



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORES: GUERRERO TERÁN, MAYRA ELIZABETH
PAVÓN BALSECA, LIZETH ANDREA**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
DE TEMPERATURA PARA UN EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
LOCALIZADO EN ACINDEC S.A.”**

DIRECTOR: ING. MORILLO, DIEGO

CODIRECTOR: ING. GORDILLO, RODOLFO

SANGOLQUÍ, MARZO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS (ESPE)
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

Ing. Diego Morillo

Ing. Rodolfo Gordillo

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO LOCALIZADO EN ACINDEC S.A.**”, realizado por Mayra Elizabeth Guerrero Terán y Lizeth Andrea Pavón Balseca, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a las Srtas. Mayra Elizabeth Guerrero Terán y Lizeth Andrea Pavón Balseca que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco Brito MSc, en su calidad de Director de la Carrera.

Sangolquí, 31 de Marzo del 2014

Ing. Diego Morillo

DIRECTOR

Ing. Rodolfo Gordillo

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS (ESPE)
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, Mayra Elizabeth Guerrero Terán y
Lizeth Andrea Pavón Balseca

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO LOCALIZADO EN ACINDEC S.A.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 31 de Marzo del 2014

Mayra Elizabeth Guerrero Terán

Lizeth Andrea Pavón Balseca

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS (ESPE)
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotras, Mayra Elizabeth Guerrero Terán y
Lizeth Andrea Pavón Balseca

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO LOCALIZADO EN ACINDEC S.A.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 31 de Marzo del 2014

Mayra Elizabeth Guerrero Terán

Lizeth Andrea Pavón Balseca

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres, Abdón y Marlene por los valores que supieron enseñarme, siendo ellos mismos personas con muchas virtudes, por creer en mí en todo momento ya que, fue su amor incondicional el que me impulsó a lo largo de esta dura carrera permitiendo que la culmine con éxito.

A mis hermanas Mercedes y Carolina quienes son mis mejores amigas y las responsables de traer a este mundo a mis sobrinos Thiaguito y Emily, esas pequeñas personitas por las que quiero dar siempre lo mejor de mí en todo lo que hago, buscando ser alguien digno de admirar.

Mayra E. Guerrero T.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico de corazón a mis padres, Leo y Yoly, ya que fueron quienes hicieron esto posible; porque fueron todas sus enseñanzas las que me ayudaron a salir de todas las dificultades; porque gracias a ustedes soy quien soy hoy, una persona correcta, buena, llena de valores y virtudes que me han ayudado a caminar por el camino correcto; porque han sido un gran ejemplo de perseverancia y constancia. Gracias Papi porque tus sabias palabras me llenan de valentía y me ayudan a ser cada vez mejor persona; gracias Mami porque tus consejos siempre me sirven para superarme y seguir adelante.

A mi Hermana, a mi Abuelita y a toda mi Familia porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y cariño incondicional.

Liz A. Pavón B.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi apoyo en momentos difíciles y de soledad, siendo esa fuerza espiritual que me ha llevado a tomar las decisiones correctas, para mantenerme en los objetivos planteados.

A mis padres por nunca perder la fe en mí, y a pesar de no estar juntos en todo momento haberme hecho sentir; querida, cuidada y valorada.

A quienes conforman ACINDEC S.A. por los conocimientos que pudimos adquirir al desarrollar este proyecto, especialmente al departamento de Automatización y Control por su apoyo y ayuda cuando fue requerida.

A mi amigo y enamorado por tener siempre las palabras correctas en los momentos difíciles devolviéndome la seguridad en mis capacidades y dándome el apoyo necesario para culminar este proyecto y los que se aproximen.

Gracias a mis amigos, aquellos que ahora son parte de mi vida, por todo lo aprendido y compartido, tanto en las aulas como fuera de ellas.

Mayra E. Guerrero T.

AGRADECIMIENTO

A Dios porque me bendice con vida, por ser mi protección y mi guía para siempre caminar con pasos seguros y firmes; por haber sido mi apoyo espiritual cuando sentía que me faltaba fuerza para seguir; porque siempre llegaban a mí las palabras que necesitaba escuchar para no desistir de mis metas haciéndome ver que pueden existir varios caminos para llegar a lo que te propones.

A mis padres porque fueron mis primeros profesores, gracias por brindarme todos sus conocimientos; porque siempre están apoyándome, por su comprensión, por sus sabios consejos; porque siempre tuvieron fe en mí y no me dejaron caer cuando sentía que ya no podía más; por tener las palabras exactas que me hacían luchar con más entusiasmo y no rendirme ante los problemas y por brindarme su amor incondicional. A mi Hermana, mis Primos, mi Abuelita que siempre estuvieron a mi lado cuando los necesité, me apoyaron en los momentos más importantes y decisivos de mi vida.

A mis profesores que supieron compartir conmigo sus conocimientos y sus anécdotas para poder resolver de forma eficiente y efectiva todas las dificultades que se presenten en la vida laboral y personal.

A mis amigos que fueron la familia que yo escogí por estar a mi lado y nunca darme la espalda; porque su presencia me hizo fuerte para superar todas las dificultades que se presentaron; por los momentos en los que

compartimos risas y lágrimas de felicidad y tristeza, por sus palabras de aliento.

A ACINDEC S.A., al Departamento de Automatización y Mantenimiento por acogirme y hacerme sentir parte de su familia, por compartir sus conocimientos con paciencia; por brindarme toda la ayuda que necesité para llevar a cabo este proyecto.

Liz A. Pavón B.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
CAPÍTULO 1	2
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO LOCALIZADO	2
1.1. LA EMPRESA	2
1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	5
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	7
1.4. OBJETIVOS	11
1.4.1. General	11
1.4.2. Específicos	11
1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL ACTUAL	12
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO	13
CAPÍTULO 2	16
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	16
2.1. TRATAMIENTO TÉRMICO	21
2.2. PRINCIPALES TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO	23
2.2.1. Temple	24
2.2.2. Recocido	28
2.2.3. Revenido	29
2.2.4. Normalizado	30
2.3. TRATAMIENTO TÉRMICO DE SOLDADURA	31
2.3.1. Tratamiento térmico localizado	32
2.3.2. Resistencias Eléctricas con Calefactores Flexibles	36
2.3.3. Resistencias Eléctricas con Método de la Mampara	38
2.4. MEDICIÓN DE TEMPERATURA	41
2.4.1. Termocuplas	41
2.5. FIJACIÓN DE TERMOCUPLAS	43
2.6. TÉCNICAS DE CONTROL	44
2.6.1. Sistemas de control	44
2.6.2. Controlador	45
2.7. NORMAS APLICADAS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO	47

2.7.1. Normas NEC	47
2.7.2. Normas NEMA	49
2.7.3. Norma ASME.....	50
CAPÍTULO 3	53
DISEÑO DE HARDWARE	53
3.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y VARIABLES DE PROCESO	53
3.2. FILOSOFÍA DE FUNCIONAMIENTO	55
3.2.1. Etapas de Funcionamiento de la Máquina.....	56
3.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	59
3.3.1. Toma de datos	59
3.3.2. Materiales Necesarios.....	70
3.3.3. Cálculo de Cableado del Sistema	73
3.4. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO	81
3.5. DIAGRAMAS	83
3.5.1. Diagrama de Bloque Funcional.....	83
3.5.2. Diagrama de lazo de control (P&ID)	85
3.5.3. Diagramas eléctricos del sistema.....	85
3.5.6. Diagrama de Distribución.....	87
CAPÍTULO 4	88
DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	88
4.1. SISTEMA DE CONTROL IMPLEMENTADO	88
4.2. DISEÑO DE ALGORITMOS DE CONTROL DE TEMPERATURA	90
4.2.1. Diagrama de flujo general	91
4.2. PARAMETRIZACIÓN DEL MÓDULO DE TEMPERATURA	99
4.3. DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI	103
4.3.1. Pantalla de inicio	104
4.3.2. Pantalla modo manual	105
4.3.3. Pantalla de configuración.....	107
4.3.4. Pantalla modo automático.....	108
4.3.5. Pantalla paro de emergencia.....	110
4.3.6. Pantalla etapas del tratamiento	110
4.3.7. Pantalla de precaución por resistencias.....	111
4.3.8. Pantalla función reset	112
4.3.9. Pantalla imprimir	113

CAPÍTULO 5	115
IMPLEMENTACIÓN	115
5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO	115
5.1.1. Re ubicación de elementos	117
5.1.2. Perforaciones del tablero	121
5.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS	126
5.2.1. Control eléctrico de Potencia	126
5.2.2. Equipos de protección	131
5.2.3. Controlador programable y módulos	135
5.3. ARMADO DE LOS GUARDA FONDOS	140
5.2.1. Cableado de Elementos	142
5.2.2. Etiquetado de Cables	143
5.2.3. Detalles finales	145
CAPÍTULO 6	149
PRUEBAS Y RESULTADOS	149
6.1. PRUEBA DE COMUNICACIÓN	150
6.2. PRUEBAS DE LAS SUBROUTINAS DEL PLC	156
6.3. PRUEBAS DE ENTRADAS ANALÓGICAS DE TERMOCUPLA.	159
6.4. PRUEBA DE LOS INFORMES Y SU REGISTRO.	160
6.5. PRUEBA COMPLETA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO.	163
CAPÍTULO 7	166
ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	166
7.1. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	166
7.2. SITUACIÓN SIN EL PROYECTO	167
7.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	167
7.4. SITUACIÓN CON EL PROYECTO	167
7.5. COSTO	168
7.6. BENEFICIO	173
CAPÍTULO 8	176
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	176
8.1. CONCLUSIONES	176
8.2. RECOMENDACIONES	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Logotipo de la empresa ACINDEC S.A.	2
Figura. 2. Interior de máquina para tratamiento térmico anterior.	7
Figura. 3. Máquina actual para realizar el Tratamiento Térmico	13
Figura. 4. Interruptores de cuchilla sustituidos por fusibles ultra-rápidos.	15
Figura. 5. Puntos de tensión locales	17
Figura. 6. a) Efecto del contenido del carbono en la resistencia de los aceros, b) Efecto del contenido del carbono en la ductilidad de los aceros comunes.	19
Figura. 7. Diagrama Hierro-Carbono	22
Figura. 8. Tratamientos Térmicos más Importantes	24
Figura. 9. Tipos de Temple.	28
Figura. 10. Revenido	30
Figura. 11. Ancho de Banda en Tratamientos Localizados	34
Figura. 12. Longitudes de los cordones de soldadura.	34
Figura. 13. Resistencia Flexible de Cerámica.	36
Figura. 14. Método de la Mampara	40
Figura. 15. Soldadura de Termocuplas por Descarga Capacitiva.	43
Figura. 16. Sistema de Lazo Cerrado con un controlador On-Off.	44
Figura. 17. PLC MicroLogix 1400	47
Figura. 18. Panel indicador del estado del proceso.	56
Figura. 19. Toma de datos con pinza amperimétrica.	62
Figura. 20. Modelo de Circuitos de una, dos y tres cargas conectadas en paralelo.	63
Figura. 21. Cubierta de cable THHN.	78
Figura. 22. Cable para alta temperatura.	80
Figura. 23. Diagrama de bloque funcional.	84
Figura. 24. Diagrama de Control On-Off Empleado.	89
Figura. 25. Diagrama de Flujo General del funcionamiento del programa de tratamiento térmico.	92
Figura. 26. Diagrama de flujo de subrutina de calentamiento.	96
Figura. 27. Diagrama de Flujo Subrutina Etapa de Mantenimiento.	97
Figura. 28. Diagrama de flujo de Subrutina de Enfriamiento.	98
Figura. 29. Opciones del controlador.	99
Figura. 30. Configuración de entradas y Salidas.	100
Figura. 31. Parámetros de Módulo de entradas de termocupla.	101
Figura. 32. Conexión de módulo 1762-IT4.	102
Figura. 33. Pantalla de Inicio.	104
Figura. 34. Ventana de Ingreso.	105
Figura. 35. Pantalla Funcionamiento Manual.	106
Figura. 36. Pantalla Estado de Termocupla.	107
Figura. 37. Pantalla de Funcionamiento Automático.	108
Figura. 38. Aviso de activación y desactivación de Paro de Emergencia.	110
Figura. 39. Pantalla para escoger Etapas.	111

Figura. 40. Selector en la máquina.....	112
Figura. 41. Pantalla Precaución por Resistencias.....	112
Figura. 42. Pantalla Precaución Reseteo.....	113
Figura. 43. Documento de resultado presentado en .pdf.....	114
Figura. 44. Tablero armado.....	116
Figura. 45. Máquina de Tratamiento Térmico reemplazada.....	116
Figura. 46. Traslado de Máquina a reemplazar.....	117
Figura. 47. Transformador de 80KVA a utilizar.....	118
Figura. 48. Etiquetado de las terminales del Transformador.....	118
Figura. 49. Desmontando el Transformador de la Máquina a reemplazar.....	119
Figura. 50. Diagnóstico y limpieza del transformador.....	120
Figura. 51. Transformador montado en Tablero nuevo.....	121
Figura. 52. Perforaciones del lado lateral derecho.....	122
Figura. 53. Soporte de cable de alimentación, lado derecho.....	122
Figura. 54. Mesa para computador en lado derecho.....	123
Figura. 55. Perforaciones del lado izquierdo.....	124
Figura. 56. Soporte para Cables de Fuerza en lado izquierdo.....	124
Figura. 57. Puerta del Tablero con dispositivos de medida.....	125
Figura. 58. Contactores colocados y etiquetados.....	127
Figura. 59. Contactor Siemens 3RT1044-1AF00.....	127
Figura. 60. Relé de Estado Sólido OPTEC TA48A125.....	130
Figura. 61. Relés, Disipadores y Ventiladores instalados.....	131
Figura. 62. Fusibles Ultra rápidos con base colocados en tablero.....	132
Figura. 63. Breaker de Caja Moldeada 3VT1.....	133
Figura. 64. Breaker de Caja moldeada colocado en Tablero.....	133
Figura. 65. Disyuntor Termo-magnético 5SX1.....	134
Figura. 66. Disyuntores conectados en Guarda Fondo de Tablero.....	135
Figura. 67. Vista Frontal de MicroLogix 1400.....	136
Figura. 68. Transformador de Aislamiento colocado en la base del tablero.....	136
Figura. 69. PLC colocado en el tablero.....	138
Figura. 70. Módulo de expansión conectado al controlador.....	139
Figura. 71. PLC y Módulos colocados a la distancia indicada.....	139
Figura. 72. Tabla Termopar vs Precisión.....	140
Figura. 73. Instalación de dispositivos en guarda fondo delantero.....	141
Figura. 74. Instalación de dispositivos en guarda fondo posterior.....	141
Figura. 75. Cableado de guarda fondo delantero.....	142
Figura. 76. Cableado del guarda fondo posterior.....	143
Figura. 77. Etiquetado de instrumentos del guarda fondo delantero.....	144
Figura. 78. Etiquetado de cableado del guarda fondo delantero.....	144
Figura. 79. Tapas de canaletas delanteras.....	145
Figura. 80. Tablero delantero terminado.....	146
Figura. 81. Tablero posterior terminado.....	146
Figura. 82. Tablero Terminado vista isométrica derecha.....	147
Figura. 83. Tablero Terminado Vista isométrica izquierda.....	148
Figura. 84. Ícono de Panel de control.....	150
Figura. 85. Ícono de Redes e Internet del Panel de Control.....	150

Figura. 86. a) Estado de conexión de red. b) Propiedades.	151
Figura. 87. IP Estática del Ordenador.	151
Figura. 88. Pantalla de Comandos de Windows.	152
Figura. 89. Comando PING ejecutado hacia PLC.	152
Figura. 90. Panel de control del PLC.	153
Figura. 91. Selección de Advanced Set/Ethernet Configuration.	154
Figura. 92. Estado actual del PLC.	155
Figura. 93. Configuración del Driver Ethernet.	156
Figura. 94. Aplicación RSLogix500.	157
Figura. 95. Subrutina del programa de Tratamiento Térmico.	158
Figura. 96. Verificación del funcionamiento del programa.	158
Figura. 97. Toma de datos con Pirómetro.	159
Figura. 98. Datos de temperatura tomados antes de compensar	160
Figura. 99. Registro de Datos de temperatura.	161
Figura. 100. Ventana de Impresión.	162
Figura. 101. Archivo .PDF, generado de la Ventana de Impresión.	162
Figura. 102. Soldadura por descarga capacitiva.	164
Figura. 103. Manta térmica, para cubrir a las resistencias.	164
Figura. 104. Tratamiento en proceso	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1. Métodos del Tratamiento Térmico de Soldadura	31
Tabla. 2. Métodos de Calentamiento.....	32
Tabla. 3. Longitudes para Tratamiento Térmico Localizado.	35
Tabla. 4. Termocuplas usadas en el Tratamiento Térmico.	42
Tabla. 5. Voltaje del Transformador sin carga.....	61
Tabla. 6. Salida 1 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.....	63
Tabla. 7. Salida 2 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.....	64
Tabla. 8. Salida 3 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.....	64
Tabla. 9. Salida 4 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.....	65
Tabla. 10. Salida 5 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.....	65
Tabla. 11. Salida 6 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.....	66
Tabla. 12. Voltaje trifásico de alimentación.	66
Tabla. 13. Corriente en cada línea a máxima carga.....	67
Tabla. 14. Voltaje tomado de los bobinados para cada circuito con una resistencia.	67
Tabla. 15. Características de las salidas conectando una resistencia a la salida. ...	68
Tabla. 16. Características de los circuitos de dos resistencias a la salida.....	68
Tabla. 17. Voltaje tomado de los bobinados para cada circuito con dos resistencias.....	69
Tabla. 18. Características de las salidas con dos resistencias conectadas.....	69
Tabla. 19. Material usado en circuitos de potencia.	70
Tabla. 20. Material usado en circuitos de control.	71
Tabla. 21. Equipo usado para la medición.	71
Tabla. 22. Material usado en la conexión y armado del tablero.	72
Tabla. 23. Material usado para realizar un Tratamiento Térmico.	73
Tabla. 24. Detalle de cargas con alimentación de 110VAC.	74
Tabla. 25. Límites de caídas de tensión reglamentarios.	77
Tabla. 26. Características de los cables.....	81
Tabla. 27. Formatos de los datos del módulo.	103
Tabla. 29. Usuario y contraseña.....	104
Tabla. 30. Tabla comparativa de equipos para control de temperatura	128
Tabla. 31. Datos para selección de Fusible.	132
Tabla. 32. Lista de precios de elementos empleados.	171
Tabla. 33. Lista de elementos de la máquina extranjera.....	172

RESUMEN

En el presente documento se detallará el Diseño de una máquina para tratamiento térmico localizado en acero al carbono en ACINDEC S.A. para iniciar el diseño se debió investigar sobre los mejores métodos de control de temperatura que se acoplaran a las necesidades y requerimientos de la empresa; se realizó el diseño del tablero de control, se realizaron pruebas a los transformadores que se reutilizaron para verificar su correcto funcionamiento. El proyecto plantea la optimización de tiempos con una mejora en el control de temperatura por lo que se realiza la automatización del proceso, ayudando así a disminuir errores, reduciendo esfuerzos internos, evitando daños en los elementos y en el personal, ya que se toma en cuenta todas las medidas de seguridad en el proceso de diseño e implementación, usando los mejores elementos disponibles en el mercado seleccionados después de análisis de sus bondades. Se detalla cómo se realizaron todas las etapas de diseño de software y hardware así como la comunicación empleada entre la interfaz HMI con el PLC y la obtención de los reportes que son entregados a los clientes.

Palabras clave:

Electrónica

Automatización

Tratamiento térmico

Soldadura

Acero.

CAPÍTULO 1

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO LOCALIZADO

1.1. LA EMPRESA

Aceros Industriales del Ecuador “ACINDEC S.A.” es una de las empresas más importantes en el diseño, desarrollo, fabricación, montaje y puesta en marcha de proyectos para plantas industriales, equipos e instalaciones; cuenta con modernas tecnologías relacionadas con la ingeniería mecánica, electrónica, control de procesos e informática.



Figura. 1. Logotipo de la empresa ACINDEC S.A.

Igualmente diseña desde pequeños equipos, hasta sistemas industriales de gran tamaño; son constituidos bajo especificaciones de diseño y fabricación que satisfacen los más altos estándares de calidad.

Sumado a las modernas tecnologías que presenta cuenta con un equipo humano altamente calificado, además de una moderna planta industrial, que en conjunto han formado un centro de excelencia en la práctica de las ingenierías que se desarrollan en ACINDEC S.A.

ACINDEC S.A. está en capacidad de construir desde equipos individuales hasta sistemas industriales integrados bajo la modalidad de “llave en mano”.

La empresa dispone de varios equipos de trabajo para atender muchos proyectos de manera simultánea. Los ingenieros son los encargados de planificar, supervisar y controlar el desarrollo de las diferentes operaciones de fabricación.

La planta industrial está compuesta de 2 naves. La primera dedicada a la fabricación de equipos en acero inoxidable, con un área cubierta de 800m², una altura útil de 9m., la segunda dedicada a la fabricación y montaje de equipos de acero al carbono de gran volumen, con un área cubierta de 1200 m² y una altura útil de 12m.

Las dos naves tienen modernas instalaciones y están bien equipadas para el desarrollo de las tareas de corte, maquinado, soldadura, ensamble y acabados.

Los materiales y suministros críticos, son importados directamente de fábrica en cantidades suficientes para disponer permanentemente de un inventario óptimo, dentro de ellos tenemos:

- Bobinas de acero inoxidable AISI 304 y 316 en acabado sanitario (240 grid).
- Tubos, codos, válvulas, ferrules, abrazaderas, etc.
- Poliuretano para realizar aislamiento térmico.

Las herramientas que se emplean para las distintas tareas son manejadas por personal capacitado y especializado en las mismas.

En el proceso de soldadura los equipos industriales son construidos por personal que usa procedimientos calificados en soldadura de acuerdo a las normas y códigos internacionales. Cuenta con varios equipos para los diferentes procesos de soldadura como son GTAW (TIG), SMAW (electrodo revestido), GMAW (inher shield), SAW (arco sumergido). Para soldar tuberías utiliza un equipo automático de soldadura orbital.

La fabricación de equipos requieren de muchas otras operaciones o actividades que requieren equipos especiales y entre ellos se encuentra el "Tratamiento Térmico".

En ACINDEC, se tratan los proyectos de manera individual para lo cual cuenta con un especializado y versátil Departamento de Ingeniería que está en capacidad de dar soluciones optimas a los particulares requerimientos de los clientes, conformado por el Diseño y el Departamento de Automatización y Control de Calidad.

En la actualidad se ofrece a las empresas industriales soluciones técnicas con sistemas de control mediante el uso de PLC o PC. Así tenemos:

- Equipos inteligentes capaces de controlar sus propios procesos automáticamente.
- Plantas multiprocesos con control automático centralizado o distribuido.

Las soluciones que brinda el Departamento de Automatización están diseñadas pensando en la facilidad de uso, por medio de interfaces graficas HMI o sistemas SCADA.

Los productos que ofrece ACINDEC se los puede dividir en áreas que son:

- Petróleo y Gas
- Lácteos
- Transporte
- Química y Farmacia
- Alimentos y Bebidas

1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Como referencia a este proyecto se ha tomado en cuenta las consideraciones y condiciones ambientales de los equipos, según lo propone el Comité de Normalización de petróleos mexicanos y Organismos subsidiarios además del Subcomité técnico de normalización

de Pemex Refinación; mismos que son pioneros en sistemas de tratamiento térmico en soldadura, mientras que Ecuador está empezando a incursionar en ésta área.

Debido a la falta de uniformidad en la soldadura, ya que no todos los puntos a soldar se podrán realizar al mismo tiempo; se producen dilataciones diferentes en distintos puntos de la pieza en un mismo instante lo que ocasiona la pérdida de las propiedades físicas y químicas del acero; el tratamiento térmico de soldadura permite al material recuperar las propiedades perdidas, es aplicado generalmente a equipos de gran tamaño y difíciles de movilizar. En otros casos la parte a tratar esta fija y es imposible separarla físicamente del conjunto.

El Tratamiento Térmico a implementar se lo denomina localizado, consiste en calentar a la temperatura de tratamiento la unión soldada; para ello se colocan sobre la banda de calentamiento calefactores eléctricos flexibles de diversas configuraciones; estos se adaptan a la forma de la parte tratada.

Los calefactores se fabrican con un cable de Nicron que oficia de resistencia eléctrica rodeado por cuentas cerámicas.

El equipamiento necesario para calentamiento por resistencias eléctricas incluye: aislación refractaria de fibra cerámica, fuente de poder, en general son equipos con un transformador, programadores de ciclo térmico, lo que indica que se puede realizar tratamientos distintos al mismo tiempo. Registrador de temperaturas de termocuplas. Las

termocuplas tipo K aisladas en seda de vidrio con resistencia ataques químicos, para ser soldada por descarga capacitiva.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a las tendencias de automatización y control así como la evolución de la electrónica que ha tomado la industria de aceros se ha visto la necesidad de mejorar el proceso de tratamiento térmico existente en la fábrica Aceros Industriales del Ecuador S.A. con el fin de cumplir las expectativas de los clientes mejorando tanto la calidad del producto final como la gestión de producir el mismo.

Actualmente el proceso presenta situaciones que perjudican a la empresa, como el uso de tecnología obsoleta (Figura.1.) para la época vigente, y es por esas razones se ve la necesidad de un cambio en el sistema de control de temperatura del sistema de relevado de esfuerzos, las principales razones son:



Figura. 2. Interior de máquina para tratamiento térmico anterior.

- Constantes caídas de temperatura debido a que el cambio de voltaje que controla la misma es realizado de forma manual, provocando que el proceso deba reiniciarse.
- El sistema actualmente instalado es de tecnología obsoleta y no eficiente, ya que no ofrece ningún tipo de flexibilidad en el proceso, escalabilidad o alguna manera de automatización del mismo.
- No es posible el mantenimiento del sistema actual debido a la cantidad de elementos de control como, contactores, cables, breakers, transformador de alta tensión entre otros, mismo que conlleva una alta dificultad técnica al no disponer de diagramas de conexión.
- El tamaño del armario hace imposible su traslado al mismo tiempo que ocupa espacio innecesario en el área de trabajo el cual podría usarse como zona segura para los operarios.
- El incremento de temperatura en el proceso se realiza manualmente por un operario así como el determinar el tiempo que le llevará al metal alcanzar la temperatura máxima, el que se mantendrá en ésta y el tiempo de enfriamiento.
- Para el monitoreo de la máquina a reemplazar no se cuenta con ningún tipo de sistema de alarmas que informen al personal de planta, por lo mismo se debe revisar que las variables del proceso se encuentren en valores adecuados una a la vez por cada termocupla existente cada cierto tiempo; dando como resultado el uso poco productivo del personal.

- Al no tener una interfaz gráfica del proceso se dificulta el control de la máquina ya que la relación de cada controlador de temperatura con cada zona de temperatura no siempre está clara para el operador y se cometen errores mismos que se verán reflejados en la curva del proceso final.

- Una vez tomadas en cuenta las situaciones explicadas, se denota la importancia del proyecto al proveer soluciones a dichos problemas, por ejemplo:

- Implementar un sistema con técnicas de control de temperatura apropiadas para evitar el deterioro de material debido a las diferentes dilataciones en los distintos puntos de la pieza.

- El sistema a incorporarse deberá permitir la flexibilidad del proceso en caso de incrementar el número de termopares a ser utilizados, de igual manera al adquirir un módulo adicional se podrá agregar zonas, además permitirá la escalabilidad del proceso; y pudiendo ser automatizado gracias a que dichos módulos están conectados a un controlador programable y HMI.

- El mantenimiento del sistema requerirá de menos tiempo gracias a la eliminación del armario y sustitución de elementos por nueva tecnología.

- Al crear un sistema nuevo, se proveerá a la empresa de los debidos esquemas, diagramas y planos eléctricos para facilitar el uso a cualquier persona calificada que opere las máquinas,

reduciendo de esta manera la localización de un elemento en particular o de un error y así no demorar el tratamiento térmico.

- El personal de planta tendrá mayores facilidades de transporte de materiales dentro de la planta gracias a la eliminación del armario de gran tamaño y de esta manera proveer un ambiente de trabajo más seguro, cómodo y confiable en caso de una emergencia.

- El desarrollo de una interfaz HMI facilitará al operador el monitorear el proceso de tratamiento térmico permitiéndole ingresar los valores de temperatura máxima, las velocidades de ascenso y descenso, al igual que el tiempo que se mantendrá en dicha temperatura obteniendo como resultado, la visualización de la curva y el tiempo que demorará cada etapa del proceso, así también un cronómetro que se detiene al finalizar todo el tratamiento para dar a conocer el tiempo que esto tomó.

- La interfaz HMI presentará un sistema de mensajes mediante los cuales el personal de planta podrá monitorear el proceso con mayor facilidad y tomar medidas correctivas en caso de fallas.

- Los operadores podrán familiarizarse más fácilmente con el proceso gracias a la representación gráfica del mismo, lo que les permitirá controlar de mejor manera cada zona de temperatura minimizando los errores en ingreso de puntos de operación para las mismas.

Los beneficios de la implementación del proyecto darán como consecuencia reducir las posibilidades de falla y sus resultados en las instalaciones, el entorno ambiental y en especial la seguridad de las personas que lo operan y de quienes realizan sus actividades productivas alrededor de la máquina. Generando ganancias en la empresa por reducción de costos y aumentando la confiabilidad en el cliente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERAL

Diseñar e implementar una máquina para controlar temperatura, usada en el proceso de tratamiento térmico para estructuras metálicas conformadas por 6 zonas, facilitando al operario la supervisión y monitoreo, con el fin de reducir los esfuerzos internos sin modificar substancialmente su estructura.

1.4.2. ESPECÍFICOS

- Investigar acerca de las últimas tendencias para control de temperatura en tratamientos térmicos y reconocer el espacio de trabajo con el fin de seleccionar estrategias e implementar tecnologías de punta.
- Implementar la distribución de los diferentes elementos que conformarán el hardware y los algoritmos de programación del software reemplazando el sistema de control de temperatura actualmente instalado en la fábrica.

- Diseñar una interfaz HMI en un computador para permitir al operador controlar, monitorear y supervisar el estado de la máquina mientras se realiza un tratamiento térmico.
- Realizar pruebas de funcionamiento mediante toma de datos y comparar con condiciones deseadas así como información de texto y documentos de referencia para finalmente analizar los resultados.
- Documentar apropiadamente cada fase del proyecto usando diagramas, esquemas, tablas, fotografías y cuadros comparativos con el fin de asegurar la comprensión del proyecto por cualquier persona capacitada.

1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL ACTUAL

ACINDEC S.A. actualmente tiene una máquina con tecnología obsoleta para realizar el Tratamiento Térmico (Figura. 3.), no presenta ningún tipo de control, automatización o supervisión del proceso; lo que conlleva a tener uno o varios operarios vigilando constantemente el mismo en caso de falla. La falta de conocimiento de los operadores y el deficiente funcionamiento que presenta la máquina han puesto en peligro el proceso por lo que se ha visto la necesidad de modernizar y automatizar el rendimiento del mismo teniendo como principal beneficio el ahorro de tiempo y dinero.



Figura. 3. Máquina actual para realizar el Tratamiento Térmico

1.6. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto renovará y mejorará por completo el sistema de control de temperatura de una máquina empleada en tratamiento térmico, conformada por 6 zonas a controlar: sustituyendo los elementos electromecánicos obsoletos por nueva tecnología, controladores sin capacidad de hacer cambios en línea y carentes de comunicación Ethernet por controladores que poseen las características anteriormente mencionadas, además de dar la posibilidad de conectar módulos de temperatura, reóstatos por un control de tensión temporizado dependiendo del caso o tipo de acero, y el armario eléctrico por un gabinete de menor tamaño y fácil de movilizar; desarrollando también una interfaz HMI que permita a los operadores controlar, monitorear y supervisar la temperatura de las diferentes zonas de la máquina en una sola pantalla.

El proyecto en etapa inicial constará de la investigación oportuna para la realización del mismo, en la cual se analizará el problema propuesto y se decidirá una adecuada solución o soluciones según las necesidades de la empresa.

El siguiente paso será el diseño de la máquina con sus respectivos planos y diagramas de conexión, se tomará en cuenta todos los materiales que se necesitará, cotización de los mismos, así como los que puedan ser reutilizados para la implementación del proyecto.

Con el diseño de hardware a utilizar, se procede al desarrollo del software para la interfaz HMI tanto como el proceso de los algoritmos de control que se usará en las distintas subrutinas de la máquina.

Al finalizar el desarrollo se procederá a la parte de implementación en la que se debe conectar los equipos nuevos sustituyendo los previamente existentes y revisar cuidadosamente las conexiones antes de iniciar la siguiente etapa.

Una vez revisadas las conexiones se procederá a la etapa de pruebas, en la que se pondrá en marcha la máquina utilizando el nuevo sistema implementado y se tomarán resultados de funcionamiento; los resultados que se pretende obtener son:

- Control adecuado de la temperatura utilizando una técnica de control apropiada.

- Eliminación del armario eléctrico actual e implementación de un gabinete de menor tamaño y mayor eficiencia.
- Sustitución de elementos electromecánico por nueva tecnología (Figura. 4.).



Figura. 4. Interruptores de cuchilla sustituidos por fusibles ultra-rápidos.

- Control y supervisión de la temperatura de toda la máquina, mediante resistencias eléctricas flexibles, manteniendo una temperatura de calentamiento uniforme y continua durante el tratamiento térmico y respondiendo en tiempo real a las posibles interrupciones; empleando el mejor método de control, en una interfaz HMI implementada en el procesador, mismo que será destinado únicamente para este uso.

Una vez finalizadas las pruebas el proyecto habrá llegado hasta su etapa final la misma que consiste en la puesta en marcha, elaboración del manual de usuario el cual se dejará en manos de la persona de mantenimiento, quien hará uso de la máquina implementada y redacción de informe final.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Al añadir ciertos elementos (azufre, cobalto, cobre, cromo, tungsteno, manganeso, molibdeno, níquel, vanadio) en la aleación del acero se consigue mejorar algunas de sus propiedades, obteniendo aleaciones específicas para determinadas aplicaciones industriales, como herramientas, cuchillas, fijaciones, soportes. Sin embargo la diferencia de comportamiento entre los diversos aceros depende, no sólo de su composición química, sino también del tipo del tratamiento térmico a los que se les someta.

Existen piezas que están sometidas a condiciones de trabajo que requieren propiedades específicas para soportar esfuerzos de choque, vibraciones y rozamiento superficial. Para soportar estas condiciones de trabajo, se requiere tenacidad elevada, resiliencia, y una gran dureza superficial.

En las estructuras metálicas soldadas, es casi seguro que las roturas de fatiga empezarán a propagarse a partir de las soldaduras y no desde otras uniones, debido a que, los procesos de soldadura dejan discontinuidades a partir de las que pueden propagarse las fisuras.

Estos puntos ocasionan concentraciones de tensión locales. Por lo tanto, los puntos que se observan en la Figura.5 reaccionarán igual que si se encontraran en un elemento sometido a mayor tensión.

Por éste motivo se realizan los tratamientos térmicos, que son procesos en los cuales mediante una sucesión de operaciones de calentamiento y enfriamiento, se modifica la microestructura y la constitución de los metales, la fase y aleaciones sin variar su composición química.

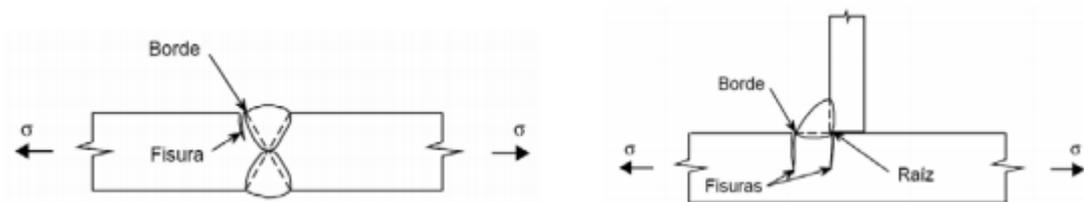


Figura. 5. Puntos de tensión locales

La finalidad de estos procesos es mejorar las propiedades mecánicas del material, especialmente la dureza, resistencia, tenacidad y la maquinabilidad.

Pero en estos procesos no se modifica la constitución química de los materiales. Para ello se realizan los tratamientos termoquímicos, que son

procesos en los cuales se altera la estructura del metal, modificando su composición mediante un proceso de difusión.

ACERO

El acero es una aleación o combinación de hierro y carbono, variando la concentración en peso de carbono hasta un 2,1% aproximadamente. Al superar el 2% de carbono, el acero se convierte en una fundición: aleaciones quebradizas utilizadas para moldear. En diferentes casos se utilizan otros elementos como el Níquel y el Cromo para agregar cualidades a los aceros, dependiendo de su finalidad.

Los aceros se clasifican según los elementos utilizados en la aleación. Por lo tanto se tienen cuatro grandes grupos: aceros al carbono, aceros inoxidables, aceros de baja aleación ultrarresistentes y aceros aleados, que a su vez se dividen en tres grupos: aceros estructurales, aceros para herramientas y aceros especiales.

ACEROS AL CARBONO

Los aceros al carbono, también conocidos como aceros de construcción, contienen una combinación de hierro, carbono hasta 1% en concentración en peso, silicio, manganeso y muy poca concentración de azufre, fósforo, oxígeno e hidrógeno. Los aceros al carbono, representan más del 90% de todos los aceros existente. Mientras más carbono tenga el acero, más resistente será a la tracción, más frágil será en frío y será menos tenaz y dúctil.

La mayoría de los aceros tienen menos de 9 átomos de carbono por cada 100 de hierro en el acero. Como el carbono es más ligero que el hierro, el porcentaje de masa de carbono en el acero es casi siempre menos del 2%.

El carbono influye directamente en el comportamiento mecánico de los aceros. La resistencia de un acero simple con 0.5% de carbono es aproximadamente dos veces mayor a la de uno con 0.1% de carbono; si el contenido de carbono llega al 1%, la resistencia se triplica. Generalmente el carbono reduce la ductilidad del acero. Las curvas de la Figura.6., presentan los efectos en el acero.

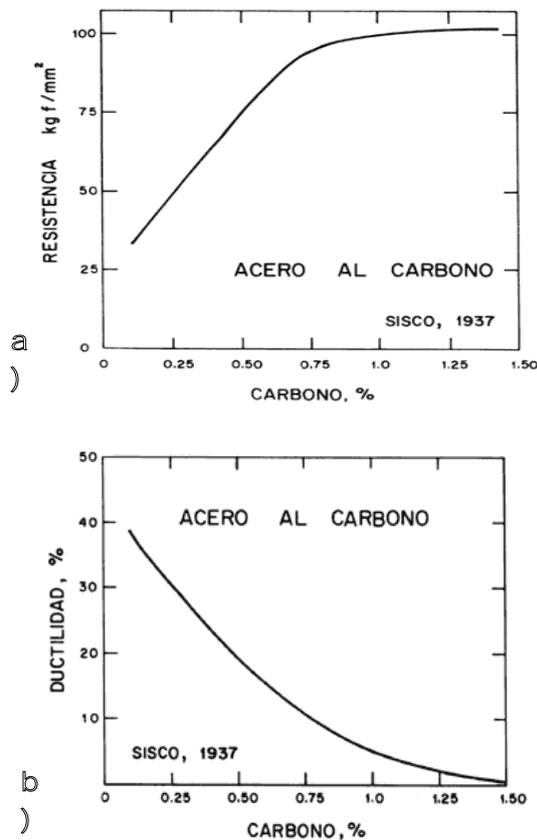


Figura. 6. a) Efecto del contenido del carbono en la resistencia de los aceros, b) Efecto del contenido del carbono en la ductilidad de los aceros comunes.

Los aceros de construcción se utilizan principalmente en la fabricación de piezas y elementos de máquinas, así como para la construcción de instalaciones, en la construcción de los puentes de ferrocarril, de grandes estructuras, en las estructuras de las casas, las carrocerías de los automóviles, objetos metálicos que se utilizan en la vida diaria del hombre.

PROPIEDADES DEL ACERO

VENTAJAS

- Elasticidad, tiene un comportamiento linealmente elástico.
- Precisión dimensional, los perfiles laminados están fabricados bajo estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.
- Ductilidad, suelen aguantar muchos esfuerzos antes de fallar.
- Tenacidad: el acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).
- Facilidad de unión con otros miembros: es muy fácil unirlos con otras piezas a través de remaches, tornillos, soldaduras, etc.
- Reciclable: el acero es un material 100 % reciclable además de ser degradable por lo que no contamina.
- Se pueden prefabricar estructuras: el acero permite realizar la mayor parte posible de una estructura en taller y la mínima en obra consiguiendo mayor exactitud.

2.1. TRATAMIENTO TÉRMICO

El término tratamiento térmico describe un proceso en el cual una herramienta o parte de una herramienta se somete intencionalmente a una secuencia específica de tiempo - temperatura.

En algunos casos, la pieza puede ser sometida adicionalmente a otras influencias químicas y/o físicas.

El objetivo del tratamiento térmico es conferirle a la pieza propiedades requeridas para procesos de transformación posteriores o para su aplicación final.

Este proceso puede provocar transformaciones de los constituyentes estructurales sin modificar la composición química promedio del material. Al final del tratamiento térmico, los componentes estructurales pueden estar en equilibrio (por ejemplo ferrita + carburos) o no (por ejemplo martensita después del tratamiento térmico). El tratamiento térmico también puede causar cambios en el tamaño, forma o distribución de los componentes estructurales sin cambiar el tipo constituyente. También es posible cambiar el contenido de ciertos estructurales en la zona superficial (por ejemplo cementación), o cambiar la intensidad y distribución de las tensiones internas (por ejemplo distensionado).

Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los

aceros como en las aleaciones no férreas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecidos.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el del hierro-carbono que se observa en la Figura.7. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

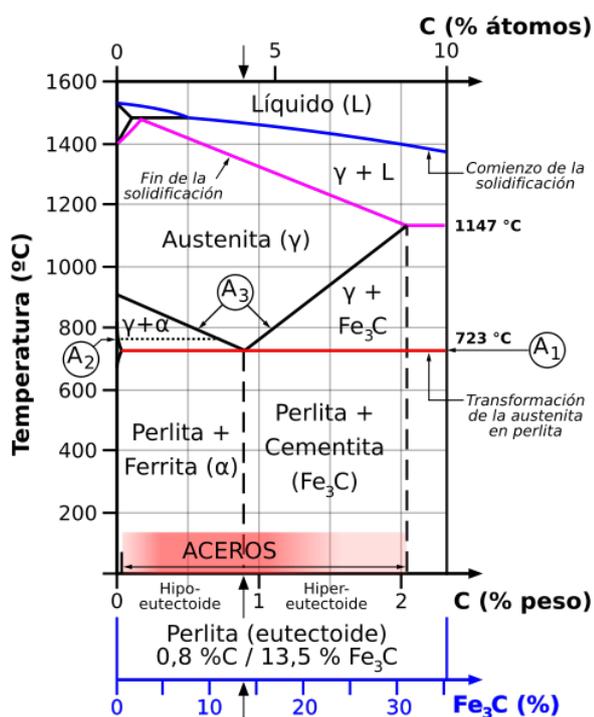


Figura. 7. Diagrama Hierro-Carbono

2.2. PRINCIPALES TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. Los principales tratamientos térmicos son:

TEMPLE: Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior A_c (entre 900-950 °C) y se enfría rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etc.

REVENIDO: Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

RECOCIDO: Consiste básicamente en un calentamiento hasta la temperatura de austenización (800-925 °C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material,

eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

NORMALIZADO: Tiene por objetivo dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

Con su aplicación se consiguen estructuras más blandas y más mecanizables, con mayor dureza y resistencia. Otro aspecto que mejoran es la homogeneización de la estructura.

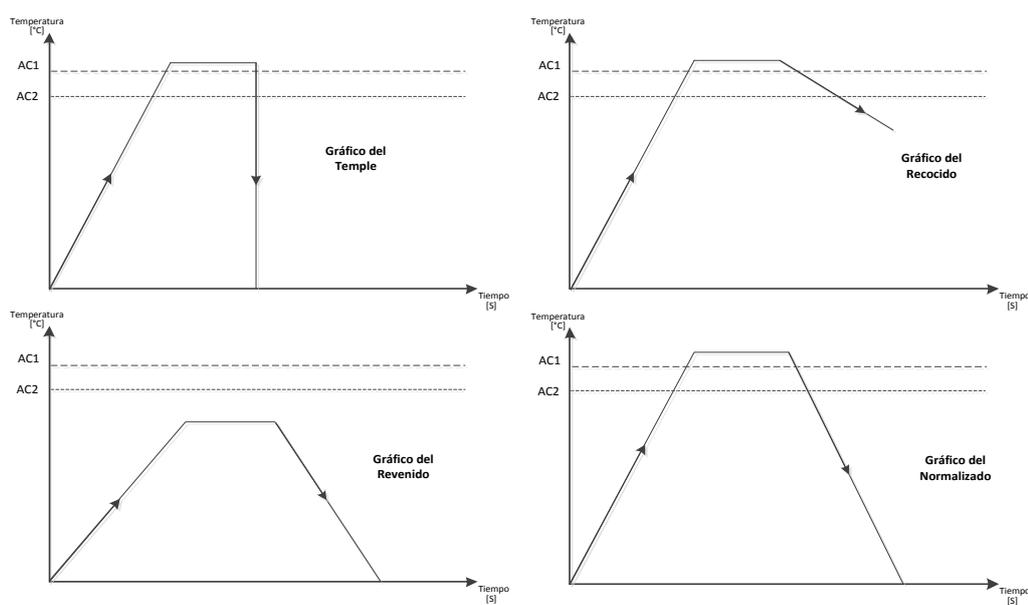


Figura. 8. Tratamientos Térmicos más Importantes

2.2.1. TEMPLE

Este tratamiento térmico se caracteriza por enfriamientos rápidos (continuos o escalonados) en un medio adecuado: agua, aceite o aire,

para transformar la austenita en martensita. Mediante el temple se consigue:

- Aumentar la dureza y la resistencia mecánica.
- Disminuir la tenacidad (aumento de la fragilidad).
- Disminuir el alargamiento unitario.
- Modificar algunas propiedades eléctricas, magnéticas y químicas.

El temple se realiza siguiendo los siguientes pasos:

PASOS DEL TEMPLE

- **Calentamiento del metal.** Se realiza en horno, siendo lento al hasta los 500°C y rápido hasta la temperatura de temple, por encima de A3 si el acero es hipoeutectoide, y por encima de A1 si el acero es eutectoide o hipereutectoide, como se puede visualizar en la Figura.8.
- **Homogeneización de la temperatura.** Se mantiene a la temperatura de temple durante un determinado tiempo a la pieza, para que se homogenice en todo el volumen de la pieza a templar. Este tiempo se estima experimentalmente para cada pieza, aunque se puede calcular aproximadamente.
- **Enfriamiento rápido.** Se saca la pieza del horno y se enfría el material en un fluido denominado medio de temple a una velocidad superior a la crítica de temple con objeto de obtener una

estructura martensítica, y así mejorar la dureza y resistencia del acero. El medio de temple puede ser:

- Agua: es el medio más económico y antiguo. Se consiguen buenos temples con aceros al carbono. Las piezas se agitan dentro del agua para eliminar las burbujas de gas.
- Aceite: enfría más lentamente que el agua.
- Aire: se enfrían las piezas con corrientes de aire. Se utiliza para los denominadas aceros rápidos.

2.2.1.1. TEMPLABILIDAD

Se puede definir la templabilidad como la aptitud de un acero para endurecerse por formación de martensita, como consecuencia de un tratamiento térmico. Para determinar el grado de templabilidad de un acero se realiza el ensayo Jominy. El ensayo consiste en realizar el templado de una probeta de dimensiones determinadas según un proceso definido.

2.2.1.2. TIPOS DE TEMPLE

Temple continuo de austenización completa. Se aplica a los aceros hipoeutectoides. Se calienta el material a 50°C por encima de la temperatura crítica superior A_3 , enfriándose en el medio adecuado para obtener martensita.

Temple continuo de austenización incompleta. Se aplica a los aceros hipereutectoides. Se calienta el material hasta $AC_1 + 50^{\circ}\text{C}$, transformándose la perlita en austenita y dejando la cementita intacta.

Se enfría a temperatura superior a la crítica, con lo que la estructura resultante es de martensita y cementita.

Temple superficial. El núcleo de la pieza permanece inalterable, blando y con buena tenacidad, y la superficie se transforma en dura y resistente al rozamiento. Con el temple superficial se consigue que solamente la zona más exterior se transforme en martensita, y para ello el tiempo durante el que se mantiene el calentamiento debe ser el adecuado para que solamente un reducido espesor de acero se transforme en austenita.

Temple Escalonado (*Martempering*). Consiste en calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para que se transforme completamente en austenita. Posteriormente se enfría en un baño de sales bruscamente hasta una temperatura superior a M_s , con el fin de homogeneizar la temperatura en toda la masa y se transforme en martensita.

Temple isotérmico (*Austempering*). Consiste en calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para obtener austenita. Posteriormente se enfría bruscamente en un baño de sales, para igualar la temperatura en toda la masa y se vuelve a disminuir la temperatura para que toda la pieza se transforme en bainita.

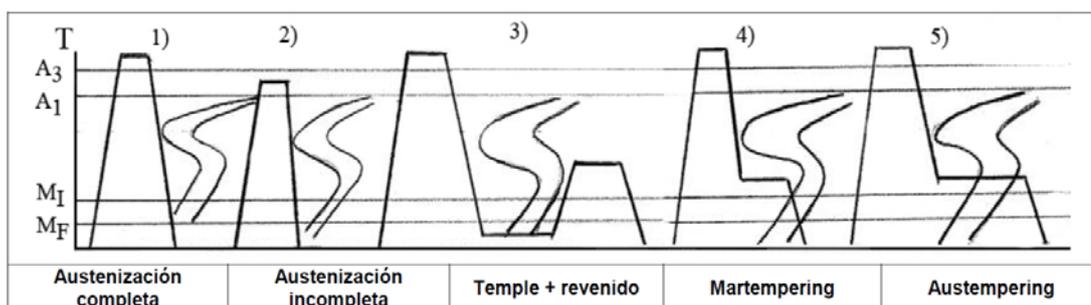


Figura. 9. Tipos de Temple

2.2.2. RECOCIDO

Se trata de calentar el metal hasta una determinada temperatura y enfriarlo después muy lentamente (incluso en el horno donde se calentó). De esta forma se obtienen estructuras de equilibrio. Son generalmente tratamientos iniciales mediante los cuales se ablanda el acero.

Su finalidad es suprimir los defectos del temple. Mediante el recocido se consigue:

- Aumentar la plasticidad, ductilidad y tenacidad.
- Eliminar la acritud.
- Afinar el grano y homogeneizar la estructura.

2.2.2.1. TIPOS DE RECOCIDO

Tratamiento térmico muy utilizado y según las temperaturas que se alcanzan en el proceso se pueden distinguir los siguientes tipos:

- **Recocido completo.** Afina el grano cuando ha crecido producto de un mal tratamiento. Se realiza en aceros hipoeutectoides.

- **Recocido incompleto.** Elimina tensiones pero sólo recristaliza la perlita. Es más económico que el anterior.
- **Recocido de globalización.** Mejora la mecanibilidad en los aceros eutectoides e hipereutectoides.
- **Recocido de recristalización.** Reduce tensiones y elimina la acritud.
- **Recocido de homogenización.** Elimina la segregación química y cristalina. Se obtiene grano grueso por lo que es necesario un recocido completo posterior.

2.2.3. REVENIDO

Para evitar el aumento de la fragilidad causado por el temple, se somete el metal a un proceso de revenido, que consiste en elevar la temperatura hasta una inferior a la de transformación (punto crítico A1 como se ve en la Figura. 10.) para transformar la martensita en formas más estables.

Mediante el revenido se consigue:

- Disminuir la resistencia mecánica y la dureza.
- Aumentar la plasticidad y la tenacidad

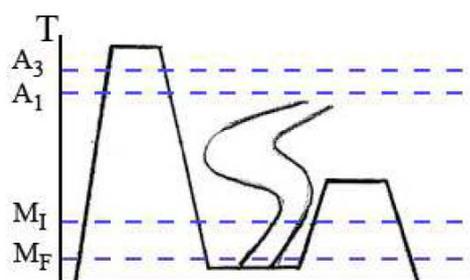


Figura. 10. Revenido

2.2.4. NORMALIZADO

Se trata de calentar el metal hasta su austenización y posteriormente dejarlo enfriar al aire. La ventaja frente al recocido es que se obtiene una estructura granular más fina y una mayor resistencia mecánica. La desventaja es la dureza obtenida.

Mediante este proceso se consigue:

- Subsanan defectos de las operaciones anteriores de la elaboración en caliente (colada, forja, laminación) eliminando las posibles tensiones internas.
- Preparar la estructura para las operaciones tecnológicas siguientes (por ejemplo mecanizado o temple).

El normalizado se utiliza como tratamiento previo al temple y al revenido, aunque en ocasiones puede ser un tratamiento térmico final.

Para aceros con bajo contenido de carbono no aleados no existe mucha diferencia entre el normalizado y el recocido.

Cuando se trata de aceros de contenido medio en carbono (entre 0.3 – 0,5%C) la diferencia de propiedades es mayor que en el caso anterior; en general, el proceso de normalizado da más dureza.

2.3. TRATAMIENTO TÉRMICO DE SOLDADURA

Cuando es posible, se lleva a cabo calentando integralmente todo el equipo, la forma más sencilla es la utilización de un horno, cuando el tamaño del equipo y su ubicación lo permite. La Tabla. 1., presenta los métodos de tratamiento térmico.

Tratamiento Térmico de Soldadura		
Integral	Horno Estacionario	
	Horno Portátil	
	Calefaccionado interno con quemadores de alta velocidad	
Localizado	Resistencia Eléctricas	Calefactores Flexibles
		Método de Mampara
	Inducción	
	Radiación con lámparas de cuarzo	
	Radiación por calefactores a gas tipo infrarrojo	
	Exotérmico	
	Llama	

Tabla. 1. Métodos del Tratamiento Térmico de Soldadura

El Tratamiento Térmico de Soldadura se aplica generalmente a equipos de gran tamaño y difíciles de movilizar (Ej. Recipientes) En otros casos la parte a tratar esta fija y es imposible separarla físicamente del conjunto (Ej. Cañerías ya montadas).

2.3.1. TRATAMIENTO TÉRMICO LOCALIZADO

Consiste en endurecer solamente las superficies externas sin afectar las partes internas, de tal manera que se eviten deformaciones en la pieza tratada. Posteriormente también se puede realizar tratamiento a una parte de la pieza. Sirve para el alivio de tensiones en juntas soldadas según procedimientos de soldaduras especificados.

La Unión Soldada y el material base adyacente pueden ser calentados localmente por uno de los métodos descritos a continuación:

- Resistencias Eléctricas
- Inducción
- Llama
- Radiación por calefactores a gas tipo infrarrojo
- Radiación con lámparas de cuarzo
- Exotérmico

Método de Calentamiento	Se aplica al
Resistencias Eléctricas	TTPS o PC
Inducción	TTPS o PC
Llama	PC
Radiación por calefactores a gas tipo infrarrojo	PC
Radiación con lámparas de cuarzo	PC
Exotérmico	TTPS

Tabla. 2. Métodos de Calentamiento

En el caso de Tratamiento Térmico de Soldadura es muy común utilizar el Tratamiento Localizado solo en la zona de la Soldadura (Se

calienta una banda a cada lado del cordón soldado, cuyo ancho está especificado según el caso).

Es importante aclarar que el Tratamiento Localizado solo puede ser aplicado a geometrías que permitan la libre dilatación como son las soldaduras circunferenciales.

Las soldaduras longitudinales y las uniones soldadas de conexiones a envolventes no deben tratarse localizadamente pues el material frío aledaño a la zona calentada no permite a esta la libre dilatación. En el caso de costuras longitudinales la zona calefaccionada no puede dilatarse libremente en la dirección del cordón y en el caso de conexiones a envolvente si calentamos el círculo alrededor de la conexión este no puede dilatarse porque está restringido por el material frío alrededor de él. En estos casos el material tiende a dilatarse en la dirección del espesor y como está caliente y blando por el efecto de la temperatura, se deforma plásticamente en esa dirección.

Cuando la costura longitudinal se enfría, debería contraerse en esa dirección pero el material aledaño que está frío no se lo permite creándose de esta manera, tensiones residuales longitudinales. En el caso de una conexión a envolvente ocurre algo similar quedando tensiones radiales y tangenciales en el círculo calentado.

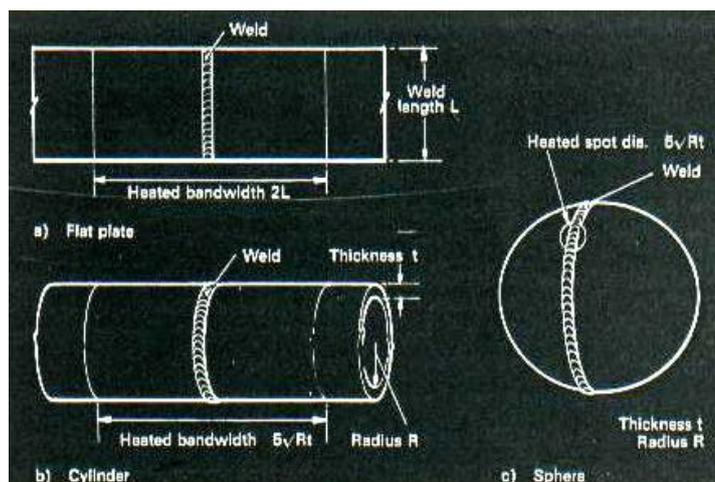


Figura. 11. Ancho de Banda en Tratamientos Localizados

a) Chapa plana, b) Juntas a tope en cilindros, c) Juntas a tope en esferas.
 Figura tomada de Libro Curso de Inspectores de Soldadura / Tratamiento Térmico (Pg 12).

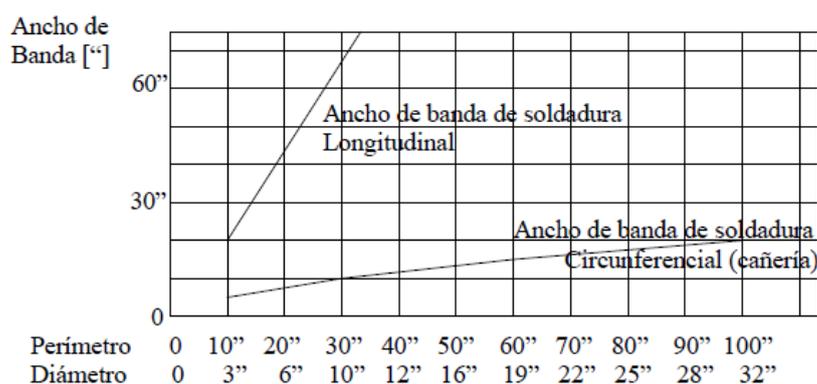


Figura. 12. Longitudes de los cordones de soldadura.

Figura tomada de Libro Curso de Inspectores de Soldadura / Tratamiento Térmico (Pg 14).

De la Figura. 11. y de la Figura.12., se puede observar que para una misma longitud del cordón de soldadura, por ejemplo 30", en el caso de ser circunferencial (corresponde a un caño de aproximadamente 10" de diámetro) el ancho de banda se calcula con

$$AB = 5\sqrt{Rt}$$

Donde: R es el radio del caño

t su espesor (1") que

Da como resultado un ancho de banda de 11,2".

En cambio si ese mismo cordón, en vez de ser circunferencial es plano (corresponde a una chapa plana) el ancho de banda se calcula con $AB = 2L$ y el resultado es un ancho de banda de 60" mostrando que el calentamiento localizado de la configuración plana necesita un ancho de banda mayor ya que genera tensiones térmicas superiores a la de la configuración circular correspondiente a un caño debido precisamente a que la configuración plana lo impide debido a causa de la libre dilatación del cordón de soldadura durante el calentamiento localizado.

Tratamiento térmico de soldadura disminuye la dureza de la ZAC, metal de soldadura y material base. El resultado es una microestructura más dúctil y resistente a la fisuración.

Diámetro de caño o tubo	Espesor (t)	Longitud del Cordón	Ancho de banda caño $5\sqrt{Rt}$	Ancho de banda chapa plana $2L$
3"	1"	10"	6"	20"
6"	1"	20"	8,7"	40"
10"	1"	30"	11,2"	60"
12"	1"	40"	12,2"	80"
16"	1"	50"	14"	100"
19"	1"	60"	15"	120"
22"	1"	70"	16,6"	140"
25"	1"	80"	17,7"	160"
28"	1"	90"	18,7"	180"
32"	1"	100"	20"	200"

Tabla. 3. Longitudes para Tratamiento Térmico Localizado.

Figura tomada de Libro Curso de Inspectores de Soldadura / Tratamiento Térmico (Pg 14).

2.3.2. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS CON CALEFACTORES FLEXIBLES

El Tratamiento Térmico localizado consiste en calentar a la Temperatura de Tratamiento la unión soldada y una banda y material base a cada lado del cordón de soldadura.

Para ello se colocan sobre la banda de calentamiento calefactores eléctricos flexibles de diversas configuraciones que se adaptan a la forma de la parte tratada. Estos calefactores como el de la Figura.13., se fabrican con un cable de nicron que oficia de resistencia eléctrica rodeado por cuentas cerámicas.



Figura. 13. Resistencia Flexible de Cerámica.

Figura tomada de catálogo de productos de PoliMex.

Estos calefactores son elaboradas en cerámica tipo perinola para refuerzo de terminales deberán ser alimentados en general por una tensión no superior a 80V, por seguridad del personal. Su potencia oscila alrededor de los 3.6 KW. Poseen señalización para diferenciar tramo frío y tramo Caliente con conectores de Latón macho con funda de baquelita para 60Amp.

El equipamiento necesario para calentamiento por resistencias eléctricas incluye además:

- Aislación refractaria de fibra cerámica.
- Fuente de poder, en general son equipos con un transformador de 70-110Kw.
- Programadores de ciclo térmico, generalmente son seis (6) por equipo lo que indica que se puede realizar seis (6) Tratamientos distintos al mismo tiempo.
- Registrador de temperaturas de hasta 8 Termocuplas.
- Termocuplas tipo K aisladas en seda de vidrio con alambre de 0,5/0,8 mm de diámetro, para ser soldadas por descarga Capacitiva
- Soldador de TC por descarga Capacitiva

Ventajas

- Se puede mantener una temperatura de precalentamiento uniforme y continua durante la soldadura y durante las interrupciones de la misma en forma automatizada.
- La Temperatura puede ajustarse con exactitud y rápidamente.
- Los soldadores trabajan confortablemente y no necesitan interrumpir la soldadura para elevar la temperatura de precalentamiento. No hay quemadores que incomoden los movimientos del soldador.
- Puede distribuirse el calor no uniformemente como ocurre en la parte superior e inferior de una cañería horizontal o en piezas de

distintos espesores como caños soldados a bridas de gran masa o espesor entregando mayor calor a las secciones gruesas y así mantener la temperatura uniforme.

Desventajas

- Los calefactores pueden quemarse durante el Tratamiento.
- Pueden ocurrir cortocircuitos entre el calefactor y la cañería quedando marcas en la misma. Esto no es frecuente si se usan calefactores en buen estado.
- Al ser los calefactores de cerámica estos se pueden romper durante el tratamiento

2.3.3. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS CON MÉTODO DE LA MAMPARA

Dentro del método de Calentamiento por resistencias eléctricas, además de los calefactores flexibles mencionados anteriormente existe un método que se llama " De la Mampara" (Figura.14.) que pasaremos a describir:

Cuando el ancho de banda de calentamiento es muy grande, por ejemplo en un recipiente de 3000 mm de diámetro y una pulgada de espesor el ancho de banda según ASME VIII sería dos veces el espesor a cada lado del cordón de soldadura.

Hay veces que las Especificaciones de Ingeniería exigen que el ancho de banda sea por ejemplo, sea 1200 mm en vez de 130mm. En estos

casos cubrir toda la superficie de la banda demandaría muchos calefactores flexibles (150 en vez de 35), una gran cantidad de Termocuplas y máquinas de Tratamiento Térmico.

En estos casos se puede proceder de la siguiente manera:

Se aísla exteriormente la banda de calentamiento y se colocan interiormente, donde finaliza la banda a calentar, dos "tapas" o mamparas aisladas con el objeto de crear un compartimiento que funciona como un horno, aislado exteriormente.

Dentro del compartimiento se colocan bandejas calefactoras de potencia (calefactores tipo Four-Bank) sobre estantes metálicos a diferentes alturas pero siempre dentro del tercio inferior del recipiente, ya que el aire caliente siempre tiende a elevarse. Estos calefactores son de 220V, se disponen eléctricamente en estrella y de esta manera con 12 calefactores y una fuente de tensión trifásica es suficiente para lograr las temperaturas de hasta 720°C que se requieren como máximo en Tratamiento Térmico. Con un posicionamiento adecuado de los calefactores se logra mantener una temperatura uniforme en todo el perímetro de la banda de calentamiento.

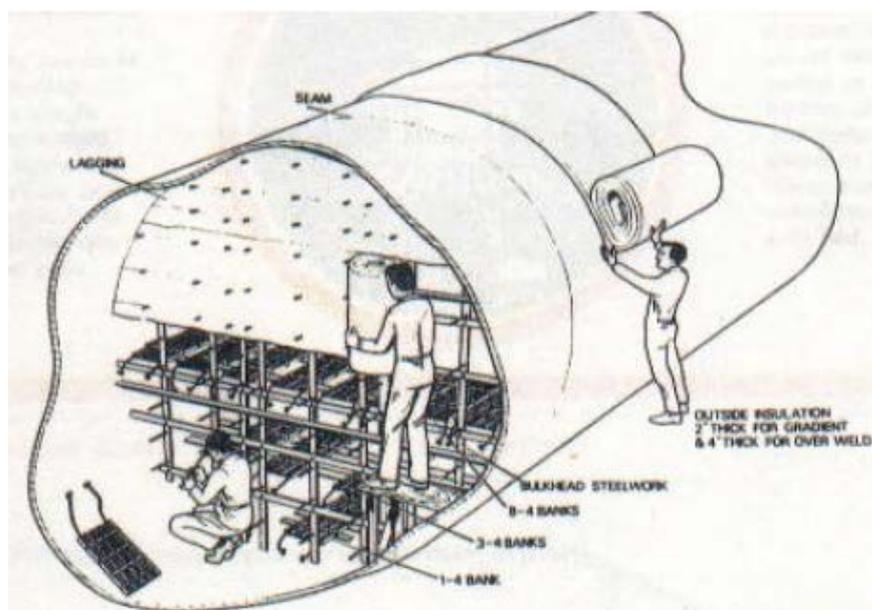


Figura. 14. Método de la Mampara

Figura tomada de Libro Curso de Inspectores de Soldadura / Tratamiento Térmico (Pg 18).

EFFECTOS INDESEABLES PRODUCIDOS

La mayoría de los Tratamientos Térmicos de Soldadura son suscríticos y no de recristalización alotrópica (Austenización) como ocurre en los aceros de construcción de elementos de máquinas (ejes, engranajes, etc.)

El ciclo térmico de la soldadura produce tres (3) efectos indeseables:

- La generación de Tensiones residuales que pueden quedar en el material produciendo fragilidad en soldaduras de espesores importantes ($t > 1$ ") o no quedar produciendo distorsión, sobre todo en elementos esbeltos o mecanizados luego de la soldadura.

- Modificación de la Estructura del material, esencialmente aumentando la dureza en la ZAC y produciendo Fragilidad, susceptibilidad a SCC y a HIC.
- La absorción de gases, especialmente Hidrógeno, por la soldadura.

2.4. MEDICIÓN DE TEMPERATURA

En la utilización de Tratamientos Térmicos es necesario medir la Temperatura. La determinación visual de Temperaturas por intermedio del color sin la ayuda de instrumentos debe evitarse tanto debido a la falta de precisión como a la dependencia en la destreza del operador.

Se pueden utilizar lápices y pinturas de Temperatura, Termocuplas o Pirómetros ópticos, dentro de los más utilizados para medir y/o controlar la Temperatura.

2.4.1. TERMOCUPLAS

El principio a partir del cual opera la Termocupla se deriva del Efecto *Seebeck* (también llamado Efecto *Peltier*), que establece que si se forma un circuito eléctrico utilizando dos conductores metálicos distintos con una unión a más alta temperatura que la otra, entonces por el circuito circula corriente eléctrica. La Fem [Volts] resultante es proporcional a la diferencia de temperaturas entre las juntas fría y caliente. De lo anterior surge que un instrumento calibrado puede traducir voltajes en lecturas de temperatura de junta caliente. Cada combinación de tipo de conductores requiere una calibración particular y un instrumento apropiado.

El material de los conductores de las Termocuplas solo debe usarse en la condición de recocido con enfriamiento lento. El trabajado en frío, que a veces se produce durante la fabricación debe eliminarse con un recocido a 1000°C durante un mínimo de 15 minutos con un posterior enfriamiento lento hasta 500°C.

Tres termocuplas de los siete tipos que existe son las más utilizadas en Tratamiento Térmico de Soldadura. Se los puede ver en la Tabla. 4.

Tipo	Denominación	Material	Temp. Máxima	Código de color ANSI			Código de color IEC		
				Positivo	Negativo	Cubierta	Positivo	Negativo	Cubierta
K	Cromo-Aluminio	NiCr-Ni	1260°C	Amarillo	Rojo	Amarilla	Verde	Blanco	Verde
J	Hierro-Constante	Fe-CuNi	760°C	Blanco	Rojo	Negro	Negro	Blanco	Negro
E	Cromo-Constante	NiCr-CuNi	870°C	Violeta	Rojo	Violeta	Violeta	Blanco	Violeta

Tabla. 4. Termocuplas usadas en el Tratamiento Térmico.

Los termopares tipo K pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1260°C y es el termopar más satisfactorio para trabajar en atmosferas reductoras, sulfurosas o vacío.

Los diámetros de los alambres están relacionados con la respuesta, cuanto más fino mayor será la velocidad de reacción de la Termocupla pero menor la vida útil. El diámetro comúnmente utilizado es de 0,8mm. Si la Termocupla es consumible como normalmente ocurre en TTPS no conviene utilizar mayores diámetros por el costo que esto implica.

Las Termocuplas deben aislarse eléctricamente y térmicamente, para ello se reviste a cada conductor con una malla de seda de vidrio y a su vez

a los dos conductores con otra malla del mismo material para asegurar la aislación.

Las Termocuplas se conectan a los instrumentos de medición y control con cables de compensación que tengan la misma característica Volt-Temperatura que la Termocupla.

2.5. FIJACIÓN DE TERMOCUPLAS

El método utilizado hoy día es fijar cada alambre de la Termocupla por separado y a una distancia de aproximadamente cinco mm (5mm) a la superficie por intermedio de una Soldadura por Descarga Capacitiva (Figura. 15.).

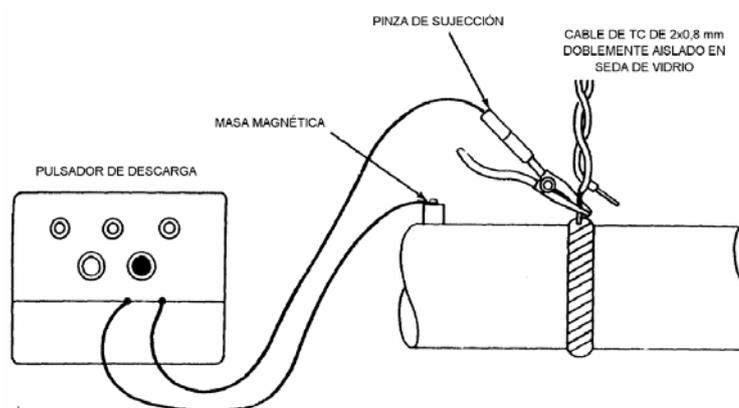


Figura. 15. Soldadura de Termocuplas por Descarga Capacitiva.

Figura tomada de Libro Curso de Inspectores de Soldadura / Tratamiento Térmico (Pg 24).

Este sistema es práctico, asegura un buen contacto entre la termocupla y el material a censar, posee una reacción muy rápida y su

exactitud es suficiente a pesar de la soldadura por separado de los alambres de la Termocupla.

2.6. TÉCNICAS DE CONTROL

2.6.1. SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Los distintos tipos de sistemas para efecto de análisis y estudios se los realiza en una planta, la misma que puede ser parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina juntas; el propósito de la cual es ejecutar una operación particular. Siendo así una planta, cualquier objeto que va a controlar.

2.6.1.1. CONTROL ON OFF O TODO/NADA.

El control Todo/Nada no es lineal y proporciona a su salida únicamente 2 valores fijos. Estos envían una señal de activación (On, Encendido ó 1) cuando la entrada de señal es menor que un nivel de referencia definido previamente y desactiva la señal de salida (Off, Apagado ó 0) cuando la señal de entrada es mayor que la señal de referencia (Figura.16.).

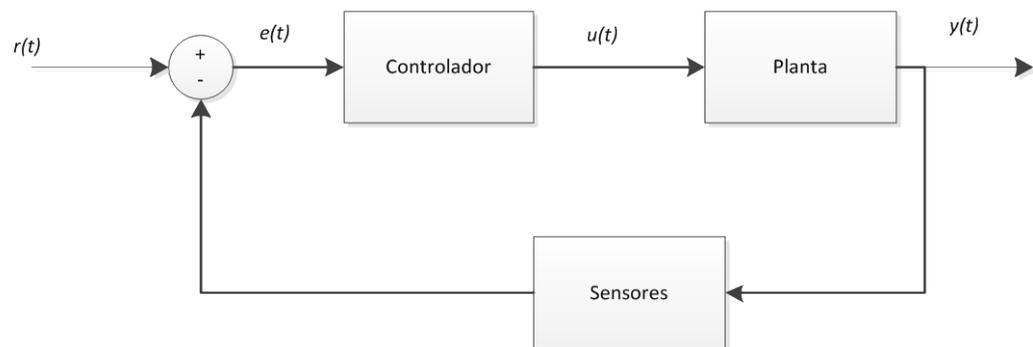


Figura. 16. Sistema de Lazo Cerrado con un controlador On-Off.

En el control todo o nada existirá un único valor de variable controlada. Este control se caracteriza por un ciclo continuo de variación de la variable controlada. El control todo o nada funciona satisfactoriamente si el proceso tiene una velocidad de reacción lenta y posee un tiempo de retardo mínimo.

2.6.2. CONTROLADOR

2.6.2.1. PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (*Programmable Logic Controller*), es un dispositivo utilizado en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o tracciones mecánicas.

Los PLC's son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles.

La funcionalidad del PLC ha evolucionado con los años para incluir el control del relé secuencial, control de movimiento, control de procesos, Sistemas de Control Distribuido y comunicación por red. Las capacidades de manipulación, almacenamiento, potencia de procesamiento y de

comunicación de algunos PLC's como el que se observa en la Figura. 17., modernos son aproximadamente equivalentes a las computadoras de escritorio. La viabilidad de estos controladores de sobremesa basados en lógica, es importante tener en cuenta que no se han aceptado generalmente en la industria pesada debido a que los ordenadores de sobremesa ejecutan sistemas operativos menos estables que los PLC's, y porque el hardware del ordenador de escritorio está típicamente no diseñado a los mismos niveles de tolerancia a la temperatura, humedad, vibraciones, y la longevidad como los procesadores utilizados en los PLC. Además de las limitaciones de hardware de lógica basada en escritorio; sistemas operativos tales como Windows no se prestan a la ejecución de la lógica determinista, con el resultado de que la lógica no siempre puede responder a los cambios en el estado de la lógica o de los estado de entrada con la consistencia extrema en el tiempo como se espera de los PLC's.

Es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo.



Figura. 17. PLC MicroLogix 1400

Figura tomada de página web de *Rockwell Automation*.

2.7. NORMAS APLICADAS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO

2.7.1. NORMAS NEC

El *National Electrical Code* (NEC), o NFPA 70, es un estándar estadounidense para la instalación segura de alambrado y equipos eléctricos. Es parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la *National Fire Protection Association* (NFPA).

En todas las instalaciones eléctricas se deben tener presente y considerar la seguridad como vital para el proyecto y para el personal que lo realiza y posteriormente lo utilizará. Para garantizar la seguridad de debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Normas de seguridad en instalaciones eléctricas
- Clasificación de accidentes eléctricos
- Protecciones generales

Se debe también considerar en el momento del diseño algunas especificaciones tales como:

- Definición de conceptos
- Clasificación de ambientes
- Normas de dibujo
- Simbología
- Memoria técnica del proyecto

Los capítulos que serán empleados de esta norma para la realización del presente proyecto son:

- NEC 210-3.- Los circuitos ramales se clasifican de acuerdo con la capacidad o ajuste máximo en amperios permitidos del dispositivo de sobre corriente.
- NEC 200-6.- El conductor puesto a tierra se identificará por un aislamiento continuo color blanco o gris natural.
- NEC 250-119 El conductor de puesta a tierra del equipo de un circuito ramal se identificará por un aislamiento continuo color verde a menos que se use un conductor desnudo.
- NEC 210-7.- Los tomacorrientes instalados en circuitos ramales serán del tipo con polo a tierra. <los tomacorrientes del tipo con polo a tierra se instalarán solamente en circuitos de la tensión y capacidad de corriente para los cuales están destinadas.

2.7.2. NORMAS NEMA

La *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos). Este organismo es el responsable de numerosos estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad. Entre otros, la NEMA ha establecido una amplia gama de estándares para encapsulados de equipamientos eléctricos, publicados como *NEMA Standards Publication 250*.

El objetivo fundamental de NEMA es promover la competitividad de sus compañías socias, proporcionando servicios de calidad que impactarán positivamente en las normas, regulaciones gubernamentales, y economía de mercado, siendo posible todo esto a través de:

- Liderazgo en el desarrollo de las normas y protección de posiciones técnicas que favorezcan los intereses de la industria y de los usuarios de los productos.
- Trabajo continuo para asegurar que la legislación y regulaciones del gobierno relacionados con los productos y operaciones sean competentes con las necesidades de la industria.
- Estudio del mercado y de la industria, a través de la recopilación, análisis y difusión de datos.
- Promoción de la seguridad de los productos eléctricos, en su diseño, fabricación y utilización.
- Información sobre los mercados y la industria a los medios de comunicación y a otros interesados.

- Apoyo a los intereses de la industria en tecnologías nuevas y a su desarrollo.

Una norma de la NEMA define un producto, proceso o procedimiento con referencia a las siguientes características:

- Nomenclatura
- Composición
- Construcción
- Dimensiones
- Tolerancias
- Seguridad
- Características operacionales
- Performance
- Alcances
- Prueba
- Servicio para el cual es diseñado

2.7.3. NORMA ASME

ASME es el acrónimo de *American Society of Mechanical Engineers* (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Es una asociación profesional, que además ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes a presión. Este código tiene aceptación mundial y es usado en todo el mundo.

Las Normas ASME B31.1 y ASME VIII completas se detallan en los Anexos, se referirá en esta parte a un pequeño resumen de las mismas, como las principales.

De la Norma ASME B31.1 se toman las tablas de los tiempos con sus respectivas notas generales. Se realizará un detalle de las notas más importantes dentro de esta Norma.

Para Materiales P-N° 1 del Grupo 1, 2, 3 tenemos las siguientes:

Para el Material P-No. 1 el Tratamiento Térmico Post Soldadura no es obligatorio, siempre y cuando todas las condiciones siguientes se cumplen:

1. El espesor nominal es 3/4 pulg (19,0 mm) o menos.
2. Un mínimo de precalentamiento de 200 ° F (95 ° C) se aplica cuando el grosor del material nominal de cualquiera de los metales de base sea superior a 1 pulg (25,0 mm).
3. No es obligatorio el endurecimiento en materiales P-No. 1 con un espesor de material nominal más de 3/4 pulgada (19,0 mm), pero no más de 1 1/2 pulgadas (38 mm) si se cumple que:
 - el equivalente de carbono, CE, es $\leq 0,50$, utilizando la fórmula.

$$CE = C + (Mn + Si) / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$$

$$CE = C + (Mn + Si) / 6 + 0,1$$

- Se aplica un mínimo de precalentamiento de 250 ° F (121 ° C).

- El espesor del depósito de la soldadura máximo de cada pasada de no deberá exceder de 1/4 pulgada (6 mm)

4. Cuando no es práctico realizar el Tratamiento Térmico Post Soldadura en el rango de temperatura especificado en la Tabla, se permite realizar el Tratamiento a temperaturas más bajas durante períodos más largos de tiempo de acuerdo con la Tabla.3.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE HARDWARE

3.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y VARIABLES DE PROCESO

Para realizar la identificación de los parámetros y variables del proceso se debe conocer con exactitud las etapas individuales que forman parte del tratamiento térmico. Las etapas son:

- Calentamiento.- Eleva la temperatura de un pieza
- Precalentamiento.- Calentamiento seguido de un mantenimiento a una o más temperaturas (precalentamiento de múltiples etapas) por debajo de la temperatura máxima seleccionada. El objetivo del precalentamiento es reducir las tensiones de fisuras ocasionadas por tensiones térmicas.
- Calentamiento superficial.- Consiste en un calentamiento hasta que la zona superficial de la pieza obtiene una temperatura específica.

- Calentamiento a Fondo.- Calentamiento Superficial + igualación de la temperatura.
- Mantenimiento.- Consiste en mantener una cierta temperatura sobre toda la sección, un determinado tiempo.
- Enfriamiento.- Consiste en disminuir la temperatura de una pieza. Todo enfriamiento que sucede más rápidamente que aquel que se presenta al aire quieto, es denominado temple.
- El tiempo de exposición.- Comprende el tiempo de calentamiento a fondo y el tiempo de mantenimiento.

Las cuatro variables del ciclo térmico a controlar en el TTPS son:

- La velocidad de Calentamiento a partir de cierta Temperatura Especifica
- La Temperatura de TTPS o Temperatura de Mantenimiento
- El Tiempo a la Temperatura de Mantenimiento
- La Velocidad de Enfriamiento hasta cierta Temperatura Especifica

Las especificaciones según el tipo de acero limitan las velocidades de calentamiento y enfriamiento con el objeto de prevenir las tensiones térmicas producidas por las contracciones y/o dilataciones no homogéneas. Los gradientes de temperatura a través del espesor y en dirección longitudinal producen Tensiones Térmicas.

Siempre que el calor sea aplicado de un solo lado del espesor, habrá un gradiente térmico a través del mismo, y cuando mayor sea el espesor mayor será este gradiente térmico para un dado aporte calórico.

La experiencia ha mostrado que el gradiente de temperatura en el espesor es inversamente proporcional al ancho de banda de calentamiento en la superficie sin importar el diámetro, espesor o tipo de fuente calórica empleada.

En general, el ancho de la banda circunferencial a ser calentada a la Temperatura de Mantenimiento debe ser como mínimo cinco veces el espesor mayor ($5t$) de la junta soldada.

3.2. FILOSOFÍA DE FUNCIONAMIENTO

La filosofía de funcionamiento tiene como fin explicar la mejora de la funcionalidad de la máquina, donde se controlará de una manera más eficiente y efectiva los tiempos de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento, permitiendo así prolongar la vida útil de la máquina, teniendo un mayor rendimiento y brindando mayor confiabilidad del proceso.

La funcionabilidad de la máquina permite conocer la etapa en la que se encuentra el tratamiento se puede observar el panel del estado del proceso en la Figura. 18., esto permite reanudarlo en caso que se presente algún paro de emergencia accidental, donde se deberá reanudar el proceso desde la etapa en la que se encontraba el programa; si el paro se dio por algún error crítico el tratamiento deberá volver a empezar, teniendo en cuenta que el administrador podrá continuar desde la etapa en

la que se presentó la falla una vez haya verificado que no persiste la misma.



Figura. 18. Panel indicador del estado del proceso.

Los criterios del control que se emplearán en este proceso son los que se detallan a continuación:

- Rápida respuesta ante variaciones de temperatura.
- Estabilidad ante cambios bruscos.

Para realizar un correcto control del proceso se detallan las diferentes etapas de funcionamiento para la automatización, desde la instalación de la alimentación de las líneas de voltaje, el cableado del sistema, hasta el enfriamiento del material.

3.2.1. ETAPAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

- **CALENTAMIENTO**

Cuando las piezas son gruesas, el calentamiento debe ser progresivo y uniforme para dar tiempo a que el corazón de la pieza también alcance la temperatura deseada. Esto evitará, como se ha mencionado, la generación de tensiones y grietas no deseadas. Al mismo tiempo se permite al acero el paso por las diferentes zonas críticas. Los

calentamientos rápidos son muy peligrosos en piezas gruesas y este efecto negativo se agrava cuando aumenta el contenido de carbono del acero, en los cuales el porcentaje de perlita es alto. La temperatura suele ser de unos 20 a 40°C superior a la temperatura crítica inferior. Es decir debe ser la temperatura suficiente para asegurar una homogeneidad aceptable.

La automatización se realizará para controlar que la temperatura suba cumpliendo (Velocidad de Calentamiento) con el tiempo que se establezca al inicio del procedimiento (Rata de ascenso) basándose en las tablas de las Normas ASME B31.1 y ASME VIII, ya que de subir muy rápido se producen errores que pueden llegar a ser irreversibles en el material.

VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO.- Se controla por medio de un controlador lógico programable localizado en el armario eléctrico que se encuentra cerca del material a tratar. A las salidas del controlador programable se encuentran los relés que son los encargados de enviar la señal para activar la etapa de potencia que realizará el calentamiento del material.

Debido a que los tratamientos dependen del tipo de material la temperatura en la primera etapa (calentamiento) no es fija pero debe ser completamente controlada ya que no se puede salir del rango.

El sistema de control esta principalmente compuesto por:

- Controlador lógico programable (PLC), MicroLogix 1400
- Módulo de entradas para termocuplas,

- Termocuplas tipo K, J, E

- **MANTENIMIENTO DE TEMPERATURA**

Para que se forme una austenita homogénea es necesario que el porcentaje de carbono sea el mismo en toda la masa de la pieza. La difusión del carbono es más rápida cuando aumenta la temperatura. El tiempo de permanencia oscila entre media hora y una hora por pulgada de espesor de pieza. Cuando el calentamiento se ha realizado lentamente, se mantiene media hora por pulgada y si el calentamiento ha sido rápido se eleva el mantenimiento a una hora por pulgada.

Para realizar el proceso de mantenimiento se basa en las tablas de las normas ASME B31.1 y ASME VIII, donde establece el tiempo para cada etapa según el espesor del material (Tiempo de Mantenimiento), este es el parámetro que se introduce.

- **ENFRIAMIENTO LENTO HASTA LA TEMPERATURA AMBIENTE
A UNA VELOCIDAD DETERMINADA.**

Cuando se mantiene el acero a una temperatura más elevada que la temperatura crítica superior, los cristales de austenita tienden a aumentar de tamaño tanta cuanto más alta sea la temperatura y mayor duración del calentamiento. Para afinar el grano bastará con calentar la pieza a una temperatura lo más justo por encima de la crítica y luego enfriar más o menos rápidamente al aire.

Las temperaturas son relativamente bajas. Los tiempos de calentamiento y enfriamiento de las piezas a tratar dependen de la forma y el tamaño de las piezas. Las velocidades de variación de temperatura altas provocan tensiones internas altas. Estas tensiones internas pueden provocar deformaciones y grietas en el material.

La temperatura de enfriamiento o de salida es la que será controlada en esta etapa del procedimiento, para lo cual se deberá introducir el valor que se desea ir descendiendo por hora, este valor será establecido con la ayuda de las tablas según las Normas ASME B31.1 y ASME VIII.

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO.- Las tensiones producidas durante el calentamiento son normalmente relevadas durante el mantenimiento a temperatura de tratamiento, mientras que las producidas durante el enfriamiento tienden a permanecer. Por esta razón a veces la velocidad de enfriamiento requerida es inferior a la de calentamiento.

La velocidad de enfriamiento depende de la diferencia de temperatura entre el material y el ambiente por lo tanto a altas temperaturas la velocidad de enfriamiento será mayor que a bajas temperaturas.

3.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

3.3.1. TOMA DE DATOS

Los valores presentados a continuación se tomaron de la máquina anteriormente usada, específicamente del transformador ya que fue el único elemento reutilizado, los datos de la Tabla 5; presentan los valores

reales de voltaje usando el transformador sin carga, teniendo en cuenta la posición de los selectores de los que constaba el mismo.

En la Figura.19., se puede observar el procedimiento a seguir en el momento de toma de datos.

Voltajes reales en contactores y selectores						
TABLAS DE DATOS DE TRANSFORMADOR SIN CARGA						
ACINDEC						
CONTACTO 1						
	35 V	70 V	105 V	140 V	175 V	210 V
1	40,7	76,4	111,5	146,9	181,4	218,5
2	45,7	81,5	116,6	152,1	188,5	223,2
3	50,7	86,2	121,6	156,7	192,3	230,2
4	55,6	91,3	126,8	161,3	197,7	235,3
5	60,7	96,4	132,8	166,3	203,7	240,5
6	65,3	101,4	137,6	172,3	207,9	246,3
7	70,7	106,4	140,9	176,6	212,9	250,5
CONTACTO 2						
	35 V	70 V	105 V	140 V	175 V	210 V
1	43,64	80,1	113,5	149,4	184,1	218,7
2	48,72	85,2	118,9	154,1	188,3	224,3
3	53,98	90,3	123,9	158,4	193,9	228,9
4	59,3	95,1	128,8	164,4	199,3	233,7
5	62,83	98,2	133,4	169,2	203,6	238,9
6	67,8	103,2	138,2	174,2	209,3	243,6
7	72,8	108,5	143,5	179,2	212,4	248,2
CONTACTO 3						
	35 V	70 V	105 V	140 V	175 V	210 V
1	44,3	79	114,9	149,1	182,2	218,8
2	49,3	83,4	118,8	154,3	187,3	223,3
3	54,2	88,8	123,9	159,3	192,6	226,1
4	59,3	93,1	128,8	164,4	198,9	232,7
5	63,3	98,7	133,8	169,5	202,9	239,7
6	68,9	104,8	138,5	172,3	208,3	245,4
7	74,3	109,1	142,6	177,5	213,3	250,3
Continua.						

CONTACTO 4						
	35 V	70 V	105 V	140 V	175 V	210 V
1	40,5	76,1	111,2	146,2	181,5	218,3
2	45,04	81,2	117,2	151,4	187,7	224,4
3	50,32	86,5	122,3	156,9	192,8	229,5
4	55,24	91,3	126,6	161,5	199,4	234,3
5	60,46	96,3	131,4	166,2	204,5	238,6
6	65,47	101,6	136,7	172,4	206,1	243,4
7	70,4	106,2	141,8	177,3	214,1	248,9
CONTACTO 5						
	35 V	70 V	105 V	140 V	175 V	210 V
1	43,3	77,9	115,1	150,4	186,6	222,6
2	48,1	83,2	120,2	155,1	192,6	227,3
3	53,1	88,4	123,3	161,5	198,1	231,5
4	58,1	93,4	128,8	166,5	205,2	237,4
5	63,5	98,4	134,2	171,1	207,8	242,5
6	68,1	103,4	138,8	176,5	212,8	248,5
7	73,1	108,5	144,2	181,6	216,3	253,6
CONTACTO 6						
	35 V	70 V	105 V	140 V	175 V	210 V
1	15,28	80,6	115,3	151,5	189,7	223,2
2	50,16	84,8	120,7	156,8	194,5	228,5
3	55,07	90,2	126,5	161,8	199,4	234,4
4	59,72	95,2	131,1	167,8	203,4	239,6
5	65,03	100,3	135,7	172,6	208,6	245,2
6	70,4	105,1	141,3	178,2	213,3	250,1
7	75,6	110,2	147,2	182,4	218,2	254,9

Tabla. 5. Voltaje del Transformador sin carga



Figura. 19. Toma de datos con pinza amperimétrica.

Seguido de los datos presentados en la parte inicial se conectó distintas cargas en las salidas para determinar de esta manera como se ve afectada la corriente y voltaje en cada salida al aumentar las cargas, se debe tener en cuenta que la máquina a diseñar tendrá como especificaciones, una entrada de voltaje de 80V conservando la corriente máxima a soportar por las resistencias usadas es decir 45 A. En las Tablas 6 a la 11; se presentan los cambios en voltaje y corriente al aumentar la carga.

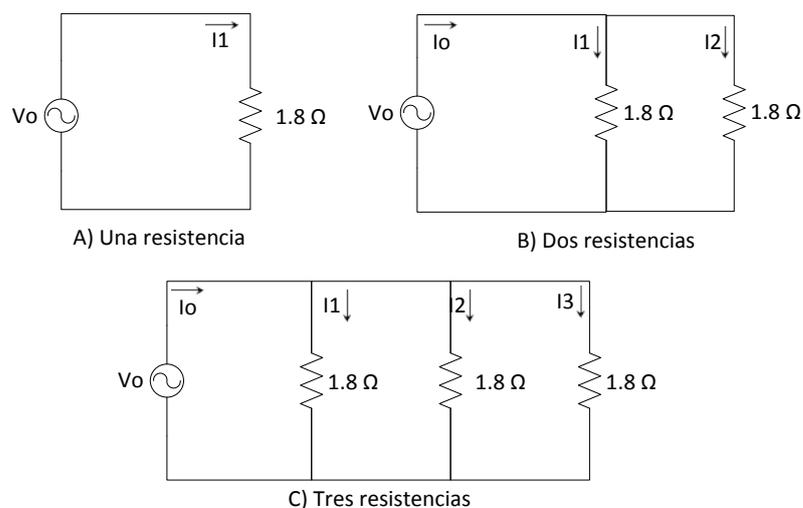


Figura. 20. Modelo de Circuitos de una, dos y tres cargas conectadas en paralelo.

- Salida 1

Selector Principal en 70V, Selector Secundario en 3 (85V)

	Una Carga (1,8 Ω)	Dos Cargas (1,8 Ω)	Tres Cargas (1,8 Ω)
Voltaje de Entrada (Vo) [V]	81,4	76,4	72
Corriente de Entrada (I0) [A]	44,4	82	116,7
Corriente Rama 1 (I1) [A]	44,4	41,7	38,7
Corriente Rama 2 (I2) [A]		41,8	38,7
Corriente Rama 3 (I3) [A]			38,7

Tabla. 6. Salida 1 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.

- Salida 2

Selector Principal en 70V, Selector Secundario en 2 (80V)

	Una Carga (1,8 Ω)	Dos Cargas (1,8 Ω)	Tres Cargas (1,8 Ω)
Voltaje de Entrada (Vo) [V]	79,4	75,4	72,1
Corriente de Entrada (Io) [A]	43,2	82,2	116,6
Corriente Rama 1 (I1) [A]	43,2	41,2	39
Corriente Rama 2 (I2) [A]		41,2	38,9
Corriente Rama 3 (I3) [A]			38,7

Tabla. 7. Salida 2 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.

- Salida 3

Selector Principal en 70V, Selector Secundario en 2 (80V)

	Una Carga (1,8 Ω)	Dos Cargas (1,8 Ω)	Tres Cargas (1,8 Ω)
Voltaje de Entrada (Vo) [V]	81,2	77,4	73,7
Corriente de Entrada (Io) [A]	44,1	82,1	119,9
Corriente Rama 1 (I1) [A]	44,1	42,2	40,5
Corriente Rama 2 (I2) [A]		42,2	40,5
Corriente Rama 3 (I3) [A]			40,5

Tabla. 8. Salida 3 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.

- Salida 4

Selector Principal en 70V, Selector Secundario en 3 (85V)

	Una Carga (1,8 Ω)	Dos Cargas (1,8 Ω)	Tres Cargas (1,8 Ω)
Voltaje de Entrada (Vo) [V]	80,8	76,1	70,2
Corriente de Entrada (Io) [A]	44,4	83,9	115,3
Corriente Rama 1 (I1) [A]	44,4	41,6	38,4
Corriente Rama 2 (I2) [A]		41,6	38
Corriente Rama 3 (I3) [A]			38

Tabla. 9. Salida 4 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.

- Salida 5

Selector Principal en 70V, Selector Secundario en 3 (85V)

	Una Carga (1,8 Ω)	Dos Cargas (1,8 Ω)	Tres Cargas (1,8 Ω)
Voltaje de Entrada (Vo) [V]	82,5	77,7	73,5
Corriente de Entrada (Io) [A]	45,1	84,2	123,4
Corriente Rama 1 (I1) [A]	45,1	42,3	40,4
Corriente Rama 2 (I2) [A]		42,2	40,4
Corriente Rama 3 (I3) [A]			40,3

Tabla. 10. Salida 5 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.

- Salida 6

Selector Principal en 70V, Selector Secundario en 2 (80V)

	Una Carga (1,8 Ω)	Dos Cargas (1,8 Ω)	Tres Cargas (1,8 Ω)
Voltaje de Entrada (Vo) [V]	80	76,1	72,4
Corriente de Entrada (Io) [A]	43,6	83,7	120,5
Corriente Rama 1 (I1) [A]	43,6	41,6	41
Corriente Rama 2 (I2) [A]		41,7	40
Corriente Rama 3 (I3) [A]			40,5

Tabla. 11. Salida 6 caída de voltaje y corriente al aumentar la carga.

La Tabla.12. Presenta el voltaje de alimentación para el transformador así como la corriente en cada línea cuando no existe carga conectada en la salida.

Líneas	Voltaje	Corriente
L1 y L2	222.4 V	4.9 A
L2 y L3	222.5 V	3.6 A
L3 y L1	220.9 V	3.4 A

Tabla. 12. Voltaje trifásico de alimentación.

Como parte de los datos necesarios para el análisis de los materiales a utilizar tenemos el conocer la corriente real en cada línea al encontrarse funcionando a máxima carga, habiendo determinado anteriormente que esta puede ser únicamente con dos resistencias conectadas en paralelo. El resultado de esto se puede observar en la Tabla.13.

Líneas	Corriente
L1	127.1 A
L2	131.6 A
L3	125.1 A

Tabla. 13. Corriente en cada línea a máxima carga.

Basándose en el transformador a usar se denominó como Voltaje inicial al obtenido del voltaje primario, después de realizar algunas pruebas con distintas cargas se llegó a conclusión que el voltaje a usar en el bobinado primario es de 70V, para llegar al necesario se deberá completar el circuito con el bobinado secundario, ya que el transformador tiene la opción de aumentar el voltaje de salida (secundario) gracias a sus taps, se puede sumar 5V de cada uno de los terminales del bobinado secundario al bobinado primario o voltaje inicial fijado como base. Para conocer de qué manera se encuentran conectadas las salidas del relé a la resistencia se recomienda observar la Tabla.14.

Circuito	V inicial	V suma	Total
Uno	70	3	85
Dos	70	2	80
Tres	70	2	80
Cuatro	70	3	85
Cinco	70	3	85
Seis	70	2	80

Tabla. 14. Voltaje tomado de los bobinados para cada circuito con una resistencia.

CONDICION 1: para la obtención de estos datos se tomó como voltajes de entrada presentados en la Tabla.14, observando que existen grandes variaciones con los valores reales que son los que se presentan

en la Tabla.15; donde se encuentra conectada una resistencia por cada salida o circuito. Para lograr abarcar mayor área al momento de realizar un tratamiento térmico se busca conectar 2 resistencias por salida o circuito, en este caso se observa que la corriente suministrada a las resistencias disminuye haciendo que estas no puedan trabajar al máximo, siendo necesario un óptimo desempeño de las resistencias para alcanzar la temperatura requerida.

Salida	Corriente	Voltaje	Contactador (V)
1	45.6	79.2	83.4
2	42.5	78.0	81.6
3	45.5	78.9	83.0
4	42.2	78.9	83.7
5	45.0	81.8	86.9
6	46.6	78.5	83.6

Tabla. 15. Características de las salidas conectando una resistencia a la salida.

Salida	Res 1 (A)	Res 2 (A)	I int (A)	Voltaje
1	42.1	42.2	85.6	73.6
2	39.8	42.1	82.0	73.5
3	40.7	40.1	81.7	73.8
4	42.2	40.5	81.4	72.0
5	40.2	41.5	83.3	76.4
6	42.7	43.1	85.5	73.5

Tabla. 16. Características de los circuitos de dos resistencias a la salida.

CONDICION 2: Teniendo en cuenta las caídas tanto de voltaje como corriente en las salidas cuando se conecta 2 resistencias en paralelo, se obtiene los nuevos valores de voltaje para cada circuito para de esta manera compensar la disminución anteriormente mencionada, dando

como resultado los valores presentados en la Tabla.17. Es importante mencionar que los valores aquí obtenidos son VAC.

Circuito	V inicial	V suma	Total
Uno	70	4	90
Dos	70	3	85
Tres	70	3	85
Cuatro	70	4	90
Cinco	70	4	90
Seis	70	3	85

Tabla. 17. Voltaje tomado de los bobinados para cada circuito con dos resistencias.

Al aumentar el voltaje de entrada en cada resistencia se logra alcanzar la corriente máxima en cada una de las salidas o a su vez una corriente aproximada como se visualiza en la Tabla.18., dando como consecuencia el aumento de la temperatura de manera uniforme y conservando estable el balance del transformador.

Salida	Res1 (A)	Res 2 (A)	I int (A)	Voltaje	Contactador
1	43.7	44.1	88.6	76.3	84.4
2	45.0	41.9	85.7	76.2	83.1
3	42.7	42.7	86.7	76.8	85.5
4	43.9	41.5	84.8	75.8	84.2
5	41.6	43.2	87.2	79.5	87.6
6	44.9	44.7	89.1	76.9	84.9

Tabla. 18. Características de las salidas con dos resistencias conectadas.

3.3.2. MATERIALES NECESARIOS

En la elaboración de este proyecto de tesis se usaron diversos materiales los mismos que para mayor comprensión los dividiremos en varias secciones que son:

Elementos de Potencia.

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
1	1	Breaker Siemens 2x4 Amp (disyuntor)
2	1	Breaker Siemens 2x6 Amp (disyuntor)
3	1	Breaker caja moldeada regulable 125-160Amp
4	6	Base cerámica portafusible para tamaño NH1 250AMP 660V.
5	8	Fusibles ultra rápido NH1 125Amp
6	4	Contactador 3rt1044 100AMP 110V
7	6	Relé de estado sólido 110 Amp 48-575 VAC
8	6	Disipador de calor Optec para relé
9	1	Barra de cobre 3,18 x 19,05 sin pintar (350MM)
10	6	Transformadores de corriente 100:5 A
11	1	Toma corriente sobrepuesto 3P+T 125A IP67
12	1	Enchufe clavija 3P+T 125A IP67
13	200	Cable para alta temperatura 100A (METROS)
14	1	Transformador 80KVA voltaje primario 220 voltaje secundarios 80/85/90/120

Tabla. 19. Material usado en circuitos de potencia.

Elementos de Control:

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
1	1	Pulsador tipo hongo 24VDC
2	1	Pulsador verde 24 VDC
3	1	Luz piloto tipo led roja 110 VAC
4	1	Luz piloto tipo led verde 110 VAC
5	3	Luz piloto tipo led amarilla 110 VAC
6	1	Selector 3 posiciones 24VDC

Continua.

7	1	Fin de carrera tipo rodillo
8	1	MicroLogix 1400 1766-L32BWA
9	6	Transformador 500VA VOLTAJE PRIMARIO 240/480 VOLTAJE SECUNDARIO 120/240
10	2	Módulo de entradas de Termocupla 1762-IT4

Tabla. 20. Material usado en circuitos de control.

Elementos de Medición:

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
1	6	Voltímetros revalco de 125V 96X96
2	6	Amperímetros revalco de 100A 2 96X96

Tabla. 21. Equipo usado para la medición.

Elementos de Conexión:

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
1	50	Cable 2 AWG THHN 190 AMP negro (metros)
2	100	Cable 6 AWG THHN 105 AMP negro (metros)
3	30	CABLE 18 AWG THHN verde y amarillo (metros)
4	120	CABLE 18 AWG THHN negro (metros)
5	5	Terminales tipo puntera cable 18AWG ROJO X100 unidades.
6	70	Terminales tipo puntera desnudo para 6 AWG x unidad
7	10	Terminales remachables para 2 AWG hueco 8mm x unidad
8	1	Toma corriente para panel IP65 110VAC
9	5	Canaleta 60x60 (metros)
10	2	Canaleta 40x60 (metros)
11	3	Riel din ranurada de 35mm (1m)
12	1	Marcador para bornera 1-10 WAGO (paquete)
13	1	Marcador para bornera 11-20 WAGO (paquete)
14	12	Plug tipo dinse macho 120 AMP

Continua.

15	12	Conector euro empotrable HEMBRA 120 AMP
16	45	Bornera unipolar riel DIN 35mm 18 AWG
17	20	Bornera neutro unipolar riel RIN 18AWG
18	1	Tope final riel DIN 35mm (paquete) WAGO
19	1	Cinta pal 1/2 etiquetadora cartucho vinil blanco
20	8	Conector estándar hembra para panel tipo K
21	6	Conector macho para panel termocupla tipo K
22	2	Lámpara fluorescente para tablero de 51 cm
23	10	Tapa de bornera WAGO 281 x unidad
24	6	Tapa de bornera WAGO 280 x unidad
25	6	Ventilador para tablero 14.8 110V
26	1	Cinta pal 1/4 etiquetadora cartucho vinil blanco
27	5	Cinta auto-fundente 3M
28	6	Etiqueta para botón blanco negro
29	6	Etiqueta para luz piloto blanco negro
30	2	Etiqueta amarillo-negro
31	7	Taype de 20 yardas de 3M
32	40	Cable de expansión de termocupla tipo K
33	1	Empaque de caucho para puerta
34	1	Conector RJ45 para tablero

Tabla. 22. Material usado en la conexión y armado del tablero.

Elementos para realizar el proceso:

En la Tabla.23, se describen los materiales que son empleados para llevar a cabo un tratamiento térmico.

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
1	60	Cable para termocupla tipo k (metros)
2	6	Cable divisor triple
3	60	Cable de extensión de termocupla tipo k (metros)
4	14	Resistencia de cerámica flexible (3.6kw)
5	3	Manta de fibra cerámica de 6 lbs
6	1	Tablero 1500x900x600

Tabla. 23. Material usado para realizar un Tratamiento Térmico.

3.3.3. CÁLCULO DE CABLEADO DEL SISTEMA

El cableado empleado en el Tratamiento Térmico Post Soldadura se lo realizó considerando los siguientes factores:

- Corriente máxima que circula por el conductor.
- Temperatura que deberá soportar la aislación del conductor (Capacidad Térmica).
- Condiciones de instalación.
- Caída de tensión máxima admisible.
- Tensión nominal.
- Verificación al corto circuito.

CORRIENTE NOMINAL.- Es la capacidad de corriente de cada uno de los campos que está determinada por el flujo de potencia en las condiciones más críticas de la máquina, se tiene un flujo de (calcular) MVA a en la máquina en el 2013.

Para el caso de estudio se conoce que la corriente nominal de trabajo teniendo todos los actuadores activados será de un máximo de 90 A, valor

obtenido en los datos presentes de la Tabla.3.13. La corriente nominal en el caso de la alimentación deberá sabemos que podrá alcanzar los 131.6 A, según los valores reales tomados, por lo que se considera el uso de cables de distinto calibre para cada caso.

Para el caso de los elementos cuya alimentación es 110VAC, se tomará como referencia la Tabla.24, donde se detalla la corriente nominal usada por cada elemento de control, teniendo en cuenta que para proteger los equipos los dividiremos en grupos teniendo separados los elementos de control de aquellos de activación independiente como son las lámparas, computador y ventiladores.

	Carga Máx. (VA)	Régimen Perm (A)
PLC	1,44	2,5000
Módulo Termocupla (2)		0,8000
RELÉ (6)		0,3360
LAMPARAS (2)		0,3636
COMPUTADOR (1)		1,6000
LUZ PILOTO (5)		0,2000
VENTILADORES (5)		1,3000
CONTACTOR (2)	218	3,2488
	1500	10,3484

Tabla. 24. Detalle de cargas con alimentación de 110VAC.

CAPACIDAD TÉRMICA.- Es la intensidad máxima admisible. Con esta intensidad se garantiza que el conductor no sobrepasará nunca la temperatura máxima admisible para el aislante.

CÁLCULO DE LOS CONDUCTORES.- Los conductores constituyen parte fundamental de la instalación eléctrica, por tal motivo su correcto dimensionamiento es fundamental para el buen funcionamiento del sistema de cableado eléctrico de la máquina para Tratamiento Térmico. El cálculo se realizará empleando el criterio de caída de tensión, para determinar el calibre del conductor según la zona.

CRITERIO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN.- La circulación de corriente a través de los conductores ocasionan una pérdida de potencia transportada por el cable conductor y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la canalización. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por las Normas de instalación, para así garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable. En líneas de larga longitud este criterio es determinístico.

La caída de voltaje máxima permitida por la NTIE (Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas) es del 3% para el circuito alimentador o principal y 3% para circuitos derivados, sin que los circuitos juntos sobrepasen el 5%; en los cálculos siguientes se emplearan el 3% y 2% para los circuitos alimentador y derivado respectivamente.

Para determinar el calibre de los conductores, se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$V = I.R$$

$$P = V.I.\cos(\theta)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos(\theta)$$

Conociendo la corriente real en el conductor que alimentará la máquina a elaborar tenemos:

$$P = \sqrt{3} * 220 * 131.6$$

$$P = 50.146 [KW]$$

$$R = \frac{d}{A \cdot K}$$

Donde:

V = Tensión nominal [V]

I = Corriente nominal [A]

P = Potencia [W]

$\cos(\theta)$ = Factor de potencia

R = Resistencia del conductor (Ω)

d = longitud del conductor [m]

A = Sección transversal del conductor [mm^2]

K = Conductividad del conductor ($k=57 \text{ mm}^2/\Omega \cdot \text{m}$ para el cobre)

Los límites en caída de tensión según recomendación de la NEC vienen detallados según el tipo de circuito como se presenta en la Tabla.25.

Para alimentar	Caída de Tensión máxima en %
Circuitos interiores en viviendas	3%
Circuitos de alumbrado	3%
Circuitos de fuerza	5%

Tabla. 25. Límites de caídas de tensión reglamentarios.

CALIBRE DEL CONDUCTOR

Se observa que para cualquier corriente, el menor calibre requerido siempre se da en alambres THHN/THWN 90°C, así mismo tiene menor costo.

Para Instalaciones en general, con conductores de cobre.

También, en la mayoría de los casos es posible, para una misma corriente, utilizar un cable THHN/THWN 90°C de calibre inferior que los cables THW.

APLICACIONES THHN

Los conductores de cobre tipo THHN como se muestra en la Figura 21, o THWN-2 son utilizados para circuitos de fuerza, alumbrado y zonas abrasivas o contaminadas con aceites, grasas y otras sustancias químicas corrosivas como pinturas, solventes, tal como se especifica en el *National Electrical Code*.

Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos con temperatura máxima de operación de 90 °C, pero si es utilizado como THWN-2 puede ser usado en lugares secos y húmedos con temperatura

máxima de operación de 90 °C, cuando están expuestos a sustancias corrosivas, su temperatura máxima de operación es 75 °C. En cuanto a su tensión de servicio, para todas las aplicaciones, es de 600 V.



Figura. 21. Cubierta de cable THHN.

La caída de tensión en el conductor para la alimentación de los circuitos de fuerza viene dada por:

$$e_{III} = 0.03 * 220 V$$

$$e_{III} = 6.6V$$

$$A = \frac{I \cdot L}{e \cdot k} \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{131.6 * \sqrt{3} * 30}{6.6 * 57} \text{ mm}^2 = 18,18 \text{ mm}^2$$

Habiendo obtenido la sección del cable comparamos este resultado con la corriente máxima que circulará por el mismo, al llevar este resultado a la Tabla.3.22, se determina que el cable a ocupar será un cable tipo THHN 4 AWG.

Donde:

e_{III} = Porcentaje de caída de tensión en trifásico

e_I = Porcentaje de caída de tensión en trifásico

$L = (\sqrt{3}).d$, para circuitos trifásicos y $2.d$ para circuitos monofásicos.

Para el cálculo del calibre del cable a usar en los elementos de control y salidas a resistencias se vuelve a desarrollar la ecuación anterior

$$e_{III} = 0.03 * 80 V = 2.4V$$

$$A = \frac{89.1 * 2 * 10}{2.4 * 57} mm^2 = 13,03mm^2$$

Al comparar la sección transversal del cable con la Tabla.26, se concluye que el tipo de cable a usar será aquel que posea la sección transversal igual o mayor en este caso se trata de un cable tipo THHN 6AWG.

Finalmente es necesario el cálculo del conductor en a ser usado en el circuito de control.

$$e_{III} = 0.03 * 110 V = 3.3V$$

$$A = \frac{3.25 * 2 * 15}{3.3 * 57} mm^2 = 0.518mm^2$$

Tomando en cuenta los valores de corriente a los que se encontrará sometido el cable y la sección del mismo se determina que el cable a usar será un tipo TFN 18 AWG, debido a que es necesario tomar un cable cuya sección sea de preferencia mayor a la calculada como se dijo anteriormente.

La presente Tabla.26, muestra las características de los cables de diferente calibre usada para determinar el calibre de cable según las

especificaciones que se tenga del mismo, esto también se puede realizar mediante la toma de datos de la máquina existente al igual que al desarrollar las fórmulas de cálculo anteriormente presentadas.

El cable que irá directamente conectado a las resistencias no debió ser cambiado pues la empresa disponía ya de cable con las características calculadas además de soportar alta temperatura. Dicho cable se lo puede observar en la Figura. 22.



Figura. 22. Cable para alta temperatura.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	ESPESOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PE SO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO CABLE
20	0,519	1 x 0.813	0,38	0,10	1,77	7,07	15	10	TFN
18	0,823	1 x 1,02	0,38	0,10	1,98	10,94	15	10	TFN
16	1,31	1 x 1,29	0,38	0,10	2,25	16,48	20	15	TFN
14	2,08	1 x 1,63	0,38	0,10	2,59	23,17	35	25	THHN
12	3,31	1 x 2,05	0,38	0,10	3,01	34,16	40	30	THHN
10	5,26	1 x 2,59	0,51	0,10	3,81	55,04	55	40	THHN
8	8,34	1 x 3,26	0,76	0,13	5,04	91,22	80	55	THHN
6	13,30	7 x 1,55	0,76	0,13	6,43	141,30	105	75	THHN
4	21,15	7 x 1,96	1,02	0,15	8,22	227,60	140	95	THHN
2	33,62	7 x 2,47	1,02	0,15	9,75	348,10	190	130	THHN

Tabla. 26. Características de los cables.

3.4. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO

Para la construcción del tablero los planos deben pasar por la revisión y aprobación del jefe de automatización, para que posteriormente se genere la orden de producción.

Para la elaboración del tablero que contendrá la máquina para el control de tratamiento térmico se realizó planos tanto para la parte interior como exterior ya que los tableros disponibles para compra en el mercado no cumplían con los requerimientos indicados en la empresa para peso debido al transformador, teniendo en cuenta que ACINDEC es una empresa que trabajo en acero, siendo este al carbono como inoxidable, se llega a la decisión de que el material en que se elaborara el tablero será

acero inoxidable. El desarrollo del tablero y el guarda el fondo delantero se muestra en PLANOS DEL TABLERO/ DESARROLLO (HOJA1/6) las vistas y detalles del tablero se pueden observar en PLANOS DEL TABLERO/ VISTAS (HOJA 2/6).

Al finalizar la elaboración del tablero se procede con las perforaciones y soldaduras de los soportes, esto se encuentra dividido en derecho e izquierdo.

En el lado izquierdo tendremos el soporte donde se podrá enrollar el cable de fuerza que alimenta a los actuadores, mismo que se encuentra sujeto mediante pernos a la pared izquierda para proporcionar mayor soporte. Todo esto se presenta en PLANOS DEL TABLERO/ DETALLE LADO IZQUIERDO (3/6).

En el lado derecho encontramos las perforaciones necesarias al igual que la mesa de soporte para el computador, como el soporte para el cable de alimentación del tablero; de igual manera se observa la vista frontal del tablero con todas las modificaciones a realizar. Las vistas mencionadas se encuentran en PLANOS DEL TABLERO/ VISTAS LADO DERECHO (4/6), el desarrollo de cada uno de los ítem anteriores los podemos encontrar en PLANOS DEL TABLERO/ DESARROLLO LADO DERECHO (5/6). Las perforaciones en la puerta frontal así como la distribución de las etiquetas se encuentran en PLANOS DE TABLERO/ PERFORACIONES ELEMENTOS PUERTA (6/6).

3.5. DIAGRAMAS

3.5.1. DIAGRAMA DE BLOQUE FUNCIONAL

En el diagrama de bloque presentado en la Figura.23 se muestra el proceso a seguir cuando se realice un tratamiento térmico localizado, se deberá considerar a un operador ingresando los datos.

HMI: La Interfaz Humano Máquina permite al operador ingresar los datos con los que se va a realizar el tratamiento térmico, ya que estos cambiarán al cambiar el espesor del material, así como los requerimientos del cliente.

PLC: El Controlador Lógico Programable procesa los datos ingresados en la interfaz gráfica junto con los valores tomados desde el módulo de Termocuplas para cumplir con las condiciones programadas en el mismo realizando el control.

Etapa de Calentamiento: Etapa Inicial al realizar un tratamiento térmico localizado, en este proceso se enciende las salidas del PLC hasta alcanzar la temperatura máxima ingresada, comparando con la medición en el módulo de Termocuplas.

Etapa de Mantenimiento: Etapa que se inicia al finalizar el proceso de calentamiento, en esta la temperatura en las Termocuplas se deberá mantener durante el tiempo ingresado por el usuario, al finalizar se envía una señal a la salida.

Etapas de Enfriamiento: Etapa en la cual se tratará de mantener las salidas apagadas según la rata de descenso ingresada, este proceso se inicia con la finalización de la anterior.

Dispositivos Finales de Control: Para el caso a analizar se trata de los relés de estado sólido que están conectados a las resistencias calefactoras cerámicas flexibles, estos reciben la señal de activación de desde el PLC en cada una de las etapas del tratamiento.

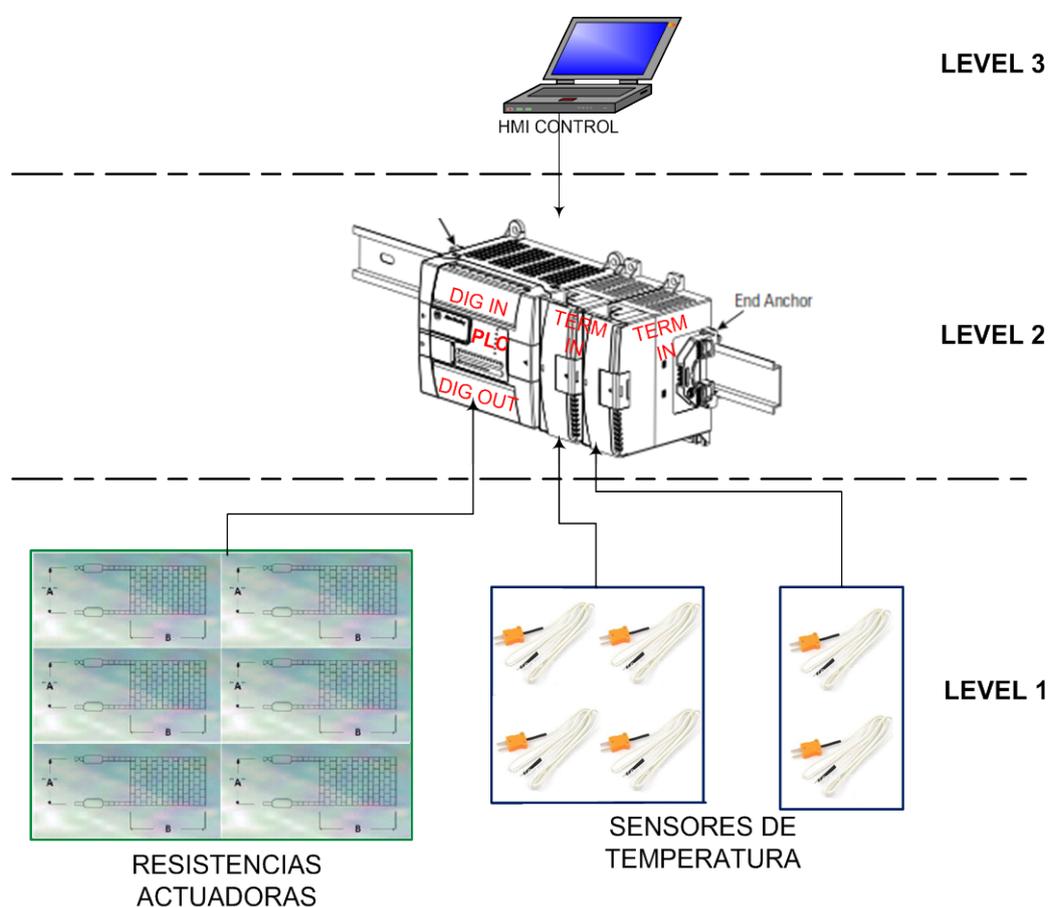


Figura. 23. Diagrama de bloque funcional.

3.5.2. DIAGRAMA DE LAZO DE CONTROL (P&ID)

El lazo de control del sistema empleado en la máquina de tratamiento térmico que se muestra en LAZO DE CONTROL (1/1) presenta diagramas de proceso e instrumentación, el cual parte de los elementos de transmisión de temperatura hasta llegar a los indicadores de temperatura presentes en el computador en donde se visualiza mediante la interfaz gráfica.

3.5.3. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA

Los diagramas eléctricos permiten a quien los interprete tener una idea clara de cómo se encuentran conectados los distintos elementos, visualizando aquellos que reciben y envían señales, la fuente de la cual se encuentran alimentados teniendo en cuenta las protecciones necesarias en cada caso.

3.5.4. DIAGRAMA DE CIRCUITO DE POTENCIA

El diagrama de potencia presenta la alimentación del circuito de fuerza partiendo por la línea trifásica que posee la fábrica, el cual para seguridad de operadores que usen la máquina se podrá activar mediante un disyuntor de caja moldeada que soporte la capacidad de amperaje máxima permitida, para visualizar lo mencionado diríjase a CIRCUITO DE POTENCIA (1/1).

3.5.5. DIAGRAMA DE CIRCUITO DE CONTROL

Para lograr una mayor comprensión de los elementos conectados como parte del control se encuentran divididos según la alimentación de

los elementos de control así como aquellos que no requerirán de mayor potencia, la máquina tiene un transformador de aislamiento para evitar interferencias y ruido eléctrico que puedan provocar errores y problemas en lectura de datos del PLC, este suministra 110VAC, al igual que el generado por los elementos de potencia. Dichas conexiones las podemos encontrar en CIRCUITO DE CONTROL/ALIMENTACION (1/5).

Los elementos conectados en las entradas del PLC se los observa en CIRCUITO DE CONTROL/ ENTRADAS (2/5), estos elementos se encuentran alimentados con los 24VDC que nos proporciona la fuente del controlador del PLC, se debe tener en cuenta que no se deberá sobrecargar dicha fuente ya que el funcionamiento del PLC se podría ver afectado.

Todas las salidas del MicroLogix 1400 son salidas a relé por lo que se encuentran alimentadas con 110VAC, mismos que son tomados del transformador de aislamiento por las razones anteriormente mencionadas, lo dicho lo podemos visualizar en CIRCUITO DE CONTROL/ SALIDAS (3/5).

La conexión de los módulos de Termocupla se muestran en CIRCUITO DE CONTROL/ MODULO1 (4/5) y CIRCUITO DE CONTROL/ MODULO2 (5/5). Donde se indica el modo de conexión de los módulos al PLC, así como la conexión del termopar hacia ellos.

3.5.6. DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN

Los diagramas de distribución presentan como se encontrarán distribuidos los elementos dentro del tablero, tanto en el guarda fondo delantero como en el posterior.

La distribución interna del tablero se puede observar en DIAGRAMA DE DISTRIBUCION/ GUARDA FONDO FRONTAL (1/3). En este diagrama está la distribución de los elementos, borneras, canaletas y rieles.

DIAGRAMA DE DISTRIBUCION/ GUARDA FONDO POSTERIOR (2/3), presenta la distribución de los elementos en el guarda fondo ubicado en la parte posterior del tablero, en este guarda fondo se encuentran principalmente elementos de potencia.

La distribución de los elementos en la puerta frontal se los puede observar en los planos de construcción del tablero mencionados anteriormente en PLANOS DE TABLERO/ PERFORACIONES ELEMENTOS PUERTA (6/6).

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL SOFTWARE

4.1. SISTEMA DE CONTROL IMPLEMENTADO

Este proyecto emplea para el control de temperatura un Control Todo o Nada, para así mantener la temperatura deseada en las distintas etapas del proceso; proporciona facilidad de manejo del mismo. Además que trabaja con una histéresis que es ingresada por el operador en el Panel de Ingreso de Datos del modo de funcionamiento Automático; la histéresis nos permite definir los tiempos de encendido y apagado de los controladores (circuitos de salida) en la etapa de mantenimiento.

Los elementos finales de control que se están empleando en la máquina son relés de estado sólido, dispositivos idóneos para este tipo de control, ya que la placa que se someterá a tratamiento está hecha en acero y tiene las termocuplas soldadas y las resistencias apoyadas en la superficie. Aunque la transferencia del acero no es muy buena la temperatura que mide la termocupla es muy cercana a la que entrega esa

resistencia y con error menor al 5% respecto del material a tratar, comportamiento conocido como "Inercia simple" puesto que la temperatura observada en el control tiene un error muy bajo con respecto a la temperatura alrededor de la resistencia.

La selección de las distintas temperaturas de trabajo dependerá del material a tratar así como del tiempo de mantenimiento. El voltaje a emplear en cada tratamiento dependerá de la longitud de la superficie a tratar, esto le proporciona a la empresa la capacidad de abarcar proyectos de mayor amplitud, sin poner en riesgo los elementos internos del tablero; siendo el de mayor costo el transformador, así como los externos usados en el proceso, cables y resistencias flexibles.

Para explicar un poco el control que se está empleando se usa la Figura.24., donde se observa las variables.

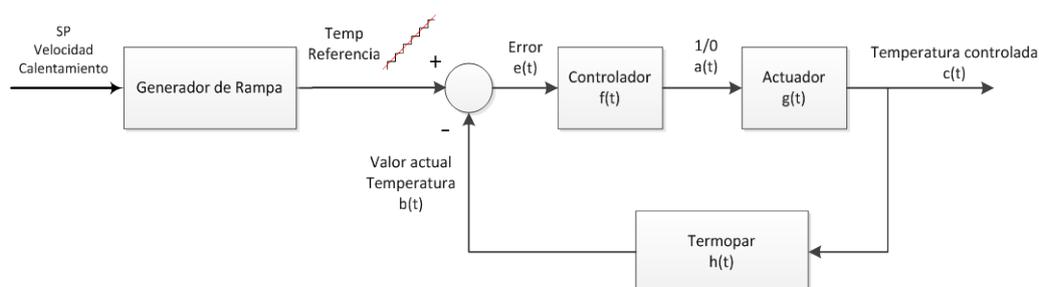


Figura. 24. Diagrama de Control On-Off Empleado.

La Figura. 24, presenta un sistema de control en lazo cerrado re-alimentado por la señal transmitida por el termopar, misma que se compara con una temperatura de referencia obtenida del análisis entre el tiempo calculado y el *set point* ingresado como rata de temperatura. El error $e(t)$ ingresa al controlador, donde la salida del mismo puede ser; on

(uno) u off (cero) con lo que se determina si el actuador se activa o desactiva, provocando que las resistencias se calienten o no según sea el caso.

Al encontrarse el equipo en etapa de mantenimiento las condiciones son las mismas, con ligeras variaciones, no existirá el comparador fuera del lazo cerrado, debido que no existe aumento de temperatura para este caso y la temperatura de referencia es sustituida por el valor de *set point* ingresado como variable de rizado mínimo.

Para la activación de la salida los cuales son relés de estado sólido se tiene que el valor del error $e(s)$ debe ser mayor que 0 (>0).

Para la desactivación de las salida tenemos que el valor del error $e(s)$ debe ser menor que 0 (<0).

En la máquina se tiene un controlador on-off por cada circuito de salida debido a que las salidas funcionan de forma independiente unos con los otros.

4.2. DISEÑO DE ALGORITMOS DE CONTROL DE TEMPERATURA

Para facilitar la comprensión y la programación del control de temperatura se parte de un diagrama de flujo general donde se encuentra las distintas subrutinas, de las cuales consta el programa; permitiendo que este sea observado de principio a fin de manera general y rápida, una vez se haya comprendido el funcionamiento del diagrama general será más

fácil entender el desglose del mismo, de subrutina en subrutina siguiendo las líneas del procedimiento, pudiendo de esta manera tener una idea clara de cómo se llevan a cabo los procesos en las distintas etapas, tanto en la programación como en la ejecución del programa.

Se deberá tener en cuenta que en transcurso del proyecto se pueden presentar cambios que pudieron no estar contemplados en la etapa inicial, como en este caso se dio debido a requerimientos del cliente.

4.2.1. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL

El diagrama de flujo General (Figura. 25.) del programa realizado para el tratamiento Térmico localizado comprende: una descripción generalizada de los procesos a realizar en el cual se aprecian las subrutinas de las que consta dicho programa; así como decisiones a tomar en distintos casos siendo uno de estos el que al activarse el paro de emergencia, se detienen todas las opciones siguientes, adicional a esto se enciende la luz de paro de emergencia tanto en el tablero como el HMI.

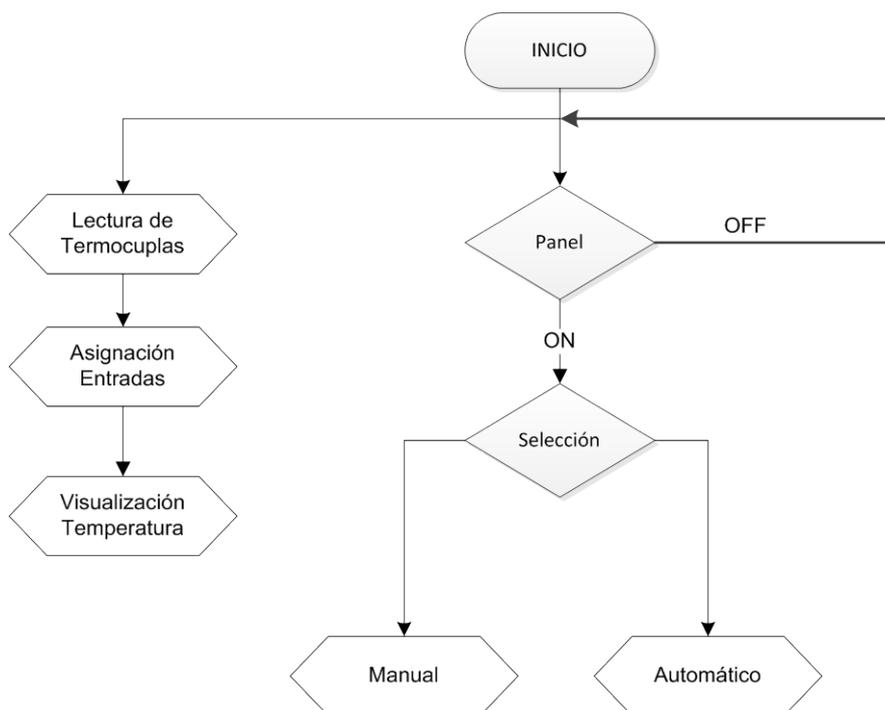


Figura. 25. Diagrama de Flujo General del funcionamiento del programa de tratamiento térmico.

Subrutinas llamadas en el programa principal

Lectura de Termocuplas: contiene los módulos SCP escalados según se indica en la Tabla 27., para el caso de escalamiento PID. El escalado mínimo y máximo lo determina el tipo de Termocupla para el caso a analizar tipo K yendo de -270 a 1370 como lo muestra la Figura. 72. cuando se trata de grados Celsius según lo indica el manual de los módulos de Termocupla. Se determina el tiempo de lectura de las entradas del termopar en 4 segundos. Adicional a esto Ejecuta la fórmula de compensación de Temperatura.

$$Compensa_x = (Valor_{scp} * 1.008) + 2.381$$

Se llega a determinar la formula señalada mediante las pruebas y resultados obtenidos. Es necesario este ajuste debido a que al conectar los terminales de Termocupla del cable rígido al flexible y después al modulo en el PLC se forman perdidas en la lectura, mismas que al final necesitan ser compensadas.

Visualización Temperaturas: Condiciona las variables que están ancladas a las salidas del controlador dependiendo si se trata de modo manual o automático.

Manual: A cada botón en el HMI le corresponde una salida, misma que se activará con la única condición de que el panel se encuentre encendido.

Automático: Subrutina desde la cual se accede a las subrutinas de las etapas de tratamiento térmico: calentamiento, mantenimiento, enfriamiento, detalladas más adelante, para acceder al calentamiento el botón de encendido deberá estar presionado y Subrutinas de Mantenimiento y Enfriamiento apagadas, de manera igual para las siguientes etapas.

Adicional a esto se encontrará la comparación de los distintos valores de temperatura medidos hasta identificar el menor en cuyo caso este será con el que se desarrolla la fórmula en el calentamiento.

Asignación Entradas: Encargada de encontrar la falla en alguna de las lecturas de termopar, entendiéndose por falla al observar el valor de temperatura no cambiar por un tiempo, mismo que se lo determinó

mediante pruebas. Adicional a esto deberá encontrarse en modo automático y procesar una etapa distinta a mantenimiento.

SUBROUTINA DE ETAPA DE CALENTAMIENTO.

En la presente subrutina Figura. 26, se observa las condiciones para la activación de las salidas (relés de estado sólido) a resistencia tomando en cuenta la temperatura a la que se encuentren las mismas, para esto realiza la toma de valores de los módulos de Termocupla cada 4 segundos, así como los distintos datos ingresados por el operador en la interfaz gráfica. El tiempo seleccionado para toma de datos viene determinado mediante las pruebas y resultados.

Conociendo el valor de la rata de ascenso, ingresado en HMI se calcula la fórmula para la obtención del tiempo que debería haber transcurrido hasta llegar a la temperatura menor de entre las 6 termocuplas. La fórmula a ejecutar es:

$$Tiempo_{in} = \frac{Menor * 3600}{Rata\ de\ Asc}$$

Donde:

Rata de Asc = Velocidad de ascenso ingresada en HMI

Menor = Menor Valor obtenido mediante comparación de temperaturas

Tiempo_{in}= Tiempo en segundos que debe haber transcurrido.

Por ejemplo si la menor temperatura registrada es 90°C y la rata de ascenso ingresada es 200°C/h se conoce que para llegar a dicha

temperatura debió transcurrido 1620 segundos lo que equivale a 27 minutos.

Todos los valores de tiempos se manejan en segundos para mayor precisión pero se presentan en horas y minutos en la interfaz HMI para una fácil comprensión del operario de la máquina. Para la obtención del valor de referencia al que deberán alcanzar todas las salidas se aplica:

$$Referencia_{temp} = \frac{Rata\ de\ Asc * Tiempo_{in}}{3600}$$

$Referencia_{temp}$ Indica el valor en el que se deben encontrar todas las lecturas, de tal manera que si algún termopar se encuentra en un valor menor a este se activa la salida del circuito correspondiente hasta que alcance la temperatura deseada, esto se realiza siempre que 3 de los 6 valores no lleguen a la temperatura máxima, al ocurrir se activa una señal indicadora de paso a la siguiente Etapa.

Siguiendo con el ejemplo mencionado anteriormente para calcular el valor de temperatura que deben presentar los termopares luego de 30 minutos se sumará dicho valor al Tiempo de partida es decir se tendrá 3420 segundos y el valor de referencia patrón será de 190°C. Temperatura a la que todas las resistencias calefactoras deberán estar idealmente.

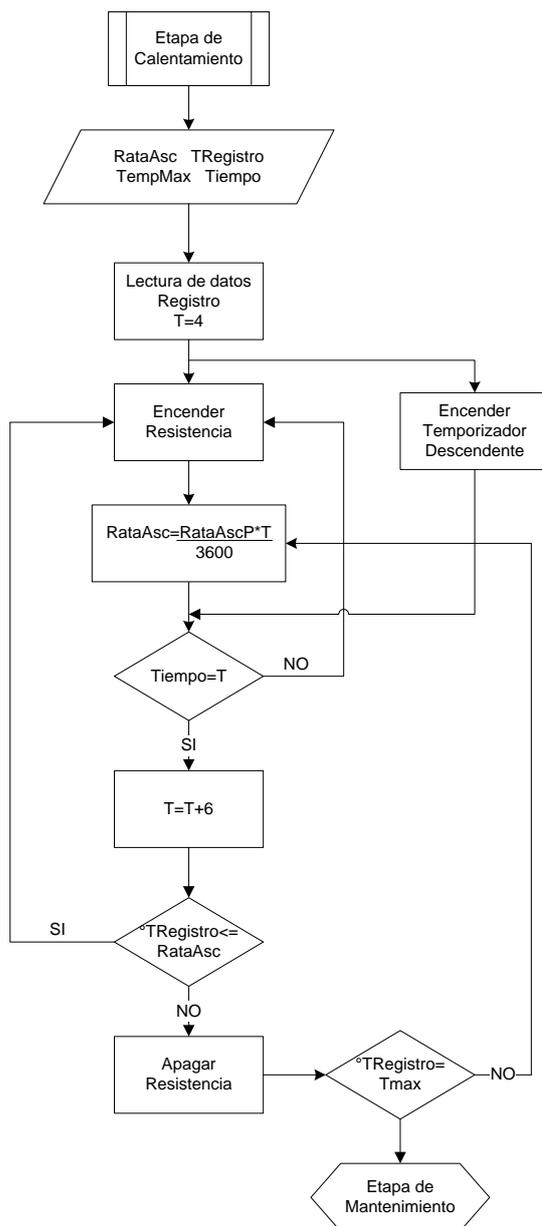


Figura. 26. Diagrama de flujo de subrutina de calentamiento.

SUBROUTINA ETAPA DE MANTENIMIENTO

Al llegar a la temperatura máxima ingresada por el usuario se activa la subrutina de mantenimiento, donde se busca mantener el valor de las termocuplas en la temperatura máxima, si esta disminuye más allá del rizado mínimo (histéresis) las salidas se encienden hasta compensar este

desfase, al conseguirlo se apagan. Esto sucede durante el tiempo que durará la etapa de mantenimiento, tal como lo indica la Figura 27.

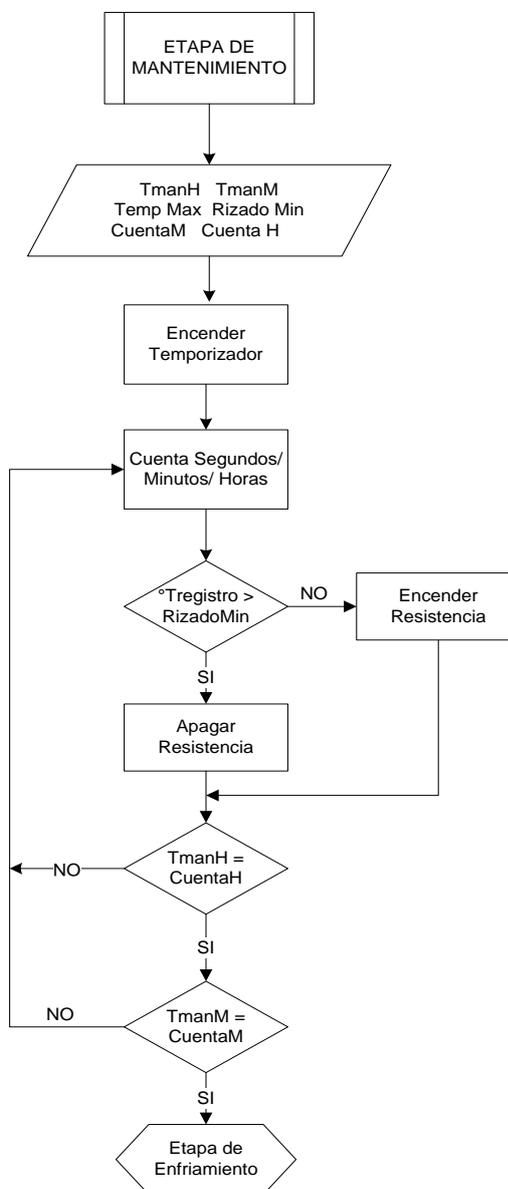


Figura. 27. Diagrama de Flujo Subrutina Etapa de Mantenimiento.

SUBROUTINA DE ETAPA DE ENFRIAMIENTO

Esta subrutina tiene una gran relación con la de calentamiento, la principal diferencia radica en que para este caso, las salidas se mantendrán apagadas salvo que la temperatura en alguna de las 6 resistencias

disminuya más allá del porcentaje de descenso establecido. Al finalizar esta etapa se envía una señal a la HMI indicando que el tratamiento llegó a su fin y se detiene el cronómetro como se observa en la Figura 28.

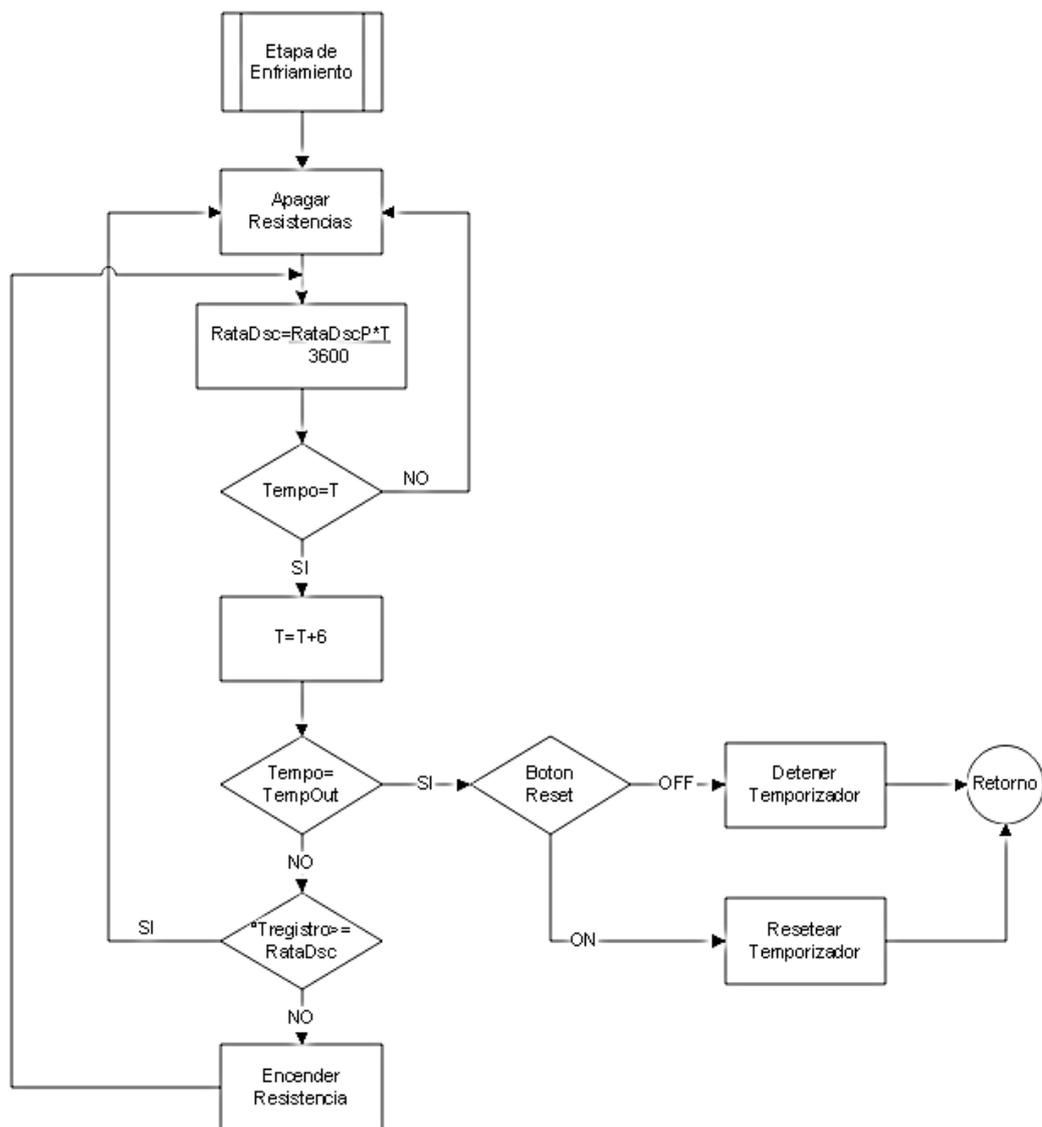


Figura. 28. Diagrama de flujo de Subrutina de Enfriamiento.

Las fórmulas aplicadas en este caso son:

$$Tiempo_{out} = \frac{Menor * 3600}{Rata\ de\ Dsc}$$

$$Rata_Ref_{dsc} = \frac{Rata\ de\ Dsc * Tiempo_{out}}{3600}$$

Al tratar de disminuir la temperatura es necesario que el valor de $Tiempo_{out}$ aminore, teniendo como referencia el tiempo entre cada toma de datos se determina que la variable anteriormente mencionada disminuirá cada 6 segundos, para luego ser comparada con el valor dado por la subrutina Lectura de Termocupla. La fórmula a aplicar es:

$$Tiempo_{out} = Tiempo_{out} - 6$$

4.2. PARAMETRIZACIÓN DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

El PLC posee dos módulos de termocupla 1762-IT4 con 4 entradas, los parámetros de dichos módulos son configurados en la opción *I/O Configuration* dentro de las opciones del controlador (Figura. 29). En la siguiente ventana se deberá escoger los módulos a utilizarse según el número de parte, aquellos que sean seleccionados aparecerán en el recuadro izquierdo, Figura 30.

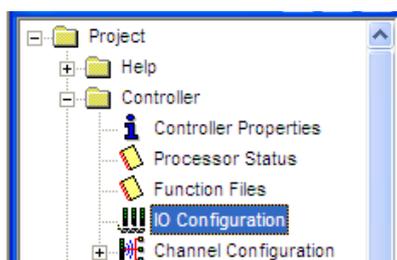


Figura. 29. Opciones del controlador.

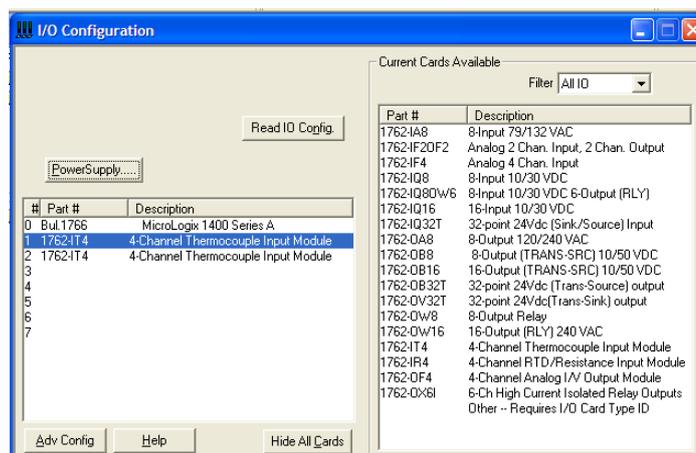


Figura. 30. Configuración de entradas y Salidas.

Con doble clic se ingresa a los parámetros de dichos módulos, presenta la opción de habilitar o deshabilitar alguno de los canales, cada módulo posee cuatro canales (entrada), se debe escoger el formato de los datos, estos pueden ser: *Raw/proportional, Engineering Units, Scaled for PID, Percent Value, Engineering Units x10*; en el programa realizado se escogerá *Scaled for PID* (Escalamiento para PID), ya que este convierte la curva exponencial dada por el termopar en una relación lineal usando en el programa los valores de la escala indicados en la Tabla 27., se deberá seleccionar también el tipo de termocupla, entre las opciones tenemos: J, K, T, E, R, S, B, N, +/- 50mV, +/- 100mV; en nuestro caso se usa un termopar tipo K. El filtro, mismo que viene dado en Hz permite escoger la exactitud con la que se necesitará trabajar, al tratarse de un proceso que llevará generalmente 6 horas o más, se escogió el menor, es decir 10 Hz el cual proporciona la mayor resolución; la opción de Circuito abierto brinda la posibilidad de escoger el valor que conservará dicho canal (entrada) en caso de detenerse la lectura por alguna falla, pudiendo ser por desconexión del termopar o por problemas en la soldadura del

cable de la Termocupla en material a tratar; se seleccionó *Last State* (último estado) como su nombre lo indica mantendrá el ultimo valor leído hasta que el problema sea solucionado; la última opción por seleccionar es la unidad de visualización, para nuestro caso usaremos grados centígrados (°C). Todas las características mencionadas las podemos observar en la Figura.31.



Figura. 31. Parámetros de Módulo de entradas de termocupla.

La conexión de la tarjeta de termocuplas se la debe realizar como se muestra en la Figura. 32, teniendo en cuenta que cuando se utiliza un termopar sin conexión a tierra, el cable blindado debe estar conectado a tierra en el extremo del módulo.

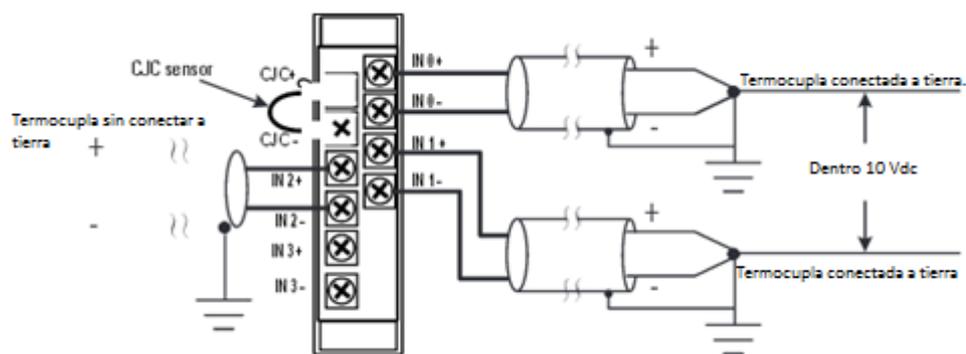


Figura. 32. Conexión de módulo 1762-IT4.

Según el tipo de escalamiento, se establece las condiciones a ingresar en el módulo de SCP para esto tenemos la Tabla.27, donde las unidades de los formatos de datos de ingeniería representan unidades de temperatura reales que proporciona el módulo al controlador. Los contadores proporcionales, llamados escalados para PID y el porcentaje de los datos a gran escala pueden producir las resoluciones más altamente eficaces, razón por la cual fue éste el que se escogió para el proceso a realizar; también requiere convertir los datos del canal a unidades de ingeniería reales en el programa de control.

Formato de Datos							
Tipo Entrada	Unidades de Ingeniería x1		Unidades de Ingeniería x10		Escala para PID	Datos crudos Proporcionales	Rango en Porcentaje
	°C	°F	°C	°F			
J	-2100 a +12000	-3460 a +21920	-210 a +1200	-346 a +2192	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
K	-2700 a +13700	-4540 a +24980	-210 a +1370	-454 a +2498	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
T	-2700 a +4000	-4540 a +7520	-270 a +400	-454 a +752	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
E	-2700 a +10000	-4540 a +18320	-270 a +1000	-454 a +1832	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
A	0 a +17680	+320 a 32140	0 a +1768	+32 a 3214	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
S	0 a +17680	+320 a 32140	0 a +1768	+32 a 3214	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
B	+3000 a 18200	+5720 a 32767	+300 a 1820	+57 a 3308	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
N	-2100 a +13000	-3460 a +23720	-210 a +1300	-346 a +2372	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
C	0 a +23150	+320 a 32767	0 a +2315	+32 a 4199	0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
± 50mV	-5000 a +5000		-500 a +500		0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000
± 100mV	-10000 a 10000		-1000 a 1000		0 a +16383	-32767 a +32767	0 a +10000

Tabla. 27. Formatos de los datos del módulo.

4.3. DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI

Para el diseño de la interfaz se tomó en cuenta las necesidades de las personas que usarían el sistema desarrollado, permitiendo de esta manera un fácil desenvolvimiento y control del sistema así como soluciones oportunas a los problemas que se podrían presentar en el desarrollo.

El software usado para el diseño de la HMI es RSView 32, mismo que permite control y monitoreo de sistemas y procesos automatizados, el cual proporciona comunicación sin precedentes con otros sistemas propiedad de *Rockwell Automation*.

4.3.1. PANTALLA DE INICIO

Presenta el logo de la empresa y el nombre, tiene las opciones de ingreso en funcionamiento Manual o Automático según lo requiera quien haga uso de la interfaz y así como el ingreso de usuario y contraseña con el que desea iniciar sesión como se observa en la Figura 33.



Figura. 33. Pantalla de Inicio.

USO DE BOTONES:

- **LOGIN:** Este botón despliega una ventana como la de Figura 34, la cual permite ingresar usuario y contraseña en caso de tratarse de administrador, permitiéndole ingresar a pantallas, las cuales de no ser así permanecerán ocultas.

	Administrador
Usuario	ADMIN
Contraseña	ADMIN

Tabla. 28. Usuario y contraseña

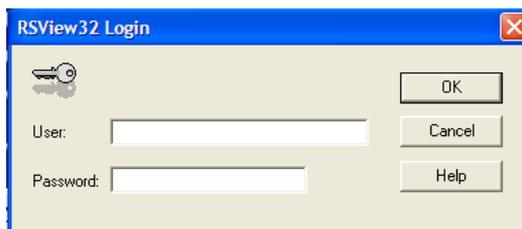


Figura. 34. Ventana de Ingreso.

En caso de no ser así, el programa entenderá que se trata de un operador.

- LOGOUT: Elimina el usuario y la contraseña ingresada de esta manera no se le permitirá a la persona que se quede a cargo del proceso tener acceso a la configuración entre otras opciones.

- MANUAL: Botón con el cual se despliega la pantalla de funcionamiento en modo manual

- AUTOMÁTICO: Botón con el cual se despliega la pantalla del funcionamiento del programa en modo Automático.

4.3.2. PANTALLA MODO MANUAL

Permite al operador comprobar el estado de las termocupas así como las salidas del PLC puesto que consta de un panel con botones para la activación individual de cada salida y de igual manera de las 6 en conjunto junto con luces indicadoras mismas que cambian de color al ser encendidas.

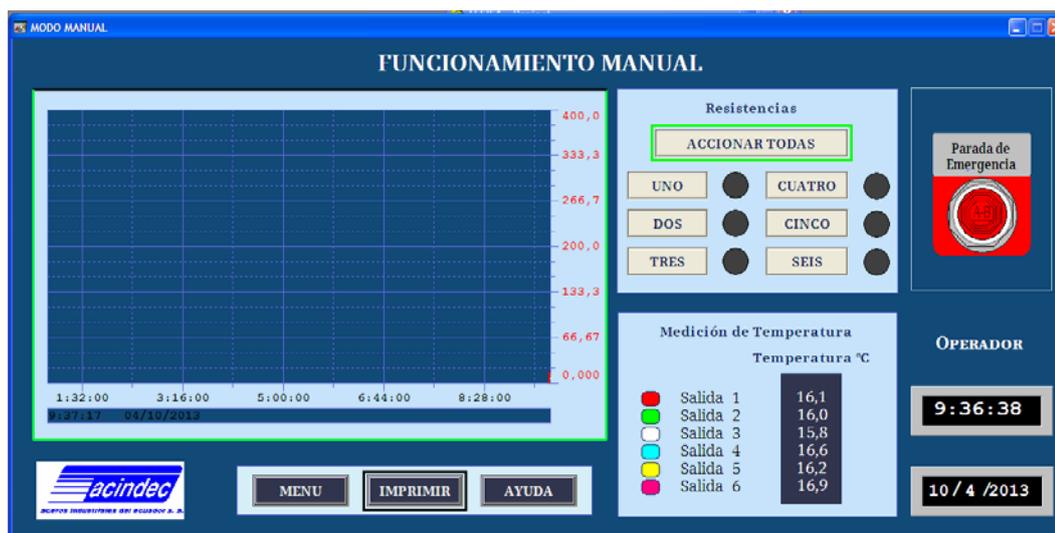


Figura. 35. Pantalla Funcionamiento Manual.

La Figura 35 muestra la distribución de los elementos en la Pantalla de Modo Manual en ella se visualiza la Gráfica según aumente o disminuya la temperatura en cada salida. El PANEL DE RESISTENCIAS permite la activación o desactivación de todas las salidas, de igual manera presenta la facilidad de activar o desactivar la salida que se requiera.

El panel de MEDICIÓN DE TEMPERATURA presenta la temperatura de cada una de las salidas con un color al lado izquierdo, mismo que permite identificar la curva de dicha salida en el trend. Al lado derecho se visualiza el tipo de usuario con el que ingreso, para este caso es OPERADOR.

En la BARRA DE ESTADO se encuentra el botón de MENU, el cual permite regresar a la pantalla de inicio en caso de que se desee cambiar de usuario o ingresar al modo automático. IMPRIMIR despliega la pantalla de impresión con los datos obtenidos hasta el momento, se recomienda hacer esto al haber finalizado el tratamiento térmico. AYUDA, despliega un

documento en formato .pdf donde se encuentra el manual del operador del sistema.

El logotipo de ACINDEC proporciona acceso a la pantalla de CONFIGURACIÓN.

4.3.3. PANTALLA DE CONFIGURACIÓN

A esta pantalla únicamente tiene acceso el Administrador o Programador puesto que permite cambiar la entrada de Termocupla actualmente leída y presentada, por otra. Las luces de visualización en dicha pantalla nos avisan cual es la Termocupla que está presentando problemas, tal como se observa en la Figura. 36, el termopar que presente inconvenientes se encontrará en color rojo mientras que los demás estarán de color verde. Al finalizar el cambio se puede visualizar el valor de temperatura actual de cada sección. Quien se encuentre controlando el desarrollo de la prueba podrá observar un mensaje en la pantalla principal mismo que indica que se debe revisar el estado de los termopares.



Figura. 36. Pantalla Estado de Termocupla.

4.3.4. PANTALLA MODO AUTOMÁTICO

Presenta la gráfica del desarrollo del proceso donde cada línea representa temperatura en cada Termocupla según los colores indicados en el panel de MEDICIÓN DE TEMPERATURA, este panel también indica cuantas resistencias deberían estar conectadas según el voltaje que se esté suministrando al circuito, las salidas que se encuentran activadas se visualizan en la Figura. 37, con un cuadrado verde encerrando el número al igual que la temperatura que en ese momento está siendo leída.



Figura. 37. Pantalla de Funcionamiento Automático.

El PANEL DE ESTADOS DEL PROCESO nos indica en qué etapa del proceso se encuentra así como cuando se presionó el paro de emergencia, se finalizó el tratamiento térmico y/o si ocurrió un problema con la lectura de la temperatura en las termocuplas. En el PANEL DE INGRESO DE DATOS el usuario ingresará los parámetros para el desarrollo del tratamiento térmico a realizar, entre los mismo tenemos a la

temperatura máxima a la que llegará, el rizado mínimo que se aceptará al permanecer en etapa de mantenimiento, tanto las horas como minutos que se mantendrá en dicha etapa. La rata de ascenso que deberá respetar el proceso en etapa de calentamiento, al igual que la de descenso en etapa de enfriamiento. La temperatura de salida indica hasta que temperatura la máquina controlará el proceso.

El único campo que no es llenado por el usuario en dicho panel es la Rata de temperatura pues esta la determina el programa donde según la etapa del tratamiento en la que se encuentre; en dicho espacio se puede visualizar la temperatura a la que se deberán regir los termopares y en base a la misma las salidas se encenderán en caso de poseer una temperatura menor o apagarán al superar dicha temperatura.

Al presionar el botón de Encender mismo que cambia a Apagar al ser presionado empieza a ejecutarse en cronómetro mismo que nos indicará el tiempo transcurrido hasta que se llegue al fin del Tratamiento Térmico.

El Temporizador indicará en cada etapa cuanto tiempo falta para que llegue al fin de ésta.

En la parte inferior derecha de la pantalla se puede encontrar la fecha y hora actual, misma que viene determinada por el computador razón por la que no podrá ser cambiada.

La visualización de la fecha y hora en la BARRA DE ESTADOS le permite al usuario dirigirse a una fecha posterior y revisar gráficas anteriormente obtenidas mismas que pueden ser impresas presionando en

el botón imprimir. El botón de ayuda nos presenta el manual de operador donde se encuentra el funcionamiento detallado de cada una de las pantallas y los botones que estas contienen, así como los avisos y precauciones que se despliegan en determinadas condiciones.

4.3.5. PANTALLA PARO DE EMERGENCIA

Esta se presenta al ocurrir un problema por el cual se haya presionado el botón de paro de emergencia.

Al presionar se visualiza la Figura. 38 la ventana de la izquierda mientras que al desactivarlo se visualiza la de la derecha, al encontrarse en Modo Manual adicional a lo mencionado el contorno del botón de paro cambia a color rojo mientras titila. Si el paro sucede en funcionamiento Automático se encenderá y apagará el botón de paro del panel de estados mientras también lo hacen las líneas del contorno del panel grafico al aparecer un mensaje indicando que el paro de emergencia fue activado, al presionar el botón de OK aparece la ventana ETAPAS.

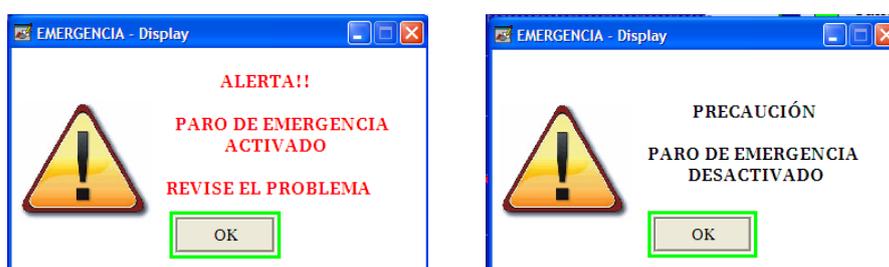


Figura. 38. Aviso de activación y desactivación de Paro de Emergencia.

4.3.6. PANTALLA ETAPAS DEL TRATAMIENTO

Pantalla que se despliega después de presionar el botón de paro de emergencia al encontrarse en modo automático, estos detalles pueden ser

observados en la Figura. 39, donde la etapa señalada es aquella en la que se encuentra actualmente si se desea cambiar se deberá escoger aquella a la que se desee cambiar, esto es válido únicamente si se ingresó como administrador, permitiendo de esta manera retomar el tratamiento desde donde se considera pertinente y así no partir del inicio ya que eso podría representar varias horas perdidas. Lo que generaría gastos innecesarios para la empresa.



Figura. 39. Pantalla para escoger Etapas.

4.3.7. PANTALLA DE PRECAUCIÓN POR RESISTENCIAS

Pantalla que se hace presente al presionar el botón de encendido, la podemos observar en la Figura. 41, en esta podemos presenciar un mensaje en el cual se indica cuantas resistencias deberán estar conectadas por circuito, esto dependerá del voltaje que sea suministrado por los contactores, mismos que se regirán por el valor seleccionado en el tablero, tal como se muestra en la Figura. 40, donde V1, es el voltaje

usado en caso de conectar una resistencia por circuito, mientras que V2 será el voltaje a usarse en caso de conectar dos resistencias por circuito.



Figura. 40. Selector en la máquina

Este es un aspecto muy importante para tener en cuenta debido a que si no se obedece a dicho mensaje las resistencias podrían sufrir daños o deterioro temprano.



Figura. 41. Pantalla Precaución por Resistencias.

4.3.8. PANTALLA FUNCIÓN RESET

Se hace presente al presionar el botón Reset, permitiendo a quien opere el programa decidir si desea que los valores ingresados así como los acumulados sean borrados (Figura. 42). En caso de elegir que Si a esta opción los datos ingresados para el mantenimiento quedarán en blanco mientras que cronómetro y temporizador pasarán a ser cero, de igual manera el botón encender se volverá a habilitar y todo el sistema

quedará listo para iniciar un nuevo tratamiento. En caso de escoger la opción NO la ventana se cerrará entendiéndose que dicho botón fue presionado por error.

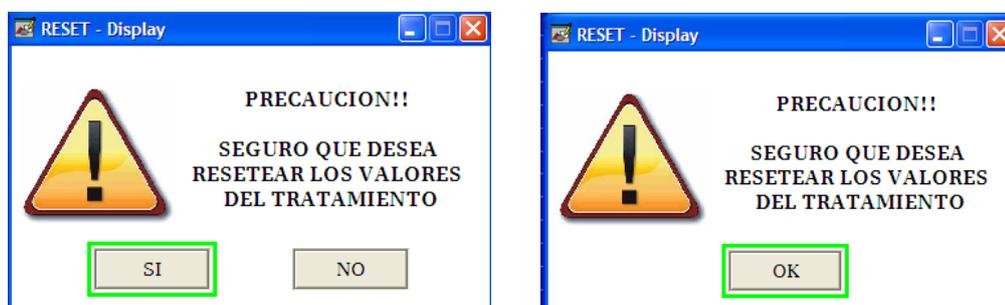


Figura. 42. Pantalla Precaución Reseteo.

4.3.9. PANTALLA IMPRIMIR

Visualizada al presionar el botón Imprimir, localizado en la barra de estado aquí podemos observar la curva resultante al finalizar el tratamiento térmico, en esta se despliegan también los valores ingresados en el panel de ingreso de datos, es decir con los que el programa realizó el proceso. También permitirá ingresar de forma manual a quien supervise la hora a la que arrancó la máquina de igual manera la hora en la que dicho proceso llego a su fin. Habiendo verificado que se obtuvo un tratamiento exitoso se deberá presionar aceptar, donde se generará un archivo de .pdf, como el de la Figura.43., el cual en caso de necesitarlo podrá ser impreso.

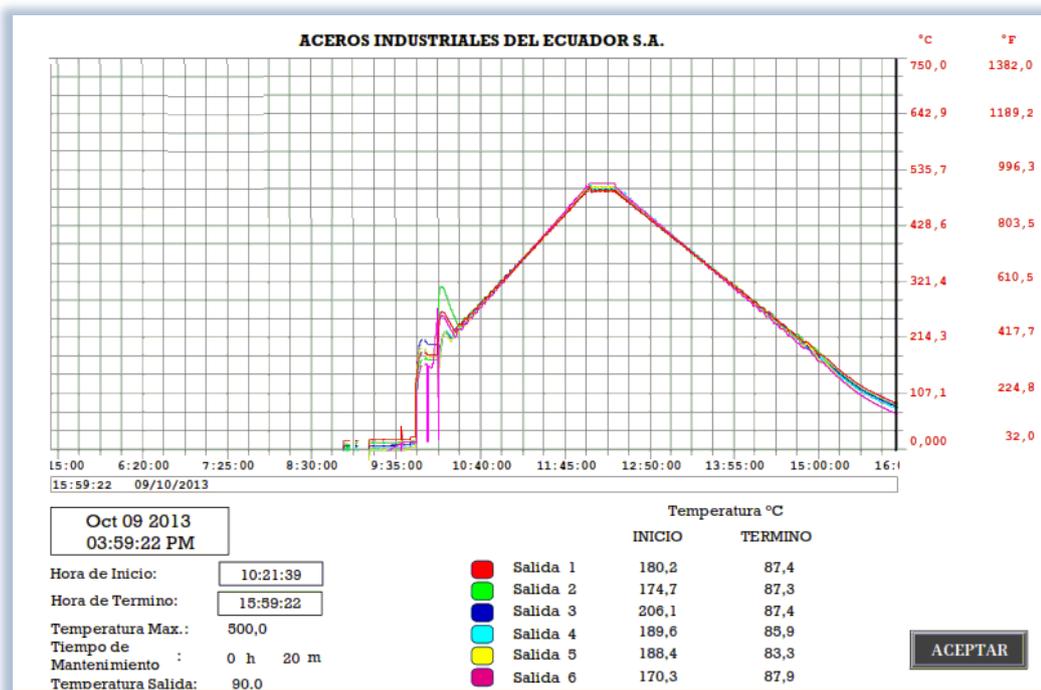


Figura. 43. Documento de resultado presentado en .pdf.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se detallan los elementos empleados en el proceso de construcción del tablero para el tratamiento térmico y de todos los elementos que lo conforman.

Todos los elementos fueron seleccionados de acuerdo con las normas y requerimientos dados por ACINDEC S.A., para así lograr un excelente rendimiento y máxima funcionalidad del mismo.

5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO

Como ya se vio en el Capítulo 3 en la sección 4, en los planos de construcción del tablero que se va a emplear, en la Figura.44., se observa el tablero armado y listo para empezar con la fase de perforar, para colocar todos elementos que van empotrados en la puerta y lados laterales.

A continuación se detallará los pasos que se siguieron para sacar los elementos que se utilizarán de la máquina de la Figura.45., que posee ACINDEC S.A. en el nuevo Tablero.



Figura. 44. Tablero armado



Figura. 45. Máquina de Tratamiento Térmico reemplazada.

5.1.1. RE UBICACIÓN DE ELEMENTOS

Para empezar a realizar trabajos en la máquina que posee ACINCEC S.A. se debe contar con la debida protección para el ingreso a planta que es todo el equipo de protección personal (zapatos de seguridad, casco, guates dieléctricos, mascarilla, tapones auditivos, overol).

Con ayuda de operarios se movió a la máquina a reemplazar hacia un área más amplia ligándola con el puente grúa como se observa en la Figura.46.



Figura. 46. Traslado de Máquina a reemplazar.

Los elementos a utilizar en el nuevo tablero de la máquina que actualmente posee ACINDEC S.A. son los transformadores; pues cumplen con los requerimientos necesarios para su re utilización, además de representar un ahorro al no comprar nuevos.

La remoción del Transformador de 80KVA de la Figura.46, la realizamos después de etiquetar todas sus terminales para evitar confusiones, como se observa en la Figura.47.



Figura. 47. Transformador de 80KVA a utilizar.



Figura. 48. Etiquetado de las terminales del Transformador.

Una vez se terminó de etiquetar las terminales del transformador se procede a remover el mismo del soporte, para ello se saca todas las protecciones que lo sujetan; como se observa en la Figura.48.

Para retirar las protecciones que mantienen sujeto el transformador a la base de la estructura se utilizó un juego de rachas, destornilladores y pinzas.

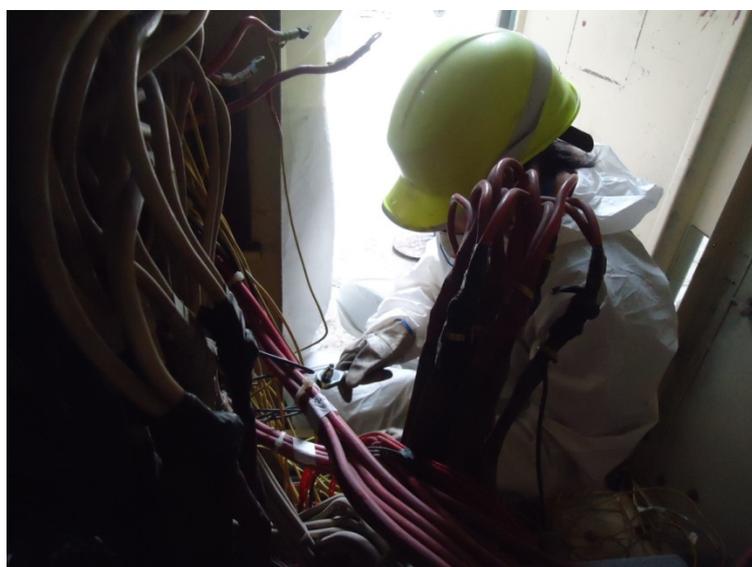


Figura. 49. Desmontando el Transformador de la Máquina a reemplazar.

Con el transformador fuera de la estructura de la máquina a reemplazar se procede a realizar el correcto diagnóstico de su funcionamiento así como el mantenimiento y respectiva limpieza; para eliminar posibles fallas por desgaste del material de las bobinas y el de las terminales, así como el mal contacto entre los mismos se inspeccionó las terminales; se removió los sedimentos, polvo, oxido, residuos de aceite que se podían encontrar por los años en servicio del transformador; se cambió los pernos y verificó el estado de los empaquetados de las bobinas; como puede verse en la Figura. 49.



Figura. 50. Diagnóstico y limpieza del transformador.

Finalizado el proceso de limpieza y reparaciones se lo coloca en la base del nuevo tablero, donde se lo fija a la base realizando perforaciones en el soporte y soldándolo a la base para así lograr mayor resistencia en la base del tablero. En la Figura.51., se observa el transformador ya fijo en la estructura del nuevo tablero.



Figura. 51. Transformador montado en Tablero nuevo.

5.1.2. PERFORACIONES DEL TABLERO

Para empezar con las perforaciones en la puerta y paredes laterales se traslada el tablero al ala de acero inoxidable para facilidad de las herramientas, en la sección dedicada se saca la puerta del tablero facilitando de trabajo; se procede a realizar las perforaciones laterales derechas como se observa en la Figura. 52., que son para las terminales de termocupla marca Watlow, él toma corriente y el conector RJ45, así como para el ventilador.



Figura. 52. Perforaciones del lado lateral derecho.

Además de lo ya mencionado en el lado derecho del tablero también se colocó una mesa que será utilizada para el computador como se puede observar en la Figura.54.

En la parte inferior del lado derecho también va un soporte para el cable de alimentación como se puede observar en la Figura.53.



Figura. 53. Soporte de cable de alimentación, lado derecho



Figura. 54. Mesa para computador en lado derecho.

En el lado izquierdo del tablero se realizaron también perforaciones como se puede observar en la Figura.55, donde se ve que las perforaciones inferiores son para los cables de fuerza que corresponden a los circuitos que irán conectados a los elementos finales de control que vienen siendo las resistencias y en la parte superior se encuentra la perforación para el extractor de aire caliente.



Figura. 55. Perforaciones del lado izquierdo.

En la Figura.56, se presenta el soporte para envolver los cables de los circuitos de fuerza.



Figura. 56. Soporte para Cables de Fuerza en lado izquierdo.

En la puerta del tablero se realizaron las perforaciones para colocar los instrumentos de medición como se puede observar en la Figura.57, donde

cada circuito consta de un amperímetro y un voltímetro, además de las luces indicadoras del proceso como son: luz de encendido del tablero, la luz indicadora del estado de calentamiento, la luz indicadora del estado de mantenimiento, la luz indicadora del estado de enfriamiento y luz indicadora de paro de emergencia que funciona con el botón de paro de emergencia que se encuentra en la misma puerta y desde el botón de paro de emergencia de la HMI, también tenemos el botón de encendido del tablero y el selector del voltaje de operación dependiendo del número de resistencias que se quiere tener por circuito.



Figura. 57. Puerta del Tablero con dispositivos de medida.

5.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS

La selección de los elementos se realizó mediante los datos obtenidos en la etapa inicial del cálculo de materiales y tomando en cuenta los requerimientos dados por la empresa. Se buscó productos con los que se obtenga un desempeño prolongado y confiable de manera que todo lo usado haya pasado bajo un control de calidad estricto.

Tomando en cuenta estas características tanto para los materiales de control electrónico de potencia, protecciones contra corto-circuitos y dispositivos programables. Las hojas técnicas de cada uno de los componentes mencionados las podemos encontrar en el ANEXO.

5.2.1. CONTROL ELÉCTRICO DE POTENCIA

CONTACTORES 3RT1044-1AF00

Se usó cuatro contactores trifásicos para la selección del voltaje. Los dos primeros (KM1 y KM2) serán usados cuando se encuentre conectada una resistencia por circuito, al encontrarse dos resistencias conectadas por circuito de salida se activarán los segundos contactores (KM3 y KM4) como lo indica la Figura.58., donde el voltaje aumentará en 5 voltios, incremento necesario para que las resistencias obtengan el máximo voltaje necesario para calentar en el menor tiempo posible.



Figura. 58. Contactores colocados y etiquetados

Una de las principales ventajas del contactor 3RT1044-1AF00 (Figura 59.) es que mediante tensiones e intensidades pequeñas o de utilización frecuente podemos gobernar grandes potencias. Las bobinas de los contactores pueden funcionar a corriente continua o a corriente alterna, en este caso se trata de corriente alterna la tensión de utilización 110VAC y 90Hz, perteneciente a la gama Sirius. Su tamaño es S3 lo que permitirá colocarlo sobre la riel din en el tablero de control.



Figura. 59. Contactor Siemens 3RT1044-1AF00

RELÉ DE ESTADO SÓLIDO (SSR) MONOFÁSICO TA48A125

Al realizar un control de temperatura en lazo cerrado se posee 5 opciones como dispositivos de control las características de cada uno las podemos observar en la Tabla.29 donde se los compara.

CUADRO COMPARATIVO DE CONTROLES DE TEMPERATURA								
PIROMETRO	TIPO DE SALIDA	CONEXION A	TIPO DE RELE	TIPO DE ENTRADA	EJEMPL0	TIEMPO DE CICLO	ERROR (Grados)	
1	Digital	Relé	Contactador ó Relevador electro-mecánico	N/A	220VAC		5 seg	+/- 6
2	Digital	Relé	MDR. Relevador de Mercurio	N/A	220VAC		4 Seg	+/- 5
3	Digital	Transistor SSD (solid state Drive)	Relé de Estado Sólido	TD	4-32VDC	TD24A40	0,1seg	+/- 3
4	Digital	4-20mA	Disparador de pulsos BURST FIRING	TD	4-32VDC	BURST 420 y TD24A25	0,008 seg	+/- 2
5	Digital	4-20mA	Control Proporcional Salida por SCR	OPI	4-20mA	OPI24P25	0,000008seg	+/- 1

Tabla. 29.Tabla comparativa de equipos para control de temperatura

Tabla obtenida de la hoja de datos del elemento.

Teniendo en cuenta que al realizar un tratamiento térmico la superficie a tratar está hecha en acero y tiene las termocuplas y las resistencias soldadas en la superficie. Aunque la transferencia del acero no es muy buena la temperatura que mide la termocupla es muy cercana a la temperatura que entrega esa resistencia. Esto lo llamamos "Inercia simple" porque la temperatura observada en el CONTROL tiene un error muy bajo con respecto a la temperatura alrededor de la resistencia. Este tipo de aplicaciones son bien controladas con un *relay on-off*, razón por la cual para la presenta se escogió un relé de estado sólido

Las ventajas del relé con cruce por cero por cero son:

- Disminuye los armónicos, la interferencia de radio frecuencia (RFI) y la interferencia electro magnética (EMI).
- Reduce los problemas de encendido aleatorio en equipos de dv/dt bajos (menores a 600v/us)

Características de un Relé de estado Solido alimentación monofásica que muestra la Figura. 60.

- Aislamiento Óptico.
- 600 voltios de voltaje de bloqueo.
- Detector de cruce por cero.
- $dv/dt=600v/us$. Opcional 10.000v/us
- Alta capacidad de picos de corriente.
- Puente de snubber.
- 4000 Voltios de Aislamiento
- RTVSS, *Ressettable Transient Voltaje Suppressor System*.

Sistema de protección de transientes para el relé de entrada 20-275VAC.

Debido a que el Relé operará en un ambiente con ruido eléctrico y conociendo que altos transientes de voltaje pueden dañar el mismo se instaló varistores apropiados a través de la fuente respectiva y en los terminales de salida del relé.

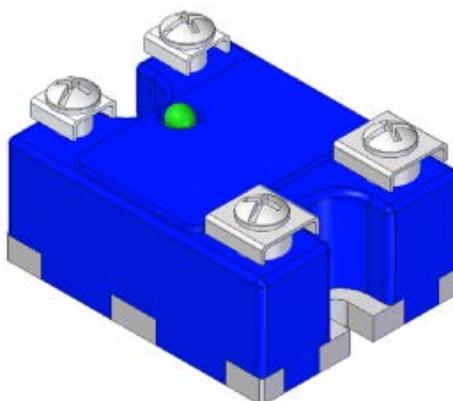


Figura. 60. Relé de Estado Sólido OPTEC TA48A125

Un RELÉ DE ESTADO SÓLIDO se calienta debido a la caída de voltaje nominal en el dispositivo de conmutación (0.7-1.0 Voltios en los TRIAC y 0.1 a 3.0 Voltios en los MOSFET). Para disipar el calor, un SSR tiene que montarse en un disipador plano. Un SSR debe exponerse a una temperatura ambiente baja, puesto que la rata de conmutación de la corriente disminuye cuando la temperatura aumenta.

El aire caliente viaja de abajo hacia arriba en una caja de control. Es por esto que se instaló un extractor en la parte inferior de la cabina y un ventilador en la parte superior al lado contrario.

Se debe controlar la temperatura en la base del relé, si la temperatura en este punto no excede 60°C bajo las condiciones de operación normales, está operando en un ambiente térmico óptimo.

Si la temperatura se excede, debe aumentarse el tamaño del disipador, razón por la cual se optó por usar un disipador de HSOPT03, el cual se encuentra montado sobre la riel din como se muestra en la Figura.61.



Figura. 61. Relés, Disipadores y Ventiladores instalados

5.2.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN

FUSIBLES ULTRA RÁPIDOS 3NE4

Los SSR requieren para su protección contra corto-circuitos fusibles ultra rápidos debido a que dichos relés son semiconductores.

La velocidad del fusible ultra rápido viene dado por la variable que representa el área bajo la curva en un corto-circuito llamada fusión $I^2 * T$, relación que representa la capacidad del semiconductor para soportar un corto-circuito.

Los fusibles NH tipo 3N conservan sus características, conforme a sus curvas tiempo de fusión-corriente, aún cuando sean sometidas a sucesivas sobrecargas de corta duración, siendo resistentes a la fatiga (envejecimiento) o a sobrecargas pequeñas de larga duración.

La Tabla.30 presenta las características que se deberá tener en cuenta al momento de selección del fusible ultra rápido en el caso del presente trabajo se trata de un 3NE4 222 como se muestra en la Figura.62, mismo

opera a fusión de 1830. Para aquellos fusibles que trabajen a una corriente nominal de hasta 250 A se usará la Base porta fusible 3NH3230.

Clave	Tensión asignada Un	Corriente nominal	Fusión I ² t (A ² s)	Interrupción I ² t (A ² s)		Tamaño constructivo	Seccionador tripolar bajo carga 3NP*	Base NH de baquelita
				1xUn	0.5xUn			
3NE4 201		32 A	50	420	220			
3NE4 202		40 A	90	760	395			
3NE4 217		50 A	135	1130	590			
3NE4 218	1000 V	63 A	240	2020	1050	1	3NP4270-OCA01/	3NH3230
3NE4 220		80 A	440	3700	1920		3NP4370-OCA01	
3NE4 221		100 A	900	7560	3920			
3NE4 222		125 A	1830	15400	7960			
3NE4 224		160 A	3600	30200	15700			
3NE4 327-0B		250 A	3600	40400	18500			

Tabla. 30. Datos para selección de Fusible.



Figura. 62. Fusibles Ultra rápidos con base colocados en tablero.

DISYUNTOR DE CAJA MOLDEADA 3VT1

Encargado de proteger todo el sistema interno del tablero en el cual se conectarán todos los dispositivos de accionamiento.

Aplicable en el mercado de infraestructuras, así como en el área de la tecnología de conmutación industrial, los disyuntores 3VT como el que se muestra en la Figura. 63 se pueden utilizar como interruptores de entrada y salida para distribuir la energía en equipos de conmutación de bajo voltaje.



Figura. 63. Breaker de Caja Moldeada 3VT1

Cada interruptor automático se caracteriza por su diseño modular, sencillez de uso, así como su alto grado de seguridad y fiabilidad.

El modelo 3VT1, al ser un interruptor automático de 3 polos Termo magnético, posee sobrecarga regulable y corriente de corto circuito regulable, debido a su tamaño estos breakers no pueden ser colocados en riel din, razón por la cual se debió sujetarlo directamente sobre el guarda fondo como se observa en la Figura. 64.



Figura. 64. Breaker de Caja moldeada colocado en Tablero

DISYUNTOR TERMO MAGNÉTICO 5SX1

Los interruptores termo magnéticos se utilizan, en primer término, para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos a los cables y conductores eléctricos.

De esa manera asumen la protección de medios eléctricos contra calentamientos excesivos.

Los interruptores termo magnéticos disponen de un disparador térmico (bimetal) con retardo, dependiente de la sobrecarga en función del tiempo, para sobre intensidades bajas; y un disparador electromagnético sin retardo para sobre intensidades mayores y de cortocircuito.

El interruptor termo-magnético como el que se muestra en la Figura. 65, debido a la extrema velocidad de separación de los contactos en caso de fallas desconectan con seguridad, limitando la intensidad de la corriente.



Figura. 65. Disyuntor Termo-magnético 5SX1

Con el fin de lograr una mejor distribución de las cargas dentro del tablero eléctrico se usa dos disyuntores con distintas capacidades de

corriente, misma que se determinó mediante la suma de cada una de las cargas, los mismos se encuentran conectados seguidos del disyuntor de caja moldeada como se muestra en la Figura. 66, o como se observa en los planos eléctricos presentes en los anexos.



Figura. 66. Disyuntores conectados en Guarda Fondo de Tablero

5.2.3. CONTROLADOR PROGRAMABLE Y MÓDULOS

PLC MICROLOGIX 1400 1766-L32BWA

El controlador MicroLogix 1400 que se muestra en la Figura. 67 puede usarse en entornos industriales siempre y cuando se instale en entornos limpios y secos con circuitos que no excedan la categoría de sobre-voltaje II.

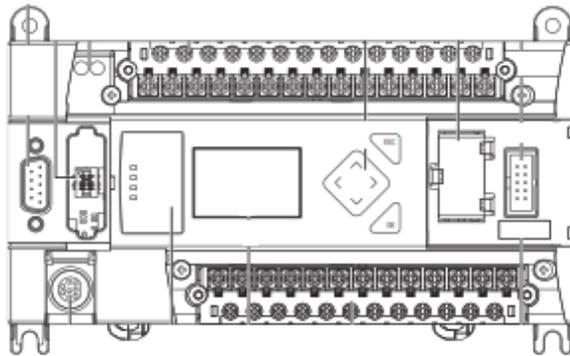


Figura. 67. Vista Frontal de MicroLogix 1400

Los productos alimentados con VCA deben conectarse al secundario de un transformador de aislamiento como el que se muestra en la Figura. 68.



Figura. 68. Transformador de Aislamiento colocado en la base del tablero

Tomando como referencia la Figura. 67 se describe las partes de las que consta el PLC:

1. Puerto de comunicación, Conector RS-232C
2. Módulo de memoria
3. 24 V de usuario (para 1766-L32BWA y 1766-L32BWAA solamente)

4. Bloque de terminales de entrada
5. Teclado de la pantalla de cristal líquido (ESC, OK, arriba, abajo, izquierda, derecha)
6. Compartimento de la batería
7. Conector de bus de expansión 1762
8. Conector de la batería
9. Bloque de terminales de salida
10. Pantalla de cristal líquido
11. Panel de indicadores LED
12. Puerto de comunicación, Conector RJ45
13. Puerto de comunicación, Conector de 8 pines mini DIN RS-232C/RS-485

Una de las características importantes tomadas en cuenta para la elección del presente PLC es la capacidad de hacer cambios en línea aspecto importante mencionado por la empresa, además de esto posee la capacidad de integración de módulos de Termocupla, indispensables para la mencionada aplicación, si se desea conocer a fondo las especificaciones técnicas del controlador, diríjase a los ANEXOS.

Se colocó el controlador *Micrologix 1400 1766-L32BWA* tan alejado cómo fue posible de las líneas de alimentación eléctrica, líneas de carga y otras fuentes de ruido eléctrico como interruptores de contacto duro, relés. Como se puede observar en la Figura.69, estando los mencionados elementos en el guarda fondo posterior.



Figura. 69. PLC colocado en el tablero

MÓDULOS DE TERMOCUPLA 1762-IT4

El módulo de termopares/mV recibe y almacena datos analógicos de termopares convertidos a datos digitales procedentes de cualquier combinación de hasta cuatro sensores analógicos de termopares o milivoltios. Cada canal de entrada puede configurarse individualmente mediante software para un dispositivo de entrada determinado y proporciona detección e indicación de circuito abierto, sobre rango y bajo rango. El módulo recibe toda su alimentación eléctrica de +5 VCC y +24 VCC desde el bus de E/S de expansión 1762. El módulo incluye un bloque de terminales con un sensor de compensación para juntas frías (CJC), como se muestra en la Figura. 70.

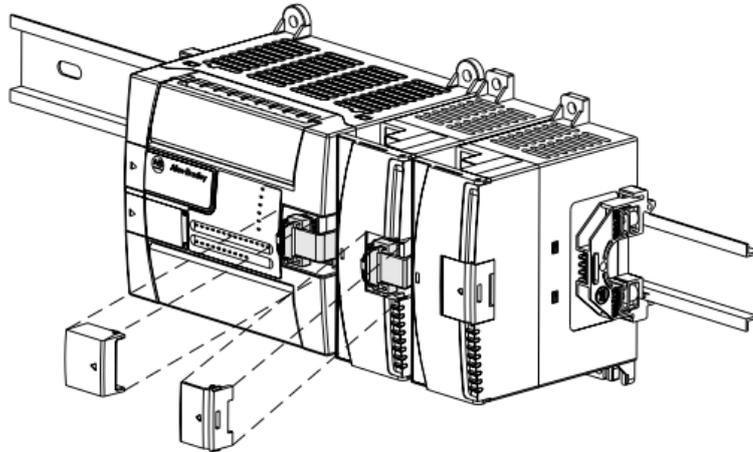


Figura. 70. Módulo de expansión conectado al controlador

Al momento de la instalación del módulo se deberá dejar un espacio mínimo de 50.8 mm, para permitir una ventilación adecuada por todos los lados, tal como se muestra en la Figura. 71. No es necesario realizar conexiones a tierra adicionales desde las lengüetas de montaje del módulo, ni desde el riel din.

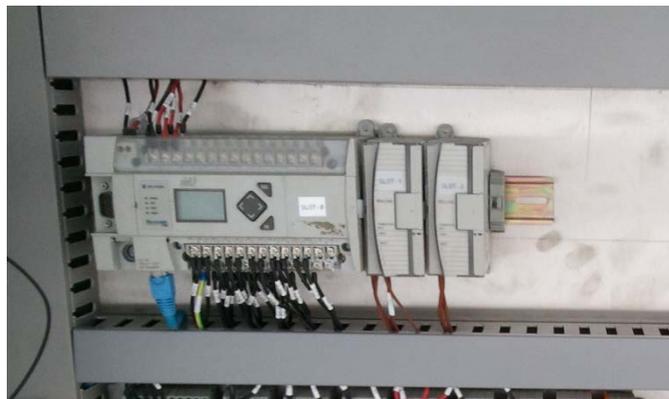


Figura. 71. PLC y Módulos colocados a la distancia indicada

El funcionamiento dependerá de la configuración del módulo para esto se deberá tener en cuenta que la precisión depende de la selección de velocidad de salida del convertidor analógico/digital, del formato de los

datos y del ruido de entrada, para conocer la precisión de las entradas dependiendo del tipo de termopar ver Figura. 72.

Tipo de Entrada	Precisión para filtros de 10, 50 y 60Hz
Termopares J (de -210 a 1200°C [de -346 a 2192°F])	±0.6°C [± 1.1°F]
Termopar N (de -200 a +1300°C [de -328 a 2372°F])	±1°C [± 1.8°F]
Termopar N (de -210 a -200°C [de -346 a -328°F])	±1.2°C [±2.2°F]
Termopar T (de -230 a +400°C [de -382 a +752°F])	±1°C [± 1.8°F]
Termopar T (de -270 a -230°C [de -454 a -382°F])	±5.4°C [± 9.7°F]
Termopar K (de -230 a +1370°C [de -382 a +2498°F])	±1°C [± 1.8°F]
Termopar K (de -270 a -230°C [de -454 a -382°F])	±7.5°C [± 13.5°F]

Figura. 72. Tabla Termopar vs Precisión.

5.3. ARMADO DE LOS GUARDA FONDOS

El armado de los guarda fondos se realizó colocando las canaletas y la riel DIN para verificar el espacio antes de fijarlos, según se detalló en los planos de DISTRIBUCION INTERNA DEL TABLERO, como se observa en la Figura. 73 y en la Figura.74.

Con el espacio verificado se realizó perforaciones con taladro en las marcas realizadas en la prueba de los elementos para fijar el riel y las canaletas en su lugar según los planos, se empleó remaches y arandelas planas.

Se montaron los elementos en la riel DIN colocándolos en sus respectivos lugares para poder realizar el respectivo cableado.



Figura. 73. Instalación de dispositivos en guarda fondo delantero.



Figura. 74. Instalación de dispositivos en guarda fondo posterior.

5.2.1. CABLEADO DE ELEMENTOS

El cableado de los guarda fondos tanto delantero como posterior se llevo a cabo despues de ubicar y comprobar que el espacio coincide con los planos para todos los elementos que los conforman sean colocados como lo indican los Planos de Conexión, se puede observar en la Figura.75 y en la Figura.76.

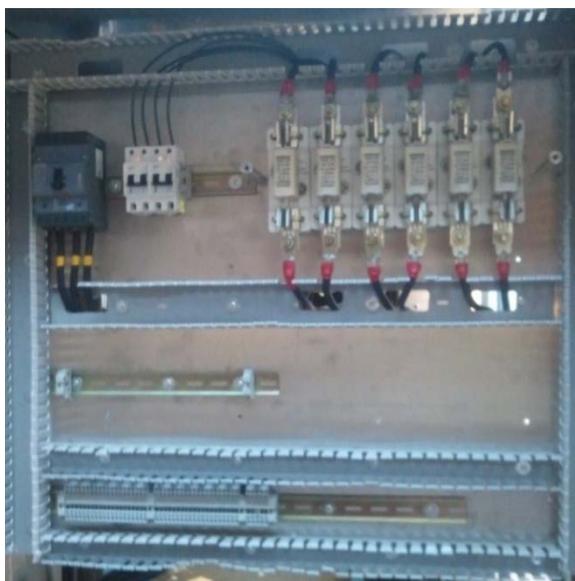


Figura. 75. Cableado de guarda fondo delantero.



Figura. 76. Cableado del guarda fondo posterior.

La medida de los cables se obtuvo con una guía de los planos de conexión sin olvidar la verificación previa realizada midiendo las distancias del elemento hasta las bornera sea al caso, para evitar que la distancia sea corta y el cable sufra alguna deformación.

5.2.2. ETIQUETADO DE CABLES

El etiquetado de los cables se lo realizó una vez concluido el cableado con ayuda de los mismos Planos de Conexión, primero se etiquetaron los elementos de los guarda fondos tanto delantero como posterior, se lo observa en la Figura.77 y Figura.78.



Figura. 77. Etiquetado de instrumentos del guarda fondo delantero.



Figura. 78. Etiquetado de cableado del guarda fondo delantero.

Se comprueba la correcta conexión de los cables verificando las etiquetas colocada en todos los extremos de los cables, para así evitar confusiones por posible desconexión de algún cable como consta en los planos de la Máquina. Se procede a colocar los cables dentro de las canaletas para que esté en orden cada cable y no pueda llegar a lastimarse, cada cable tiene un excedente de por si en algún momento se

necesita mover la conexión original o realizar alguna verificación del estado de los cables se los pueda reconocer con facilidad además de la ayuda que brinda las etiquetas.

5.2.3. DETALLES FINALES

Concluida la verificación se empieza con los detalles finales como es colocar las tapas de las canaletas que son primero cortadas dependiendo del espacio físico que se tiene ya con el cable para una optimización del espacio y así evitar dejar espacio entre las canaletas, como se puede observar en la Figura.79.



Figura. 79. Tapas de canaletas delanteras.

En las Figura.80. y Figura.81. se observa los guarda fondos terminados.

Se limpia todos los elementos que por manipuleo se pudieron ensuciar, se realiza una limpieza del transformador con una sopladora para evitar que algún elemento pequeño se pudo caer o atorar entre sus bobinados.



Figura. 80. Tablero delantero terminado.

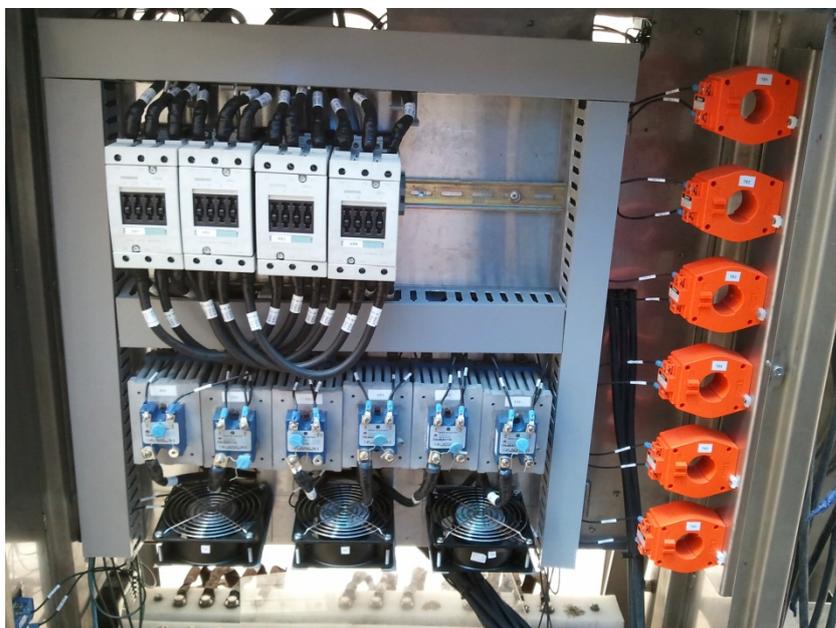


Figura. 81. Tablero posterior terminado.

La Figura. 82., presenta una vista isométrica del donde se presentan todos los detalles existentes en la lado derecho de la máquina con la

computadora ubicada en posición y lista para empezar las pruebas y toma de datos.



Figura. 82. Tablero Terminado vista isométrica derecha.

La Figura. 83. Permite visualizar el estado de la maquina antes de ser usada, aquí se presenta la utilidad de la base para soportar el cable de alta temperatura, mismo que deberá desenrollarse en caso de necesitar realizar un tratamiento térmico puesto que la corriente que transita por el mismo y la temperatura a la que se encuentra sometido, así como la mala manipulación a la que ha sido sometido en ocasiones pasadas ocasionan transferencia de calor, pudiendo causar problemas al ser usada por largos periodos.



Figura. 83. Tablero Terminado Vista isométrica izquierda.

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se pondrá a prueba todas las capacidades del sistema del Tratamiento Térmico Localizado, las posibles fallas y las acciones que deberán ser tomadas dependiendo del caso que se presente; además se someterá el sistema a varios casos para verificar su correcto comportamiento y el de todos los elementos y dispositivos que conforman la máquina.

Se van a realizar pruebas en el programa del PLC, para verificar el funcionamiento de todas las subrutinas y el funcionamiento de la interfaz HMI en respuesta a las mismas, para el control del tratamiento térmico y para la generación de los informes, que serán los que se entreguen a los clientes.

También se comprobarán los valores ingresados en el controlador PID del módulo de entradas de termocupla, que es el encargado de realizar la linealización de los parámetros de entrada según los estándares

dependiendo de la termocupla. (Para mayor información sobre el comportamiento ver el Capítulo 4).

La prueba final se la realizó una vez superadas todas la pequeñas revisiones por separado para examinar todo el sistema en bloques, la misma que fue superada sin mayor dificultad ya que se realizaron varios cambios donde se vieron necesarios.

6.1. PRUEBA DE COMUNICACIÓN

En esta prueba se verificará que tanto el PLC, el ordenador y la interfaz HMI tengan comunicación.

Para realizar la comprobación entre el PLC y el ordenador se empezará comprobando la IP que posee el ordenador para ello se seguirá los siguientes pasos:

1. Abrir el panel de control



Figura. 84. Ícono de Panel de control.

2. En el menú de Redes e Internet, seleccionar la opción de Ver el estado y las tareas de red.

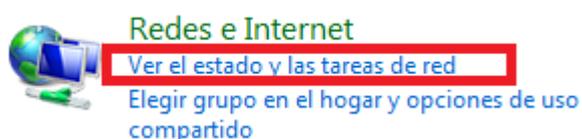


Figura. 85. Ícono de Redes e Internet del Panel de Control.

3. Ver las conexiones de red y verificar sus propiedades.

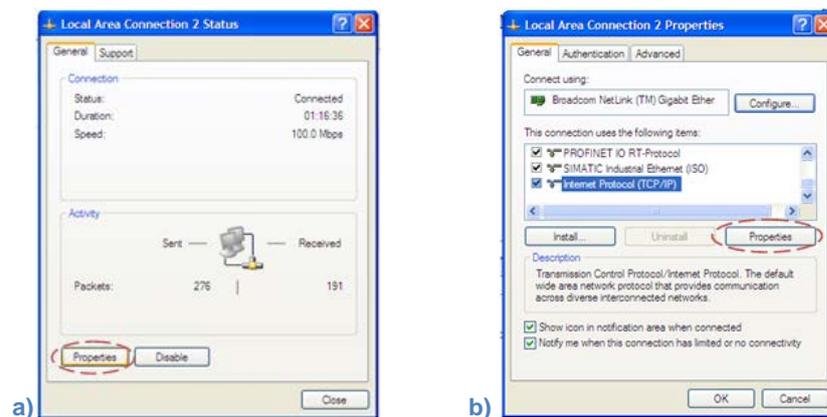


Figura. 86. a) Estado de conexión de red. b) Propiedades.

El ordenador deberá tener una IP estática y pertenecer a la Clase C, con su respectiva máscara de red.

IP Estática: 192.168.100.XXX

Máscara de Red: 255.255.255.0

Como se puede apreciar en la Figura.87.

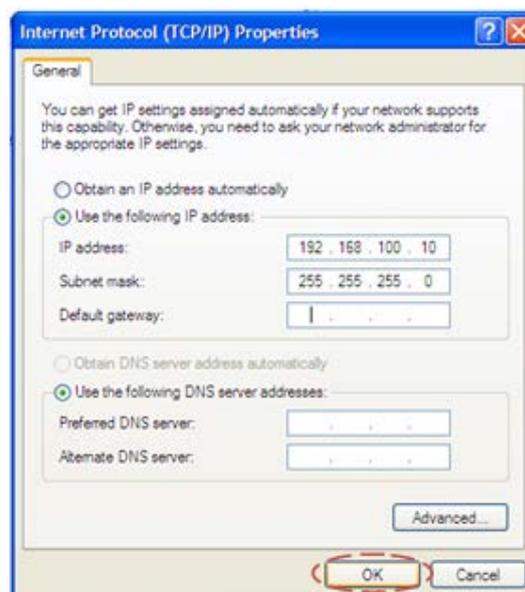


Figura. 87. IP Estática del Ordenador.

4. Verificada la dirección IP cerrar el cuadro de dialogo presionando OK.

Para verificar que el PLC y el ordenador estan en la misma red seguimos los siguientes pasos:

1. Abrimos el CDM.exe de windows. (Ver Figura.88)

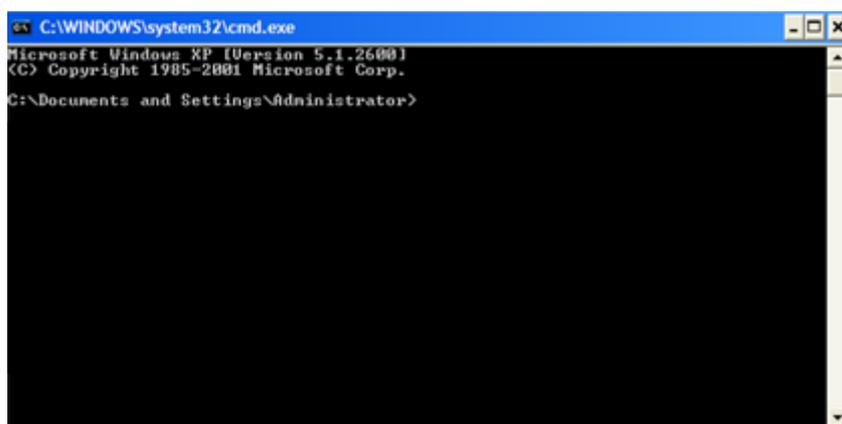


Figura. 88. Pantalla de Comandos de Windows.

2. Se ejecuta el comando PING hacia el PLC desde el ordenador obteniendo como resultado la Figura.89.

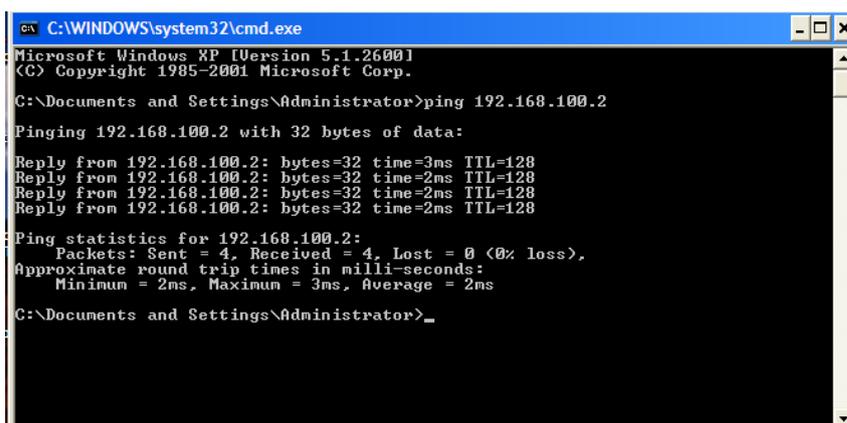


Figura. 89. Comando PING ejecutado hacia PLC.

3. De no existir comunicación entre el ordenador y el PLC se deberá verificar la dirección IP del PLC.

Si se requiere ver la dirección IP del PLC se puede acceder de forma rápida y sencilla desde el teclado incorporado en el controlador, para realizarlo se realizarán los siguientes pasos:

1. Presionamos el botón OK en el panel del PLC para poder acceder al menú; como se observa en el Figura. 90.; ingresamos en la opción Advanced Set.



Figura. 90. Panel de control del PLC.

2. Se selecciona la opción de *ENET Cfg*, como se muestra en la Figura. 91.; que nos permitirá encontrar la configuración *Ethernet* del PLC, que es la que estamos utilizando.



Figura. 91. Selección de *Advanced Set/Ethernet Configuration*.

3. En las opciones que presenta la configuración Ethernet del panel de control del PLC tenemos que seleccionar Status, que es la que nos permitirá observar la configuración actual del controlador como podemos observar en la Figura.92.

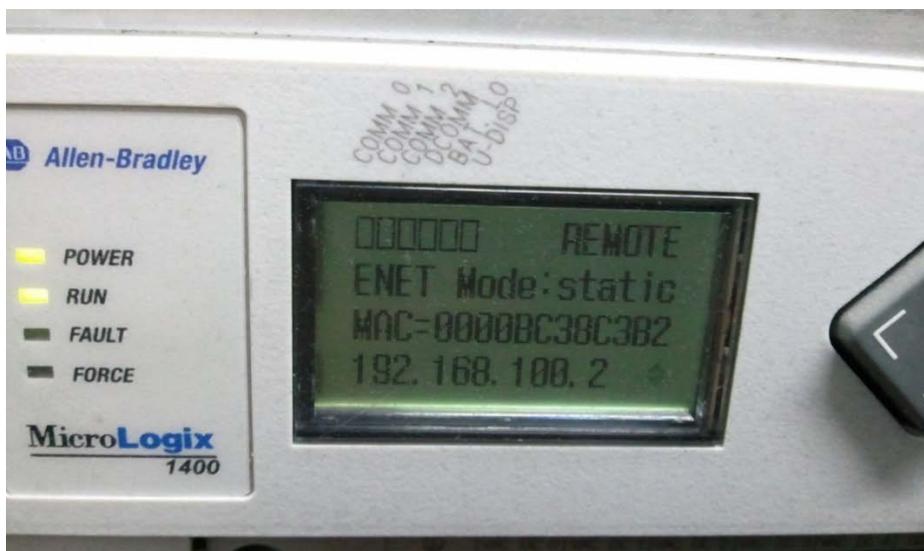


Figura. 92. Estado actual del PLC.

- Una vez verificada la IP actual del PLC podemos volver a realizar el PING desde el CMD del computador para comprobar si existe comunicación. De no existir pese a estar bien la IP del PLC, verificar el cable de conexión que se está empleando y si no se corrige la falla verificar la configuración del Driver desde RSLinx como se observa en la Figura. 93.



Figura. 93. Configuración del *Driver Eternet*.

Con todos los resultados obtenidos se comprobó que la conexión física existente cumple con lo esperado y las configuraciones son correctas.

6.2. PRUEBAS DE LAS SUBROUTINAS DEL PLC

La programación del sistema de control del Tratamiento Térmico se la realizó en bloques de subrutinas, para así tener una mayor facilidad de comprensión de programa y un mejor seguimiento de las líneas de código al momento de realizar las pruebas en busca de posibles fallas o errores.

El programa usado es el Software de Rockwell Automation RSLogix500 como se puede ver en la Figura. 94.

Para realizar la comprobación se verificó de subrutina en subrutina el correcto funcionamiento de las mismas como se puede ver la Figura. 95.y Figura.96.

Además de revisar que todas las líneas del programa estén correctamente comentadas para evitar confusiones.

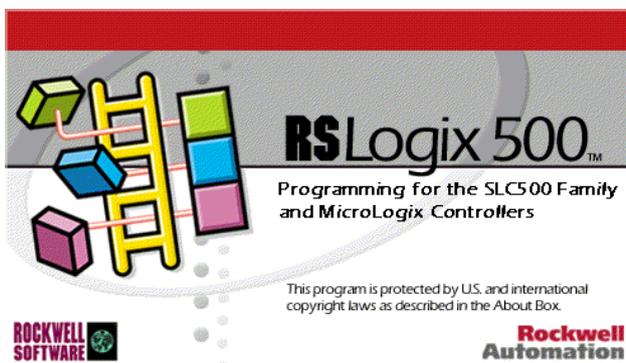


Figura. 94. Aplicación RSLogix500.

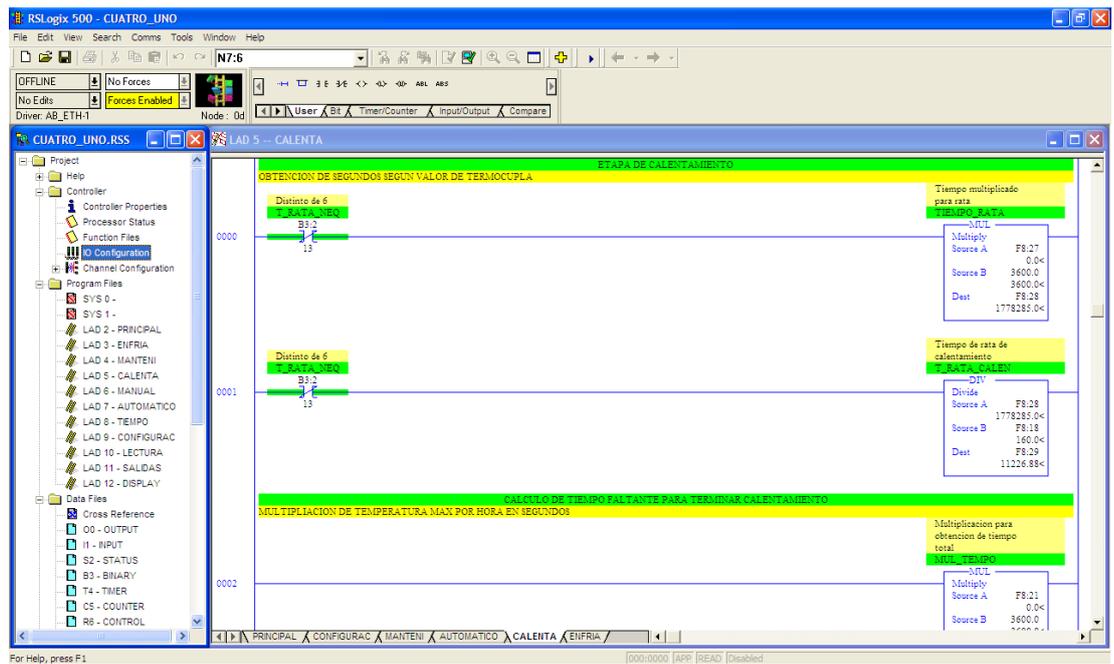


Figura. 95. Subrutina del programa de Tratamiento Térmico.



Figura. 96. Verificación del funcionamiento del programa.

6.3. PRUEBAS DE ENTRADAS ANALÓGICAS DE TERMOCUPLA.

Para realizar la siguiente prueba se empleo un pirómetro calibrado (ver Figura. 97) y un termómetro para así tener valores de referencia y verificar que los valores medidos por las termocuplas sean correctos, además se verifica los valores del PID establecidos para una termocupla tipo K.

El modo que se empleo del proceso para realizar esta prueba fue el Manual , ya que necesitamos elevar la temperatura de manera individual de las distintas areas para proceder a la verificacion de los valores, como es la respuesta, el valor medido y el error obtenido.



Figura. 97. Toma de datos con Pirómetro.

Para dar por aprobadas las lecturas de las termocupas se debio configurar y cambiar las ecuaciones usadas en las entradas según las medidas obtenidas y así lograr un valor de error menor al 4%.

Pirómetro (°C)	Programa (°C)	Error (%)
116,3	113,4	2,494
114,2	111,1	2,715
113	109,5	3,097
111,6	108,3	2,957
110,3	106,5	3,445
106,1	103,5	2,451
103,5	100,1	3,285
101,3	97,3	3,949
98,7	95,8	2,938
95,8	92,6	3,340
93,4	90,3	3,319
91,1	88,2	3,183
88,7	85,8	3,269

Figura. 98. Datos de temperatura tomados antes de compensar

De los valores obtenidos se saca la ecuación:

$$y = (x * 1.008) + 2.381$$

Con lo que se consigue la disminución del error en un 0.15% adicional.

Sin embargo es necesario aclarar que los valores pueden variar de una Termocupla a otro debido a la distancia entre terminales dejada al momento de realizar la soldadura.

6.4. PRUEBA DE LOS INFORMES Y SU REGISTRO.

En RSView tenemos la ventaja de poder generar documentos .PDF y de esta manera realizar un informe con los datos requeridos por el cliente,

además de poder almacenar los valores de las variables de proceso en una base de datos que genera un documento en MS. EXCEL, de esta manera se puede acceder a información anterior sin necesidad de buscar algún documento impreso.

Para verificar lo que se está almacenando se abre el archivo y se obtiene lo que se ve en la Figura.98.

Date	Time	Meter	Marker	Stg_01_1	Stg_01_2	Stg_02_1	Stg_02_2	Stg_03_1	Stg_03_2	Stg_04_1	Stg_04_2	Stg_05_1	Stg_05_2	Stg_06_1	Stg_06_2	Stg_07_1	Stg_07_2	Stg_08_1	Stg_08_2	Stg_08_3	Stg_08_4	Stg_08_5	
03/05/2013	00:00:09	471	8	37.88	38.48	35.36	37.37	38.18	37.58														
03/05/2013	00:00:19	171	5	37.85	38.48	35.36	37.37	38.18	37.58														
03/05/2013	00:00:18	203	37.88	38.38	35.26	37.27	38.18	37.58															
03/05/2013	00:00:28	250	37.78	38.38	35.26	37.27	38.18	37.48															
03/05/2013	00:00:38	265	37.88	38.38	35.26	37.27	38.18	37.48															
03/05/2013	00:00:42	296	37.78	38.38	35.26	37.27	38.18	37.48															
03/05/2013	00:00:50	318	37.78	38.38	35.26	37.27	38.18	37.48															
03/05/2013	00:00:58	336	37.88	38.28	35.26	37.27	38.18	37.48															
03/05/2013	00:01:08	359	37.78	38.28	35.15	37.17	38.18	37.48															
03/05/2013	00:01:14	406	37.78	38.28	35.15	37.17	38.28	37.37															
03/05/2013	00:01:22	437	37.68	38.28	35.15	37.07	38.18	37.27															
03/05/2013	00:01:30	468	37.78	38.28	35.15	37.17	38.28	37.27															
03/05/2013	00:01:39	500	37.68	38.18	35.15	37.17	38.18	37.17															
03/05/2013	00:01:48	511	37.68	38.08	35.15	37.17	38.28	37.17															
03/05/2013	00:01:54	546	37.58	38.18	35.26	37.07	38.08	37.27															
03/05/2013	00:02:02	578	37.58	38.28	35.65	37.17	38.08	37.27															
03/05/2013	00:02:10	578	37.68	38.08	35.15	37.07	38.18	37.27															
03/05/2013	00:02:18	625	37.68	38.08	35.15	36.97	38.08	37.17															
03/05/2013	00:02:26	656	37.58	38.18	35.65	37.07	37.98	37.17															
03/05/2013	00:02:34	671	37.68	38.08	35.65	36.97	38.08	37.17															
03/05/2013	00:02:42	703	37.68	38.08	35.65	36.97	38.08	37.17															
03/05/2013	00:02:50	718	37.58	38.08	35.65	36.97	37.98	37.17															
03/05/2013	00:02:58	750	37.58	38.08	34.95	36.97	38.08	37.17															
03/05/2013	00:03:06	781	37.48	37.98	34.95	36.97	37.98	37.07															
03/05/2013	00:03:14	812	37.48	38.08	34.95	36.97	37.98	37.07															
03/05/2013	00:03:22	843	37.48	37.98	34.95	36.87	37.78	37.07															
03/05/2013	00:03:30	875	37.37	37.98	34.95	36.87	37.68	37.07															
03/05/2013	00:03:38	890	37.48	37.98	34.95	36.77	37.68	37.07															
03/05/2013	00:03:46	921	37.37	37.98	34.85	36.67	37.58	37.07															
03/05/2013	00:03:54	953	37.48	37.98	34.85	36.57	37.78	37.07															
03/05/2013	00:04:02	0	37.37	37.88	34.85	36.57	37.68	36.97															
03/05/2013	00:04:11	11	37.37	37.98	34.85	36.57	37.78	36.97															
03/05/2013	00:04:19	78	37.37	37.98	34.85	36.57	37.78	36.97															
03/05/2013	00:04:27	109	37.37	37.88	34.85	36.57	37.68	36.87															
03/05/2013	00:04:35	140	37.37	37.78	34.85	36.57	37.78	36.97															
03/05/2013	00:04:43	171	37.37	37.68	34.85	36.57	37.78	36.87															
03/05/2013	00:04:51	171	37.37	37.68	34.85	36.57	37.68	36.87															
03/05/2013	00:04:59	203	37.37	37.68	34.85	36.57	37.68	36.87															
03/05/2013	00:05:07	234	37.37	37.78	34.75	36.57	37.78	36.87															
03/05/2013	00:05:15	265	37.37	37.68	34.75	36.47	37.68	36.87															

Figura. 99. Registro de Datos de temperatura.

El archivo .PDF que se genera se lo puede observar en la Figura. 99 y Figura.100, donde se encuentran todos los parámetros solicitados por ACINDEC S.A en la pantalla de impresión de RSView 32 y el archivo .PDF.

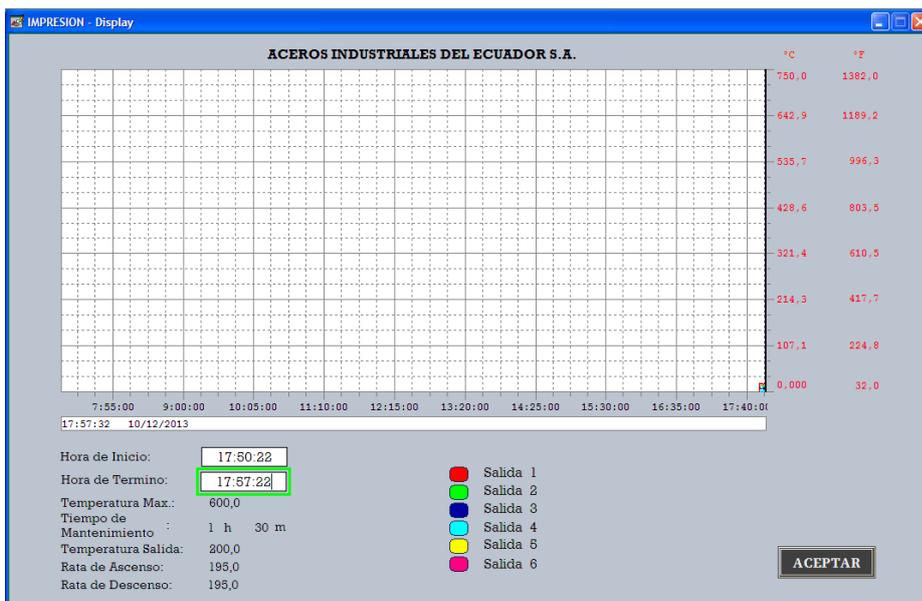


Figura. 100. Ventana de Impresión.

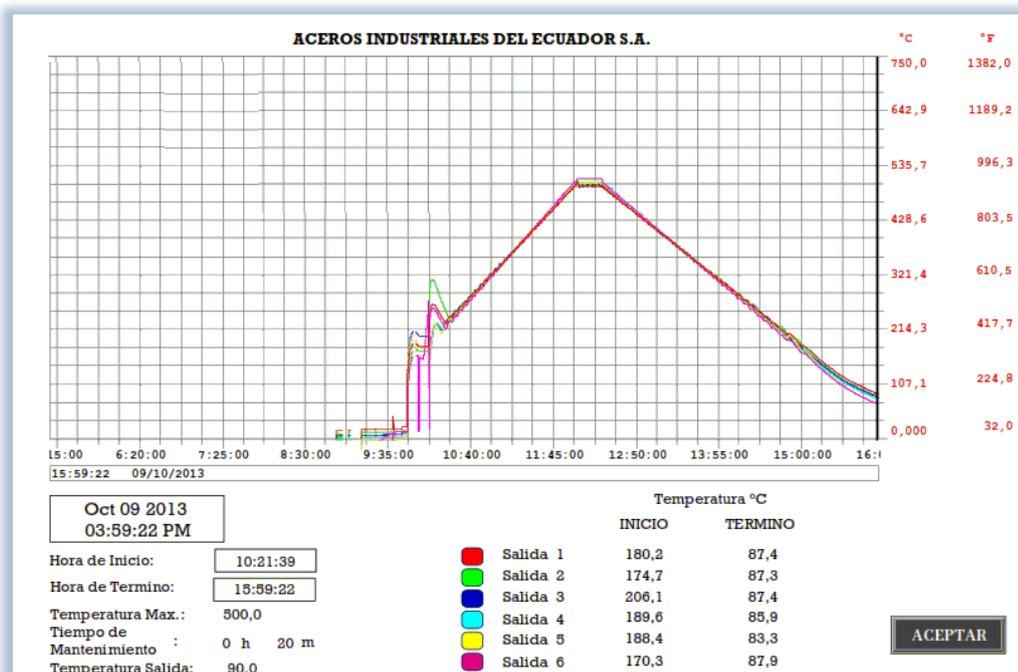


Figura. 101. Archivo .PDF, generado de la Ventana de Impresión.

6.5. PRUEBA COMPLETA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO.

Antes de iniciar se debe verificar todas las conexiones de alimentación de la máquina para evitar daños en la constitución física de la misma o alguna lesión en los operarios.

Se coloca la pieza a tratar en un lugar amplio, donde se pueda trabajar con todas las facilidades; seguido a eso se colocan las termocuplas dependiendo del diámetro del material si es cilíndrico o de las dimensiones si es una plancha para soldarlas, como se puede ver en la Figura.101, con las termocuplas tipo K soldadas en sus posiciones se procede a colocar las resistencias que irán sobre ellas para controlar el proceso y sobre las resistencias la Manta de fibra cerámica, como se puede observar en la Figura.102, para evitar la pérdida térmica y lograr mantener una temperatura de precalentamiento uniforme y continua durante todo el proceso, ya que se puede generar pérdidas residuales y eso correspondería a un punto crítico del proceso.

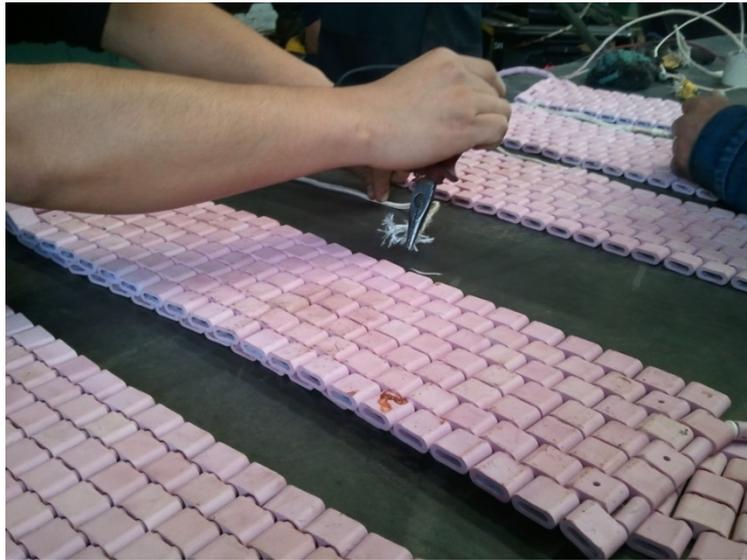


Figura. 102. Soldadura por descarga capacitiva.



Figura. 103. Manta térmica, para cubrir a las resistencias.

Con el material a tratar completamente cubierto se procede a verificar los datos a ingresarlos en la interfaz HMI, para que el tratamiento a realizarse cumpla con las especificaciones de calidad y con los estándares de ingeniería.

Se debe verificar el número de resistencias que han sido colocadas para fijar el valor del voltaje que se va a emplear en el proceso del tratamiento térmico, ya que la máquina puede trabajar a dos voltajes diferentes dependiendo del número de resistencias que se desee.

El tratamiento térmico empieza y se debe estar en constante verificación de los valores de proceso para que sigan conforme los parámetros ingresados, y sin mayor dificultad el programa pasa la prueba de comportamiento y supera las expectativas.



Figura. 104. Tratamiento en proceso

Los resultados de las pruebas fueron los esperados, después del tiempo calculado por el programa el material tratado pasa por las pruebas de calidad y la máquina es aprobada para su uso y funcionamiento continuo.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

7.1. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

El análisis costo-beneficio provee la información necesaria a la empresa para justificar la implementación de la Máquina para realizar el Tratamiento Térmico Localizado, además de proporcionar la rentabilidad del mismo; también permite sacar un estimado de un impacto financiero acumulado y así calcular los puntos positivos que tuvo la misma.

Se comparan los costos previstos y beneficios esperados de los diversos elementos en el mercado, que ayudan a tomar la decisión de cuáles eran los mejores con mayores prestaciones.

Con este análisis se define la factibilidad del proyecto frente a otras alternativas que le ofrece otras empresas al comprar una Máquina de origen extranjero.

El diseño de la máquina para realizar el Tratamiento Térmico localizado satisface la demanda actual, además de ser un sistema completamente confiable por lo que se lo puede comparar en iguales condiciones técnicas con otras máquinas en el mercado.

7.2. SITUACIÓN SIN EL PROYECTO

Acindec S.A. es una empresa que se dedica a la fabricación de equipos e instalaciones industriales en acero inoxidable y acero al carbono; por solicitud de clientes o para cumplir con las normas ASME los equipos que fabrica deben tener el certificado de haber pasado por una prueba de tratamiento térmico localizado en las juntas de soldadura; debido a la falta de exactitud y precisión de la máquina que posee Acindec para cumplir con algunos proyectos se requiere rentar una máquina a otra empresa, lo cual representa un gasto que no se tenía contemplado.

7.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La implementación de la máquina para realizar tratamiento térmico localizado representa para Acindec una ganancia neta, ya que se pretende controlar de una manera más efectiva y eficiente los tiempos de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento; permitiendo una mayor confiabilidad al proceso debido a que se va a realizar de forma automática, con lo cual se pretende reducir gastos en cuestión de manejo de personal, ya que sin la automatización requiere de operadores para ir controlando de forma manual las temperaturas del proceso, lo que ha ocasionado fallas que han provocado que el tratamiento tenga que reiniciar.

7.4. SITUACIÓN CON EL PROYECTO

Con el proyecto ya no se requiere de varios operadores pendientes del proceso, basta con uno y no se requiere de él todo el tiempo, ya que la máquina cuenta con una interfaz gráfica muy sencilla que presenta

alarmas en caso haya alguna falla, para que el operador pueda solucionarla de inmediato.

Se pretende reducir la pérdida de material, ya que si por alguna falla que no se puede identificar el proceso se tiene que repetir se desperdicia termopar en cada suelda y dependiendo el estado del proceso se puede perder manta térmica que es con la que se cubren las resistencias para ayudarlas a conservar el calor.

El diseño es propiedad de Acindec por lo que se puede realizar ampliaciones del mismo con mínimas modificaciones, lo cual permite una flexibilidad al sistema.

Además la disponibilidad de repuestos en caso de requerirlos es más sencilla ya que se tiene todo en stock y en caso de que se terminen son fáciles de encontrar con todos los distribuidores con los que trabaja Acindec, lo que facilita el trabajo del departamento de mantenimiento.

7.5. COSTO

Se considerará todos los elementos y materiales que Acindec debe comprar para la realización del proyecto, para lo cual se listará los elementos seleccionados con sus respectivos precios, los mismos que fueron elegidos después de una comparación entre marcas y proveedores por sus mejores prestaciones, precios y garantías.

En este proyecto se empleará costos variables debido a que casi todos los elementos son susceptibles a cambio de precios sin previo aviso como se pueden observar en la Tabla. 31.

Cant.	Descripción	Marca	Modelo	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	MicroLogix 1400, 20 digital 120V ac inputs, 12 Relay outputs, 110/240V ac power	Allen Bradley	1766-L32BWA		
2	4 Channel, Thermocouple/Mv Module	Allen Bradley	1762-IT4	471.00	942.00
	Resistencia de Cerámica Flexible modelo RC				0.00
	Cable divisor triple 600V 60°C				0.00
	Termocuplas tipo K				0.00
	Termocupla para termopar tipo K				0.00
	Colcha de fibra de cerámica				0.00
1	Transformador 80KVA V. Primario 240/480 V. Secundario 80/85/90/120				0.00
1	Laptop (Visualización de datos)				0.00
1	Patch cord para comunicación PLC - Laptop				0.00
9	Relay de Estado Sólido Monofásico SSR Input VAC 90-250 Output 80 A 40 - 440VAC	Optec		85.36	768.24
6	Disipador de Calor para Relés de 15,25,40 y 50A en 1Fase	Optec	HS-OPT-01	70.89	425.34
8	Fusible Ultrarapido 100A marca siemens tipo SITOR	Siemens		44.02	352.16
1	Cable de tipo THHN Flex 90°C 16 AWG (100 metros)			27.00	27.00
1	Breaker Siemens 2X4Amp (Disyuntor)	Siemens		19.49	19.49
1	Breaker Siemens 2X6Amp (Disyuntor)	Siemens		17.24	17.24
1	Breaker Caja Moldeada Regulable 125A-160Amp	Siemens		166.21	166.21
Continua.					
6	Voltímetros Revalco De 125V 96X96	Revalco		13.50	81.00
6	Amperímetros Revalco De 100A 2 96X96	Revalco		15.68	94.08
1	Pulsador Tipo Hongo 24Vdc			21.37	21.37
1	Pulsador Verde 24Vdc (Completo)			6.60	6.60
1	Luz Piloto Tipo Led Roja 110 Vac (Completa)	Siemens		8.87	8.87
1	Luz Piloto Tipo Led Verde 110 Vac (Completa)	Siemens		8.87	8.87
Continua.					

1	Luz Piloto Tipo Led Amarilla 110 Vac (Completa)	Siemens	8.87	8.87
6	Base Cerámica Portafusible Para Tamaño Nh1 250A 660V. Camsc	Camsc	15.68	94.08
4	Contactador 3Rt1044 100Amp 110V	Siemens	138.38	553.52
1	Conector para pared RJ45		3.12	3.12
6	Empaque de caucho para tablero (Metros)		1.15	6.90
2	Cinta Pal 3/4 Para Etiquetadora Cartucho Vinil Blanco		30.06	60.12
50	Cable 2 Awg Thhn 190 Amp Negro (Metros)		7.28	364.00
100	Cable 6 Awg Thhn 105 Amp Negro (Metros)		3.89	389.00
100	Cable 18 Awg Thhn Verde Y Amarillo (Metros)		0.30	30.00
100	Cable 18 Awg Thhn Negro (Metros)		0.30	30.00
5	Terminales Tipo Puntera Cable 18Awg Rojo X100		9.52	47.60
70	Terminales Tipo Puntera Desnudo Para 6 Awg Xunidad		0.50	35.00
20	Terminales Remachable Para 2 Awg Hueco 8Mm Xunidad		2.10	42.00
1	Toma Corriente Empotrado 2P+T 16 Amp Con Tapa Frontal X2		3.12	3.12
1	Barra De Cobre 3,18 X 19,05 Sin Pintar (350Mm)		3.40	3.40
2	Relay Monofásico 125VAC 3 Contactos		23.85	47.70
3	Canaleta 60X60 (1.4 Metros)		10.86	32.58
2	Canaleta 40X60 (1.4 Metros)		8.81	17.62
3	Riel Din Ranurada De 35Mm (1M)		2.38	7.14
1	Marcador Para Bornera 1-10 Wago (Paquete)	Wago	5.60	5.60
1	Marcador Para Bornera 11-20 Wago (Paquete)	Wago	5.60	5.60
12	Plug Tipo Dinse Macho 120 Amp		22.87	274.44
12	Conector Euro Empotrable Hembra 120 Amp		18.48	221.76
1	Selector 3 Posiciones 24Vdc		26.81	26.81
38	Bornera Unipolar Riel Din 35Mm 18Awg	Wago	3.90	148.20
4	Bornera Neutro Unipolar Riel Rin 18Awg	Wago	3.80	15.20

Continua.

20	Tope Final Riel Din 35Mm Wago (Paquete) Wago	0.60	12.00
1	Cinta Pal 1/2 Para Etiquetadora Cartucho Vinil Blanco	26.71	26.71
8	Conector Estandar Hembra Para Panel Tipo K Watlow	32.37	258.96
1	Faceplate para tomacorriente	4.50	4.50
6	Conector Macho Para Termocupla Tipo K Watlow		0.00
2	Lámpara Fluorescente 110Vdc Para Tablero De 51 Cm	18.17	36.34
1	Fin De Carrera Tipo Rodillo		0.00
10	Tapa De Bornera Wago 281 X unidad Wago	0.49	4.90
10	Tapa De Bornera Wago 280 X unidad Wago	0.46	4.60
5	Ventilador Para Tablero 14.8 110V	24.27	121.35
2	Garruchas Giratorias 4" Poliuretano	14.86	29.72
2	Garruchas Fijas 4" Poliuretano	13.38	26.76
6	Transformador de Corriente 100/5A Camsc o	15.29	91.74
TOTAL			6,029.43

Tabla. 31. Lista de precios de elementos empleados.

El costo de la mano de obra es \$ 2,000 se lo considera como elemento aparte ya que en las distintas etapas de implementación se emplearon distintos número de personas.

Se consideró un valor para gastos varios de \$ 1,000.

El precio final de implementación de la máquina es: \$ 9,029.43

El comprar una máquina representa un gasto mayor para Acindec, por lo que se analizará los puntos positivos y negativos para realizar esta inversión o implementarla.

En la Tabla.33 a continuación se detalla los costos de la máquina extranjera y todos los elementos necesarios para realizar un tratamiento omitiendo marcas y modelos.

Cantidad	Descripción	Precio Unidad (\$)	Precio Total (\$)
1	Máquina de Tratamiento Térmico	23,000	23,000
6	Cable de suministro triple	520	6,760
12	Cable divisor triple	45	540
1	Equipo de fijación de termopar	1,178	1,178
50	Clavijas de termopar hembra y macho	9,12	456
300	Alambre termopar tipo K con forro fibra de vidrio	3,29	987
300	Alambre termopar tipo K con forro PVC	2.41	723
25	Resistencias calefactoras	102	2,550
1	Durómetro digital	3,271	3,271
10	Papel para el graficador	26	260
10	Cajas de fibra cerámica	136	1,360
Total			41,085

Tabla. 32. Lista de elementos de la máquina extranjera.

El precio de la Máquina de Tratamiento Térmico que se cotiza está en \$ 41,085 sin considerar que en el precio no están incluidos los aranceles de importación al país y que no cuenta con repuestos de los elementos constitutivos de la misma sino solo con repuestos de los elementos externos como es cable y resistencias.

Cuenta con garantía pero en caso de alguna falla se tendrá que reportar y pedir soporte a personal que no se encuentra en el país y que

demoraría en el mejor de los casos 3 días hábiles en llegar a prestar sus servicios.

La programación está completamente cerrada por lo que no es posible realizar ningún cambio si se ve la necesidad de mejorar de alguna forma el proceso.

Para recuperar la inversión Acindec tendría que realizar tratamientos térmicos a la orden del día, por lo que no se la consideraría como una buena compra, ya que su costo superaría a los ingresos obtenidos por los servicios prestados.

7.6. BENEFICIO

Los beneficios que presenta la implementación de la máquina considerando la satisfacción del cliente son los siguientes:

- ACINDEC S.A., ahorra la cantidad de \$ 32,055.57 al realizar la implementación; por lo que se determina que la puesta en marcha del proyecto es rentable.
- Disminuir el costo que ocasiona importar repuestos que vienen patentados con la marca de las Máquinas existentes en el mercado.
- Tener la facilidad de realizar cambios en la programación del PLC, ya que se tiene la programación al alcance del administrador de la máquina.
- Obtener la facilidad de realizar ampliaciones en la parte de potencia, ya que el transformador que se emplea en la máquina presenta la ventaja de tener múltiples voltajes de salida.

- Disponer de un stock de repuesto local, ya que la mayoría de elementos son comprados en lotes, para disminuir el precio final.
- Conocer el proceso por completo, dando la ventaja de poder corregir inmediatamente si se presenta algún tipo de falla en el proceso debido a cambios repentinos, inesperados o desconocidos debido al material o al proceso en sí.
- Disminuir los tiempos de obtención de informes ya que el programa posee la opción que generar informes y almacenar en una base de datos todos los tratamientos realizados.
- El sistema es más robusto, pues consta de un control automático pensado en reducir el tiempo muerto y mejorar el producto final.
- Emplear la mejor tecnología para esto se usa dispositivos de las mejores marcas con excelentes prestaciones.
- La empresa ahorra el valor de los honorarios que suelen ser muy elevados, pues envían técnicos extranjeros a reparar fallas que pueden ser reparadas tranquilamente por el departamento de mantenimiento y el rendimiento de la mano de obra interna es igual de buena que la extranjera y mucho más eficiente si se conoce el sistema, que viene de la mano con el haberla diseñado considerando todos los posibles ambientes y probables fallas.

Es factible realizar el proyecto gracias a la rentabilidad que el mismo presenta para la empresa.

La inversión inicial que la empresa hace en este proyecto va a ser recuperada en un corto plazo, ya que un tratamiento térmico cuesta

aproximadamente \$ 1,800; y se requiere realizar seis para cubrirla en su totalidad y empezar a obtener ganancia.

Debido a que se reduce los tiempos muertos que se daban en la etapa de calentamiento y mantenimiento por la interacción del operador en el control de temperatura, disminuye el porcentaje de error que se producía entre la temperatura de referencia y la temperatura actual.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- Con la implementación de la máquina para realizar el control de temperatura del proceso, se redujeron los esfuerzos internos y los tiempos muertos aproximadamente en un 66.66% al momento de la activación de las salidas (relés de estado sólido) en la etapa de calentamiento y mantenimiento; con la automatización no se requiere de un operador para accionar las salidas correspondientes, pero si se necesita de personal en la última etapa del proceso, el enfriamiento; permitiendo tener un mayor rendimiento y brindar mayor confiabilidad en los resultados.
- La calidad del proceso mejoró evidentemente y eso se lo puede apreciar en el informe que se entrega a los clientes, que es generado al finalizar el tratamiento en formato .pdf; donde se muestra la curva de resultado del tratamiento en óptimas condiciones, donde se aprecia que el proceso se realizó sin ningún problema o complicación y otros datos (tiempos de duración) que

serán útiles para verificar la calidad y asegurarse que el material tratado no sufrió daños estructurales; además se debe considerar que tanto el programa como la máquina son escalables por lo que se podrá seguir realizando mejoras que beneficiarán al producto final por lo tanto aumentará la satisfacción del cliente.

- La máquina de tratamiento térmico resultó una excelente inversión, gracias al ahorro que significa para la empresa, no sólo en gasto de adquisición sino en gasto de mano de obra por mantenimiento, reparación o supervisión y repuestos; además que representa una fuente de ingresos que le permitirá pagarse por sí sola, en aproximadamente dos años cubriría el valor de la inversión inicial.
- Se desarrolló una interface HMI que cubre todas las necesidades de un sistema de control centralizado, que cuenta con distintas pantallas para ayudar a tener un fácil manejo de la misma al personal encargado de su manejo, permite controlar, monitorear y supervisar el proceso completo; tiene también alarmas en caso de existir alguna falla facilita la detección y la corrección a tiempo de las mismas; además posee temporizadores que permiten a los operadores conocer el tiempo faltante para finalizar cada etapa y el tiempo transcurrido.
- Investigadas las técnicas de control que podían ser útiles y con mayores prestaciones para trabajar con alta temperatura y rápida

respuesta para realizar un control automático, se seleccionó ON-OFF, donde el set point varía de manera incremental; cada dos segundos el valor de referencia varía y es solo durante ese tiempo en el cual se realiza el análisis, para determinar si la respuesta del sistema será activar o desactivar los circuitos finales, ya que al tratarse de relés de estado sólido estos soportan un cambio de estado constante sin afectar de manera significativa su tiempo de vida útil, además de no provocar ninguna clase de ruido.

- Se elaboró algoritmos para el desarrollo de sistema de control teniendo en cuenta cada etapa de las que constará el proceso al encontrarse en ejecución, en dicho programa se buscaron mejoras frente a la máquina anteriormente existente, que fueron; un programa dividido en subrutinas facilitando la comprensión, disminución de líneas de código innecesarias debido a la robustez del controlador usado y la eficiencia del nuevo programa.
- Se diseñó todos los diagramas que fueron empleados para la construcción de la máquina siguiendo todas las normas de seguridad para garantizar duración y rendimiento, esto se da gracias a que tiene dispositivos de las mejores marcas con excelentes prestaciones; estos diagramas serán usados para mantenimientos, reparaciones o futuras expansiones; la nueva máquina cuenta con indicadores visuales para ayudar al personal que realice los tratamientos.

- Se realizó pruebas de funcionamiento y operatividad en la máquina, siendo una de las más importantes el error existente entre la temperatura visualizada en pantalla y la medida con instrumentos externos anteriormente calibrados partiendo inicialmente del 3,11% de error hasta llegar al 0,15 % después de realizar análisis y ecuaciones de compensación.
- Debido a la importancia de la temperatura a la que deberán operar los relés de estado sólido también se llevaron a cabo pruebas en las que se comprobó que dichos dispositivos trabajen en condiciones para las que fueron diseñados es decir sin exceder los 60°C.

8.2. RECOMENDACIONES

- Para evitar calentamiento en los relés de estado sólido sería necesario colocar un ventilador en la parte posterior del tablero, ya que es ahí donde se encuentran los elementos mencionados.
- Operar la máquina implementada teniendo en cuenta las condiciones de diseño bajo las que fue diseñada para así no producir daños tanto en el personal que la maneje como los distintos elementos externos e internos de los que consta.
- Al constar de módulos de Termocupla que permiten la lectura de ocho termopares distintos la máquina puede ampliar sus capacidades de funcionamiento al añadir dos variables más en el

proceso, facilidad que se presenta al poseer acceso a todo el código con el cual fue creada.

- Colocar indicadores de seguridad al momento de realizar un Tratamiento Térmico pudiendo ser, cintas de peligro alrededor de la máquina, al igual que el material a tratar, ya que al encontrarse terminales expuestos el contacto con los mismos puede ocasionar lesiones en el personal, así como desperfectos en la máquina.
- Llevar a cabo el proceso en un ambiente libre de humedad y contar con el tiempo suficiente la realizarlo de principio a fin, puesto que cualquier interrupción en el mismo causaría que dicho tratamiento sea considerado no válido.
- Únicamente el personal capacitado deberá manejar la interfaz puesto que está se rige por normas y parámetros internacionales establecidos en el tratamiento térmico de soldadura.
- Una vez soldadas las termocuplas no deberá pasar un tiempo mayor a 24 horas respecto de la realización del Tratamiento Térmico, puesto que la dilatación del material a tratar con el paso de los días podría afectar en la lectura de los termopares.
- Fijar cada alambre de la Termocupla por separado y a una distancia de aproximadamente cinco mm (5mm) a la superficie por intermedio de una Soldadura por Descarga Capacitiva

- Colocar silicona 340 de alta temperatura entre el disipador y la base del relé ya que esto aumentará significativamente la conductividad térmica y de esta manera evitará que la rata de conmutación de la corriente disminuya ocasionando caída de voltaje nominal.
- Medir la temperatura en la base del relé. Si la temperatura en este punto no excede 60° bajo las condiciones de operación normales, el SSR está operando en un ambiente térmico óptimo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cantor, F., Galavis, A., & Pérez, C. (2010). *Aceros al Carbono*. Caracas.
- Electrotermia, G. (2011). *Soluciones de Inducción para tu Industria*. Recuperado el 20 de 02 de 2013, de <http://www.ghinduction.com/process/distensionado/?lang=es>
- Gonzales, C. (2001). *Tableros, Conductores y Canalizaciones*. Chile: Instituto Nacional de Capacitacion Profesional, area electricidad, electronica y telecomunicaciones.
- Ing. Cervantes, M. (2008). *Relevado de Esfuerzos Mediante Resistencias Calefactoras y Gas*. México.
- Ing. Laufgang, S. (2004). Tratamiento Térmico de Localizado. En S. Ing. Laufgang, *Tratamiento Térmico de Soldadura* (págs. 12-32). Mexico: Termo Soldex S.A.
- Marcos López, S. (2010). *Sitio Web Universidad de Salamanca*. Recuperado el 21 de 02 de 2013, de <http://web.usal.es/~sebas/TEORIA/TEMA9-REGULACION.pdf>
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: Prentice Hall.
- S.A., E. (2009). *Electricfor Resistencias Eléctricas*. Recuperado el 22 de 02 de 2013, de http://www.electricfor.es/es/18172/diccionario/Control-Todo/-Nada-_On-/-Off_.htm