marca	Camsco electric
Tensión	110 VAC
Normativa	ISO 9001 : 2000
Serie	LT3 - 5104

3.10.1.2. RELÉ AUXILIAR

El uso del relé de control (**C1**) como dispositivo de control es de gran importancia ya que en su posición inicial permitirá el paso de corriente a una luz piloto de paro (**Hp**), como señal luminosa de la energización del sistema. Mientras que al momento de presionar el pulsador de arranque el relé se enclavará y permitirá el paso de toda la corriente al resto de dispositivos de control, así mismo se encenderá una luz piloto de marcha (**Hm**). La corriente que debe circular por el contacto NA, debe alimentar al autómata programable (PLC), la fuente de poder de 24 VDC, las luces piloto y la alimentación a las salidas de tipo relé del PLC.

Para dimensionar el relé de control de manera correcta se tuvo que tomar en cuenta los valores de consumo de corriente de cada dispositivo que va a ser alimentado por el circuito de control, por lo tanto, se procede a calcular el consumo total de la corriente de todos los dispositivos como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11.

Consumo de corriente del circuito de control

Dispositivos	Corriente
PLC	240 mA
Fuente de poder	2.22 A
5 Luces piloto 110 VAC	100 mA
Salidas tipo relé del PLC	2 A
Consumo total	4.56 A

Como se observa en la tabla 11, el consumo máximo que va a tener el circuito de control es de **4.56 A**, lo cual implica, tomar en cuenta el criterio de seguridad de sobre dimensionamiento del **125 %** (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999).

$$I. Total Control = 4.56 A \times 1.25$$

Ecuación 3.1

$$I. Total Control = 5.7 A$$

Por lo tanto, La corriente de operación de los contactos del relé debe ser de **10 A**, con activación de la bobina a 110 VAC. En la tabla 12, se describe, las características técnicas del relé de control seleccionado.

Tabla 12.

Datos técnicos del relé seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Tensión	115 VAC
Corriente de operación	10 A
Contactos	3 COMN
Serie	LZX PT370615
Categoría de empleo	AC-15

Las categorías de empleo definidas según las normas internacionales IEC, resumen los principales campos de aplicación de los contactores y relés en corriente alterna y corriente continua, mostrados en el **(ANEXO 5. CATEGORIAS DE EMPLEO DE LOS CONTACTORES)**.

Así por ejemplo AC-15, su aplicación es para mando de cargas electromagnéticas de electroimanes

3.10.1.3. ELEMENTOS DE MANDO Y MANIOBRA

- **PARO DE EMERGENCIA**

El pulsador de paro de emergencia (**Pe**) de tipo hongo (pulsar-tirar), permite abrir el paso de corriente a todo el tablero de control, apagándolo por completo y permitiendo actuar directamente sobre el control en caso de emergencia.

Para accionar el paro de emergencia únicamente hay que pulsarlo, mientras que para reiniciar a su posición inicial hay que jalarlo, cabe mencionar que se verificará que el sistema vuelve a estar energizado mediante la activación de la luz piloto color rojo.

De acuerdo a la *ecuación 3.1*

$$I. Total Control = 5.7 A$$

La corriente de operación del pulsador de paro de emergencia debe ser de **10 A**. En la tabla 13, se describen las características técnicas del pulsador de parada de emergencia seleccionado.

Tabla 13.

Datos técnicos del pulsador de paro seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Tensión	400 VAC
Corriente de operación	10 A
Serie	3SB3203-1CA21
Protección	IP 67

- **PULSADORES**

Se utilizó un pulsador NA de color verde, como pulsador de marcha (**Pm**) del sistema y un pulsador NC de color rojo, como pulsador de paro (**Pp**) para apagar el sistema por completo.

Estos pulsadores permiten energizar todos los dispositivos de mando y control.

De acuerdo a la *ecuación 3.1*

$$I. Total Control = 5.7 A$$

La corriente de operación de los pulsadores deben ser de **10 A**. En la tabla 14, se describen las características técnicas de los pulsadores seleccionados.

Tabla 14.**Datos técnicos de pulsadores**

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Tensión	115 VAC
Corriente de operación	10 A
Pulsadores	Verde NA Rojo NC
Serie	3SB6130-0AB40-1BA0 3SB6130-0AB20-1CA0

- **SELECTOR DE 2 POSICIONES**

Uno de los requerimientos es, tener un selector de dos posiciones (**SP**) para seleccionar el N° de zonas operables. Es decir:

- N° Zonas = 1, equivale al accionamiento de 3 resistencias, en conexión tipo delta.
- N° Zonas = 2, equivale al accionamiento de 6 resistencias, en conexión tipo delta.

Por lo tanto los operadores podrán seleccionar físicamente el número de zonas y por ende guiarse por un rango de operación establecido (Temperatura máxima). La fuente de poder de 24 VDC proporcionará una señal al selector y este a su vez mediante la manipulación enviará una señal a una entrada del PLC. Este circuito se lo puede verificar en la figura 45 de conexión de módulos y entradas.

De acuerdo a la **tabla 5. Datos técnicos del PLC S7-1200**, las entradas discretas del son a **24 VDC / 6mA**, por lo tanto, por criterio de sobre dimensionamiento los contactos del Selector debe soportar **7.25 mA**. Se debe tomar en cuenta la categoría de empleo (**DC-13**).

En la tabla 15, se describen las características técnicas del selector de 2 posiciones seleccionado.

Tabla 15.

Datos técnicos del selector de 2 posiciones seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Tensión	5 - 400 VAC/VDC
Corriente de operación	10 A
Categoría de empleo	DC-13 / 24 VDC
Serie	3SB3202-2KA11

- **INTERRUPTOR DE POSICIÓN**

Se necesita de un sensor el cual pueda actuar como fin de carrera para conocer el estado de la puerta del horno, por lo tanto la opción más correcta, es la de utilizar un interruptor de posición con varilla flexible (**SP**) como se muestra en la figura 51, ya que al momento de cerrar la puerta bruscamente la varilla flexible no daña los contactos auxiliares del interruptor de posición, simplemente cambiarán de estado.

Para conocer la corriente de operación del interruptor de posición, se conoce, que el valor de la entrada discreta es de **24 VDC / 7.25 mA**.

La categoría de empleo utilizada para este dispositivo es **DC-13**. Se seleccionó el dispositivo con dicha categoría, el cual presenta una corriente de operación de **3 A**. Por lo tanto, no afecta sus contactos ya que su capacidad es mayor a la corriente que necesita la entrada discreta.



Figura 51. Interruptor de posición con varilla flexible

(INASEL, 2015)

En la tabla 16, se describen las características del interruptor de posición.

Tabla 16.
Datos técnicos de interruptor de posición seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Contactos	NO+NC
Tensión	Max 400 VAC Max 230 VDC
Corriente de operación	3 A
Categoría de empleo	DC-13
Serie	3SE5112-OCR01

3.10.1.4. FUSIBLES

Los porta fusibles utilizados en todos los circuitos desarrollados son los mismos y presentan las mismas características. Se debe tomar en cuenta que los fusibles son industriales, y las bases porta fusibles seleccionadas son para Riel DIN con corriente de operación para el máximo valor de corriente, que se lo obtiene en el circuito resistivo que es de **32 A**. La tabla 17 describe las características de las bases porta fusibles.

Tabla 17.
Datos técnicos de bases porta fusibles generales

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº de bases de 1 polo	20
Dimensión	10x38 mm
Tensión	500 VAC
Corriente máxima	32 A
Tipo de protección	IEC60269
Serie	RTD 18-32

El circuito de control consta de un interruptor automático para las sobre intensidades de corriente y de elementos de protección contra corto circuitos, principalmente para la protección en la alimentación del PLC y para evitar daños en los contactos de las salidas de tipo relé del PLC que son alimentados con el contacto NA del relé **(C1)**.

La tabla 5, describe que la corriente de entrada al PLC es de **240 mA** y los contactos de las salidas discretas poseen una corriente de operación de **2 A**, por lo tanto, para la protección se seleccionó 2 fusibles tipo cartucho (**F1** y **F2**) de **2 A**, con las características técnicas descritas en la tabla 18.

Tabla 18.

Datos técnicos de los fusibles seleccionados

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº de fusibles	2
Dimensión	10x38 mm
Tensión	500 VAC
Corriente	2 A
Serie	RT14-20

3.10.1.5. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO

El circuito de control debe tener un seccionador para poder abrir o cerrar el paso de corriente para cualquier tipo de operación o mantenimiento, por lo tanto se utilizó un interruptor automático monofásico (**BR2**).

De acuerdo a la *ecuación 3.1*

$$I. Total Control = 5.7 A$$

La corriente nominal del interruptor automático es de **10 A**. En la tabla 19, se describen las características del interruptor automático monofásico seleccionado.

Tabla 19.

Datos técnicos del interruptor automático seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº Polos	1
Tensión	400 VAC
Corriente nominal	10 A
Capacidad de ruptura	6 KA
Serie	5SL31107

3.10.2. CIRCUITO DE POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS

Para la selección y dimensionamiento correcto de los dispositivos que intervienen en el circuito de potencia de las resistencias, primeramente se debe realizar los cálculos de consumo de corriente y potencia mediante los datos descritos en la **tabla 1**.

3.10.2.1. CÁLCULO DE CONSUMO DE CORRIENTE

Suministro energético = 220V/ 3F /60Hz

En un sistema trifásico que alimenta a un sistema totalmente resistivo el Factor de Potencia es 1 donde:

$$\cos \varphi = 1$$

$$Potencia\ Zona1 = Potencia\ Zona2$$

$$Potencia\ Zona1 = P_{Resistencia} \times 3$$

$$Potencia\ Zona1 = 3000W \times 3$$

$$P.Zona1 = 9KW$$

$$P.Zona2 = 9KW$$

$$P.Total\ del\ horno = P.Zona1 + P.Zona2 \quad \textbf{Ecuación 3.2}$$

$$P.Total\ del\ horno = 18KW$$

$$Corriente\ Zona1 = \frac{P.Zona\ 1}{\sqrt{3} \times E \times \cos \varphi}$$

$$Corriente\ Zona1 = \frac{9000W}{\sqrt{3} \times 220V \times 1} \quad \textbf{Ecuación 3.3}$$

$$\textbf{Corriente Zona1 = 23.62 A}$$

$$\textbf{Corriente Zona2 = 23.62 A}$$

$$Corriente\ Total\ de\ resistencias = \frac{P.Total\ de\ resistencias}{\sqrt{3} \times E \times \cos \varphi}$$

$$I.Total\ de\ resistencias = \frac{18000W}{\sqrt{3} \times 220 \times 1} \quad \textbf{Ecuación 3.4}$$

$$\textbf{I.Total de resistencias = 47.23 A}$$

Como se puede observar en el resultado de la ecuación 3.2, el consumo de cada zona de trabajo es de **23.62 A**, mientras que el consumo total de corriente para el circuito resistivo es **47.23 A**. Por cada línea eléctrica. Mediante este valor se procederá a dimensionar los conmutadores, protecciones y seccionadores. (INASEL, 2015)

3.10.2.2. RELÉ DE ESTADO SÓLIDO TRIFÁSICO

Al ser una técnica de control ON-OFF con histéresis, para evitar daños mecánicos en los contactos principales de los contactores por el enclavamiento continuo, se optó por el uso de 2 relés de estado sólido trifásicos AC de conmutación en paso por cero (**SSR1 y SSR2**) para cada zona ya que se puede activar mediante las 2 señales de salidas de tipo relé alimentadas con 24 VDC además de tener una conmutación más rápida. Uno de los problemas es la disipación de calor para lo cual se utilizó platinas de aluminio.

De acuerdo a la *ecuación 3.3*

$$\text{Corriente Zona1} = 23.62 \text{ A}$$

La corriente de carga de los relés de estado sólido trifásicos es de **25 A** y su voltaje de activación es de **24 VDC**. En la tabla 20, se describen los relés de estado sólido trifásicos seleccionados.

Tabla 20.

Datos técnicos del relé de estado sólido seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Nº de dispositivos	2
Marca	Siemens
Rango de entrada	3 - 32 VDC
Corriente de carga	25A
Rango de operación	40 – 530 VAC
Frecuencia	47 – 63 Hz
Led indicador	Si
Serie	RS3A0P032DC440025Z

Para mantener una temperatura estable, la cual no afecte a los distintos dispositivos y elementos montados sobre la placa de montaje por la disipación de calor de los relés de estado sólido, se decidió utilizar un ventilador interno (**V1**), normalmente dichos ventiladores sacan el aire caliente, pero en el proyecto por requerimiento netamente de la empresa se ingresa aire forzado, el cual es activado mediante la salida de tipo relé del PLC Q0.0. Para verificar que no exista problemas con la temperatura máxima que soporta el PLC (**60 °C**), que se describe en la tabla 5, se midió la temperatura interna del tablero de control y se verificó que no excede dicho valor.

En la tabla 21, se describen las características técnicas del ventilador interno implementado en el tablero de control, el cual es utilizado para evitar el calentamiento de los dispositivos de control.

Tabla 21.

Datos técnicos del ventilador seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Leipold
Tensión	115 VAC
Corriente	0.28 A
Frecuencia	60 Hz
RPM	2800 rpm
Modelo	F2E-120S-115

3.10.2.3. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

- **FUSIBLES**

Los **fusibles de cartucho** comunes poseen cierta capacidad de limitación de la corriente ya que interrumpen el circuito casi instantáneamente antes de que el cortocircuito tenga la oportunidad de existir y fundir o unir los contactos de los disyuntores o relés de máxima. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

Para ello se utiliza 6 fusibles de cartucho (**F3 y F4**) para cada circuito resistivo, ya que la protección debe ser individual.

De acuerdo a la *ecuación 3.3*

$$\text{Corriente Zona1} = 23.62 \text{ A}$$

La corriente de corte de los fusibles es de **25 A**. En la tabla 22, se describen las características técnicas de los fusibles seleccionados.

Tabla 22.

Datos técnicos de los fusibles seleccionados

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº de fusibles	6
Dimensión	10x38 mm
Tensión	500 VAC
Corriente	25 A
Serie	RT14-20

- **INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS**

Para la protección contra las sobre cargas en el sistema resistivo se utiliza 2 interruptores termo magnéticos (**D2 y D3**) para cortar el paso de corriente antes de que el recalentamiento de los conductores dañe los aislantes.

De acuerdo a la *ecuación 3.3*

$$\text{Corriente Zona1} = 23.62 \text{ A}$$

Según la NORMA **IEC 60947-2** los Breakers 3VT1 poseen una intensidad asignada de 16...160 A. Los valores de corrientes que maneja el circuito resistivo están en dicho rango, es por esta razón que se utiliza los interruptores termo magnéticos de tipo 3VT1.

Por lo tanto la corriente regulable de los interruptores termo magnéticos seleccionados es de **20 - 25 A** de tipo 3VT1. En la tabla 23, se describen las características del interruptor termo magnético regulable seleccionado.

Tabla 23.**Datos técnicos del interruptor termo magnético seleccionado**

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº de interruptores	2
Tipo	3VT1
Tensión	415 VAC 3-P
Corriente Regulable	20 - 25 A
Capacidad de ruptura	25 KA
Tipo de protección	IP40
Serie	3VT1792-2DC36-0AA0

3.10.2.4. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO

Todos los circuitos de potencia deben tener un seccionador para poder abrir o cerrar el paso de corriente de sus tramos para cualquier tipo de operación o mantenimiento, por lo tanto se utilizó un interruptor automático trifásico (**BR3**), para controlar el flujo de corriente de las 2 zonas de trabajo.

De acuerdo a la *ecuación 3.4*

I. Total de resistencias = 47.23 A

La corriente nominal del interruptor automático trifásico es de **50 A**. En la tabla 24, se describen las características del interruptor automático trifásico seleccionado.

Tabla 24.**Datos técnicos de interruptor automático seleccionado**

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº Polos	3
Tensión	400 VAC
Corriente nominal	50 A
Capacidad de ruptura	6 KA
Serie	5SL33507

3.10.3. CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS VENTILADORES

Las características de los motores que fueron adquiridos para los ventiladores fueron dadas por el personal técnico de la empresa Siproelectrik S.A., ya que fue adquirido un solo motor para realizar las pruebas necesarias y la restante será adquirida posteriormente. Por criterio de seguridad se considera un sobredimensionamiento del **125%** de la potencia nominal de los motores (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999). El mismo criterio debe ser tomado para el dimensionamiento de equipos de protección.

Para la selección y dimensionamiento correcto de los dispositivos que intervienen en el circuito de potencia de los ventiladores, se debe tomar en cuenta los datos técnicos del motor y realizar el cálculo de consumo de corriente total para posteriormente dimensionarlos. En la tabla 25, se describen los datos técnicos de los motores de inducción:

Tabla 25.
Datos técnicos del motor del ventilador

Datos técnicos	Especificación
Nº de motores	2
Marca	LAFERT
Potencia	1HP
RPM	1200 rpm
Tensión	220 V
Corriente nominal	3 A
Factor de potencia	0.69
Frecuencia	60 Hz

3.10.3.1. CONTACTORES

Antes de proceder a la elección de los contactores, se menciona que la categoría de empleo es un conjunto de condiciones de utilización normalizadas como se describe en la tabla 26, que corresponden a una aplicación real, que determinan las condiciones en las que se efectúa el corte y que sirven para facilitar al usuario la selección de los contactores. (ELECTRIC)

Tabla 26.

Categorías de empleo de los contactores

Categoría de empleo	Aplicación
AC-1	Cargas no inductivas o débilmente inductivas, horno de resistencia
AC-2	Motores de anillos rozantes: Arranque y desconexión
AC-3	Motores de jaula de ardilla: Arranque, desconexión a motor lanzado
AC-4	Motores de jaula de ardilla: Arranque, inversión de marcha, marcha a impulsos.

Para el circuito de potencia se utilizó 2 contactores (**KM1 y KM2**), para activar los ventiladores, con bobina a 110 VAC de la red de alimentación.

Para el dimensionamiento de los contactores se considera:

- Tipo de accionamiento.
- Tensión nominal.
- Intensidad nominal del motor.
- Categoría de utilización establecida por la norma IEC
- Frecuencia
- Clase de servicio
- Tensión de bobina
- Contactos auxiliares

Por lo tanto la potencia y corriente de los contactores viene dado por:

$$P_{\text{Contactor}} = 1.25 \times P_{\text{Motor}}$$

$$P_{\text{Contactor}} = 1.25 \times 0,746 \text{ KW}$$

Ecuación 3.5

$$P_{\text{Contactor}} = 0.933 \text{ KW}$$

$$I_{\text{Contactor}} = 1.25 \times I_{\text{Motor}}$$

$$I_{\text{Contactor}} = 1.25 \times 3A$$

Ecuación 3.6

$$I_{\text{Contactor}} = 3.75 \text{ A}$$

Por lo tanto, de acuerdo a la aplicación de los contactores, que son utilizados para el arranque de motores tipo jaula de ardilla se utilizan como categoría de empleo **AC-3**, los cuales tiene una corriente nominal de **7 A**. En la tabla 27, se describen las características los contactores seleccionados.

Tabla 27.

Datos técnicos de los contactores seleccionados

Datos técnicos	Especificación
Número de contactores	2
Tipo de accionamiento	Electromagnético
Normativa	IEC 947-4
Categoría de empleo	AC-3
Tensión de bobina	110 VAC
Potencia de carga	3KW / 400V
Corriente	7 A
Frecuencia	50 / 60 Hz
Potencia del solenoide	24 VA
Tipo de disparo	Inmediato
Contactos auxiliares NO	1
Tipo de protección	IP20
Serie	3RT2015-1AF01

A continuación, se realiza el cálculo de la corriente de que consume el solenoide cuando es activado.

$$I_{\text{Solenoide}} = \frac{S}{E}$$

$$I_{\text{Solenoide}} = \frac{24 \text{ VA}}{110 \text{ V}}$$

Ecuación 3.7

$$I_{\text{Solenoide}} = 218 \text{ mA}$$

Mediante el cálculo del consumo de corriente máximo de un solenoide cuando se polariza, se puede asegurar que no existe ningún problema eléctrico si se activan 2 contactores simultáneamente con una sola salida del PLC como se muestra en la conexión de salidas tipo relé de la figura 46.

Ya que la corriente de activación de 2 solenoides sería de **436 mA**, mientras que los contactos del PLC soportan **2 A**.

3.10.3.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN

- **FUSIBLES (F5 y F6)**

Para la selección de los fusibles de cartucho se tomará en cuenta el criterio de seguridad del sobredimensionamiento del **125%** de la corriente nominal de los motores. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

$$I_{Fusible} = 1.25 \times 3A$$

Ecuación 3.8

$$I_{Fusible} = 3.75 A$$

La corriente de corte de los fusibles es de **4 A**. En la tabla 28 se describe las características técnicas de los fusibles seleccionados.

Tabla 28.

Datos técnicos de los fusibles seleccionados

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº de fusibles	6
Dimensión	10x38 mm
Tensión	500 VAC
Corriente	4 A
Serie	RT14-20

- **GUARDA MOTORES (D4 y D5)**

El guarda motor es un interruptor automático cuya característica de disparo es igual a un relé térmico, este puede incluir un disparado por falta de fase y un disparo magnético ajustado para proteger al térmico.

Para lo cual, se tomará en consideración la normativa **IEC 947-4-1-1** correspondiente a la protección contra sobre carga en el siguiente tipo de disparo:

- **Relés de clase 10**

Para la mayoría de motores de uso general con tiempos de aceleración de más de 4 segundos con altas cargas de inercia.

También se tomará en cuenta el criterio de seguridad del sobredimensionamiento del **125%** de la corriente nominal de los motores. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

$$I_{\text{Guarda motor}} = 1.25 \times 3A$$

$$\text{Ecuación 3.9}$$

$$I_{\text{Guarda motor}} = 3.75 A$$

El ajuste de corriente de corte de los guarda motores es de **3.5 - 5 A**. En la tabla 29, se describen las características técnicas de los guarda motores seleccionados.

Tabla 29.

Datos técnicos de guarda motores seleccionados

Datos técnicos	Especificación
Número de guarda motores	2
Clase	10
Ajuste de corriente	3.5 – 5 A
Tipo de disparo	Inmediato
Frecuencia	60 Hz
Tipo de disparo	Inmediato
Contactos auxiliares	NO y NC
Tipo de protección	IP20
Serie	3RV2011-1FA10

3.10.3.3. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO

Se utilizó un interruptor automático trifásico (**BR4**), para controlar el flujo de corriente hacia los 2 circuitos de potencia de los ventiladores, utilizados para la circulación del aire en el interior del horno.

Para el dimensionamiento se tuvo que verificar el consumo de corriente total de los 2 motores tomando en cuenta el criterio de seguridad del sobredimensionamiento del **125%** de la corriente nominal de los motores. (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999)

$$I_{\text{MotoresVentiladores}} = 2 \times 1.25 \times 3.75 \text{ A} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$I_{\text{MotoresVentiladores}} = 7.5 \text{ A}$$

La corriente nominal del interruptor automático trifásico es de **10 A**. En la tabla 30, se describen las características del interruptor automático trifásico seleccionado.

Tabla 30.

Datos técnicos del interruptor automático trifásico seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº Polos	3
Tensión	400 VAC
Corriente nominal	10 A
Capacidad de ruptura	6 KA
Serie	5SL33107

3.10.4. CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS MOTORREDUCTORES

Las características técnicas de los motores que fueron adquiridos para los reductores fueron dadas por el personal técnico de la empresa Siproelectrik S.A. como se describe en la tabla 31, ya que actualmente están cotizadas pero serán adquiridas posteriormente.

Cabe recalcar que esta etapa del control de giro de los motorreductores no constó en el perfil aprobado por el Consejo de Carrera de la Facultad Eléctrica Electrónica, por lo tanto, es un trabajo adicional que se lo realizó por pedido de la empresa.

Para el dimensionamiento de los dispositivos del circuito de potencia, se tomarán los mismos criterios técnicos que se tuvo con el dimensionamiento del circuito de potencia de los ventiladores.

Tabla 31.

Datos técnicos del motor del reductor

Datos técnicos	Especificación
Nº de motores	2
Marca	SEW EURODRIVE
Tipo	DFT80N4
Potencia	1HP
RPM	1700 rpm
Tensión	220 / 480 V
Corriente nominal	3.55 / 1.55 A
Factor de potencia	0.69
Frecuencia	60 Hz
Tipo de conexión	Y / Y

La empresa posee sistema trifásico 220 VAC, por lo tanto se utilizará los datos de tensión de **220 VAC** y corriente nominal de **3.55 A**.

3.10.4.1. CONTACTORES

Para el circuito de potencia de los ventiladores se utiliza 2 contactores (**KM3 y KM4**) para el arranque de los motores de los reductores con giro anti horario, y 2 contactores (**KM5 y KM6**) para el arranque de los motores de los reductores con giro horario.

A partir de la *ecuaciones 3.5 y 3.6* se tiene:

$$P_{\text{Contactor}} = 0.933 \text{ KW}$$

$$I_{\text{Contactor}} = 4.44 \text{ A}$$

Por lo tanto, la categoría de empleo es **AC-3**, con una corriente nominal de **7 A**. En la tabla 32, se describen las características los contactores seleccionados.

Tabla 32.**Datos técnicos de los contactores seleccionados**

Datos técnicos	Especificación
Número de contactores	4
Tipo de accionamiento	Electromagnético
Normativa	IEC 947-4
Categoría de empleo	AC-3
Tensión de bobina	110 VAC
Potencia de carga	3KW / 400V
Corriente	7 A
Frecuencia	50 / 60 Hz
Potencia del solenoide	24 VA
Tipo de disparo	Inmediato
Contactos auxiliares NO	1
Tipo de protección	IP20
Serie	3RT2015-1AF01

3.10.4.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN

- **FUSIBLES (F7 y F8)**

A partir de la *ecuación 3.8* se tiene:

$$I_{Fusible} = 4.44 A$$

La corriente de corte de los fusibles e cartucho es de **6 A**. En la tabla 33, se describen las características técnicas de los fusibles seleccionados.

Tabla 33.**Datos técnicos de los fusibles seleccionados**

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº de fusibles	6
Dimensión	10x38 mm
Tensión	500 VAC
Corriente	6 A
Serie	RT14-20

- **GUARDA MOTORES (D6 y D7)**

A partir de la *ecuación 3.7* se tiene:

$$I_{\text{Guarda motor}} = 4.44 \text{ A}$$

Es un relé de **clase 10** y el ajuste de corriente de corte de los guarda motores es de **3.5 - 5 A**. En la tabla 34, se describen las características técnicas de los guarda motores seleccionados.

Tabla 34.

Datos técnicos de guarda motores seleccionados

Datos técnicos	Especificación
Número de guarda motores	2
Clase	10
Ajuste de corriente	3.5 – 5
Tipo de disparo	Inmediato
Frecuencia	60 Hz
Tipo de disparo	Inmediato
Contactos auxiliares	NO y NC
Tipo de protección	IP20
Serie	3RV2011-1FA10

3.10.4.3. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO

Se utilizó un interruptor automático trifásico (**BR5**), para controlar el flujo de corriente hacia los 2 circuitos de potencia de los reductores con cambio de giro.

A partir de la *ecuación 3.10* se tiene:

$$I_{\text{MotoresReductores}} = 8.88 \text{ A}$$

La corriente nominal del interruptor automático trifásico es de **10 A**. En la tabla 35, se describen las características del interruptor automático trifásico seleccionado.

Tabla 35.**Datos técnicos de interruptor automático**

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Nº Polos	3
Tensión	400 VAC
Corriente nominal	10 A
Capacidad de ruptura	6 KA
Serie	5SL33107

3.10.5. CIRCUITO DE ACOMETIDA PRINCIPAL

Como protección principal del sistema se tiene un disyuntor, un seccionador trifásico principal de mando manual y un interruptor automático trifásico enchufable. Para el dimensionamiento de estos equipos, se debe considerar el consumo de corriente máximo aumentado el **25%** en cada circuito por sobre dimensionamiento (SCHNEIDER ELECTRIC, 1999), que tendrá el sistema acorde a las condiciones que se haya implementado.

Por lo tanto, el sistema estará activo únicamente si la puerta está cerrada, lo que significa que el máximo consumo está dado por las resistencias, el circuito de control y la activación de los ventiladores, ya que si la puerta está cerrada los motorreductores estarán desactivados. En la tabla 36, se muestra el cálculo de corriente máxima que utilizará todo el sistema de control implementado al momento de iniciar un proceso térmico.

Tabla 36.**Consumo de corriente máximo**

Circuito	Consumo
Control	5.7 A
Potencia resistencias	47.23 A
Potencia ventiladores	7.5 A
Total	60.43 A

3.10.5.1. INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO FIJO

El interruptor termo magnético fijo (**D1**) mostrado en la figura 52, es utilizado como protección principal del sistema y permite la distribución de energía a todos los circuitos implementados en el tablero de control.



Figura 52. Interruptor termo magnético fijo

Por lo tanto, es de tipo **3VT1**, con una corriente nominal de **63 A**. En la tabla 37, se describen las características técnicas del interruptor termo magnético fijo seleccionado.

Tabla 37.

Datos técnicos de interruptor termo magnético fijo seleccionado

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Tipo	3VT1
Tensión	415 VAC 3-P
Corriente nominal	63 A
Capacidad ruptura	25 KA
Tipo de protección	IP40
Serie	3VT1706-2DA36-0AA0

3.10.5.2. INTERRUPTOR TRIFÁSICO PRINCIPAL

El interruptor trifásico principal (**SM**) permite energizar a todo el tablero de control. Es un seccionador entre la energía del tablero de distribución secundario y el interruptor termo magnético fijo ubicado sobre la placa de montaje del gabinete modular.

La corriente nominal es de **63 A**. En la tabla 38, se describen las características técnicas del interruptor trifásico principal seleccionado.

Tabla 38.

Datos técnicos de Interruptor trifásico principal

Datos técnicos	Descripción
Marca	Siemens
Tensión	690 VAC
Corriente	63 A
Serie	3LD2504-OTK51

3.10.5.3. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO ENCHUFABLE

El interruptor automático enchufable (**BR1**), es el seccionador implementado en el tablero de distribución secundario mostrado en la figura 53, que permite el paso de corriente del suministro energético (medidor), a todo el sistema implementado.

En la tabla 39, se describen las características técnicas del interruptor automático enchufable seleccionado.



Figura 53. Interruptor automático enchufable

Tabla 39.**Datos técnicos de interruptor automático enchufable**

Datos técnicos	Descripción
Marca	Schneider electric
Nº Polos	3
Tensión	220 / 415 VAC
Corriente nominal	63 A
Capacidad de ruptura	6 KA

3.11. TABLERO DE CONTROL

Para el alojamiento de los dispositivos de control y potencia se necesita una estructura que brinde seguridad, protección y sea de fácil acceso. El gabinete también debe estar sobredimensionado de manera que si se implementa un nuevo proceso se pueda ubicar los nuevos dispositivos y elementos del nuevo proceso en la misma placa de montaje, evitando la adquisición innecesaria de otro gabinete modular.

Para las dimensiones y selección del gabinete se parte de normas características de separación de cada elemento que interviene en el sistema, por lo tanto para selección se partirá de la distribución de los dispositivos ubicados en la placa de montaje.

3.11.1. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS INTERNOS

Para la distribución correcta de todos los elementos y dispositivos que serán ubicados sobre la placa de montaje, se verificó las dimensiones de cada uno mediante el uso de su respectiva hoja técnica. Posteriormente se utilizó el programa AutoCAD para el trazado de cada elemento asemejando sus características físicas y sus mismas dimensiones, de manera que se ubicó cada elemento y dispositivo en un lugar en específico quedando el diagrama de distribución como se muestra en la figura 54. Cabe recalcar, que se verificó, que la temperatura que circula dentro del tablero de control (**35°C**) no presenta riesgo alguno al PLC (Temperatura máxima, **60°C**).

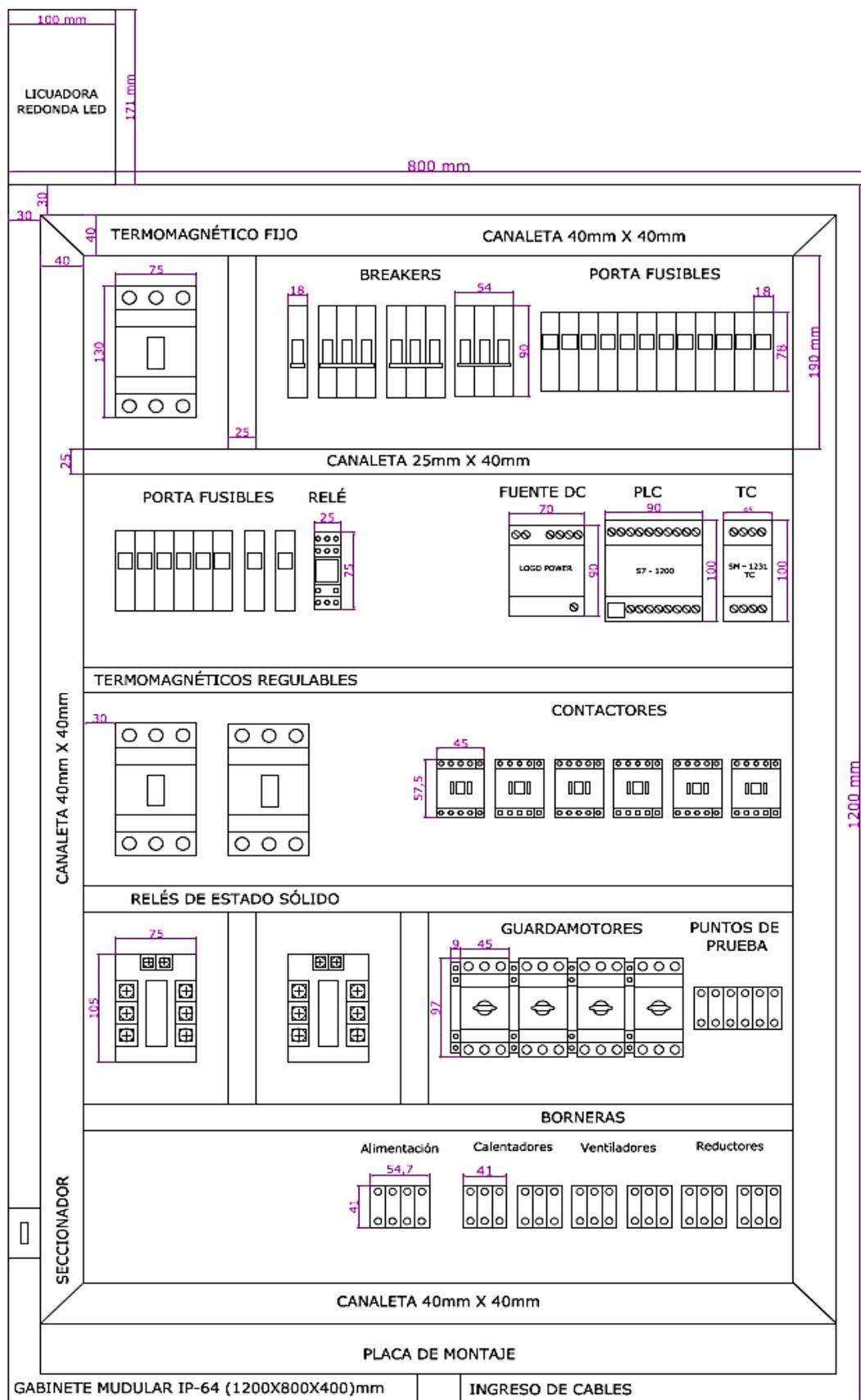


Figura 54. Diagrama de distribución de elementos internos (mm)

Una vez realizado la distribución de los elementos con la separación requerida, la seguridad que otorgue a todos los dispositivos, la protección y el fácil acceso por parte de los operarios, la tabla 40, describe las características técnicas el gabinete seleccionado.

Tabla 40.

Datos técnicos del gabinete modular

Datos técnicos	Descripción
Marca	Beaucoup
Tipo	Gabinete modular
Tipo de protección	IP-64
Tipo de servicio	Pesado
Montaje	Pared
Dimensiones	Largo: 1200 mm Ancho: 800 mm Profundidad: 400 mm

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Cuerpo mono bloque con puerta reversible.
- Placa de montaje para equipos con ranurado para montar RIEL DIN.
- Tapón para ingreso de cables.
- Conexión equipotencial.
- Empaquetadura de poliuretano para evitar filtraciones
- Cerradura de montaje rápido tipo universal con tapa cubre polvo.
- Bisagras reforzadas en acero galvanizado electrolítico.
- **Protección IP-64:** Protección completa contra contacto, protección contra penetración de polvo y protegido contra agua pulverizada (hasta 60° respecto de la vertical).

3.11.2. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS EXTERNOS

Una vez seleccionado el gabinete modular se finaliza con el diagrama de distribución de los elementos externos que son: elementos de mando, luces piloto, Basic Panel mostrado en la figura 55.

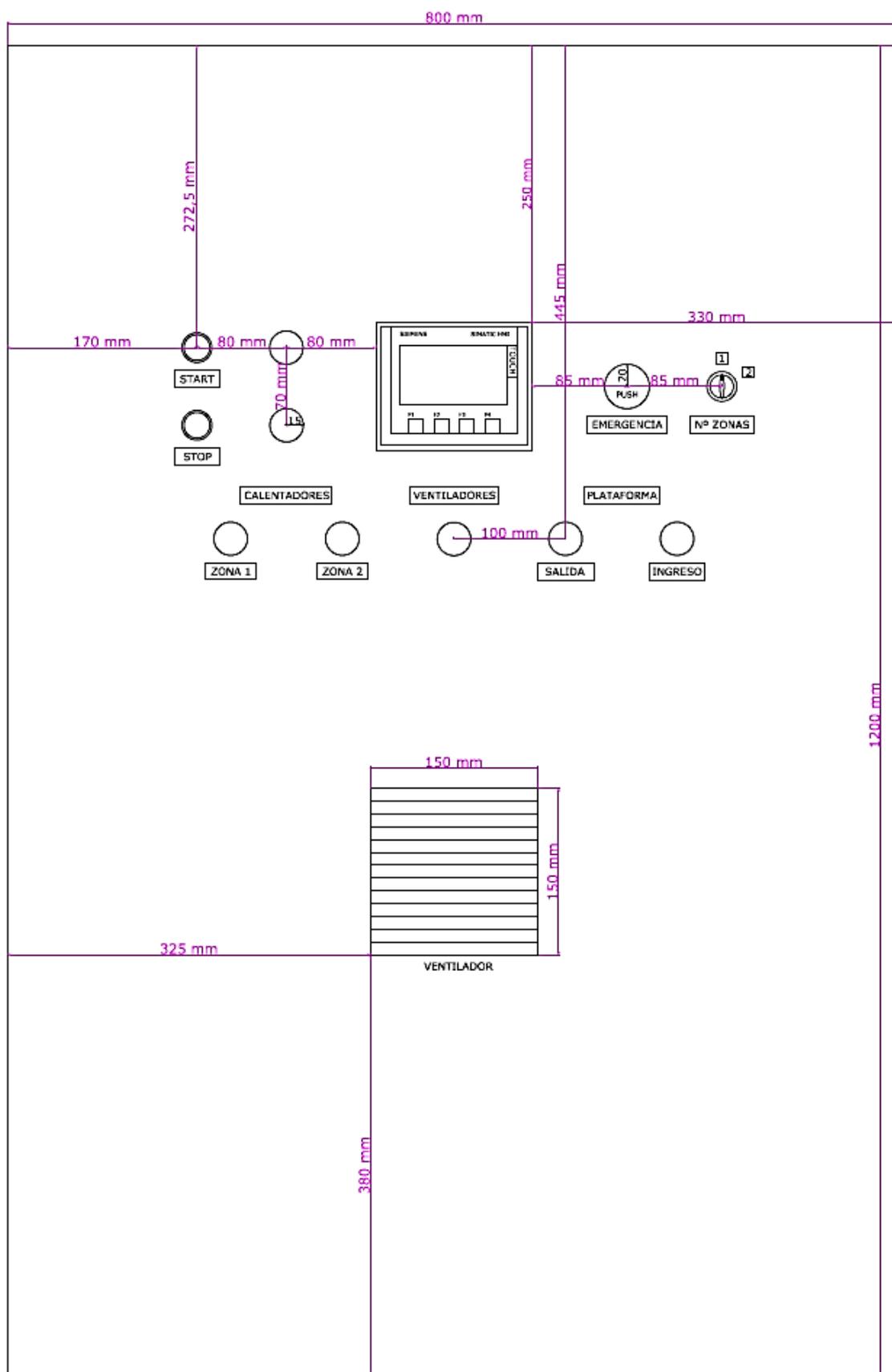


Figura 55. Diagrama de distribución de elementos externos (mm)

3.12. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES

3.12.1. DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES

Los conductores que se utilizan para las respectivas conexiones son de tipo **THHN FLEX** con asilamiento de **cloruro de polivinilo (PVC)**. Este asilamiento presenta alta retardancia a la llama, resistente a la abrasión, a hidrocarburos, aceites y agentes químicos. Apto para instalación en bandeja porta cables. El cable THHN-FLEX es un producto ecológico, ya que el compuesto de PVC usado como aislación es libre de plomo, lo que permite obtener un producto compatible con el medio ambiente y exento de riesgos para la salud de los usuarios e instaladores. (CABLEC, 2015)

NORMAS PARA CABLES AISLADOS EN XLPE-FR Y PVC

Norma vigente **NTE INEN 2 345:2004**, referente a la Norma Técnica Ecuatoriana de CONDUCTORES Y ALAMBRES AISLADOS. CON MATERIAL TERMOPLÁSTICO. (INEN, CONDUCTORES Y ALAMBRES AISLADOS CON MATERIAL TERMOPLÁSTICO, 2013)

- **SECCIÓN AISLAMIENTO**

Un alambre o cable deberá estar aislado en toda su longitud con material aislante PVC en una o 2 capas.

Norma **IEC 60227-5** “CABLES AISLADOS CON PVC DE TENSIONES HASTA 450/750 V. Parte 5: Cables flexibles (cordones)”. (SEGURIDAD, 2011)

- **ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Establece el procedimiento de Certificación de Seguridad para conductor eléctrico tipo cordón flexible; circular ó plano, construido con 2 ó 3 conductores de cobre recocido, desnudo o recubierto de una capa metálica con aislación de PVC para temperaturas de servicio de 90 °C

Para la conexión del circuito de control y circuitos independientes de fuerza se utilizará conductores de cobre tipo THHN FLEX 600V 90°. Estos cables fueron seleccionados ya que son de uso general en instalaciones domiciliarias y comerciales. Además son recomendados para las instalaciones de fuerza, control y alumbrado en lugares donde se requiere una mayor temperatura ambiente, resistencia mecánica y extra flexibilidad en la instalación. (CABLEC, 2015)

El uso de estos conductores presentan ciertas ventajas que se mencionan a continuación:

- Simplificación en el montaje.
- Reducción del daño físico del conductor durante la instalación.
- Menor tiempo de instalación y montaje.
- Ahorro sustancial en los costos del proceso de cableado y montaje.
- Proporciona menores radios de curvatura en tramos cortos.

En la figura 56, se describen las características técnicas del cable tipo THHN seleccionado. (CABLEC, 2015)

CALIBRE	C O N D U C T O R			ESPESOR DE AISLACION	DIAMETRO EXT. APROX.	R. ELECTRICA DC 20 °C	PESO TOTAL APROX.	CAPACIDAD DE CORRIENTE T. ambiente 30 °C	
	SECCION NOMINAL	# HILOS	DIAMETRO APROX.					*	**
AWG	mm ²		mm	mm	mm	kg/km	kg/km	*	**
14	2,08	22	1,9	0,38	3,0	8,61	26	25	35
12	3,31	41	2,4	0,39	3,5	5,43	38	30	40
10	5,26	26	2,7	0,51	4,0	3,41	61	40	55
8	8,37	41	3,3	0,76	5,3	2,14	99	55	80
6	13,3	63	4,2	0,76	6,2	1,38	147	75	105
4	21,1	100	5,2	1,02	7,8	0,865	236	95	140
2	33,6	126	7,7	1,02	10,4	0,544	372	130	190
1	42,4	158	8,6	1,27	11,9	0,431	474	150	220
1/0	53,5	200	9,9	1,27	13,2	0,345	586	170	260
2/0	67,4	250	10,6	1,27	14,2	0,273	701	195	300
3/0	85,0	312	12,4	1,27	15,8	0,217	892	225	350
4/0	107	393	14,0	1,27	17,4	0,172	1,119	260	405
250	127	495	14,9	1,52	18,9	0,174	1,295	290	455
300	152	586	16,4	1,52	20,5	0,122	1,565	320	505
350	177	820	17,3	1,52	21,4	0,105	1,889	350	570
400	203	1171	19,1	1,52	23,2	0,0920	2,031	380	615
500	253	-	20,6	1,52	24,8	0,0735	2,671	430	700

Figura 56. Características de cables tipo THHN Flex 600V 90°

Acorde a la figura 56 se puede realizar la selección correcta del conductor de acuerdo al consumo de corriente, analizando la cantidad de conductores que estarán dentro del mismo ducto, la temperatura y tomando en cuenta el criterio de seguridad del sobredimensionamiento del 125% de la corriente nominal que circulará por los siguientes circuitos. En la tabla 41, se muestra la elección de los calibres de los conductores seleccionados.

Tabla 41.
Selección de calibres de los conductores

Circuito	Corriente	Calibre (AWG)
Sistemas de Control	4.56 A	14
Conexión I/O PLC	2 A	16
Potencia Total Resistencias	47.23 A	8
ZONA 1	23.62 A	10
ZONA 2	23.62 A	10
Potencia Total Ventiladores	7.5 A	12
MOTOR MV1	3.75 A	14
MOTOR MV2	3.75 A	14
Potencia Total Reductores	8.88 A	12
MOTOR MR1	4.44 A	14
MOTOR MR2	4.44 A	14

Para la distribución de energía principal se utilizará conductores de cobre tipo XL-PE/PVC 1000V 90°. Este cable fue seleccionado ya que su principal aplicación es para la distribución y fuerza, instalaciones aéreas, tuberías o directamente enterradas, en lugares secos o húmedos donde la temperatura del conductor no exceda de 90° C. Además de tener doble chaqueta lo cual aumenta su capacidad de aislamiento, evitando posibles cortos circuitos con los demás conductores. La longitud del cable es de 7m, por lo tanto, no existe problemas por las caídas de tensión, ya que la pérdida es menor del 2%. La figura 57, describe las características de los conductores.

CAPACIDAD MÁXIMA DE CORRIENTE (A) SUPERFLEX COLORS					
CODIGO PHILIPS DODGE	CALIBRE AWG-NCML	AIRE LIBRE (TEMP 30°C)		DUCTO ENTERRADO (TEMP 30°C)	
		SEPARADO	TRIPLEXADO	SEPARADO	TRIPLEXADO
EX01	14	38	30	39	33
EX02	12	50	40	51	43
EX03	10	66	52	65	54
EX04	8	86	70	84	69
EX05	6	114	91	107	88
EX06	4	154	123	138	114
EX07	3	181	145	157	131
EX08	2	206	165	176	148
EX09	1	238	190	201	166

Figura 57. Características del conductor XL-PE/PVC 1000V 90°

Acorde a la tabla mostrada se puede realizar la selección correcta del conductor tomando en cuenta el consumo de corriente y que estos conductores irán dentro de un ducto, por lo tanto se tomará en cuenta la selección en las peores condiciones. En la tabla 42, se muestra la elección de los calibres del conductor seleccionado.

Tabla 42.

Selección del calibre del conductor de acometida principal

Circuito	Corriente	Longitud	Calibre (AWG)
Distribución principal	59.3 A	7 m	8

3.12.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA

La tubería a emplearse como ducto desde los actuadores (motores, resistencias) hacia el tablero de control son:

- Tubería anillada metálica.
- Tubería conduit metálica.

Para la selección del calibre de la tubería se utilizará los datos de la figura 58, el cual muestra el número máximo de conductores en tubería conduit.

NUMERO MAXIMO DE CONDUCTORES EN TUBERIA CONDUIT												
TIPOS RF-2, RFH-2, R, RH, RW, RH-RW, RHH, RU, RUH, RUW, SF y SFF TIPOS TF, T, TW y THW												
Tamaño	Número máximo de conductores en tubería conduit.											
AWG	½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	3 ½	4	5	6
MCM	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.
18	7	12	20	35	49	80	115	176				
16	6	10	17	30	41	68	98	150				
14	4	6	10	18	25	41	58	90	121	155		
12	3	5	8	15	24	34	50	76	101	132	208	
10	1	4	7	13	17	29	41	64	86	110	173	
8	1	3	4	7	10	17	25	39	52	67	105	152
6	1	1	3	4	6	10	15	23	32	41	64	93
4	1	1	1	3*	5	8	12	18	24	31	49	72
3		1	1	3	4	7	10	16	21	28	44	63
2		1	1	3	3	6	9	14	19	24	38	55
1		1	1	1	3	4	7	10	14	18	29	42

Figura 58. Número máximo de conductores en tubería conduit

- **TUBERÍA ANILLADA METÁLICA**

Al realizar las 2 conexión tipo delta para el circuito de potencia de las resistencias se realizó puntos de prueba en la parte externa del horno mediante cajetines, por lo tanto se utilizó tubería anillada metálica como ducto hacia el tablero de control, ya que posee mayor flexibilidad y facilidad en su acople a la estructura del horno. Este tipo de tubería también se utilizó como ducto desde el tablero de distribución secundario hacia el tablero de control. Los cables se agrupan de la manera descrita en la tabla 43.

Tabla 43.

Tuberías anilladas metálicas seleccionadas

Grupo	Conductor	Nº Conductor	Diámetro de tubería (pul)	Longitud de tubería (m)
Distribución principal	AWG # 8	4	1 1/4	4
Resistencias	AWG # 10	8	1 1/4	12

- **TUBERÍA CONDUIT METÁLICA**

La tubería conduit metálica es utilizada para conducir la señal del interruptor de posición con varilla flexible, que se encuentra en la parte frontal superior del horno para detectar el estado de la puerta hacia el tablero de control, además en un tramo de la tubería ingresa el cable de la termocupla tipo K. La tabla 44, describe la tubería seleccionada.

Tabla 44.

Tubería conduit metálica seleccionada

Grupo	Conductor	Nº Conductor	Diámetro de tubería (pul)	Longitud de tubería (m)
Interruptor de posición	AWG # 16	2	1/2	3.75

Para este tramo se utilizó 3 codos de 1/2 con sus respectivos sujetadores.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control para el sistema de control automático del horno eléctrico tiene como elemento principal al autómatas programable Siemens S7-1200 y como interfaz humano – máquina el Basic Panel KTP 400, los cuales se encuentran localizados sobre la placa de montaje y en el tablero de control respectivamente. El controlador es el encargado de manejar la operación del sistema bajo condiciones que son establecidas para el correcto funcionamiento del sistema.

4.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN

El sistema de control automático del horno eléctrico debe constar de los siguientes modos de operación:

- Modo Manual.
- Modo automático.
- Estado del sistema.

Cada modo de operación deberá tener su pantalla de monitoreo en donde se visualice las variables del proceso en tiempo real.

4.1.1. MODO MANUAL

Las operaciones que se pueden realizar en el modo manual permiten el accionamiento independiente de todos los conmutadores (Relés de estado sólido, contactores electromecánicos). Este accionamiento se lo realiza mediante la manipulación del Basic Panel KTP400 que será ubicado en la parte frontal del tablero de control junto a los respectivos elementos de mando y señalización.

Este modo de operación será de gran utilidad para probar el funcionamiento independiente de cada actuador, de la misma forma será necesario para labores de mantenimiento en donde se necesite de la activación de elementos específicos.

Por seguridad del personal se deberá tomaren cuenta ciertas condiciones de habilitación de los actuadores que se describen en la tabla 45.

Tabla 45.

Condiciones para activar los actuadores independientemente

Condición	Estado		
	Calentadores	Ventiladores	Plataforma
Puerta abierta	Inactivo	Activo	Sin C
Puerta cerrada	Activo	Activo	Sin C
Puerta abierta +Plataforma fuera	Inactivo	Activo	Activo Ingreso
Puerta abierta +Plataforma Dentro	Inactivo	Activo	Activo Salida
Puerta cerrada +Plataforma Dentro	Activo	Activo	Inactivo

4.1.2. MODO AUTOMÁTICO

Las operaciones que se pueden realizar en el modo automático permite realizar el proceso de mantenimiento o curado de barniz aislante mediante el ingreso de temperatura y tiempo en los rangos establecidos seleccionados mediante el número de zonas activas que se selecciona en el tablero de control mediante un selector de 2 posiciones, donde:

- N° Zonas = 1, equivale al accionamiento de 3 resistencias en conexión tipo delta, con rango de operación de: 25° - 80°
- N° Zonas = 2, equivale al accionamiento de 6 resistencias en conexión tipo delta, con rango de operación de: 25° - 115°

El proceso de ingreso y salida de la plataforma tendrá el mismo funcionamiento que el modo manual mediante las condiciones de activación.

- **FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO**

El proceso se basa en el control de temperatura mediante la técnica ON – OFF con histéresis. De manera que al momento de ingresar los parámetros en el rango seleccionado, el sistema cumpla las condiciones de activación y el operador presione el botón inicio, se activarán los siguientes dispositivos: los ventiladores y licuadora redonda tipo led, el ventilador interno del tablero de control y las luces piloto de cada actuador hasta finalizar el proceso. Mientras que los calentadores se activarán de la forma mostrada en la figura 59.

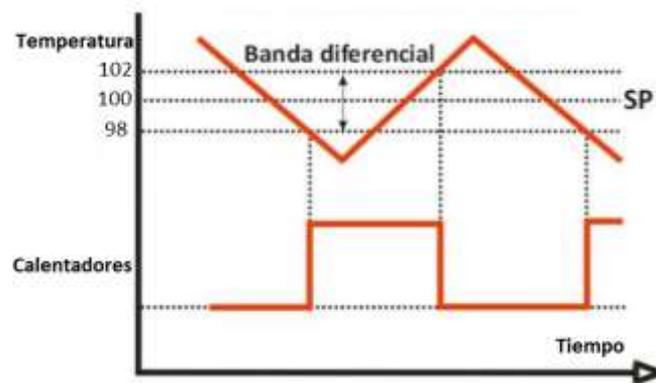


Figura 59. Control de temperatura con lazo de histéresis

El valor de histéresis es modificable para el administrador (acceso de usuario), pero mediante las pruebas de temperatura que se muestra en el Capítulo VI, actualmente el valor de histéresis es de ± 2 °C, ya que la banda diferencial inferior no supera los 5 °C, que se tomó como banda máxima. Por lo tanto, si el valor de temperatura ingresado es de 100° C, los calentadores actuarán:

- Estarán activos hasta 102 °C.
- Estarán desactivados hasta 98 °C.

Para este modo de operación también se dará las condiciones de accionamiento del proceso térmico como se muestra en la tabla 46.

Tabla 46.

Condiciones para activar el proceso

Condición	Proceso
Puerta abierta	Inactivo
Plataforma fuera	Inactivo
Rangos ingresados incorrectos	Inactivo
Error en guarda motores de ventilador 1 ventilador 2	Inactivo
Puerta cerrada + Plataforma dentro+ Rangos ingresados correctos	Activo

4.2. SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN

Una de las ventajas de la adquisición del PLC S7-1200 y el Basic Panel KTP400, es el empleo de un solo software de programación para ambos dispositivos. El software utilizado es el TIA PORTAL V13, con el complemento Automation Software Updater que viene incluido en la adquisición de los equipos. En la figura 60 se muestra el entorno principal del programa.

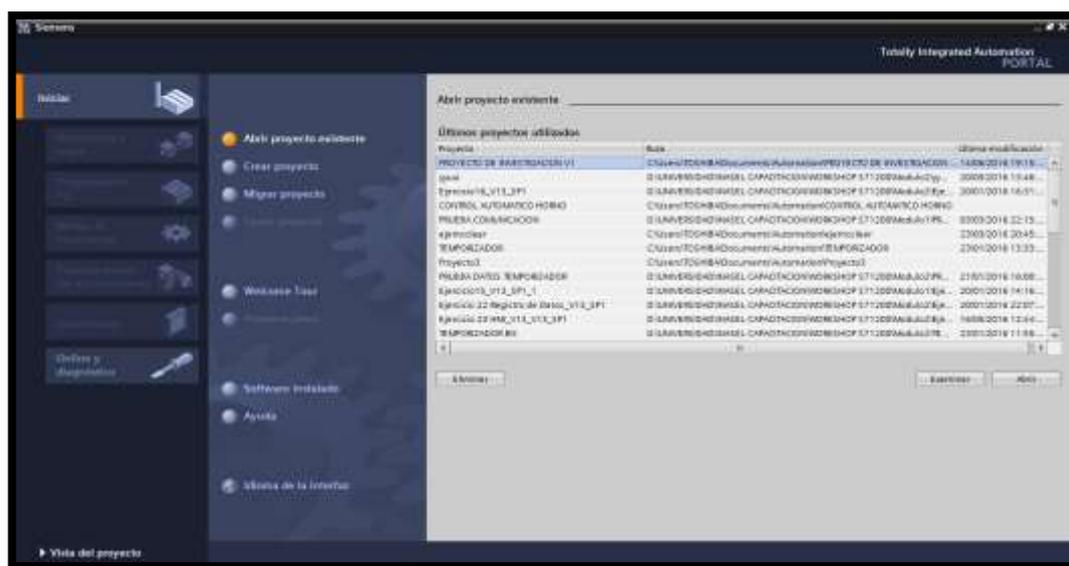


Figura 60. Entorno TIA PORTAL V13

El software STEP 7 Professional V13 (TIA Portal V13) es la herramienta de programación para los sistemas de automatización:

- SIMATIC S7-1500
- SIMATIC S7-1200
- SIMATIC S7-300
- SIMATIC S7-400

Con STEP 7 Professional V13 pueden utilizarse las siguientes funciones para la automatización de una instalación:

- Configuración y parametrización del hardware.
- Definición de la comunicación.
- Programación.
- Prueba, puesta en marcha y servicio técnico con las funciones de operación/diagnóstico.
- Documentación.
- Creación de visualizaciones para SIMATIC Basic Panels con WinCC Basic integrado.

Con otros paquetes WinCC también se pueden crear soluciones de visualización para PC y otros Panels. (SIEMENS, MÓDULO TIA PORTAL, 2014)

4.3. PROGRAMACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL PLC

El tipo de control utilizado para el calentamiento del horno es un control ON – OFF con un lazo de histéresis, mientras que la activación de los ventiladores se lo realizará simultáneamente al inicio de un proceso térmico y la manipulación de los reductores se lo realizará de forma independiente tomando en cuenta las condiciones de la tabla 45 y 46.

Para el diseño del programa del PLC y HMI, se utilizó el software ya mencionado (TIA PORTAL V13).

El sistema de automatización y control del horno eléctrico consta de un PLC S7-1200, modelo CPU1212C AC/DC/RLY y un panel de operador Basic Panel KTP400 monocromático a color de 4", conectados mediante un Switch Industrial y una PC desde la cual se programa todas las instrucciones. La tabla 47, describe el direccionamiento IP de los dispositivos.

Tabla 47.

Direcciones IP para red PROFINET

Dirección IP: Red 192.163.0.X		
PLC Siemens S7-1200	Basic Panel KTP400	CPU
IP: 192.168.0.1	IP: 192.168.0.2	IP: 192.168.0.X
Máscara: 255.255.255.0	Máscara: 255.255.255.0	Máscara: 255.255.255.0

4.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO

Para realizar una programación eficaz, eficiente y óptima se debe tener el conocimiento total del proceso que se va a automatizar, por lo tanto el proceso de curado de barniz aislante es activado en el modo automático de manera que se detalla el diagrama de flujo de operación.

- El primer bloque lógico que se implementó en el programa es la elección del modo de operación que el operador podrá elegir, de manera que el programa deberá leer una variable que corresponda al modo manual o automático tomando en cuenta que no podrán activarse los dos modos al mismo tiempo, lo cual está condicionado mediante lógica de contactos dentro del programa.
- En caso de habilitar el modo manual y tomando en cuenta las condiciones para activar los actuadores independientemente que se muestra en la tabla 46, el operador podrá activar las resistencias, los ventiladores y tomar control del ingreso y salida de la plataforma. El objetivo de este modo de trabajo es el accionamiento de un elemento en específico.

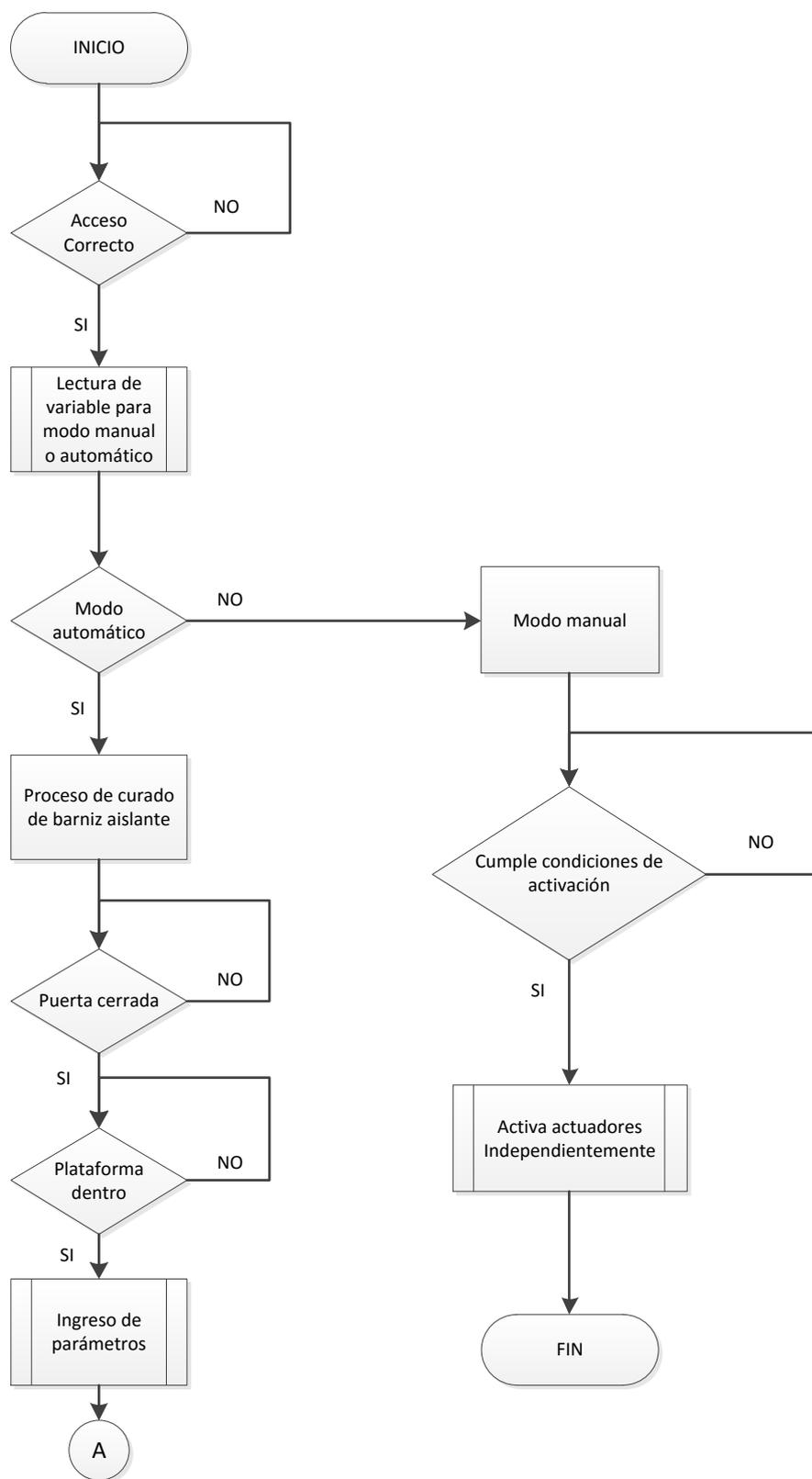


Figura 61. Diagrama de flujo parte A

- La activación del modo automático corresponde al proceso de curado de barniz aislante, que es el objetivo de sistema de control.
- La primera parte condicional mostrado en la figura 61 corresponde a las condiciones para activar el proceso mostrado en la tabla 47, de manera que la puerta del horno eléctrico debe estar cerrada por criterios de seguridad, por ende la plataforma debe estar dentro del horno. Estas dos señales se las obtiene mediante el uso de interruptores de posición las cuales ingresan al PLC. En caso de no cumplir estas condiciones el programa no permitirá el paso a la siguiente etapa.
- Una vez aceptado las condiciones del hardware la siguiente etapa es el ingreso de los parámetros mostrados en la figura 62. Al seleccionar el número de zonas activas el programa automáticamente asigna rangos de ingreso para la temperatura y el tiempo para evitar valores incoherentes al proceso. En caso de ingresar rangos incorrectos el programa asignará un valor por defecto que impedirá la habilitación del proceso. Una vez ingresado los valores correctos se podrá iniciar el proceso de curado.
- Al activar el proceso mediante un botón de inicio, se activará los ventiladores para la circulación del aire interno, el ventilador interno del tablero de control y la señal luminosa que es una licuadora giratoria tipo led. Al mismo tiempo se activará el control de temperatura, el cual posee una técnica ON-OFF con lazo de histéresis, por lo tanto si la temperatura actual es menor que el set point de temperatura más el valor de histéresis las resistencias estarán encendidas, caso contrario estarán apagadas. Este bucle de control permite controlar la temperatura acorde a las necesidades.
- A partir del ingreso del parámetro tiempo, el proceso puede finalizar o no, ya que si el tiempo actual es igual al set point de tiempo el proceso finalizará desactivando el control de temperatura y el resto de actuadores, al mismo tiempo se resetearán todas las variables auxiliares y parámetros ingresados por el operador.

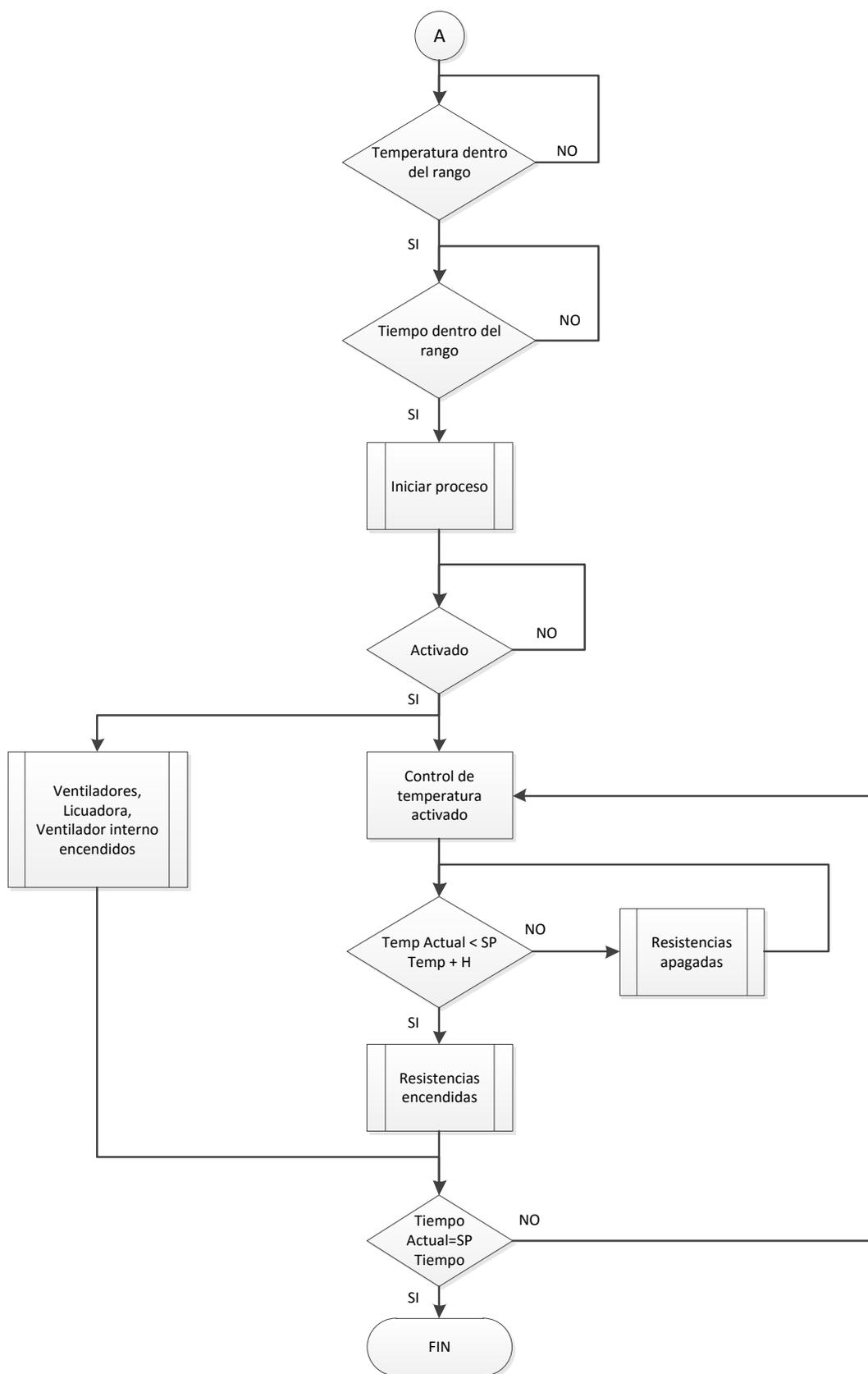


Figura 62. Diagrama de flujo parte B

4.3.2. PROGRAMACIÓN DEL PLC

Para la organización correcta del código de programación, el programa del PLC se desarrolló en diagramas Ladder en bloques de funciones y datos mostrados en la figura 63, dentro del software TIA PORTAL V13.



Figura 63. Bloques de funciones

Los bloques de funciones (FC) son bloques lógicos sin memoria que se utilizan para activar o desactivar ciertas bobinas auxiliares que no necesitan de un almacenamiento continuo como las marcas.

Mientras que los bloques de datos (DB) sirven para almacenar datos del programa como datos enteros y reales del proceso, ya que estos necesitaban ser utilizados para comparar u activar cierta bobina mediante alguna comparación, un ejemplo de este tipo de datos utilizados son los valores de tipo real utilizado como lectura de la termocupla. En la figura 64 se muestra los bloques utilizados en el programa:



Figura 64. Bloques del programa

- **AVISOS_ALERTA [FC1]**

Este bloque de función permite detectar el estado de las entradas del PLC que corresponden al selector de número de zonas, sensor del estado de la puerta, sensores para detectar la posición de la plataforma y los avisos de los 4 guarda motores en caso de daño. Como se muestra en figura 65 las entradas de estas señales activan una bobina auxiliar para el posterior uso de estas marcas en el HMI.

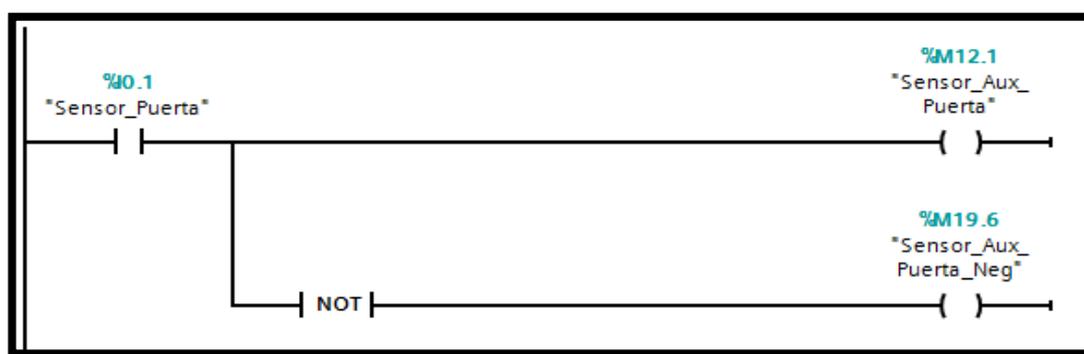


Figura 65. Señal de entrada del estado de la puerta

- **COCHE_MANUAL_AUTO [FC6]**

Esta función es utilizada para manipular el ingreso y salida de la plataforma considerando condiciones como: para que el coche salga el sensor (coche dentro) debe estar activado como se muestra en la figura 66.

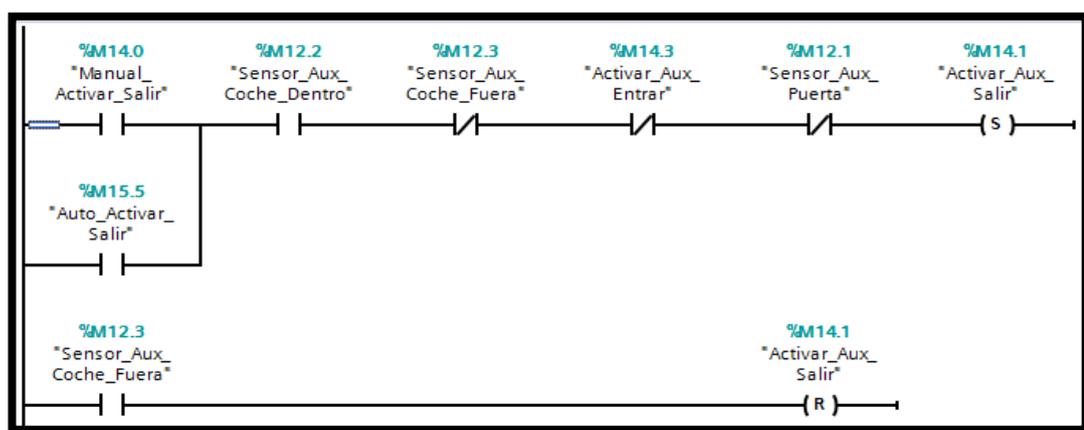


Figura 66. Condiciones para la salida del coche

- **MODO_MANUAL [FC2]**

Esta función permite la manipulación independiente de cada actuador, tomando en consideración las condiciones de la tabla 46. Si por ejemplo para la activación de las resistencias es necesario que la puerta esté cerrada, la plataforma este dentro como se muestra en la figura 67. No se puede activar y desactivar al mismo tiempo mediante los botones táctiles.

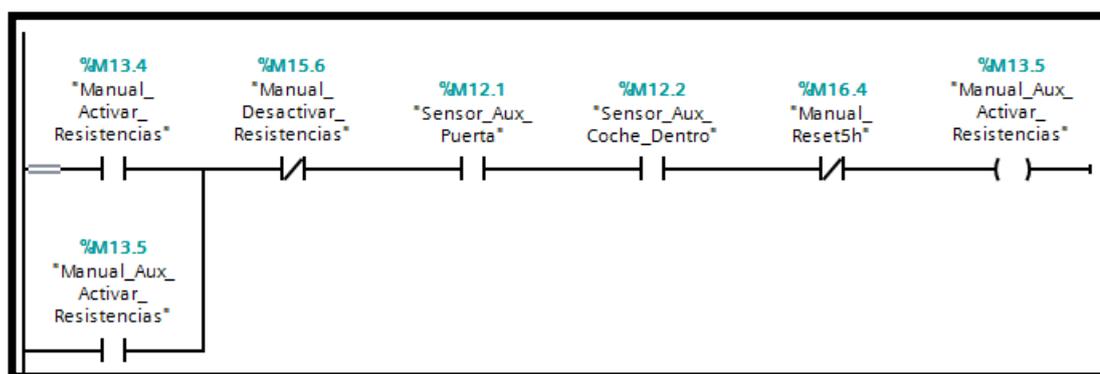


Figura 67. Activación de las resistencias en modo manual

- **RESET_MODALMANUAL [FC4]**

Esta función permite desactivar los actuadores y el reseteo de las variables auxiliares, temporizadores y contadores implicados en el modo manual. En caso de que el botón activar este desactivado las resistencias y los ventiladores estarán desactivados como se muestra en la figura 68.

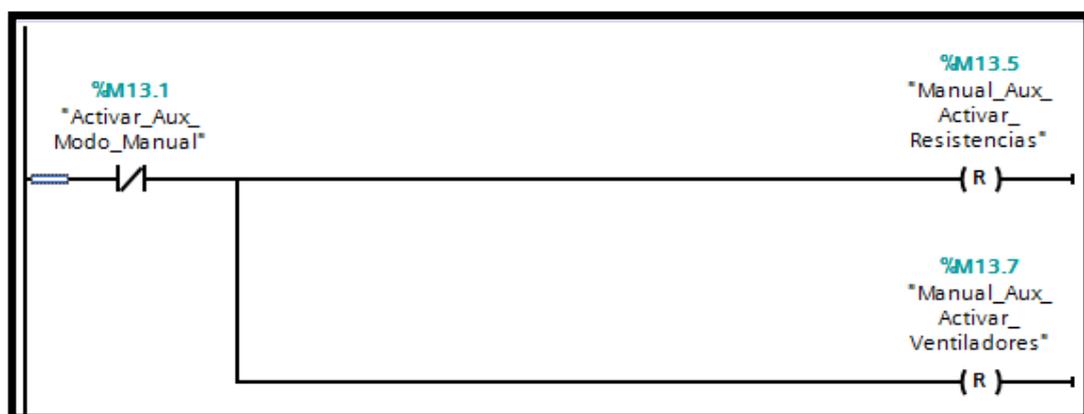


Figura 68. Reseteo de los actuadores en modo manual

- **MODO_AUTOMÁTICO [FC3]**

Esta función permite la activación del proceso de curado considerando todas las condiciones para activar el proceso de la tabla 47, mediante la activación del auxiliar Auto_Start como se muestra en la figura 69.

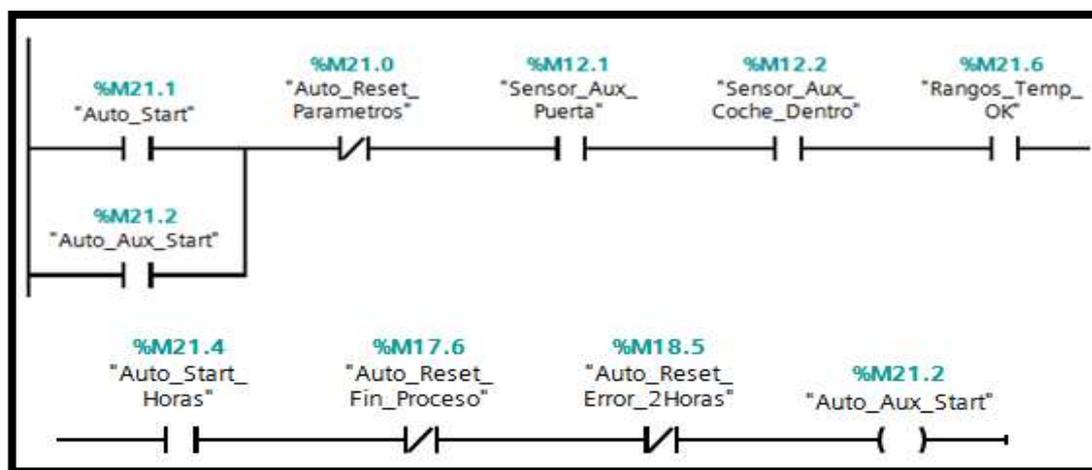


Figura 69. Activación del proceso

En esta función se implementa las líneas de código para el control de la temperatura con lazo de histéresis. El control se activará únicamente si se activa la bobina auxiliar (Auto_Aux_Start) de la figura 70.

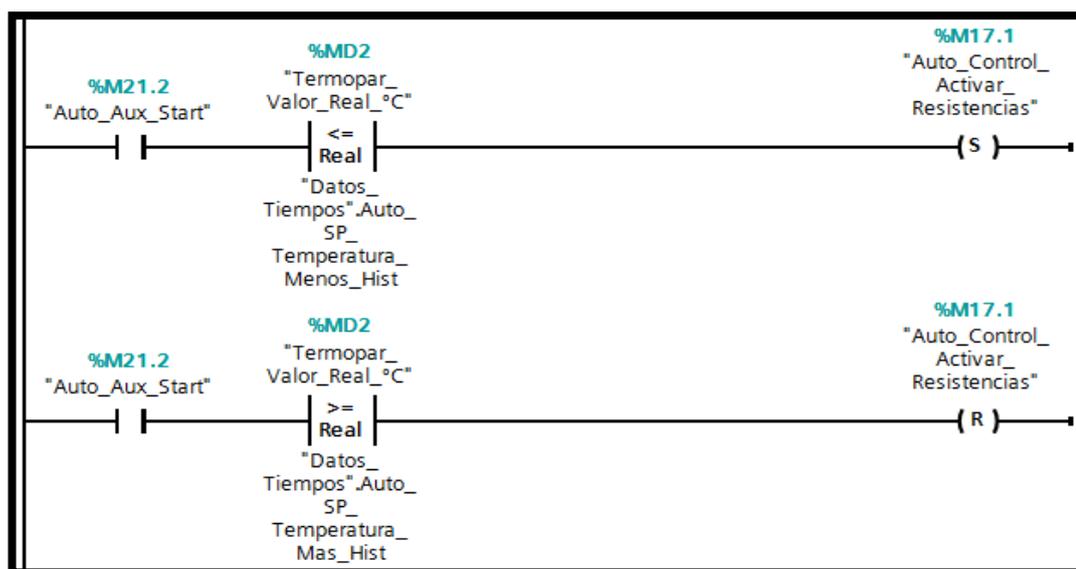


Figura 70. Control ON-OFF con histéresis

- **RESET_MODO_AUTO [FC5]**

Esta función permite finalizar el proceso y el reseteo de las variables auxiliares, parámetros ingresados, temporizadores y contadores implicados en el modo automático como se muestran en las figuras 71 y 72.

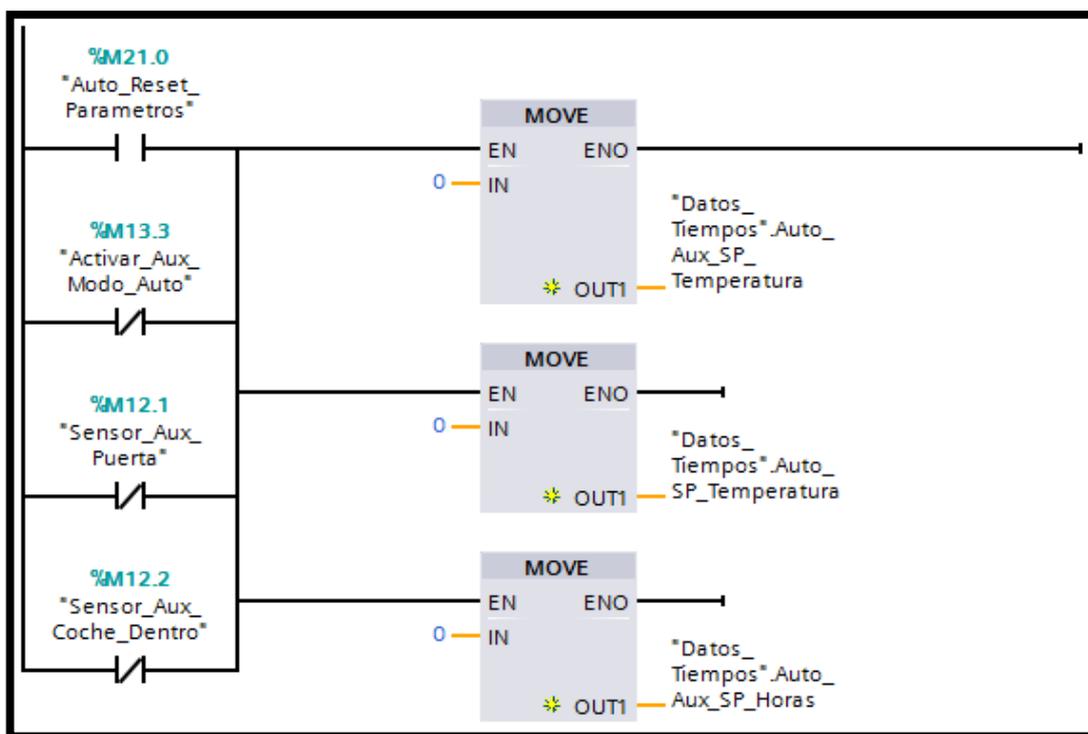


Figura 71. Reseteo de parámetros ingresados

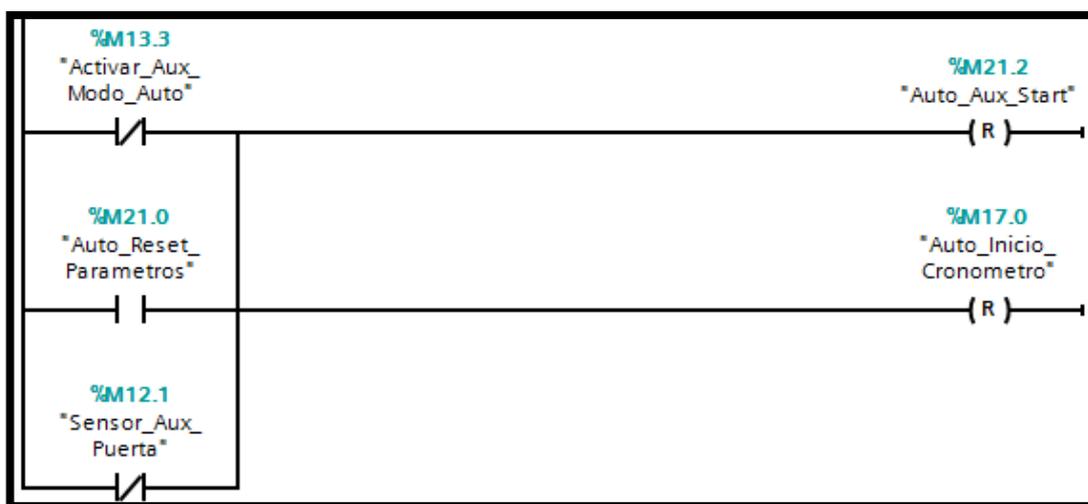


Figura 72. Reseteo de proceso y cronómetros

- **MAIN [OB1]**

La función principal es la encargada de limitar el rango de ingreso de todos los parámetros implicados en el modo automático y a su vez almacenar en el bloque de datos para ser operados como se muestra en la figura 73. Por ejemplo si el selector físico está en N° ZONAS=1, el ingreso del parámetro temperatura será limitado de 25° a 80° C, en caso de que se ingrese un valor fuera del rango el programa rechazará el valor ingresado.

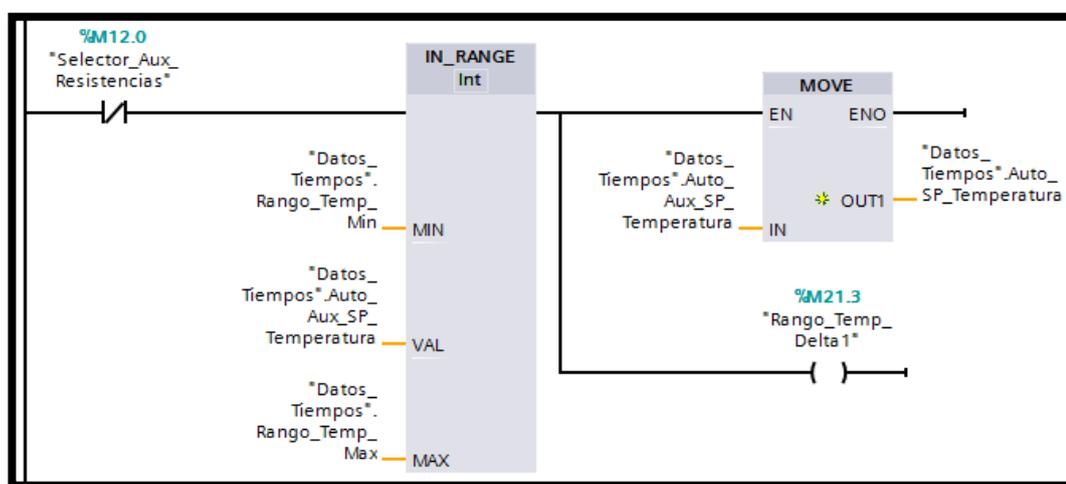


Figura 73. Rango de ingreso de temperatura

Esta función acondiciona la señal del termopar como se muestra en la figura 74, para ser visualizada en ambos modos de operación y procesada en el modo automático de acuerdo a las instrucciones dadas posteriormente.

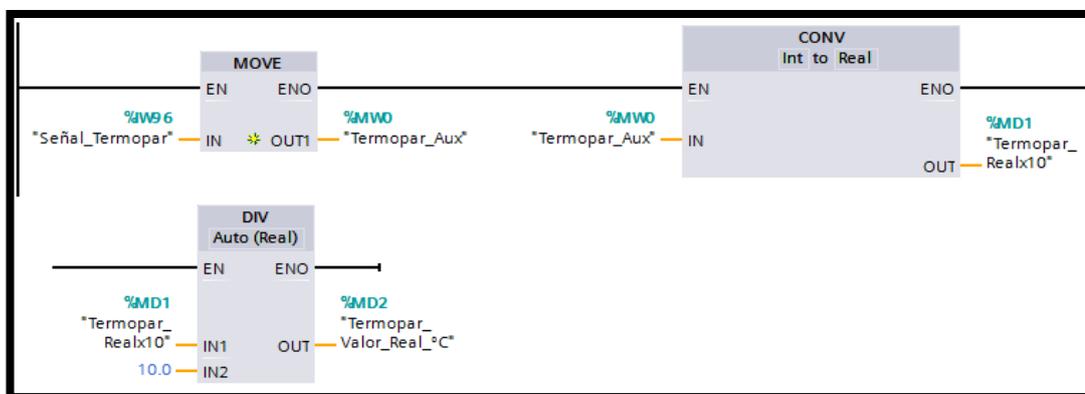


Figura 74. Adquisición de la señal termopar

Esta función también permite activar o desactivar las salidas del PLC que activan todos los actuadores, ya que en las funciones de los modos manuales y automáticas únicamente activan una bobina auxiliar. Por ejemplo la activación de las salidas del PLC a las resistencias pueden ser activadas por ambos modos como se muestra en la figura 75.

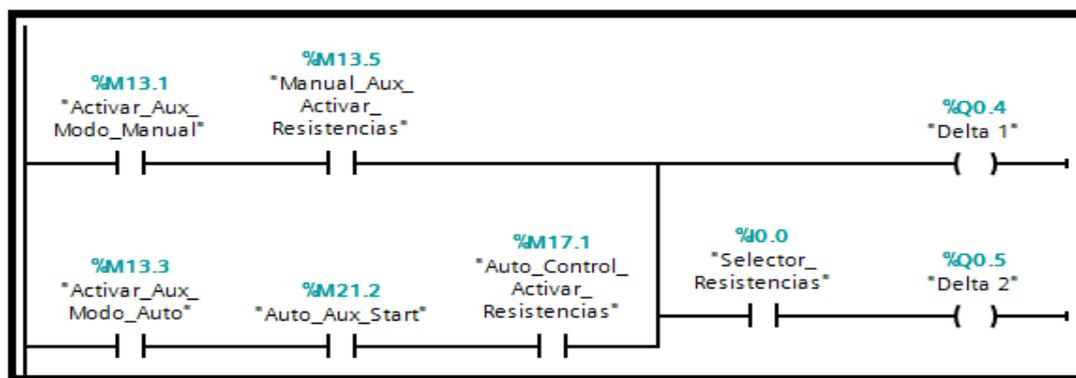


Figura 75. Señales de salida al PLC

- **DATOS_TIEMPO [DB2]**

El bloque de datos permite almacenar todos los datos del programa, los cuales se utilizaron para adquisición de valores enteros y reales como se muestra en la figura 76, variables utilizadas para cronometrar tiempos, comparar valores, etc.

	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Visible en ...
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Manual_Seg	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Manual_Min	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Manual_Hor	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Auto_SP_Temperatura	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Auto_Aux_SP_Temper...	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Auto_SP_Horas	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Auto_Aux_SP_Horas	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Auto_SP_Temperatura...	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Auto_SP_Temperatura...	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Auto_SP_Temperatura...	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Auto_Seg	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Auto_Min	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Auto_Hor	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 76. Datos del programa almacenados

4.4. DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI

Para desarrollar la programación y configuración del HMI se consideró la metodología propuesta por la guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión (GEDIS), la cual ha sido enfocada a ambientes industriales con salas de supervisión computarizadas y centralizadas. Al ser un panel de operador básico se tomó en cuenta la primera fase de GEDIS que consiste en la especificación de los principales elementos de la interfaz tales como la arquitectura, la navegación los estándares de colores, fuentes, simbología, etc. (PONSA & GRANOLLERS, 2010)

4.4.1. HMI (INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA)

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI son ventanas de un proceso en específico donde el operador podrá visualizar las variables del proceso en tiempo real y manipular cualquier funcionalidad mediante botones táctiles. Estas ventanas pueden estar en dispositivos especiales como paneles de operador (Basic Panel KTP400) o en una computadora que se lo conoce como software HMI o de monitoreo y control de supervisión.

Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como DRIVE´S, RTU, tarjetas de entrada y salida de computadora y en procesos industriales por medio del PLC. Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI generalmente vía Ethernet, Profinet, Serial, etc., dependiendo de la compatibilidad que se tenga entre el HMI y el PLC. (QUILMES, 2010)

- **FUNCIONES DEL HMI**

Las funciones elementales del HMI en el control automático del horno eléctrico son:

- Monitoreo de las variables del proceso en tiempo real.

- Supervisión y ajuste de condiciones de trabajo.
- Capacidad de reconocer eventos y alarmas dentro del proceso.
- Control del proceso térmico dentro de los límites de operación asignados.

4.4.2. ARQUITECTURA DEL HMI

Para iniciar con el proceso de desarrollo del HMI se debe establecer un mapa, el cual defina de manera general las pantallas con las que contará el operador para interactuar con el sistema de automatización y control. Este mapa deberá establecer las relaciones lógicas entre las pantallas como se muestra en la figura 77, de manera que también pueda servir de base para el diseño de la navegación del sistema.

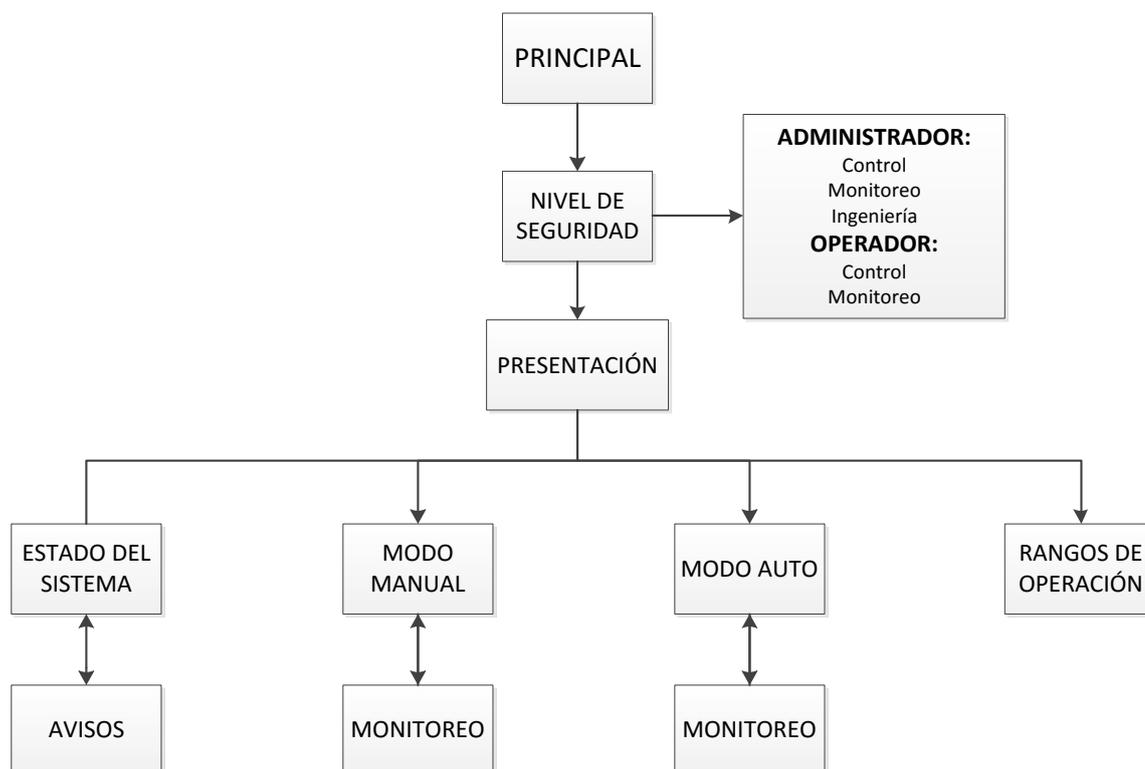


Figura 77. Arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles

4.4.3. CONFIGURACIÓN DEL HMI EN TIA PORTAL V13

El software TIA PORTAL V13 posee un asistente de ayuda, el cual permite realizar una configuración fácil y eficiente al programador. La configuración principal para el desarrollo de las ventanas HMI que servirán como interfaz se basa en los siguientes pasos:

- Configurar las conexiones del PLC.
- Seleccionar los objetos de imagen que se van a visualizar.
- Configurar avisos.
- Agregar pantallas nuevas.
- Seleccionar imágenes del sistema.
- Insertar botones del sistema disponible.

Una vez finalizada la configuración se abrirá la ventana principal de programación gráfica mostrada en la figura 75.

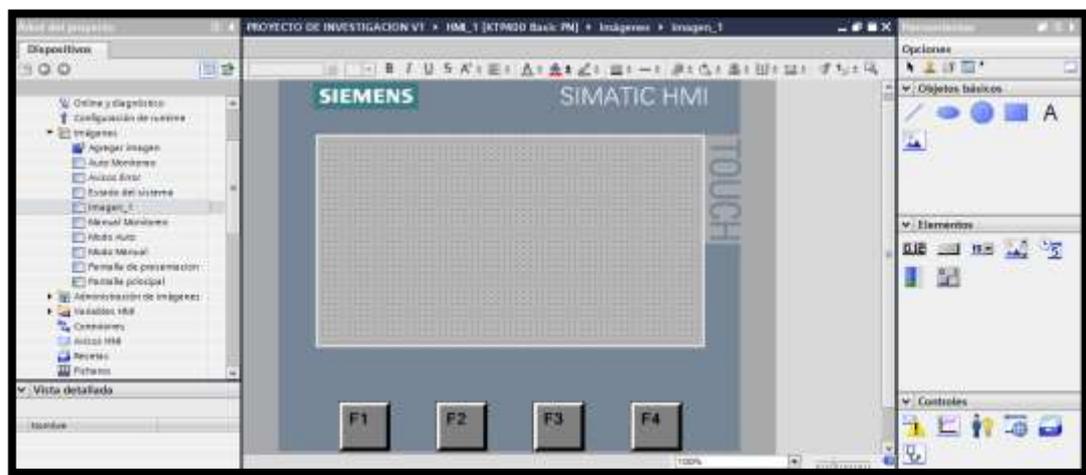


Figura 78. Pantalla para diseño HMI

El modo de programación de forma gráfica que presenta el software TIA PORTAL V13 para los HMI resulta bastante útil y simple ya que solo se tiene que seleccionar el elemento requerido y ubicarlo en el sitio específico dentro de los límites del panel, posteriormente se puede modificar sus propiedades en la barra inferior, además de existir algunas propiedades para animar o asignar cualquier evento asociado a una variable interna del PLC.

4.4.4. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LAS HMI

4.4.4.1. VENTANA PRINCIPAL

La figura 79, muestra la pantalla principal en donde, mediante el pulsador táctil F1 el operador podrá regresar a la pantalla START CENTER. Mediante el botón iniciar, el programa ingresa a la pantalla de inicio de sesión.



Figura 79. Ventana principal

4.4.4.2. VENTANA DE INICIO DE SECIÓN

La ventana de inicio de sesión mostrada en la figura 80, solicita el ingreso del usuario y la contraseña para ingresar a la pantalla de presentación y realizar las funciones que le sean permitidas.



Figura 80. Ventana de inicio de sesión

El programa posee 2 niveles de seguridad como se muestra en la tabla 48.

Tabla 48.
Niveles de seguridad

Usuario	Funciones
Administrador	Control Monitoreo Ingeniería
Operador	Control Monitoreo

- **Control:** Permite manipular los modos de operación.
- **Monitoreo:** Permite monitorear las variables del proceso en tiempo real (Tiempo y Temperatura).
- **Ingeniería:** Permite cambiar los rangos de operación ya establecidos.

4.4.4.3. VENTANA DE PRESENTACIÓN

La figura 77, muestra la ventana de presentación, en donde el usuario puede elegir el modo de operación del proceso térmico y conocer el estado actual del sistema.



Figura 81. Ventana de presentación

En la tabla 49, se describen las funciones que cumple de cada botón táctil de la ventana de presentación.

Tabla 49.
Descripción de los botones de la ventana de presentación

Botones	Funciones
Manual	Ingreso al modo manual, en donde se podrá activar independientemente todos los actuadores.
Automático	Ingreso a modo automático, en donde se ingresará tiempo y temperatura, para realizar el proceso térmico.
Estado	Ingreso a la ventana de estado, en donde se visualizará el estado de las variables de entrada al PLC, así como la selección de número de zonas activas y modo de operación.
Atrás	Este botón permite el retorno a la ventana anterior.

4.4.4.4. VENTANA DE ESTADO

La Ventana de estado permite observar el estado de los fines de carrera que actúan como sensores para detectar el estado de la puerta, y la plataforma. Así mismo se verifica el rango de operación seleccionado mediante la elección de N° de Zonas seleccionados en el panel de control como se muestra en la figura 82.

Estado del Sistema 10:59:39

N° Resistencias: 0

Rango de operación: 000 °C - 000 °C

Modo: Manual Auto

Puerta: Cerrada Abierta

Plataforma: Dentro Fuera

Avisos Atrás

Figura 82. Ventana de estado

- **VENTANA DE AVISOS**

Dentro de la ventana de estado se tiene un botón táctil el cual permite navegar a la ventana de avisos, este permite observar el estado de los guarda motores D4, D5, D6 y D7, que pertenecen a los motores de los 2 ventiladores y los 2 reductores como se muestra en la figura 83.



Figura 83. Ventana de visor de errores

4.4.4.5. VENTANA DE MODO MANUAL

El modo manual permite el accionamiento independiente de los calentadores, ventiladores, el ingreso y la salida de la plataforma como se muestra en la figura 84.



Figura 84. Ventana de modo manual

- VENTANA DE MONITOREO DE MODO MANUAL

Figura 85. Ventana de monitoreo de modo manual

La ventana de monitoreo en el modo manual mostrado en la figura 85, se utiliza para supervisar los parámetros descritos en la tabla 50.

Tabla 50.

Descripción de parámetros del modo manual

Parámetros	Concepto
Temperatura actual	Indica la temperatura actual en °C
Tiempo actual	Al activar los calentadores, se activa un cronómetro para conocer el tiempo que ha transcurrido desde su activación.
Tiempo Máximo	Por seguridad el programa consta de un tiempo máximo de uso de los calentadores que es de 5 horas. Si el operador no apaga los calentadores y ventiladores en el tiempo establecido, el programa desactiva los actuadores, resetea el cronometro y aparece una pantalla emergente: <div data-bbox="916 1720 1145 1890" data-label="Image"> </div>
Nº Resistencias	Indica el Nº de resistencias activas de acuerdo al Nº de zonas seleccionadas.

4.4.4.6. VENTANA DE MODO AUTOMÁTICO

El modo automático permite realizar el proceso de mantenimiento o curado de barniz aislante mediante el ingreso de temperatura y tiempo en los rangos establecidos como se muestra en la figura 86. El ingreso y salida de la plataforma tiene el mismo funcionamiento que el modo manual.

Figura 86. Ventana de modo automático

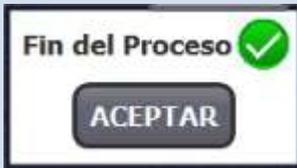
- VENTANA DE MONITOREO DE MODO AUTOMÁTICO

Figura 87. Ventana de monitoreo

La pantalla de monitoreo en el modo automático mostrado en la figura 87, se utiliza para supervisar los parámetros mostrados en la tabla 51.

Tabla 51.

Descripción de parámetros del modo automático

Parámetros	Concepto
Parámetros ingresados	Se puede visualizar los parámetros ingresados: Temperatura y tiempo.
Rango de control	El rango de control son los valores en donde estará oscilando la temperatura actual. Este rango posee ± 2 °C de histéresis.
Temperatura actual	Mide la temperatura actual del proceso.
Tiempo de estabilidad	Este parámetro permite observar el tiempo en el cual la temperatura llega a oscilar en el rango de control. El programa tiene un tiempo máximo de 2 horas. Si en el transcurso de este tiempo no llega al valor ingresado aparecerá un error y reseteará todo el proceso.
	
Tiempo de proceso	<p>Cuando la temperatura actual alcanza el rango de control, recién empieza a cronometrar el parámetro seteado llamado TIEMPO. Una vez que cumpla este valor el proceso finaliza con la siguiente ventana:</p> <p style="text-align: center;">  </p> <p>El operador deberá presionar aceptar y reseteará todas las variables, regresará a la ventana de modo automático y se podrá volver a ingresar nuevos parámetros para un nuevo proceso.</p>
Nº Resistencias	Indica el Nº de resistencias activas de acuerdo al Nº de zonas seleccionadas.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Una vez realizado los diseños de todos los circuitos del sistema, el dimensionamiento de cada dispositivo y la culminación del programa de control del sistema se procede a implementar el sistema.

La implementación se desarrolla en función de la **Norma ISO/IEC 24702**, empleada para la automatización industrial, control de procesos, cableado para edificios industriales y vigilancia.

5.1. ESTRUCTURA METÁLICA

El aislante térmico utilizado para lograr una mayor y más eficiente resistencia térmica dentro del horno, es la **lana de vidrio** como se muestra en la figura 88. Este aislante comparado a otros aislantes, es más liviana y de muy baja conductividad térmica.



Figura 88. Lana de vidrio

En la parte interna de las paredes metálicas del horno existe 5 cm de de lana de vidrio y las vigas cuadradas metálicas de 5 cm x 5 cm están llenas de columnas de lana de vidrio como se muestra en la figura 89. El propósito de la ubicación de estos aislamientos térmicos es obtener la mayor resistencia térmica al momento de llegar a altas temperaturas.



Figura 89. Paredes metálicas con aislamiento

En la figura 88, muestra la estructura externa e interna del horno finalizada para iniciar el montaje e instalación del sistema de control automático.



Figura 90. Estructura externa e interna del horno

Las dimensiones del horno son **(2.50 x 2.50 x 2.50) m.**

5.2. MONTAJE DE LAS RESISTENCIAS

Para la sujeción de las resistencias se elaboró sujetadores de mármol, para que actúen como aislantes entre las resistencias y la estructura interna metálica del horno. En la figura 91, se muestran los sujetadores construidos.



Figura 91. Sujetadores de mármol

Mediante pruebas individuales se demostró que las resistencias tubulares en alto grado de temperatura tienden a encorvarse, por lo tanto se utilizó 5 sujetadores para cada resistencia. Las 3 primeras resistencias se colocaron a 50 cm del piso y las otras 3 resistencias 30 cm más arriba como se muestra en la figura 92. Se decidió realizar de esta manera pues la plataforma que se utilizará como coche para el ingreso y la salida de los motores rebobinados tiene una altura de 30 cm.

Cabe mencionar la posición de las resistencias se las colocó en la parte inferior por la densidad del aire caliente, la cual tiende a elevarse y mediante la acción de los ventiladores la temperatura será proporcional en todas las áreas.

Una vez colocados las resistencias se realizó la primera prueba de calor con 3 y 6 resistencias respectivamente para verificar que no exista problema alguno con el suministro eléctrico actual de la empresa, además se midió las temperaturas que emite la pared externa del horno en su etapa de máxima potencia térmica mediante el uso de un pirómetro, que es de **35 °C**. Por lo tanto, se verifica que no existen problemas en los conductores y aisladores térmicos, ya que el aislamiento de dichos conductores soporta más de 90 °C.



Figura 92. Pruebas de calor

5.2.1. CONEXIÓN Y CABLEADO DE LAS RESISTENCIAS

Todas las conexiones de las resistencias deberán ser realizadas en la parte externa de acuerdo a la estructura realizada. Por lo tanto se acoplo tubería metálica anillada a la estructura del horno como se muestra en la figura 93, como ruta de cableado hacia el tablero de control.



Figura 93. Instalación de tubería metálica anillada

5.2.2. CABLE PARA ALTA TEMPERATURA

El diseño del calibre, tipo de cable y tipo de aislamiento es indispensable en este proyecto, pues los conductores al estar expuesto a temperaturas altas, tienden a dañarse y en el peor de los casos a quemar su aislamiento, por la cantidad de corriente o en este caso por alta temperatura. Por lo tanto se investigó el conductor necesario y se llegó a la conclusión de utilizar **cable para alta temperatura recubierto en fibra de vidrio, alma de níquel, calibre # 10** mostrado en la figura 94. Cabe mencionar que este cable se utilizará solo para las conexiones internas de las resistencias ya que su costo es elevado en comparación a los cables tipo flexibles con aislamiento de cloruro de polivinilo.



Figura 94. Cable para alta temperatura

La utilización de terminales de tipo ojo de níquel mostrado en la figura 95, son necesarios para las conexiones internas ya que existen temperaturas muy altas en las paredes internas del horno.



Figura 95. Terminales tipo ojo de níquel

5.2.3. CABLEADO INTERNO

Se procedió a cablear cada terminal de las resistencias con el cable para altas temperaturas a la parte exterior de la estructura del horno mediante la perforación de la estructura metálica como se muestra en la figura 96.

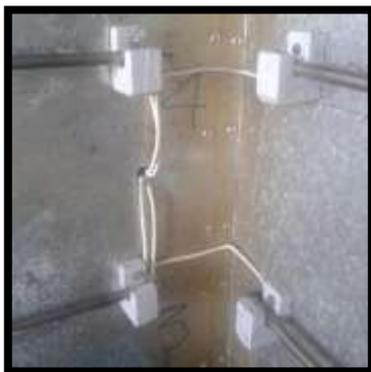


Figura 96. Cableado interno

5.2.4. CONEXIÓN TIPO DELTA DE LAS RESISTENCIAS

Se desarrolló el cableado de todos los terminales de las conexiones de las resistencias como se muestra en la figura 97 hacia el tablero de control, identificando cada conductor mediante marquillas.



Figura 97. Cableado de las resistencias

Posteriormente se realizó las conexiones dentro del cajetín como se muestra en la figura 98, utilizando borneras térmicas para evitar el contacto entre cada terminal y la estructura metálica del horno.



Figura 98. Conexiones de los conductores con aisladores

5.3. MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL

La figura 99 muestra el gabinete modular adquirido para el sistema.



Figura 99. Gabinete modular

5.3.1. MONTAJE DE CANALETAS Y RIEL DIN

Las canaletas son tubos de plásticos que conectados de forma correcta proporcionan al cable una mayor protección en contra de interferencias electromagnéticas originadas por los diferentes motores eléctricos. Para que las canaletas protejan a los cables de dichas perturbaciones es indispensable la óptima instalación y la conexión perfecta en sus extremos. Las canaletas utilizadas son de 40 x 40 mm y 25 x 40 mm. La figura 100 muestra la ubicación de las canaletas sobre la placa de montaje.



Figura 100. Montaje de canaletas

Como se observó en el diagrama de distribución de elementos internos en la figura 52, la distribución de los elementos en el gabinete se determinó que existirá cinco líneas de montaje riel DIN, una para elementos de protección como interruptores automáticos, uno para elementos de control como el PLC, uno para los conmutadores, uno para guarda motores y otro para las borneras. Para el montaje de los rieles DIN en el gabinete modular se utilizarán tornillos para fijarlos en la placa de montaje como se muestra en la figura 101.



Figura 101. Montaje de canaletas

5.3.2. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS INTERNOS

Para la distribución de energía a todos los actuadores se utilizaron borneras de dos puntos con conexión a tornillo por la fijación en la conexión de los terminales, debido a su versatilidad en el movimiento del riel DIN. En la figura 102, se muestra las borneras utilizadas.

- **Bornera cubierta IN13, 3 POLOS de 20 y 30 A de marca CAMSCO.**



Figura 102. Bornera cubierta IN13, 3 POLOS

Para la alimentación de todos los dispositivos y elementos montados sobre la placa de montaje se utilizará 3 borneras para riel DIN de 10 mm a 70 A y una bornera neutro de 4 mm como se muestra en la figura 103.



Figura 103. Borneras LEG RIEL de 10 mm y 4 mm

Una vez montado las canaletas y rieles DIN, se procedió a ubicar los elementos de protección, conmutadores y resto de elementos sobre los rieles DIN, mientras que los interruptores termo magnéticos y relés de estado sólido tuvieron que ser acoplado mediante tornillos para su sujeción como se muestra en la figura 104.

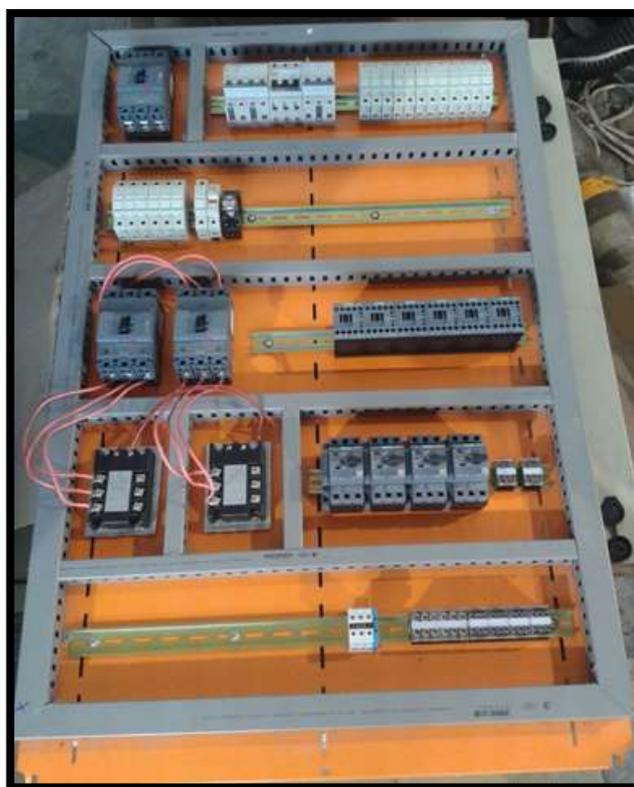


Figura 104. Montaje de los elementos del sistema

5.3.3. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN

Para montar los elementos de mando como pulsadores y elementos de señalización como son las luces piloto. Se realizó las mediciones acorde al diagrama de distribución de elementos externos mostrado en la figura 55, y mediante el uso de herramientas mecánicas se perforó el gabinete modular como se muestra en la figura 105.

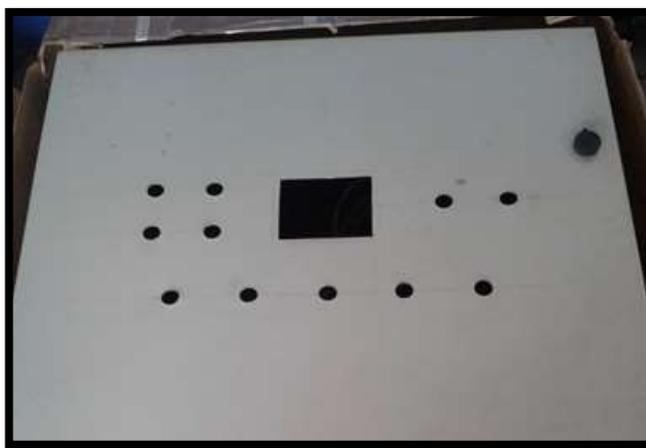


Figura 105. Perforación para elementos de mando

En la figura 106 se muestra la ubicación de todos los elementos de mando y luces piloto, mientras que el Basic Panel KTP 400 se ubicó posteriormente ya que se necesitó realizar las pruebas necesarias antes de su montaje, para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

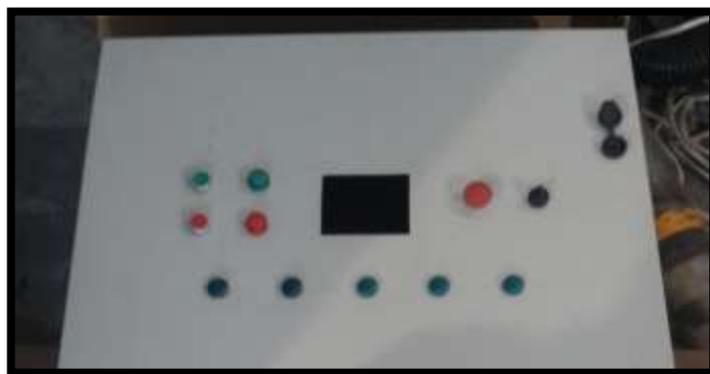


Figura 106. Ubicación de elementos de mando

Por requerimiento de la empresa, se instaló un ventilador la puerta del gabinete a la altura de los contactores que ingresa aire forzado, se midió la temperatura interna del gabinete que es de **30 °C** para verificar que no exista problemas con la temperatura máxima que soporta el PLC (**60 °C**). Además se instaló el interruptor principal como se muestra en la figura 107.



Figura 107. Ventilador e interruptor principal

5.3.4. MONTAJE DEL GABINETE MODULAR

La sujeción del gabinete modular se lo realizo mediante la perforación de las 4 vigas de la estructura y se utilizó pernos y turcas para su ajuste. Para evitar la transferencia de calor se utilizó una placa de fibra de vidrio como se observa en la figura 108.



Figura 108. Ubicación del gabinete modular

5.4. INSTALACIÓN DE SENSORES

5.4.1. INTERRUPTOR DE POSICIÓN

El interruptor de posición es utilizado para conocer el estado de la puerta del horno, este sensor fue ubicado en la parte frontal superior del horno como se muestra en la figura 109, mediante la sujeción con tornillos y utilizando tubería metálica conduit como ducto de los conductores hacia el tablero de control. También se tuvo que realizar un acople mecánico para activar el interruptor de manera eficiente.

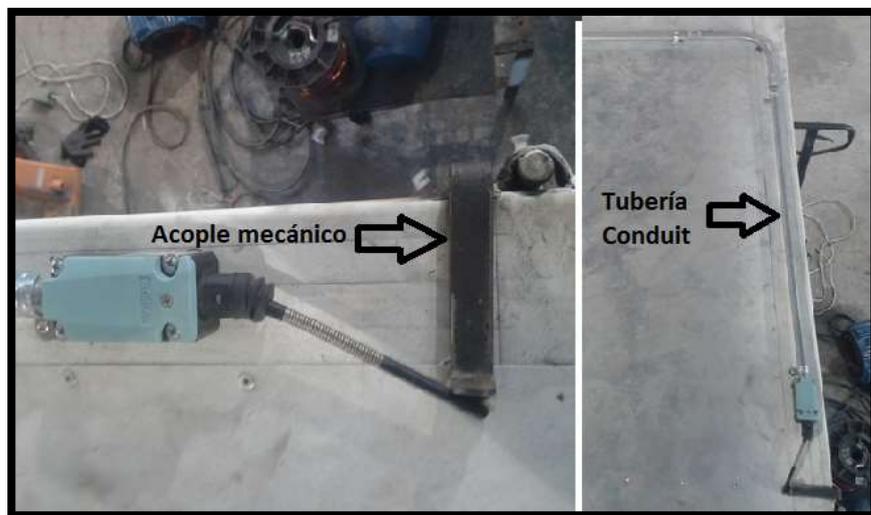


Figura 109. Sensor de posición

5.4.2. TERMOCUPLA TIPO K

Para evitar el empalme de cable apantallado en los terminales de la termocupla, este se ubicó arriba del tablero de control, a 40 cm de la superficie del horno. Para ello se tuvo que realizar una perforación en la viga y mediante un machuelo se realizó una rosca para el acople perfecto de la termocupla como se observa en la figura 110. Como ducto de conducción de utilizó la misma tubería conduit que se utilizó para el interruptor de posición.



Figura 110. Acople de la termocupla

5.5. CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS

Para conectar todos los dispositivos de protección, mando, seccionadores y I/O del PLC mediante los cables flexibles dimensionados guiándose en todos los circuitos diseñados se utilizó terminales puntera para calibres #: 8, 10, 12, 14 y 16 mostrados en la figura 111.

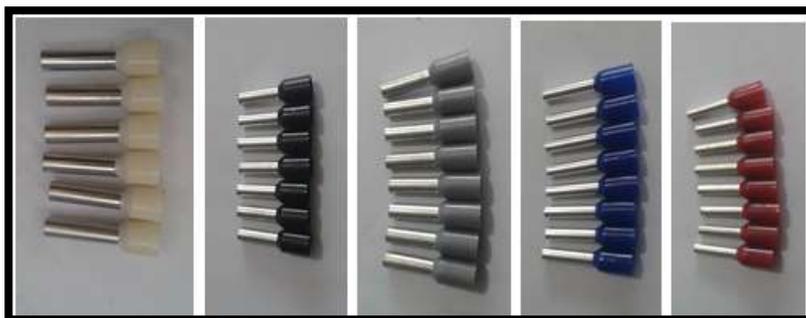


Figura 111. Terminales tipo puntera

También se utilizó terminales tipo U para calibre #: 10, 14 y 16. mostrados en la figura 112 para la conexión de todos los conmutadores.



Figura 112. Terminales tipo U

Para este tipo de terminales se debe utilizar los remachadores correctos para que el conductor quede totalmente ajustado al terminal. En la figura 113 se muestra el remache correcto de estos dos tipos de terminales.

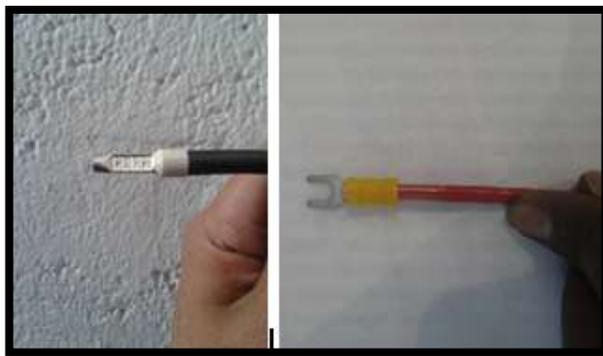


Figura 113. Remache de los terminales puntera y tipo U

Con la adquisición de los materiales necesarios para la conexión de todos los elementos, se procedió a realizar las conexiones de los elementos internos y externos del gabinete como se muestra en la figura 114.

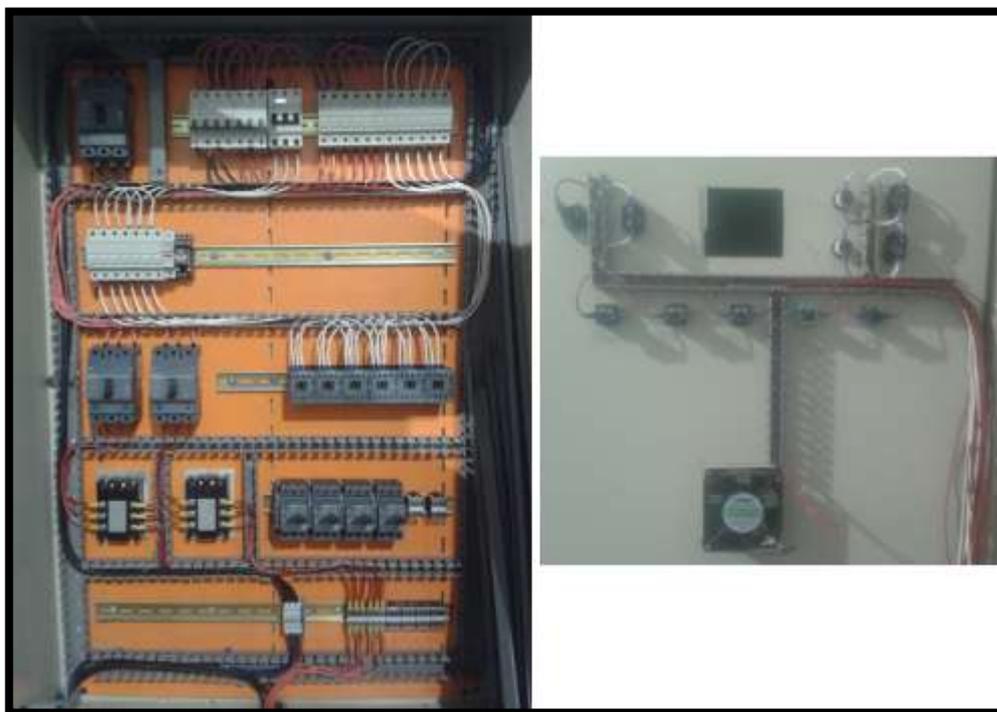


Figura 114. Conexión de los elementos del sistema

5.6. MONTAJE DEL PANEL DE OPERADOR Y PLC

Para realizar el montaje del Basic Panel y el PLC, hay que verificar la conexión entre el Panel y el PLC, realizar las pruebas necesarias mediante pulsos de 24 VDC a las entradas del PLC como se muestra en la figura 115 y verificar que cumpla las condiciones del proceso. De la misma manera una vez culminada la programación y configuración del HMI se debe probar que la navegación sea la correcta, que cumpla las condiciones y verificar que las variables del proceso sean correctas así como el control de temperatura.



Figura 115. Pruebas de funcionamiento

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento se procedió al montaje y a la conexión como se muestra en la figura 116.



Figura 116. Montaje del panel de operador y PLC

5.7. PUESTA EN MARCHA Y ETIQUETADO

Para poner en marcha todo el sistema como se muestra en la figura 117 se tuvo que realizar las siguientes pruebas de funcionamiento:

- Verificar la conexión correcta de todos los dispositivos mediante el uso del multímetro, utilizando la función de continuidad.
- Verificar que no exista continuidad entre fases.
- Verificar que los Tensiones del armario sean los correctos.
- Verificar por secciones los Tensiones que necesita cada circuito implementado.

Una vez realizado las pruebas encender el sistema y se verifico el funcionamiento utilizando el modo manual para activar cada actuador independientemente.



Figura 117. Puesta en marcha del sistema

Una vez verificado los resultados del sistema implementado se tuvieron que etiquetar todas las conexiones de acuerdo a los diagramas diseñados, para ello se utilizó una etiquetadora, quedando el etiquetado interno y externo como se muestran en la figura 118 y 119.

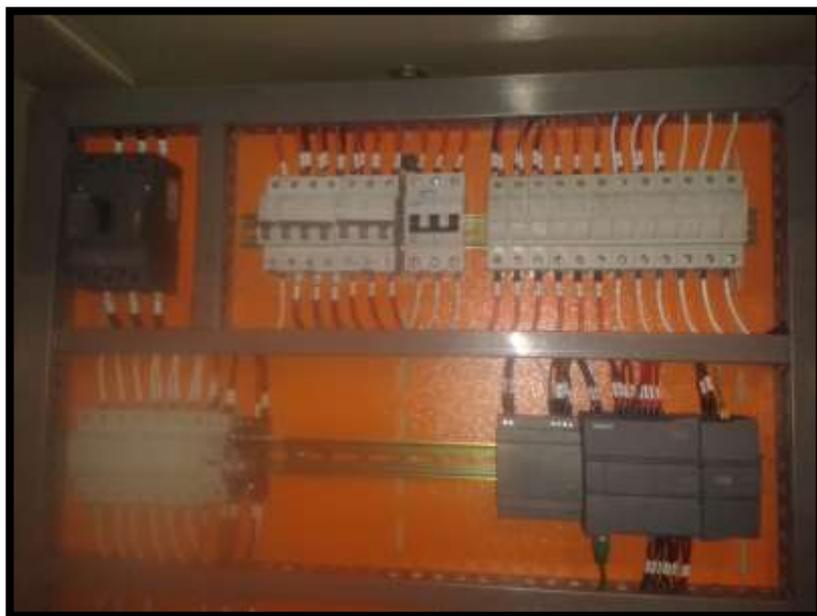


Figura 118. Etiquetado interno



Figura 119. Etiquetado externo

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

Previamente se ha descrito el diseño del sistema de control, el desarrollo del programa del PLC y Basic Panel KTP400, la implementación del sistema en su totalidad y el funcionamiento del sistema en ambos modos de operación, ahora es importante verificar que las actividades realizadas se hayan desarrollado adecuadamente a fin de permitir el correcto funcionamiento del sistema, verificar la temperatura necesaria para realizar el proceso de curado de barniz aislante y el control de temperatura del horno. De manera que en el presente capítulo se pondrá a prueba el sistema de control automático lo cual permitirá depurar detalles del diseño y realizar ajustes de ser necesario para mejorar el trabajo del horno.

6.1. SUMINISTRO ELÉCTRICO

Como se mencionó en el **alcance del Capítulo I**, actualmente la empresa presenta una deficiencia en el suministro eléctrico ya que la calle del sector donde se encuentra ubicada la empresa presenta un sistema de distribución bifásico trifilar a 220 V. Por lo tanto la empresa cuenta con un medidor electrónico bifásico de energía eléctrica (2 Fases 3 Hilos) de 63A como se muestra en la figura 120.

Se estima que en el presente año la empresa disponga del sustento económico para realizar la solicitud a la Empresa Eléctrica Quito de un suministro eléctrico eficiente acorde a las necesidades de la empresa. La razón de esta deficiencia es porque el costo de la acometida del nuevo suministro es elevado y actualmente la empresa no dispone del capital necesario para realizar esta inversión. Dado este problema la empresa utiliza un generador de fase que se explicará posteriormente.



Figura 120. Medidor electrónico bifásico trifilar

6.2. GENERADOR DE FASE

Para solucionar el problema del suministro eléctrico, la empresa utiliza un generador de la tercera fase, con un motor de 20 HP y un banco de capacitores de trabajo y capacitores de arranque como se muestra en la figura 121. El problema del generador son las caídas de Tensión que presenta el sistema si la carga a ser alimentada es superior a la generada.

La fase generada es ubicada en el tablero de distribución principal junto a las 2 fases del medidor. Estas 3 fases son distribuidas a todas las secciones de la Empresa.



Figura 121. Generador de la tercera fase

6.3. PRUEBAS DE TEMPERATURA MÁXIMA

Una de las necesidades del horno, es que la temperatura máxima sea de por lo menos 150° C para poder realizar el proceso de curado de acuerdo a los ciclos de curado sugeridos por el fabricante del barniz utilizado. Para corroborar que se cubra esta necesidad se utilizó un Generador trifásico AC para realizar las pruebas de calor correspondiente.

6.3.1. PRUEBAS DE TEMPERATURA MÁXIMA CON UN GENERADOR TRIFÁSICO

Como se mencionó con anterioridad el suministro eléctrico actual no permite que el horno opere al 100%, por lo tanto se utilizó un generador trifásico AC mostrado en la figura 122, para realizar las pruebas de temperatura máxima con las 2 zonas activas.



Figura 122. Generador trifásico

Una vez alimentado el sistema implementado con el generador trifásico AC se realizó el modelo de la planta tomando 112 muestras de la temperatura en función del tiempo obtenidos del **ANEXO 1 (Tabla1. Temperatura máxima en función del tiempo)**.

En la figura 123, se muestra el comportamiento de la planta con el 100% de potencia de las resistencias.

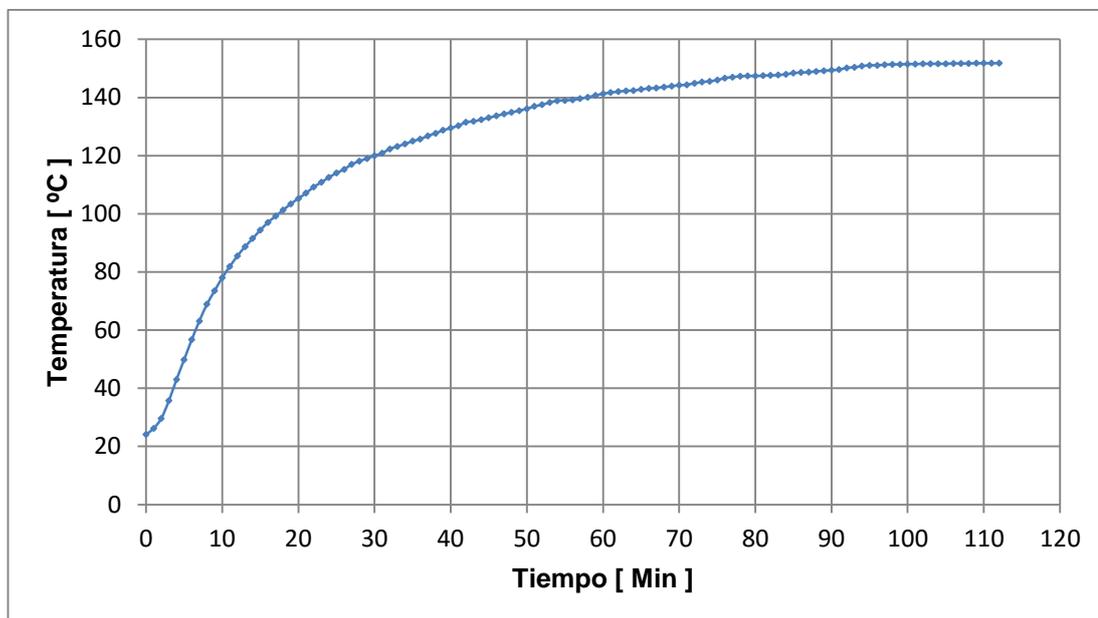


Figura 123. Temperatura Máxima de 2 zonas con un generador trifásico

En la tabla 52, se muestran las tensiones y corrientes promedio consumidos por la carga resistiva obtenida del **ANEXO 2 (tabla1. Parámetros de zona 1 y 2 con generador trifásico)**.

Tabla 52.

Parámetros promedio de zona 1 y 2 con generador trifásico

TENSIÓN			CORRIENTE		
L1/L2	L2/L3	L1/L3	LI	L2	L3
218,34	218,75	218,75	39,99	40,35	40,35

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Al utilizar un suministro eficiente como es el generador trifásico AC, se puede verificar que los valores de los voltajes y corrientes son similares en las 3 fases y que la corriente consumida por las 3 fases se asemeja al valor calculado teóricamente.

De acuerdo a los valores obtenidos en el **ANEXO 1**, la temperatura máxima es de **151,8 °C** en el lapso de **1 hora con 52 minutos**. Por lo tanto se concluye que la temperatura máxima del horno es aceptable, siempre y cuando se trabaje con un suministro eléctrico trifásico eficiente, con capacidad acorde a las necesidades del sistema.

6.3.2. PRUEBAS DE TEMPERATURA MÁXIMA CON SUMINISTRO ELÉCTRICO Y GENERADOR DE FASE

- **ZONA 1 Y 2**

Previamente se mencionó la deficiencia que presenta la empresa con el suministro eléctrico actual, pero por motivos económicos y estrictamente laborales se ve la necesidad de poner en operación el horno eléctrico con el suministro eléctrico actual aunque eso implique pérdida de potencia en las resistencias lo cual conlleva a que la temperatura máxima no llegue al 100% de su capacidad. En la figura 124 se muestra el comportamiento de la planta con la activación de las 2 zonas de trabajo con datos obtenidos del **ANEXO 1 (Tabla1. Temperatura máxima en función del tiempo)**.

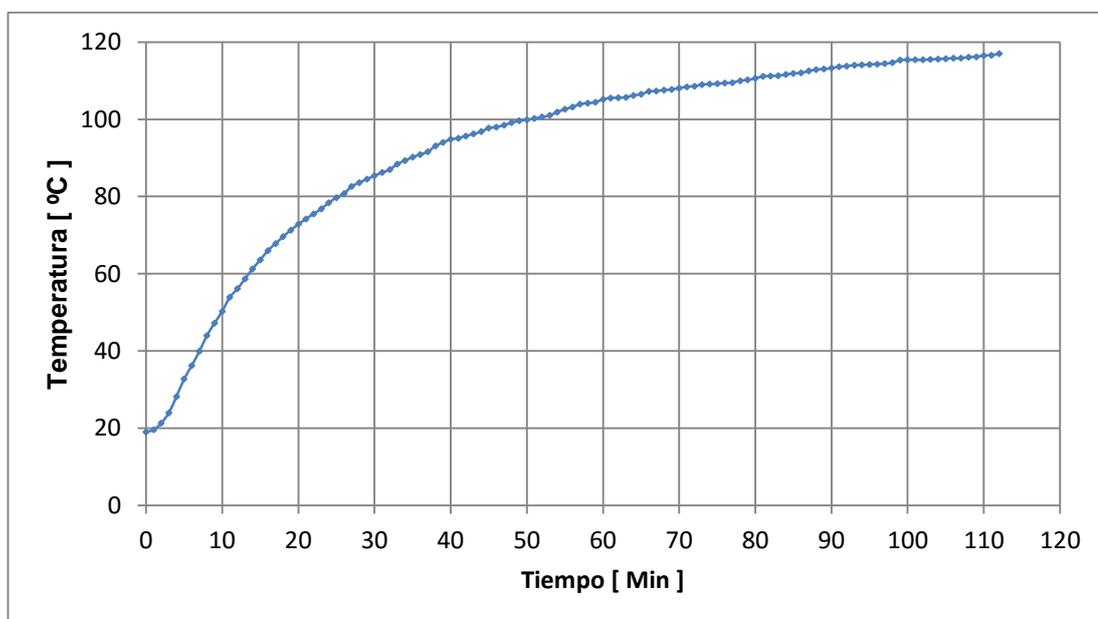


Figura 124. Temperatura Máxima de 2 zonas

En la tabla 53, se muestran las tensiones y corrientes promedio consumidos por la carga resistiva obtenida del **ANEXO 2 (tabla2. Parámetros de zona 1 y 2 con suministro eléctrico y generador de fase).**

Tabla 53.

Parámetros promedio de zona 1 y 2 con suministro eléctrico actual

TENSIÓN			CORRIENTE		
L1/L2	L2/L3	L1/L3	LI	L2	L3
219,17	80,2	177,22	41,47	30,57	17,92

- **ANALISIS DE RESULTADOS**

Al utilizar el suministro eléctrico con el generador de fase, claramente se puede verificar en la tabla 53 que existen caídas de Tensión, lo que implica que las resistencias no trabajen al 100% de su potencia total. Por lo tanto la temperatura máxima con este suministro eléctrico disminuirá.

Los interruptores automáticos del medidor eléctrico son de 63 A. Por lo tanto no existe ningún problema con el consumo del sistema resistivo, a menos que los técnicos realicen pruebas de motores trifásicos de grandes potencias al mismo tiempo que el uso del horno eléctrico con las 2 zonas activas, lo que implicará que los interruptores automáticos corten la energía eléctrica. Dado este posible problema es que uno de los requerimientos fue la implementación de un selector de N° de ZONAS, ya que si van a realizar pruebas de arranque el horno podrá estar en funcionamiento únicamente con 1 zona activa. Lo que conlleva a que el consumo de corriente disminuirá en un 50%.

La función del horno con las 2 zonas activas será para el proceso de curado del barniz, posteriormente se analizará que la temperatura de curado es proporcional al tiempo de ejecución siempre y cuando la diferencia entre la temperatura disponible y los valores de temperatura sugeridos por el fabricante no supere los 20 °C.

De acuerdo a los valores obtenidos en el ANEXO 1, la temperatura máxima es de **117 °C** en el lapso de **1 hora con 52 minutos**. Analizando el valor obtenido se tomó en consideración que el tiempo de estabilidad sea de **1 hora con 30 minutos**. De acuerdo a la gráfica mostrada en la figura 124 y a los valores obtenidos se decidió que el rango de operación sea:

De 25° C a 115° C.

Cabe recalcar que, como se desarrolló un control ON – OFF con histéresis de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, y de acuerdo a la los valores del ANEXO 1, la estabilidad se dará en 89 minutos.

- **ZONA 1**

En la figura 125, se muestra el comportamiento de la planta con la activación de 1 zona de trabajo con datos obtenidos del **ANEXO 1 (Tabla1. Temperatura máxima en función del tiempo)**.

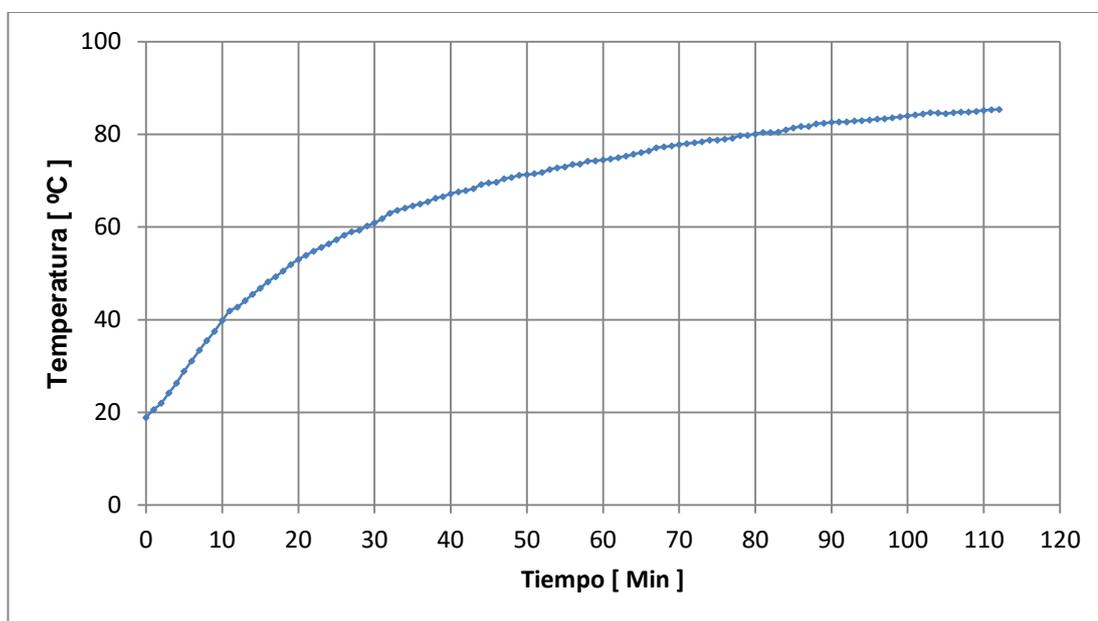


Figura 125. Temperatura Máxima de 1 zona

En la tabla 54, se muestran las tensiones y corrientes promedio consumidos por la carga resistiva obtenida del **ANEXO 2 (Tabla3. Parámetros de zona 1 con suministro eléctrico y generador de fase)**.

Tabla 54.

Parámetros promedio de zona 1 con suministro eléctrico actual

TENSIÓN			CORRIENTE		
L1/L2	L2/L3	L1/L3	LI	L2	L3
228,86	136,06	225,39	23,0	16,63	16,0

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Al utilizar 1 zona de trabajo existen caídas de Tensión al igual que al utilizar las 2 zonas de trabajo, pero en este caso las caídas son menores ya que la carga disminuye un 50%.

La operación del horno con 1 zona activa, se lo realizará únicamente cuando la empresa esté realizando pruebas de arranque en motores de grandes potencias para evitar que los interruptores automáticos de los tableros de distribución corten la energía por la sobre corriente utilizada.

La función que cumplirá el horno con la activación de 1 zona de trabajo será para el secado de los rotores y estatores en el proceso de mantenimiento que realiza la empresa. Por lo tanto la temperatura de secado de las bobinas es proporcional al tiempo de ejecución.

De acuerdo a los valores obtenidos en el ANEXO 1, la temperatura máxima es de **85,4 °C** en el lapso de **1 hora con 52 minutos**. De manera que analizando el valor obtenido se tomó en consideró el mismo tiempo de estabilidad que con el uso de 2 zonas, por lo tanto se decidió que el rango de operación sea:

De 25° C a 80° C.

Cabe recalcar que, como se desarrolló un control ON – OFF con histéresis de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, y de acuerdo a la los valores del ANEXO 1, la estabilidad se dará en 71 minutos.

6.3.3. RELACION DE TEMPERATURAS MÁXIMAS CON 2 ZONAS ACTIVAS

Como se pudo observar en las gráficas previas, los resultados de las temperaturas máximas varían debido al problema del suministro eléctrico que se utiliza para alimentar al circuito de potencia, ya que en el primer caso se utiliza un generador trifásico, lo cual implica que la potencia de las resistencias trabaje al 100% mientras que con el suministro actual se tendrá pérdidas de potencia. En la figura 126, se observa la gráfica resultante de la relación entre ambos resultados obtenidos del **ANEXO 1 (Tabla1. Temperatura máxima en función del tiempo)**.

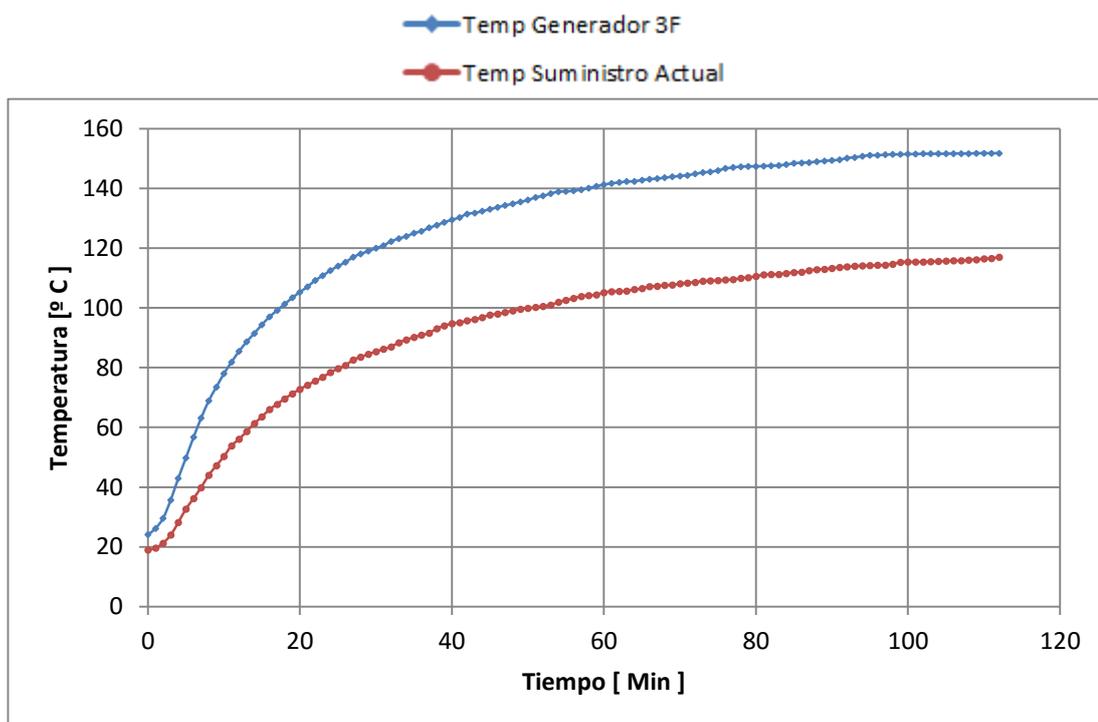


Figura 126. Relación de temperaturas Máximas

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Debido a las exigencias laborales es necesaria la funcionalidad del horno con el suministro actual hasta la adquisición de un mejor suministro eléctrico. En conclusión se puede afirmar que actualmente el horno utiliza el **77,1 %** de toda su potencia resistiva de acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 55.

Lo cual implica el aumento de tiempo de curado con una temperatura máxima de 117° C como se muestra en la tabla 55.

Tabla 55.
Temperaturas máximas de trabajo

TEMPERATURAS MÁXIMAS [°C]	
Generador trifásico AC	Suministro eléctrico con generador de fase
151,8 °C	117,0 °C

6.4. PRUEBAS DE CONTROL DE TEMPERATURA

Las pruebas del control de temperatura se lo realizo con valores altos, utilizados para mantenimiento de 100 °C, para precalentado del horno de 50 °C y principalmente se realizó una toma de datos con el valor más alto que se puede ingresar en el Basic Panel. Para el curado del barniz aislante se utilizará el máximo valor posible ya que con el actual suministro no es posible alcanzar temperaturas mayores a 117°C. Por lo tanto mediante los valores obtenidos en el **ANEXO 3 (Tabla1. Valores obtenidos del control de temperatura)** se obtuvo el resultado mostrado en la figura 127.

- **Set Point: 115 °C**

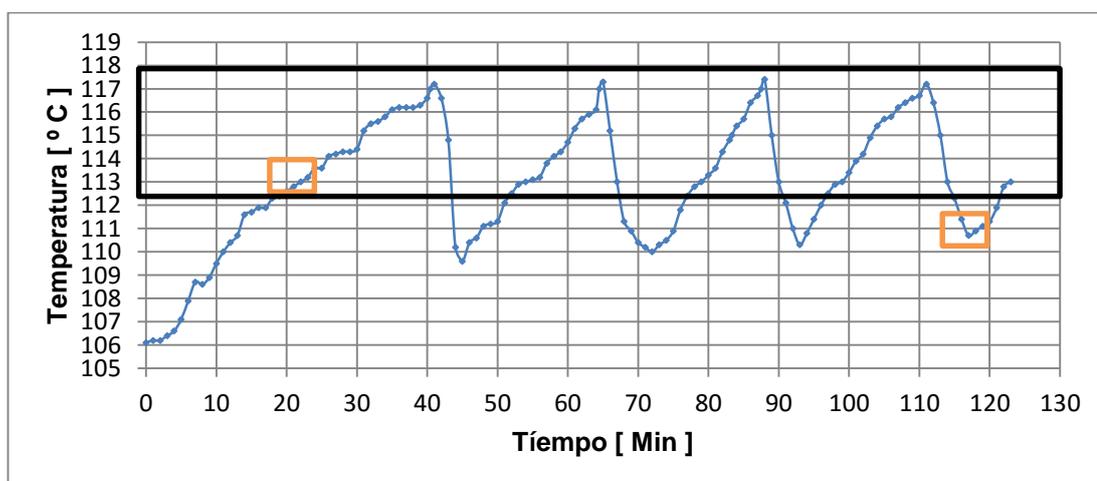


Figura 127. Curva resultante del control de temperatura

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Inicialmente se estimó una banda de histéresis (± 5 °C), pero el problema surgió en que el pico de la banda diferencia inferior superaba el margen de 5 °C. Por lo tanto se realizó pruebas disminuyendo el margen de histéresis a (± 2 °C), ya que como se observa en la curva resultante de la figura 127. El pico más bajo de la banda diferencial inferior es de 3 °C y se puede verificar que a medida que recorre el tiempo ingresado, el pico disminuye logrando que la temperatura se mantenga lo más aproximado al rango de control.

De acuerdo a la curva resultante de la figura 127, se verifica que cuando el controlador entra en funcionamiento estable, el circuito resistivo permanece activo **20 minutos** y se desactivado aproximadamente **3 minutos** con la banda de histéresis actual, lo cual implica ahorro energético y descanso de los relés de estado sólido en su conmutación que implica que eviten disipación de calor en ese lapso de tiempo.

La curva resultante de la figura 127, pertenece a un Set Point de 115°C, lo cual implica que exista una banda diferencial de 113°C a 117°C. El valor de temperatura inicia en 106,1 °C, llegando a su tiempo de estabilidad en aproximadamente 22 minutos como se observa en la figura 128.

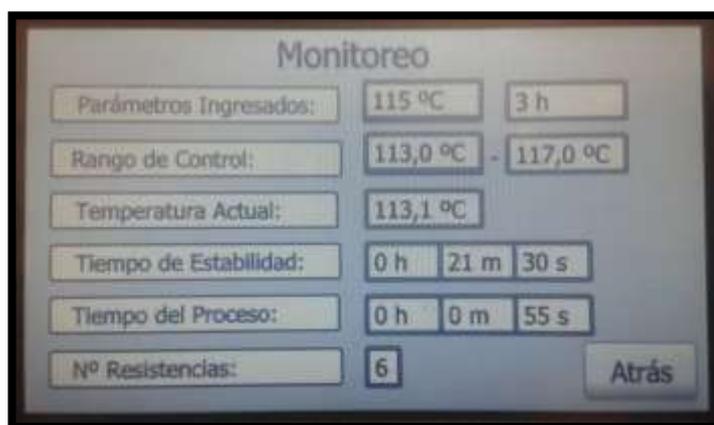


Figura 128. Monitoreo del control de temperatura a 115°C

Con un **Set Point de 100 °C**, como se muestra en la figura 129, los resultados fueron satisfactorios.

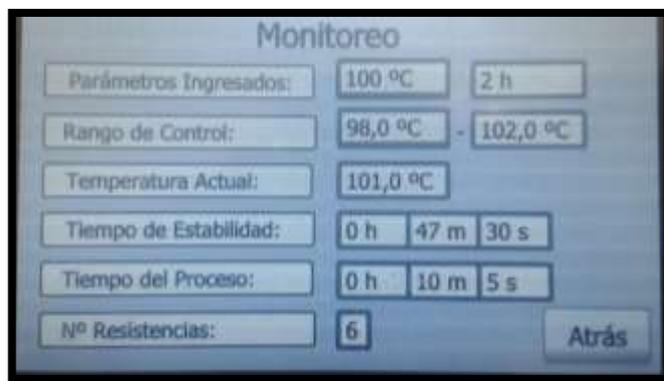


Figura 129. Monitoreo del control de temperatura a 100 °C

6.5. CURADO DE BARNIZ AISLANTE

Cada barniz utilizado tiene una forma de aplicación y curado específico. A continuación se menciona uno de los barnices aislantes más comunes utilizados en el proceso:

- **BC-346-A**

Es una formula especializada, barniz de alta temperatura, que puede ser utilizado en una amplia gama de aplicaciones de inmersión y hornear.

- Transformadores
- Bobinas herida aleatoria
- Estatores
- Armaduras

Un detalle técnico más completo del barniz BC-346-A se muestra en el **ANEXO 4. Technical Data Sheet BC-346-A.**

Para la impregnación del barniz y el curado del mismo es necesario realizar el siguiente procedimiento:

- Pre secado de las partes a 120° C para eliminar la humedad.
- Enfriar a 45 °C - 50° C
- Sumerja hasta que deje de burbujear (15-30 minutos).
- Drenaje entre 5-20 minutos
- Hornear en un horno precalentado a tiempo y la temperatura recomendada

Cada barniz presenta los ciclos de horneado sugeridos por el fabricante, de manera que las empresas que se dediquen a las actividades de rebobinado tengan en consideración los tiempos y temperaturas a las cuales deben ser sometido. En la tabla 56, se muestra los ciclos sugeridos por el fabricante del barniz.

Tabla 56.

Ciclos de horneado sugeridos por el fabricante

Tiempo [Horas]	Temperatura [°C]
1 – 2	160 °C
2 – 3	148 °C
2 – 4	135 °C

Los tiempos se toman después de que alcance la temperatura de cocción, es por eso que el programa desarrollado posee un parámetro tiempo de estabilidad y a partir de ahí inicia el tiempo del proceso.

- **ANALISIS**

Ya que los ciclos de horneado del barniz aislante sugeridos por el fabricante no menciona un tiempo de horneado exacto y tomando en cuenta la deficiencia eléctrica que posee la empresa. Los técnicos rebobinadores han desarrollado pruebas prácticas de temperatura durante los últimos años, curando barnices con una temperatura no mayor a 110 °C.

En estas pruebas prácticas demostraron que la temperatura de curado es proporcional al tiempo sometido.

Por lo tanto se han desarrollaron nuevos ciclos de curado con las temperatura que se puede alcanzar en el horno con el suministro eléctrico actual. Estos ciclos desarrollados se muestran en la tabla 57.

Tabla 57.

Ciclos de horneado experimentales

Tiempo [Horas]	Temperatura [°C]
4 – 6	100 °C
4 – 8	115 °C

Cabe mencionar que la dimensión del estator es un factor importante para incrementar o disminuir el tiempo de horneado.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- El sistema de control automático del horno de calentamiento por resistencias eléctricas presenta ventajas cualitativas como: eficiencia en su funcionamiento, precisión del proceso térmico, la mejora de condiciones ambientales y mayor seguridad hacia los operadores lo cual disminuye riesgos laborales.
- Mediante las pruebas de temperaturas máximas con el actual suministro eléctrico se desarrollaron nuevos ciclos de horneado, aumentando el tiempo de ejecución y disminuyendo la temperatura a la cual debe ser sometido, una de las ventajas del incremento del tiempo es que se evita que se forme una capa superficial seca que encierra y dificulta la salida de los solventes.
- La técnica de control ON – OFF con lazo de histéresis utilizado en el sistema de control se ajusta perfectamente a los nuevos ciclos de horneado, ya que el proceso de curado no necesita de un ajuste de control perfecto, demostrando que existe una banda de diferencia inferior de solo 3 °C lo cual permite que el proceso sea eficiente.
- El circuito de potencia resistiva posee un descanso de 3 minutos, con la actual banda de histéresis, por lo tanto, existirá ahorro energético, los dispositivos de protección y conductores evitarán el flujo de corriente, lo cual implica mayor vida útil de los mismos y la disipación de calor de los relés de estado sólido trifásicos se cortará, por lo tanto, el ventilador ingresará aire frío al gabinete para estabilizar su temperatura.

- La interfaz HMI desarrollada permite la manipulación y monitoreo del sistema de manera óptima y eficiente de manera que el diseño del mismo cumplió con las características planteadas de operatividad al ser intuitiva y de fácil aprendizaje para las personas que lo manejen sin la necesidad de conocimientos avanzados del programa, permitiendo que el operador pueda realizar cualquier tipo de proceso térmico de acuerdo a los parámetros de diseño.
- Para evaluar el desempeño y funcionalidad del proceso térmico se ha realizado toma de valores de temperatura en función del tiempo para verificar las temperaturas necesarias y los parámetros como corriente y Tensión del sistema resistivo en diferentes tiempos verificando que no exista un cambio radical de estos parámetros, estas tomas de datos se las puede verificar en las tablas de los anexos 1, 2 y 3.
- Actualmente el horno funciona al **77,1 %** de toda su capacidad con el suministro eléctrico actual, de manera que por exigencias económicas y laborales se tuvo que adaptar el sistema realizando pruebas experimentales y desarrollando nuevos ciclos de curado por los propios técnicos eléctricos de la empresa.

7.2. RECOMENDACIONES

- Previamente al uso del sistema de control se debe verificar que se encuentre activado el generador de fase, verificando las tensiones de cada fase mediante el uso del multímetro, ya que si esta desactivado el generador de fase los equipos de protección se activarán por falta de una fase.

- El sistema diseñado e implementado posee varios dispositivos de seguridad, sin embargo la manipulación negligente por parte de los operarios podría ocasionar daños en el sistema, así como riesgos laborales, por lo tanto tomar en consideración normas de seguridad y entender el funcionamiento correcto del sistema antes de utilizarlo.
- Se deberá realizar mantenimiento preventivo cada dos meses del horno, tanto en su estructura mecánica como en la parte eléctrica, de manera que se evite posibles daños en el futuro y se tenga que realizar procesos correctivos lo cual implicaría paro del sistema y pérdidas económicas.
- En caso de que se dañe una resistencia y este requiera reparación interna es necesario enfriar el horno y extraer toda la carga interna mediante el cierre del paso de corriente por los seccionadores implementados para evitar quemaduras o posibles descargas eléctricas en el cuerpo humano por la manipulación directa de las resistencias u otro dispositivo involucrado en el daño del sistema.
- Hay que tomar en consideración que en caso de corte de energía en el tablero de control por cualquier circunstancia, las variables internas del proceso serán reseteadas, lo cual implica que se deberá volver a ingresar los parámetros tiempo y temperatura y comenzar nuevamente el proceso.
- La eficiencia del proceso de curado de barniz aislante puede ser mejorado mediante la implementación de un suministro eléctrico trifásico de capacidad mayor a los 63 A, de esta manera, se evitará caídas de tensión en el circuito resistivo por el generador de fase, se optimizará los tiempos de curado y se aumentará la productividad de la empresa.

- Para comprobar la calidad del curado, se recomienda a la empresa Siproelectrik .S.A, enviar muestras de la capa de barniz a laboratorios especializados, en donde se verifique que todas las partículas se hayan curado correctamente, de lo contrario tomar medidas para corregir dichos errores.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAGONÉS, J. B. (2003). *SENSORES DE TEMPERATURA*. Recuperado el 07 de Julio de 2016, de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf
- BARRETA, R. D. (2008). *ORIENTACIÓN EN MONTAJE ELECTROMECAÁNICO*. Recuperado el 02 de Junio de 2016, de <https://sites.google.com/site/399montajebobinados/home>
- CABLEC, C. E. (2015). *GENERAL CABLE CABLEC*. Recuperado el 26 de Julio de 2016, de http://www.kywi.com.ec/files/GENERAL_CABLE_1.pdf
- ELECTRIC SCHNEIDER. (1999). *MANUAL ELECTROTECNICO TELESQUEMARIO*. ESPAÑA.
- ELECTRIC, S. (s.f.). *CONTACTORES*. Recuperado el 21 de Julio de 2016, de http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/33000/FA33498/es_ES/Categorias%20de%20empleo.pdf
- INASEL. (Mayo de 2015). *CATALOGO GENERAL DE PRODUCTOS*. Recuperado el 19 de Julio de 2016, de https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY2015.pdf
- INEN. (2013). *CONDUCTORES Y ALAMBRES AISLADOS CON MATERIAL TERMOPLÁSTICO*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0439.1984.pdf>
- INEN. (2013). *SEÑALES Y SIMBOLOS DE SEGURIDAD*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0439.1984.pdf>

- LÓPEZ, D. (2013). *AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL*. Recuperado el 05 de Julio de 2016, de <http://cursos.aiu.edu/Automatizacion%20y%20Control/PDF/Tema%201.pdf>
- MARTÍN CASTILLO, J. C., & GARCÍA GARCÍA, M. P. (2011). *AUTOMATISMOS INDUSTRIALES*. EDITEX.
- MARTINEZ NAYA, J. (2015). *HORNOS INDUSTRIALES*. Recuperado el 05 de Julio de 2016, de <http://www.juliomartineznaya.com/hornos-industriales-resistencias-electricas-tipos-y-usos/>
- METAS, L. G. (Julio de 2006). *CRITERIOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-06-07-seleccion-termometros.pdf>
- MOTORTICO. (Junio de 2014). *LIMPIEZA Y RE-BARNIZADO DE BOBINADOS*. Recuperado el 05 de Julio de 2016, de <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014%20JUN%20-%20Limpieza%20y%20rebarnizado%20de%20bobinados.pdf>
- MURILLO, J., & SERNA, A. (2010). *MANUAL PARA EL REBOBINADO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN*. Recuperado el 30 de Junio de 2016, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2074/1/62146M977.pdf>
- ONORO, J. U. (2010). *TECNOLOGÍA INDUSTRIAL II*. Recuperado el 05 de Julio de 2016, de <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMaTICO.pdf>
- PERE PONSÁ, A., & VILANOVA ARBÓS, R. (Noviembre de 2005). *AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE LA GUÍA GEMMA*. CATALUNYA: UNIV. POLITEC. D CATALUNYA.
- PONSÁ, P., & GRANOLLERS, A. (2010). *DISEÑO DE PANTALLA*. CATALUNYA.
- QUILMES. (2010). *INTRODUCCIÓN AL HMI*. Recuperado el 28 de Julio de 2016, de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- SARMIENTO, M. (2011). *AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES I*. Recuperado el 07 de Julio de 2016, de <https://todoclase.files.wordpress.com/2011/11/1-introduccion3b3n.pdf>
- SEGURIDAD, P. D. (18 de Marzo de 2011). *PROTOCOLO DE ANÁLISIS Y/O ENSAYO DE SEGURIDAD DE PRODUCTO ELÉCTRICO*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2016, de http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/PRODUCTOS/PROTOS_ELECTRICIDAD/PE_2-07.PDF

- SIEMENS. (Septiembre de 2004). *FUENTE DE ALIMENTACIÓN LOGO!Power*. Recuperado el 14 de Julio de 2016
- SIEMENS. (2009). *SIMATIC S7-1200*. Recuperado el 07 de Julio de 2016, de <https://www.siemens.ca/web/portal/en/ProductsServices/Documents/SummerSpecial/S7-1200%20CPU%20Touch%20Panel.pdf>
- SIEMENS. (Junio de 2010). *MODULOS DE SEÑALES DE TERMOPAR SM 1231*. Recuperado el 13 de Julio de 2016, de https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/Documents/S71200%-20SM1231TC.PDF
- SIEMENS. (Abril de 2014). *MÓDULO TIA PORTAL*. Recuperado el 27 de Julio de 2016, de http://w3.siemens.com/mcms/sce/de/fortbildungen/ausbildungsunterlagen/tia-portal_module/tabcardseiten/documents/sce_es_020-011_r1404_startup_s7-1500_v13.pdf
- SIEMENS. (2014). *SIMATIC HMI KTP400 BASIC*. Recuperado el 14 de Julio de 2016, de <http://media.automation24.com/datasheet/es/6AV21232DB030AX0.pdf>
- TOAPANTA SOTO, A. (2012). *CONTROL DE TEMPERATURA ON-OFF CON HISTERESIS*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de <https://es.scribd.com/doc/97395385/Informe-de-Control-on-Off-Con-Histeresis>

ANEXOS

ANEXO 1. PRUEBAS DE TEMPERATURA MÁXIMA

ANEXO 2. PARÁMETROS DE CONSUMO

ANEXO 3. VALORES DE CONTROL DE TEMPERATURA

ANEXO 4. BARNIZ BC346A-DS -1

ANEXO 5. CATEGORÍAS DE EMPLEO DE LOS CONTACTORES

ANEXO 6. ESQUEMAS ELECTRICOS