



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

AUTOR: USHIÑA PERALTA, LUIS VLADIMIR

**TEMA: DISEÑO, REHABILITACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL
SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA TRATAMIENTOS
TÉRMICOS HASTA 1000 °C MARCA SYBRON MODELO TERMOLYNE
1500 PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE CIENCIA DE
MATERIALES DEL DECEM**

DIRECTOR: ING. VICTOR ANDRADE.

CODIRECTOR: ING. ANGELO VILLAVICENCIO.

SANGOLQUÍ, ENERO 2014

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **“DISEÑO, REHABILITACION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA TRATMIENTOS TERMICOS HASTA 1000°C MARCA SYBRON MODELO TERMOLYNE 1500 PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM”** fue realizado en su totalidad por Luis Vladimir Ushiña Peralta, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Victor Andrade

DIRECTOR

Ing. Angelo Villavicencio

CODIRECTOR

Sangolquí, 2014-01-28

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Luis Vladimir Ushiña Peralta

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado **“DISEÑO, REHABILITACION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA TRATMIENTOS TERMICOS HASTA 1000°C MARCA SYBRON MODELO TERMOLYNE 1500 PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM”** , ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, 28 de Enero del 2014

Luis V. Ushiña Peralta

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

A U T O R I Z A C I Ó N

Yo, Luis Vladimir Ushiña Peralta

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“DISEÑO, REHABILITACION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA TRATMIENTOS TERMICOS HASTA 1000°C MARCA SYBRON MODELO TERMOLYNE 1500 PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE CIENCIAS DE LOS MATERIALES DEL DECEM”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 28 de Enero del 2014

Luis V. Ushiña Peralta

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO, REHABILITACION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA TRATMIENTOS TERMICOS HASTA 1000°C MARCA SYBRON MODELO TERMOLYNE 1500 PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE CIENCIAS DE LOS MATERIALES DEL DECEM”

ELABORADO POR:

Luis V. Ushiña Peralta

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Ángelo Villavicencio

DIRECTOR DE CARRERA

Sangolquí, 2014-01

DEDICATORIA

A las únicas personas que puedo dedicar este trabajo, y que han colaborado en todos mis logros, soportado mis desaciertos y festejado mis triunfos es a mi familia especialmente a mi Madre, a la cual amo y dedico con toda mi alma este trabajo, que es el resultado de su confianza en mí. GRACIAS.

LUIS USHIÑA

AGRADECIMIENTOS

Existen muchas personas a las cuales debo agradecer, a continuación citó a las personas más importantes:

Primero, a Dios porque sin él no sería posible nada, le agradezco el bendecirme a mi familia y a mí.

A mi madre, por darme la vida y apoyarme para que cada día se ha una persona mejor.

A mi padre, por su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles y duros de mi vida.

A mi hermana, por ayudarme en pequeñas y cotidianas tareas, que sin su presencia me sería imposible realizar.

A mis profesores no solo por enseñarme alguna materia, sino también por enseñarme muchas cosas de la vida.

Al Ingeniero Angelo Villavicencio por gastar tanto tiempo en este proyecto, y creer en mí para realizarlo.

Al Ingeniero Victor Andrade por sus sabios consejos, y tratar un problema tan difícil como es la Ciencia de los Materiales.

Al Ingeniero Xavier Sanchez por ayudarme a sentir al laboratorio de Ciencias de materiales como una casa.

A todas las personas que de una u otra forma han ayudado a la realización de este proyecto.

LUIS USHIÑA

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	III
A U T O R I Z A C I Ó N	IV
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
INDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVII
RESUMEN	XVIII
CAPÍTULO 1.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. GENERAL	3
1.3.2. ESPECÍFICOS	4
1.4. ALCANCE.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 2.....	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. TIPOS DE HORNOS PARA TRATAMIENTOS TERMICOS	5
2.2.1 SEGÚN SU ATMOSFERA	6
2.2.2. HORNOS DE VACIO.....	6
2.2.1.2. HORNOS DE ATMOSFERA CONTROLADA	7
2.2.2. SEGÚN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO	8
2.2.2.1. HORNO A GAS	8
2.2.2.2. HORNO ELECTRICO DE INDUCCION	9
2.2.2.3. HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIA	11
2.3. PARTES DE UN HORNO ELÉCTRICO	12
2.3.1. LADRILLOS REFRACTARIOS	12
2.3.1.1. TIPOS DE LADRILLOS REFRACTARIOS	13
2.3.2. AISLAMIENTO TÉRMICO.....	14
2.3.3. MORTERO REFRACTARIO.....	15
2.3.3.1. TIPOS DE MORTEROS REFRACTARIOS.	16
2.3.4. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	16
2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS RESISTENCIAS.	18

2.4. SISTEMA AUTOMATIZADO	20
2.4.1. PARTES DE UN SISTEMAS AUTOMATIZADOS.....	20
2.4.1.1. PARTE OPERATIVA.....	20
2.4.1.2. PARTE MANDO	21
2.4.2. TECNOLOGÍAS CABLEADAS	22
2.4.3. TECNOLOGÍAS PROGRAMADAS.	22
2.4.4. OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN	23
2.4.5. VENTAJAS DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	23
2.5.6. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR LA AUTOMATIZACIÓN.	24
2.4.6. DISPOSITIVOS DE CONTROL.	25
2.4.6.1. CONTROLADORES DE LÓGICA PROGRAMABLE (PLC).	25
2.4.6.2. VENTAJAS DEL PLC.....	27
2.4.6.3. DESVENTAJAS DE UN PLC	28
2.4.6.4. MICROCONTROLADOR	28
2.4.6.5. VENTAJAS DEL USO DE UN MICROCONTROLADOR	29
2.4.7. CONTROLADORES DE TEMPERATURA	29
2.5.8. SENSORES DE TEMPERATURA.	30
2.4.8. TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA	31
2.4.8.1. TERMOCUPLAS	31
TIPOS DE TERMOCUPLAS.	32
2.4.8.2. TERMISTORES.	34
TIPOS DE TERMISTORES.....	35
2.4.9. FACTORES PARA LA APLICACIÓN DE UN HORNO DE TRATMIENTOS TERMICOS.	36
2.5. VENTAJAS Y APLICACIONES DE LOS HORNOS ELÉCTRICOS.....	36
2.7. TRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	38
2.7.1. REGIMEN DE TRATAMIENTO TERMICO.....	39
2.6.2. TIPOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS.....	41
2.6.2.1. RECOCIDO.	42
2.6.2.2. NORMALIZADO.....	44
2.6.2. TEMPLE.	44
CAPÍTULO 3.....	46
DISEÑO TÉRMICO DEL HORNO.....	46
3.1. PARAMETROS DE DISEÑO.	46
3.2. DIMENSIONES INTERIORES DE LA CAMARA.....	47
3.3. CANTIDAD DE CALOR A IMPARTIR A LA CARGA.	48
3.4. MOLDEAMIENTO MATEMÁTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	50
3.5. CALCULO DE PERDIDAS DE CALOR.....	51
3.5.1. RESISTENCIAS TÉRMICAS EN LAS PAREDES DEL HORNO.	51
3.6. CALCULO DE ÁREAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	54
3.7. CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN DEL AIRE	55
3.8. PERDIDA DE CALOR TOTAL.....	60
3.9. PERDIDAS DECALOR DEBIDO A LA APERTURA DE COMPUERTA	60
3.10. RENDIMIENTO DEL HORNO.	61

3.11. ENERGIA REQUERIDA DEL HORNO.....	62
3.12. CALCULO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA.....	62
3.13. CALCULO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA.....	65
CAPÍTULO 4.....	67
SELECCIÓN E IMPLEMENTACION DE COMPONENTES.	67
4.1. FUNDAMENTACION.	67
4.2. SELECCION DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.	67
4.3. TIEMPOS RECOMENDADOS Y TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO.	68
4.4. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DEL HORNO.....	69
4.5. REHABILITACION, CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION	71
4.5.1 ESTRUCTURA DE LA CAMARA INTERNA DEL HORNO ELECTRICO.	71
4.5.2. CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE CALENTAMIENTO.	72
4.5.3. IMPLEMENTACION DE LA CAMARA DE CALENTAMIENTO	75
4.5.4. RECONSTRUCCION DE LA COM PUERTA DEL HORNO.....	76
4.6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL HORNO.	76
4.7. SISTEMAS DE CONTROL.....	79
4.7.1. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO.	79
4.7.2. ELEMENTO DE CONTROL.	80
4.7.3. SENSOR.	80
4.7.4. ELEMENTO DE CALENTAMIENTO	81
4.8. UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRONICOS	81
CAPÍTULO 5.....	87
EXPERIMENTACION.	87
5.1. INTRODUCCION.	87
5.1.1. PRUEBAS EN VACIO PARA CINCO ESCALONES PROGRAMADOS.	87
5.1.2. REALIZACION DE TRATAMIENTOS TERMICOS.....	94
5.2. ANÁLISIS METALOGRAFÍCO.....	109
5.3. ANÁLISIS DE DUREZAS.	113
5.4. GUIA DE MANEJO DEL SISTEMA DE CONTROL.	115
5.5. GUIA DE FUNCIONAMIENTO.....	119
5.6. GUIA DE MANTENIMEINTO.....	119
CAPÍTULO 6.....	122
ANÁLISIS ECONÓMICO.	122
6.1. ANALISIS ECONÓMICO.....	122
6.2. ANÁLISIS DE COSTOS.	122
6.2.1. COSTOS DIRECTOS.	123
6.2.2 COSTOS INDIRECTOS.....	123
6.2.3. COSTO TOTAL.....	124
CAPÍTULO 7.....	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125

7.1. CONCLUSIONES.....	125
7.2. RECOMENDACIONES.....	126

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de ladrillos refractarios	13
Tabla 2. Tipos de aislantes	15
Tabla 3. Tipos de Morteros Refractarios.....	16
Tabla 4. Valores de las propiedades del aire	48
Tabla 5. Valores de las propiedades del aire a 1000 °C	49
Tabla 6. Temperaturas - estructura exterior.....	57
Tabla 7. Valores de las propiedades del aire (Anexo10)	58
Tabla 8. Valores de las propiedades del aire a 308 °K.....	58
Tabla 9. Propiedades del KANTHAL A-1	64
Tabla 10. Temperaturas y tiempos- tratamientos térmicos	68
Tabla 11. Características de las resistencias eléctricas hierro y cromo.....	70
Tabla 12. Materiales para estructura de cámara interna.....	71
Tabla 13. Materiales para estructura de cámara interna.....	72
Tabla 14. Matriz de selección del dispositivo de control	77
Tabla 15. Tipos de termocuplas.....	78
Tabla 16. Características Control ON/OFF y P.I.D	79
Tabla 17. Valores de temperatura y tiempo - prueba de cinco escales.	88
Tabla 18. Tratamientos Térmicos para el acero 1045.....	94
Tabla 19. Código de las probetas testigo.....	95
Tabla 20. Valores de temperatura y tiempo durante el recocido	96
Tabla 21. Valores de temperatura y tiempo durante el normalizado	100
Tabla 22. Valores de temperatura y tiempo durante el temple	105

Tabla 23. Códigos de la probeta testigo y las tratadas térmicamente.....	114
Tabla 24. Durezas de las probetas tratadas térmicamente.....	114
Tabla 25. Costos directos	123
Tabla 26. Costos indirectos	123
Tabla 27. Costo total.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Horno de vacío	7
Figura 2. Horno de cámara de atmósfera controlada.....	7
Figura 3. Horno Bactch a gas para temple integral.....	8
Figura 4. Horno eléctrico de inducción.....	10
Figura 5. Horno eléctrico de resistencias - Mufa.....	11
Figura 6. Ladrillos Refractarios	13
Figura 7. Ladrillos Refractarios	14
Figura 8. Mortero Refractario.....	15
Figura 9. Horno de resistencias con calentamiento indirecto.....	16
Figura 10. Estructura básica del PLC	27
Figura 11. Controlador de temperatura.....	30
Figura 12. Termocupla.....	32
Figura 13. Termistor.....	34
Figura 14. Grafica de tratamiento térmico.....	39
Figura 15. Diagrama Hierro – Carburo de Hierro	40
Figura 16. Tipos de tratamientos térmicos.....	41
Figura 17. Temperatura del Recocido del acero	42
Figura 18. Dimensiones de la cámara de calentamiento	47
Figura 19. Circuito equivalente para una pared compuesta en serie.....	50
Figura 20. Corte lateral de la pared de la cámara de calentamiento.....	51
Figura 21. Vista frontal – cámara de calentamiento.....	54
Figura 22. Vista lateral – cámara de calentamiento	54
Figura 23. Cámara termografica FLEKE TI 25.....	56

Figura 24. Paredes laterales - estructura exterior	57
Figura 25. Construcción de la cámara de calentamiento	72
Figura 26. Pared inferior de la cámara de calentamiento	73
Figura 27. Paredes laterales de la cámara de calentamiento	74
Figura 28. Ensamblaje de la cámara de calentamiento	74
Figura 29. Ensamblaje del horno	75
Figura 30. Reconstrucción de la compuerta del horno.....	76
Figura 31. Sistema de control utilizado en el equipo.....	80
Figura 32. Conexión en triangulo de resistencias	81
Figura 33. Ubicación de dispositivos de control	82
Figura 34. Circuito electrónico	83
Figura 35. Circuito de potencia	83
Figura 36. Instalación del Circuito de potencia	85
Figura 37. Instalación del Circuito electrónico	86
Figura 38. Rampa programada para la prueba en vacio.....	87
Figura 39. Termómetro digital para la prueba en vacio.....	88
Figura 40. Temperatura real y teórica vs tiempo de la prueba	92
Figura 41. Probetas de acero 1045.....	95
Figura 42. Régimen de tratamiento térmico del recocido.....	96
Figura 43. Temperatura real y teórica vs tiempo del recocido	99
Figura 44. Régimen de tratamiento térmico del normalizado.....	100
Figura 45. Temperatura real y teórica vs tiempo del Normalizado.....	104
Figura 46. Régimen de tratamiento térmico de temple	104
Figura 47. Temperatura real y teórica vs tiempo para el Temple.....	108

Figura 48. Procedimiento de pulimiento de probetas.....	110
Figura 49. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta testigo.	110
Figura 50. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta recocida	111
Figura 51. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta normalizada	112
Figura 52. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta templada.....	113
Figura 53. Ensayo de dureza – Durómetro	114
Figura 54. Encendido del sistema de control	116
Figura 55. Interfaz del sistema de control PID	117
Figura 56. Pantalla y teclas del sistema de control PID	117

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Tipos de Ladrillos refractarios
- Anexo 2.** Tipos de Mortero Refractario.
- Anexo 3.** Características de la Manta Cerámica
- Anexo 4.** Especificaciones de la Plancha de Acero
- Anexo 5.** Tipos de Termocuplas
- Anexo 6.** Propiedades termofísicas de los sólidos metálicos
- Anexo 7.** Propiedades termofísicas de los gases a presión atmosférica
- Anexo 8.** Tabla de conductividad térmica
- Anexo 9.** Constantes Número de Nusselt.
- Anexo 10.** Diagrama Hierro – Carbono
- Anexo 11.** Tabla comparativa de durezas
- Anexo 12.** Especificaciones Controlador PID
- Anexo 13.** Ejemplo didáctico del funcionamiento del controlador PID
- Anexo 14.** Componentes electrónicos
- Anexo 15.** Tipos de electrodos
- Anexo 16.** Planos
- Anexo 17.** Guías de Laboratorio Tratamientos Térmicos

RESUMEN

Ante la necesidad de formar profesionales que apliquen el conocimiento científico técnico en las actividades de la industria, resulta de vital importancia la implementación de prácticas de laboratorio que ayuden al estudiante a comprender los Tratamientos Térmicos de una manera didáctica. En el presente proyecto se diseñó, rehabilitó y se puso en marcha el horno para tratamientos térmicos marca SYBRON perteneciente al laboratorio de Ciencia de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército. Al analizar el proceso de Tratamientos Térmicos se determinó las condiciones de tiempo y temperatura que debía entregar el equipo para llevar a cabo las prácticas de Tratamientos Térmicos. El desarrollo de este tema se complementó con el análisis de las propiedades metalográficas, físicas y mecánicas de las probetas obtenidas antes y luego de los Tratamientos Térmicos respectivos. Como resultado se obtuvo un equipo capaz de controlar tiempo-temperatura de acuerdo al Tratamiento Térmico a realizarse.

Palabras clave:

- Análisis metalográfico
- propiedades mecánicas
- controlador BrainChild.
- tratamientos térmicos
- dureza

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Problema a resolver:

El cumplimiento de requisitos técnicos para el Horno de tratamientos térmicos marca SYBRON modelo TERMOLYNE 1500 con fines de prestación de servicios y su óptimo funcionamiento.

Situación Actual:

El Horno para tratamientos térmicos marca SYBRON modelo TERMOLYNE 1500 no se encuentra en funcionamiento por lo cual se hace indispensable el cumplimiento de los requisitos técnicos que establecen las prácticas de Tratamientos Térmicos las cuales son:

- Cementado
- Templado.
- Revenido.
- Recocido.
- Normalizado.

El laboratorio de Ciencias de Materiales tiene una demanda semestral de alrededor de 80 estudiantes distribuidos en 3 cursos, los cuales realizan las diferentes practicas de Tratamientos Térmicos en grupos de 4 estudiantes generalmente; por lo cual el único Horno que se encuentra en funcionamiento para la realización de dichas

prácticas no es suficiente para el normal desenvolvimiento académico dentro del laboratorio.

Descripción:

Al realizar el análisis del Horno para tratamiento térmico marca SYBRON modelo TERMOLYNE 1500 se ha determinado q es necesario la rehabilitación de todo el equipo para su respectivo funcionamiento regida al cumplimiento de los requisitos técnicos que establecen las prácticas de Tratamientos Térmicos para la prestación de servicios.

Luego de haber realizado un estudio se determinó que a trabajar en la parte de los requisitos técnicos ya que esta es la parte más sensible y en la cual se requiere mayor precisión ya que se va a realizar el diseño del sistema de calentamiento en la que intervienen muchos factores que determinan la exactitud y confiabilidad de los ensayos y/o calibraciones realizadas en el laboratorio.

En este proyecto se va a tratar temas como factores humanos, instalaciones y condiciones ambientales, métodos de validación, equipos, muestreos entre otros ya que la extensión de estos contribuyen a la incertidumbre total de las medición que difieren considerablemente entre tipos de ensayos y entre tipos de calibración y que el laboratorio debe tomar en cuenta varios factores al desarrollar los métodos y procedimientos de ensayos y calibración.

Fases del Desarrollo

- Investigación y marco teórico.

- Requerimientos técnicos para la realización de prácticas de Tratamientos Térmicos.
- Realizar una lista de las herramientas, equipos y materiales necesarios para el cumplimiento de los requisitos técnicos de la norma.
- Realizar la simulación previa del equipo
- Adquisición de elementos necesario para que el equipo cumplan los requerimientos técnicos.
- Ensamblaje de partes del sistema
- Verificación y realización de pruebas del equipo.
- Materialización del proyecto

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El horno para tratamientos térmicos marca SYBRON modelo TERMOLYNE no está funcionando desde hace 7 años, debido a su año de fabricación posee controles análogos de temperatura los cuales no funcionan, en cuanto al sistema de calentamiento (resistencias eléctricas) no existe.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERAL

Realizar el diseño, rehabilitación y sistema de calentamiento del horno para tratamientos térmicos marca SYBRON modelo TERMOLYNE 1500 del laboratorio de Ciencias de Materiales.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- Seleccionar las alternativas viables para la resolución del problema.
- Diseñar el sistema de calentamiento requerido por el equipo para su adecuado funcionamiento.
- Pruebas de funcionamiento, puesta a punto y calibración de la máquina, y a partir de ahí obtener las conclusiones y recomendaciones que surjan durante el avance paulatino del ideal.

1.4. ALCANCE

Disponer en el laboratorio de Ciencia de Materiales de un equipo que cumpla los requisitos que establezca las prácticas de tratamientos térmicos.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El equipo propiedad de la ESPE, está fuera de operación, los estudiantes de ingeniería mecánica y mecatrónica que reciben la materia de Ciencia de Materiales, conocen la teoría, pero en la parte práctica solo existe un horno para la realización de prácticas de tratamientos térmicos.

Se hace indispensable la necesidad de la rehabilitación del Horno para tratamientos térmicos marca SYBRON modelo TERMOLYNE 1500 para lograr una prestación de servicios dentro y fuera de la institución en lo que se refiere a Tratamientos Térmicos de materiales con resultados exactos y confiables.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimiento cerrado. En la industria metalúrgica, se lo utiliza para realizar tratamientos térmicos sobre los materiales, de modo de obtener propiedades mecánicas y microestructuras deseadas para algún uso particular (mediante el agregado de aleantes y/o el método de enfriado). Según su principio de funcionamiento, se los puede agrupar en 3 tipos:

- Calentamiento por efecto Joule, entre los cuales se encuentran los hornos de inducción eléctrica y arco eléctrico.
- Calentamiento por elevación de la temperatura del medio circundante, como los hornos de calentamiento por resistencia eléctrica y los de calentamiento por combustión.
- Calentamiento por interacción de radiación con la muestra, entre ellos, los que emplean radiación láser y los de haces de electrones.

2.2. TIPOS DE HORNOS PARA TRATAMIENTOS TERMICOS

Se pueden clasificar a partir del proceso de calentamientos, por la atmosfera o por la solera del horno.

2.2.1. SEGÚN SU ATMOSFERA

En tratamientos térmicos se entiende por atmosfera la masa gaseosa encerrada dentro del horno que está en contacto con la pieza a tratar, la atmosfera puede tener carácter neutro, oxidante o reductor, el papel desempeñado por la atmosfera controlada es doble, por una parte evita que se produzca reacciones perjudiciales como la oxidación y la descarbonización de las piezas y por otra parte permite realizar la reducción de óxidos superficiales y que la eliminación de gas sea absorbida.

2.2.2. HORNOS DE VACIO

Estos hornos resuelven el problema de la oxidación y la descarburación superficial de una forma muy eficiente. A través de una profunda succión, se desaloja casi todo el aire que podría oxidar la superficie. Una vez lograda el vacío (presión negativa) entre las resistencias y la pieza, comienza a calentar por medio de una lenta radiación y convección.

Además se puede realizar tratamientos térmicos isotérmicos que disminuyen considerablemente la deformación de los aceros, las temperaturas máximas de estos hornos son 1180 – 1200 °C

Se utiliza para sintetizar carbonos cementados y para el tratamiento térmico especial de aceros aleados, se consigue mediante bombas mecánicas y de fusión de aceite o mercurio. Las atmosferas neutras de argón helio y nitrógeno apenas se emplean debido al precio de estos gases y a las tasas de oxígeno que suelen contener. Las atmosferas carburantes o descarburantes obtenidas por combustión o disociación

de mezclas de hidrocarburos (metano, propano, butano, gas natural), con el aire suelen contener N₂, CO, H₂, CO₂, y pequeñas cantidades de vapor de agua.



Figura 1. Horno de vacío

Fuente Fig. 1: www.scielo.org.com

2.2.1.2. HORNOS DE ATMOSFERA CONTROLADA

En estos hornos se genera una atmósfera gaseosa con la cual se logra una protección contra la oxidación y la descarburación a alta temperatura. Las temperaturas de operación son de 780 – 940 °C.

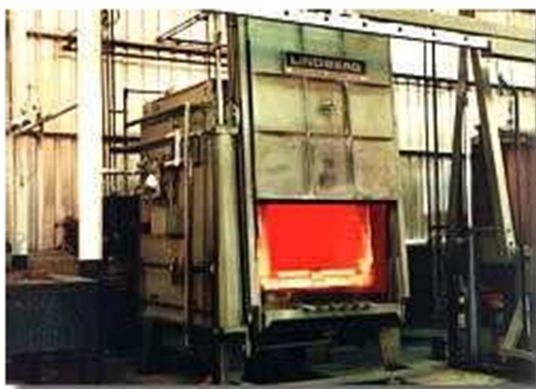


Figura 2. Horno de cámara de atmósfera controlada

Fuente Fig. 2: www.scielo.org.com

A través de un sensor de contenido de carbono, se balancea la atmosfera con el porcentaje de carbono del acero, por sus propios tamaños y características, estos hornos se utilizan para procesar lotes grandes (generalmente más de 200 kg).

2.2.2. SEGÚN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO

2.2.2.1. HORNO A GAS

Los hornos de gas pueden ser de tipo de fuego directo, en el cual los productos de la combustión entran en la cámara de calentamiento. Alternativamente, pueden ser de combustión indirecta, de manera que la cámara del horno quede aislada de los productos de la combustión. Un tercer tipo de horno de calentamiento por gas es el de tubos radiantes, en el cual un gas combustiona dentro de los tubos metálicos, lo que constituye fuente de calor radiante. El calentamiento por gas tiene como ventaja la economía y como inconveniente la dificultad del control de la temperatura.



Figura 3. Horno Bactch a gas para temple integral

Fuente Fig. 3: www.scielo.org.com

2.2.2.2. HORNO ELECTRICO DE INDUCCION

Este tipo de hornos establecen corrientes parasitivas a través de un campo magnético variable generalmente inducido por una bobina exterior en medios cerrados o abiertos. Las corrientes al circular por el material, el cual posee una resistencia dada, producen calentamiento en forma volumétrica por el denominado efecto Joule. Con estos hornos se puede focalizar el lugar donde se produce el calentamiento, teniendo la ventaja de producir materiales de alta pureza o crecimiento de grano controlado.

En los hornos eléctricos de inducción, el calor se genera por corrientes inducidas por una corriente alterna. Se distinguen tres clases de hornos de inducción:

a). Hornos de baja frecuencia:

En estos hornos el calor se produce por el efecto joule de la corriente inducida en el metal que se trata de fundir, que actúa con el arrollamiento secundario de un transformador. Los primeros modelos estaban formados por un crisol en forma de anillo que constituía la espira del secundario de un transformador, cuyo primario estaba conectado a la red. Pero en la actualidad los hornos de esta clase están formados por un crisol cuyo fondo esta comunicación con un conducto circular, que forma la espira secundaria del transformador de inducción. El metal contenido en el conducto es el que se funde, desplazándose su masa y comunicando el calor al resto del metal.

b). Hornos de alta frecuencia.

En los hornos de alta frecuencia el calor lo producen las corrientes de Foucault, ordinariamente consideradas como parasitas, inducidas en el metal, que actúa como el núcleo de un solenoide o arrollamiento primario. Estos hornos están formados de un crisol refractario q contiene el metal, rodeado de un arrollamiento de tubo de cobre por el que circula una corriente de alta frecuencia, que crea un campo magnético variable, calentándose la masa del metal contenida en el crisol por las corrientes de Foucault inducidas por el campo magnético.

c). Hornos eléctricos.

En los hornos electrónicos el calor se produce por la vibración molecular del cuerpo que se trata de calentar cuando es sometido a un fuerte campo de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia (frecuencias de radio). Estos hornos también denominados de pérdidas dieléctricas, se emplean para aplicaciones para las que sus cualidades específicas los hagan muy superiores, desde el punto de vista técnico, a los demás hornos, compensando así el mayor coste de la fusión.

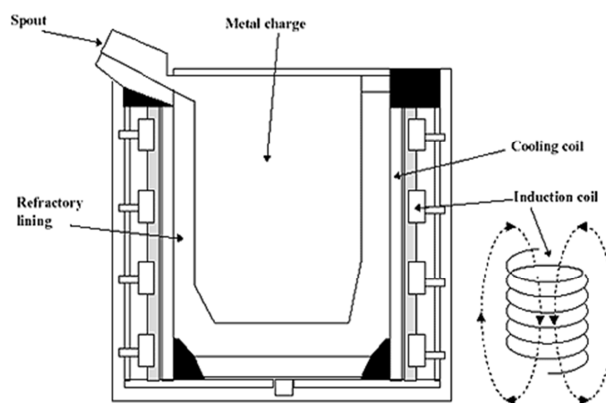


Figura 4. Horno eléctrico de inducción

Fuente Fig. 4: www.scielo.org.com

2.2.2.3. HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIA

Los hornos eléctricos de resistencias más utilizados son los hornos eléctricos de mufla debido a su comodidad y fácil manejo, una mufla es una cámara cerrada construida con materiales refractarios, de construcción sencilla.

Estos hornos constan de una de una puerta para poder acceder al interior de la cámara de cocción, en la que existe un pequeño orificio de observación, en el techo se ubica un agujero por donde salen los gases de la cámara. Las paredes están hechas de placas de chamota, planchas de carburo y/o manta de material aislante.

Algunos hornos de este tipo tienen un sistema de programación de temperatura vs. Tiempo muy útiles y de sencillo manejo, en las cámaras de estos hornos van alojadas, unas espirales de hilo conductor de energía eléctrica, denominadas resistencias formadas por aleaciones de cromo-níquel y de otros metales cuya característica es la baja conductibilidad, según las temperaturas que se quiera alcanzar.



Figura 5. Horno eléctrico de resistencias - Mufla

Fuente Fig. 5: Hornos Industriales

2.3. PARTES DE UN HORNO ELÉCTRICO

Las partes de un horno eléctrico son las siguientes:

1. Ladrillos refractarios.
2. Aislamiento térmico.
3. Mortero Refractario.
4. Resistencias.

2.3.1. LADRILLOS REFRACTARIOS

Son más utilizados para revestir parrillas, calderas, ollas de aceración, hornos rotatorios de cementeras, etc., los cuales deben estar pegados con tierras refractaria, estos pueden adherir con firmeza en la tierra si se utiliza un poco de mortero, en donde el resultado de esta mezcla parecerá como un barro. Se debe tener una precaución con estos con estos ladrillos, que si se llegan a utilizarse con otro material pueden llegar a explotar. Estos al igual que la tierra refractaria, además de cumplir su función que es de refractar, mantienen el calor. Lo que más se destaca del ladrillo es que se fabrican con gran variedad que van desde el 36% hasta el 99% de contenido alúmina para soportar diferentes temperaturas y usos distintos. Los ladrillos que son utilizados para recibir hornos de fundición de acero son los ladrillos de dióxido de silicio, ahora bien, cuando algunos ladrillos comienzan a licuarse estos trabajan a una temperatura superior de 3000 °F (1650°C).



Figura 6. Ladrillos Refractarios

Fuente Fig. 6: Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos.

2.3.1.1. TIPOS DE LADRILLOS REFRACTARIOS

Tabla 1. Tipos de ladrillos refractarios

Tipo de Ladrillo Refractario	Designación	Características
Universal 30	U-30	Medianamente Refractario (1699 °C)
Universal 32	U-32	Altamente Refractario (1724°C)
Universal 33	U-33	Súper Refractario (1763°C)
Erecos 40	ER-40	Súper Refractario (1763°C)

Fuente: Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos

- **Universal 30 (U-30).**- Ladrillo medianamente refractario, indicado para la construcción de mamposterías de hornos las condiciones de operación no son muy severas-
- **Universal 32 (U-32).**- Ladrillo altamente refractario, empleado como revestimiento de seguridad en cucharas de procesos metalúrgicos y como revestimiento de trabajo en hornos donde las condiciones de operación no son muy severas.
- **Universal 33 (U-33).**- Ladrillo súper refractario, indicado para el servicio pesado como bóvedas, muros y pisos de hornos y calderas, cámaras de

combustión, zona fría de hornos rotatorios y en general donde además de una alta temperatura de servicio (1763°C) sea importante una buena resistencia al choque térmico y al ataque moderado de escoria y agentes químicos.

- **Erecos 40 (ER-40).**- Ladrillo súper refractario quemado a mayor temperatura que los convencionales, con muy buena resistencia al ataque por escorias, a la abrasión y al choque térmico, de baja porosidad y alta resistencia mecánica. Utilizado en el revestimiento de cucharas para transporte de acero y de excelente desempeño en la zona fría de horno de cemento.

2.3.2. AISLAMIENTO TÉRMICO

Los aislamientos térmicos son aquellos que tienen la capacidad para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos específicos. Ejemplos de estos aislantes térmicos específicos pueden ser las lanas minerales (lana de roca y lana de vidrio).



Figura 7. Ladrillos Refractarios

Fuente Fig. 7: Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos.

Aislantes para hornos comúnmente utilizados:

Tabla 2. Tipos de aislantes

Tipo de Aislante	Limite de Utilización (°F)
Tierra de infusorios, bloques de Asbesto y Caliza	1800-1900
Fibras:	1500-1700
Bloques de lana de escoria	
Cubierta de lana de escoria	800-1000
Cubierta de lana de vidrio	800-1000
Fibras sueltas	1500-1600
Vidrio-espumado	1600
Manta de fibra cerámica	2012

Fuente: www.paginas-de.com.ar/juntas/mantasceramicas.htm

2.3.3. MORTERO REFRACTARIO

Los morteros refractarios están constituidos por una mezcla de áridos refractarios finamente molidos, de arcillas plásticas, aditivos y ligantes especiales. Un mortero refractario, además de proporcionar estabilidad a la mampostería, debe prevenir la penetración y ser resistente al ataque de escorias, líquidos o gases corrosivos. El mortero refractario se debe seleccionar tan cuidadosamente como el ladrillo con el cual va hacer usado y debe ser compatible con la composición química del ladrillo.

Se utiliza para pegar ladrillos entre si y rellenar juntas entre ellos.



Figura 8. Mortero Refractario

Fuente Fig. 8: Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos.

2.3.3.1. TIPOS DE MORTEROS REFRACTARIOS.

Tabla 3. Tipos de Morteros Refractarios

Tipo de mortero Refractario	Características	Aplicación
REPEL X	Húmedo de fraguado al aire	Mamposterías de ladrillos aislantes:UA-20, UA-23, UA-26
UNIVERSAL	Seco de fraguado térmico	Mamposterías de ladrillos aislantes:U-30, U-32, U33 y Er-40
SUPER AEROFRAX	Húmedo de fraguado al aire	Mamposterías de ladrillos aislantes:U-30, U-32, U33

Fuente: Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos

2.3.4. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Los hornos de resistencias se definen como aquellos que utilizan el calor disipado por efecto Joule en una resistencia óhmica, la misma que puede estar constituida por la carga que se va a calentar (hornos de calentamiento indirecto), por las cuales circula corriente eléctrica.

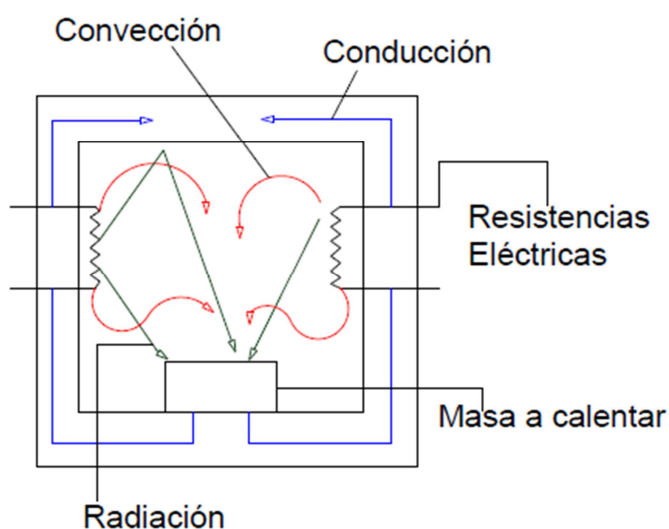


Figura 9. Horno de resistencias con calentamiento indirecto

Fuente Fig. 9: Resistencias Eléctricas S.A..

En los hornos de calentamiento directo, el material se coloca entre los electrodos (en contacto directo con ellos), ofreciendo una resistencia al paso de la corriente, y calentándose. Entre otras, estos hornos encuentran aplicación en la fabricación de electrodos de grafito, en el tratamiento térmico de metales y en hornos de sales para la cementación de aceros.

En los hornos de calentamiento indirecto, el material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes

En la figura 10, se destacan los elementos principales de un horno de resistencia de calentamiento indirecto y el curso de flujo térmico.

a) Por conducción.

El calor absorbido por la superficie de la carga por radiación y/o convección pasa a su interior por conducción lo que exige un gradiente de temperatura, es decir la temperatura en el centro de la carga será inferior a la de la superficie, no solamente durante el calentamiento (temperatura del horno mayor que el de la superficie de la carga), sino también durante una buena parte del mantenimiento a temperatura, hasta conseguir en la pieza la uniformidad de la temperatura requerida.

b) Por convección.

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento de fluido. Este movimiento transfiere

calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural como forzado.

En los hornos eléctricos de tratamientos térmicos de baja y media temperatura (hasta 750 ° C) es frecuente realizar el calentamiento de la carga mediante una corriente de aire o atmosfera controlada a elevada temperatura, que sede calor a la carga por convección.

c) Por radiación.

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

Es frecuente afirmar que por encima de 700 ° C el mecanismo de transmisión de calor por convección no es importante, mientras que por debajo de los 700°C se puede despreciar el mecanismo de radiación.

En la elaboración de las resistencias eléctricas se utilizan materiales que deben poseer, entre otras características, un elevada resistividad eléctrica, alta temperatura de fusión, resistividad a la oxidación en caliente y a la corrosión en el ambiente gaseoso producto de las reacciones químicas en juego. El tipo de resistencia a escoger para un horno dado se halla ligado principalmente a la temperatura de este.

2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS RESISTENCIAS.

Las resistencias de calentamiento indirecto se clasifican del siguiente modo:

a) Resistencias metálicas.

- Aleaciones a base Ni-Cr. De todas ellas la más utilizada en resistencias de hornos eléctricos es la 80 Ni – 20 Cr.
- Aleaciones ferríticas – son aleaciones Cr – Fe – Al.
- Otros materiales empleados sobre todo los hornos de vacío a alta temperatura, como el molibdeno, Tántalo y tungsteno.

b) Resistencias no metálicas.

- Tubos a base de carburo de silicio para temperaturas de hasta 1500°C.
- Silicato de molibdeno para temperaturas de hasta 1700°C.
- Grafito y molibdeno (en pastillas, cilindros o granulados en tubos) para temperaturas de hasta 1800°C.

c) Tubos radiantes.

d) Resistencia blindadas.- típicas para calentamiento de líquidos en baños, tanques de temple, etc.

Las resistencias metálicas se utilizan en forma de hilos con diámetros variables de fracción de mm a unos 6 mm, comúnmente enrollados en forma helicoidal o en forma de cintas dispuestas en zig-zag.

Por su parte, las resistencias no metálicas están constituidas por astas (o tubos) fijados horizontalmente entre dos paredes del horno o verticalmente entre el suelo y la cubierta.

2.4. SISTEMA AUTOMATIZADO

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

2.4.1. PARTES DE UN SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Un sistema automatizado de control consta de las siguientes partes:

- Parte Operativa.
- Parte de Mando.

2.4.1.1. PARTE OPERATIVA

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina, son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación adecuada.

Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores, y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

Detectores y Captadores

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de:

- La variación Transductor todo o nada: Suministran una señal binaria claramente diferenciada. Los finales de carrera son transductores de este tipo de ciertas magnitudes físicas del sistema.
- El estado físico de sus componentes.

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan transductores. Se clasifican en función del tipo de señal.

Transductores numéricos: Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias. Los encoders son transductores de este tipo.

Transductores analógicos: suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

Accionadores.

Es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso.

Se clasifican en:

- Eléctricos
- Neumáticos
- Hidráulicos

2.4.1.2. PARTE MANDO

Suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado

el autómatas programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

2.4.2. TECNOLOGÍAS CABLEADAS

Con este tipo de tecnología, el automatismo se realiza interconectando los distintos elementos que lo integran. Su funcionamiento es establecido por los elementos que lo componen y por la forma de conectarlos.

Los dispositivos que se utilizan en las tecnológicas cableadas para la realización del automatismo son:

- Relés Electromagnéticos
- Módulos lógicos neumáticos
- Tarjetas electrónicas

2.4.3. TECNOLOGÍAS PROGRAMADAS.

Con los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas en la realización de automatismos. Los equipos realizados para este fin son:

- Los ordenadores
- Los autómatas programables

El ordenador.-Son parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso. Pero al mismo tiempo, y debido a su diseño no específico para su entorno industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción.

Un autómata programable.-Es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos del ordenador.

2.4.4. OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

2.4.5. VENTAJAS DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

La automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, pudiéndose resaltar las siguientes:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, esta dependerá de la eficiencia del sistema implementado.

- Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- Existe una reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos (fabricación flexible y multifabricación).
- Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos.
- Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
- Disminución de la contaminación y daño ambiental.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

2.5.6. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR LA AUTOMATIZACIÓN.

Existen ciertos requisitos de suma importancia que debe cumplirse al automatizar, de no cumplirse con estos se estaría afectando las ventajas de la automatización, y por lo tanto no se podría obtener todos los beneficios que esta brinda, estos requisitos son los siguientes:

Compatibilidad electromagnética: Debe existir la capacidad para operar en un ambiente con ruido electromagnético producido por motores y máquina de revolución.

Expansibilidad y escalabilidad: Es una característica del sistema que le permite crecer para atender las ampliaciones futuras de la planta, o para atender las operaciones no tomadas en cuenta al inicio de la automatización.

Manutención: Se refiere a tener disponible por parte del proveedor, un grupo de personal técnico capacitado dentro del país, que brinde el soporte técnico adecuado cuando se necesite de manera rápida y confiable.

Sistema abierto: Los sistemas deben cumplir los estándares y especificaciones internacionales. Esto garantiza la interconectabilidad y compatibilidad de los atreves de interfaces y protocolos, también facilita la interoperabilidad de las aplicaciones y el traslado de un lugar a otro

2.4.6. DISPOSITIVOS DE CONTROL.

2.4.6.1. CONTROLADORES DE LÓGICA PROGRAMABLE (PLC).

Como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Los PLC sirven para realizar automatismos; son dispositivos electrónicos que reproducen programas informáticos, que permiten controlar procesos automáticamente. Se tiene que saber que hay infinidad de tipos de PLC, los cuales tienen diferentes propiedades, que ayudan a facilitar ciertas tareas para las cuales se los diseñan.

Un PLC es un equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles

de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.

Entrada: Corresponde al elemento o interfaz por el cual ingresan los datos que son adaptados y codificados en forma comprensible para la CPU. A la entrada se pueden conectar distintos tipos de captadores como por ejemplo interruptores, pulsadores, sensores, etc. Esta sección del PLC también cumple una misión de protección de los circuitos electrónicos internos.

Unidad central de Procesos: Esta sección realiza la interpretación de las instrucciones del programa ingresado a través del usuario y de acuerdo a los resultados obtenidos a la entrada activa o desactiva las salidas del PLC.

Memoria: Esta etapa es la encargada de almacenar la información del y los datos con los cuales trabaja la CPU. Dependiendo de la función se utilizarán distintos tipos de memoria, como por ejemplo: memoria de usuario, memoria de tabla de datos, memoria de sistema y memoria de almacenamiento.

Salida: Esta sección trabaja con las señales entregadas de la CPU, decodificándolas y amplificándolas para manejar distintos tipos de actuadores como por ejemplo relés, contactores, electro-válvulas, lámparas, etc. Esta etapa también cuenta con un sistema de protección para los circuitos internos.

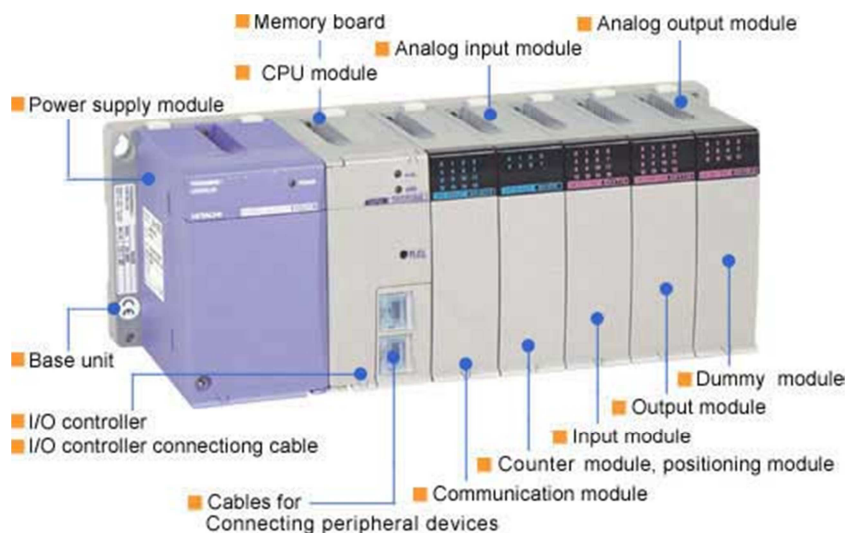


Figura 10. Estructura básica del PLC

Fuente Fig. 10: Rocatek S.A.

2.4.6.2. VENTAJAS DEL PLC.

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta de funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata útil para otra máquina o sistema de producción.

2.4.6.3. DESVENTAJAS DE UN PLC

- Costo elevado, ya que si no se tiene bien definido para el uso que se lo va a dar, puede tener un PLC sobrado para las funciones a automatizar, y en cambio se puede tener otro dispositivo más económico que haga la misma función.
- Cada fabricante tiene sus propios comandos, aunque similares, pero cambian para cada marca.
- El PLC, por ser una computadora, es vulnerable como tal. Si el programa se cuelga o se daña, se traba todo el proceso.
- Hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a unos de los técnicos de tal sentido.

2.4.6.4. MICROCONTROLADOR

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. En fin estas son básicamente algunas de sus partes.

- Memoria ROM (Memoria de sólo lectura).
- Memoria RAM (Memoria de acceso aleatorio).
- Líneas de entrada/salida (I/O) También llamados puertos.
- Lógica de control Coordina la interacción entre los demás bloques

Estas son las funciones especiales de las cuales disponen algunos micros:

- **Convertidores análogo a digital (A/D)**, en caso de que se requiera medir señales analógicas, por ejemplo temperatura, voltaje, luminosidad, etc.

Temporizadores programables (Timer's). Si se requiere medir períodos de tiempo entre eventos, generar temporizaciones o salidas con frecuencia específica, etc.

- **Interfaz serial RS-232.** Cuando se necesita establecer comunicación con otro microcontrolador o con un computador.
- **Memoria EEPROM.** Para desarrollar una aplicación donde los datos no se alteren a pesar de quitar la alimentación, que es un tipo de memoria ROM que se puede programar o borrar eléctricamente sin necesidad de circuitos especiales.

2.4.6.5. VENTAJAS DEL USO DE UN MICROCONTROLADOR

- Aumento de prestaciones, lo que implica un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad, lo que implica un menor riesgo de averías y menos ajustes.
- Disminución del tamaño del producto, con un menor volumen, mano de obra y stocks.
- Disminución del coste del producto.

2.4.7. CONTROLADORES DE TEMPERATURA

El controlador de temperatura es aquel que tiene la capacidad de mantener la temperatura adecuada en un horno para un tratamiento de un mineral en una refinería o para tratamientos térmicos de diferentes Aceros, o cómo podríamos hacer un control de un sistema de calefacción, es aquí donde entran a tallar los controles que rigen el comportamiento de la temperatura.



Figura 11. Controlador de temperatura

Fuente Fig. 11: Fanox Electronic

Los controladores de temperatura/proceso satisfacen las necesidades de una gran variedad de procesos industriales. Son ideales para equipos de manufactura de semiconductores, equipos de procesamiento de plásticos, de embalaje y aplicaciones de control de procesos industriales

2.5.8. SENSORES DE TEMPERATURA.

Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera y esta necesidad muchas veces también incluye la medición de la temperatura. Se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura para realizar las mediciones de la temperatura.

A fin de seleccionar el mejor sensor de temperatura, para cada aplicación se deben tener en cuenta varios factores:

- Temperatura máxima.
- Rango de temperatura a medir

- Exactitud
- Velocidad de respuesta
- Costo
- Requerimiento de mantenimiento

2.4.8. TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA

2.4.8.1. TERMOCUPLAS

La termocupla es un sensor de temperatura muy común utilizado industrialmente una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura.

Las termocuplas se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los aproximadamente 80 grados hasta aproximadamente los 1800 grados centígrados, con termocuplas estándares, con aleaciones especiales pueden llegarse a temperaturas superiores a los 3000 grados centígrados.

A pesar de los avances efectuados con otros sensores de temperatura, las termocuplas continúan siendo los más usados debido al intervalo de temperatura en el cual pueden utilizarse, su bajo costo y su versatilidad.



Figura 12. Termocupla

Fuente Fig. 12: info@silge.com.ar

Tipos De Termocuplas.

- **Tipo K** (Cromel (aleación de Ni-Cr) / Alumel (aleación de Ni -Al)): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Posee buena resistencia a la oxidación.
- **Tipo E** (Cromel / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
- **Tipo J** (Hierro / Constantán): Su rango de utilización es de $-270/+1200^{\circ}\text{C}$. Debido a sus características se recomienda su uso en atmósferas inertes, reductoras o en vacío, su uso continuado a 800°C no presenta problemas, su principal inconveniente es la rápida oxidación que sufre el hierro por encima de 550°C y por debajo de 0°C es necesario tomar precauciones a causa de la condensación de vapor de agua sobre el hierro.

- **Tipo T** (Cobre / Constantán): ideales para mediciones entre -200 y 260 °C. Resisten atmósferas húmedas, reductoras y oxidantes y son aplicables en criogenia. El tipo termopares de T tiene una sensibilidad de cerca de 43 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
- **Tipo N** (Nicrosil (Ni-Cr-Si / Nisil (Ni-Si)): es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros.
- Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a 300 °C).
- **Tipo B** (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1800 °C. Los tipo B presentan el mismo resultado a 0 °C y 42 °C debido a su curva de temperatura/voltaje, limitando así su uso a temperaturas por encima de 50 °C.
- **Tipo R** (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1300 °C. Su baja sensibilidad (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio quitan su atractivo.
- **Tipo S** (Platino / Rodio): ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1300 °C, pero su baja sensibilidad (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro ($1064,43$ °C).

Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen además una resolución menor. La selección de termopares es importante para asegurarse que cubren el rango de temperaturas a determinar.

2.4.8.2. TERMISTORES.

Compuestos de una mezcla sinterizada de óxidos metálicos, el termistor esencialmente un semiconductor que se comporta como un resistor térmico, con un coeficiente de temperatura negativo de un valor muy elevado. Los termistores también pueden encontrarse en el mercado con la denominación de NTC (Coeficiente Negativo de Temperatura), habiendo casos especiales de coeficiente positivo de temperatura, cuando su resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura y se los denomina PTC (Coeficiente Positivo de Temperatura). En algunos casos, la resistencia del termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta un 6 % por cada 1 ° C, de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a las variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose muy ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150 a 450 ° C.



Figura 13. Termistor

Fuente Fig. 13: info@silge.com.ar

Tipos De Termistores.

- **Pt 100.**

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

- **Pt 1000.**

Las sondas Pt 1000 presentan muy buenas características de exactitud, estabilidad en el tiempo y reproducibilidad de lecturas. Presentan una ventaja

respecto a las Pt100, el efecto de la longitud del cable es 10 veces menor ya que tienen un coeficiente de variación de temperatura 10 veces mayor.

Los límites teóricos de los elementos sensores de las sondas Pt 1000 son 650°C. Sin embargo, debido a los materiales utilizados en mangos, cables y vainas, las sondas sufren una variación importante de su límite máximo de medida.

2.4.9. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA APLICACIÓN DE UN HORNO DE TRATMIENTOS TERMICOS.

Al momento se seleccionar un controlador se debe estimar los siguientes ítems:

Elección de la familia (fabricante)

- Experiencia previa.
- Documentación.
- Herramientas de desarrollo y precio.
- Disponibilidad.

Elección de modelo concreto de un controlador.

- Precio del controlador.
- E/S y recursos internos.
- Consumo y velocidad.
- Memoria.
- Ancho de palabra.
- Diseño de la placa.

2.5. VENTAJAS Y APLICACIONES DE LOS HORNOS ELÉCTRICOS.

Las ventajas que pueden resultar al emplear un horno eléctrico son de carácter tecnológico, metalúrgico, social y económico.

Las ventajas de carácter tecnológico que presentan los hornos eléctricos son de notable importancia para su fácil y rápida instalación, tienen mandos a distancia, órganos de seguridad, dispositivos automáticos de cualquier género y controles directos e indirectos, así como fácil posibilidad de carga y de colada.

Por el lado metalúrgico, con estos hornos se puede alcanzar elevadas temperaturas, su regulación, los fenómenos inductivos y electrodinámicos, las fuertes corrientes que pueden absorber, permiten resolver todos los problemas de transformación, reducción, homogeneización, sobrecalentamiento, carburación, descarburación y otros, del modo más simple, obteniendo más producción, más limpia, y de rendimiento mayor por lo tanto lo que se está obteniendo es una mejor calidad en el producto.

En ciertos casos como en la obtención del aluminio y del fósforo, el horno eléctrico no tiene competencia por que los resultados son más homogéneos ya que la regulación del calor es casi matemática, esto se logra debido a que la mayoría de estos hornos tienen un control de temperatura, al lograr tener una uniformidad de temperatura, se los utiliza también para la elaboración de cerámicas, el vidriado de colores, para la uniformidad de tonalidades en los azulejos, vajillas, y en el área donde más se los utiliza es en la de tratamientos térmicos de aceros ya que se necesita temperaturas controladas para poder tener un temple, recocido, revenido o cementado.

La ausencia de residuos carbónicos unido a la limpieza inherente al procedimiento, son cualidades que se reflejan después, inevitablemente, en la

presentación de los productos conseguidos por ejemplo en el esmaltado de porcelanas, y en artículos alimenticios donde el factor higiénico debe ser esencial.

Al lado de todo esto está la importancia del factor humano-social, del cual el moderno fundidor u operador disfruta gracias a las condiciones higiénicas, sanitarias y preventivas de accidentes que los hornos eléctricos pueden garantizar, por sus características constructivas y funcionales, que eliminan los humos, los polvos, los esfuerzos humanos, los golpes de calor, los ruidos, las intoxicaciones, etc.

Al analizar los costes de la caloría eléctrica se mira claramente que cuesta mucho más que la caloría combustible, pero se debe realizar un análisis racionalmente de costes, tomando en cuenta que al utilizar un horno eléctrico se va a necesitar un menor espacio ya que no son necesario las instalaciones de aparatos auxiliares, así como la supresión de depósitos para almacenaje de combustible.

2.7. TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Es la combinación de operaciones de calentamiento, permanencia a la temperatura de calentamiento y enfriamiento, aplicadas a un metal o aleación en estado sólido en forma tal que producirá las propiedades deseadas.

Un tratamiento térmico consiste en:

1. Calentamiento hasta una temperatura determinada.
2. La permanencia a dicha temperatura.
3. El enfriamiento hasta la temperatura ambiente en un medio determinado.

Este es el proceso al que se someten los metales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono.

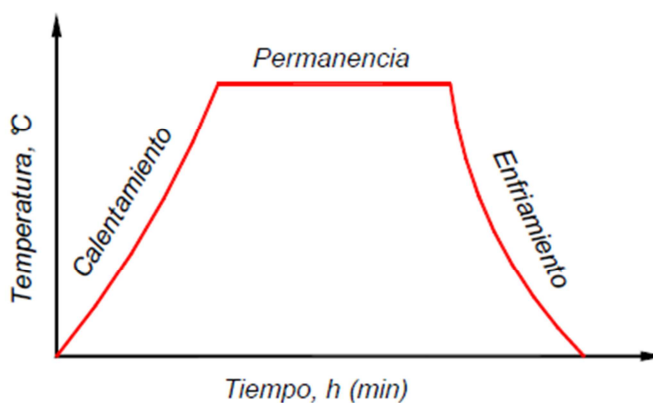


Figura 14. Grafica de tratamiento térmico

Fuente Fig. 13: Ciencia e Ingeniería de los Materiales Edición 3

2.7.1. REGIMEN DE TRATAMIENTO TERMICO.

Los parámetros que se deben controlar en todo tratamiento térmico del acero son:

La velocidad de calentamiento, temperatura de calentamiento, tiempo de permanencia y la velocidad de enfriamiento, para determinar estos parámetros se utiliza el diagrama Hierro – Carburo de Hierro

Velocidad De Calentamiento.

La rapidez de calentamiento hasta la temperatura deseada es tan importante como otros factores en el ciclo de tratamiento térmico. Los materiales producidos por el trabajo en frío deben calentarse más lentamente que los trabajados en caliente para

evitar la distorsión. Se puede considerar la diferencia en temperatura que tiene lugar dentro de las secciones gruesas y delgadas de la pieza de sección transversal variable y, siempre que sea posible, se debe tomar alguna medida para hacer más lento el calentamiento de las secciones más delgadas, de tal modo que se pueda minimizar el esfuerzo térmico y la distorsión.

Temperatura De Calentamiento.

Se debe calentar el material a una temperatura por encima del intervalo crítico para formar austenita. Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita. De acuerdo al tipo de tratamiento térmico que se va a realizar al acero y a su contenido de carbono se establecerá estas temperaturas de calentamiento con la ayuda del diagrama Fe-Fe₃C.

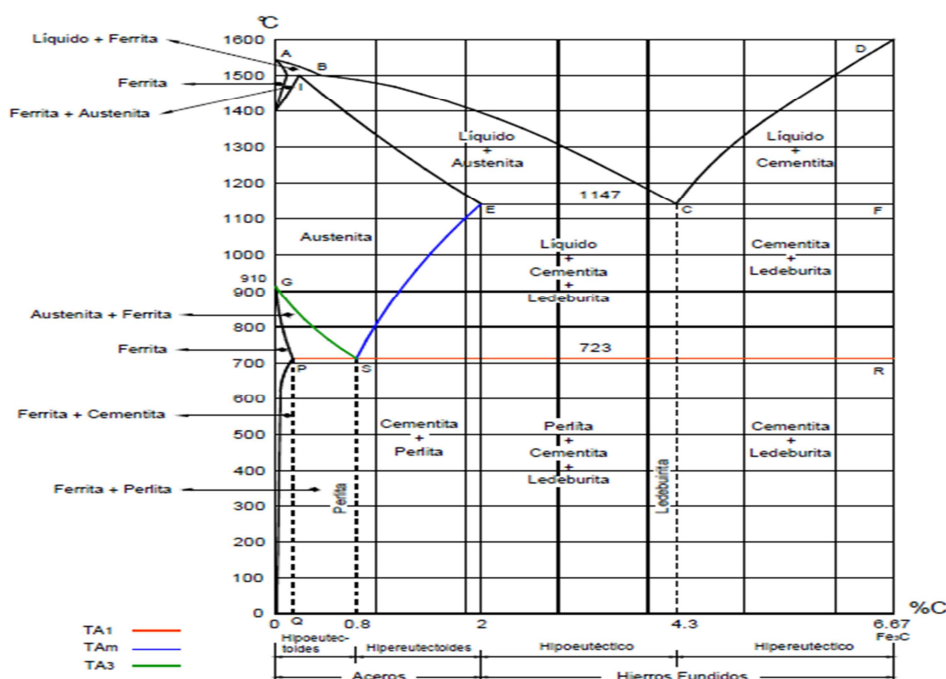


Figura 15. Diagrama Hierro – Carburo de Hierro

Fuente Fig. 15: Ciencia e Ingeniería de los Materiales Edición 3

Tiempo De Permanencia.

El calentamiento de una pieza no se realiza de manera uniforme, las superficies externas alcanzan mayores temperaturas, esto implica que se debe esperar un determinado tiempo para que la temperatura de calentamiento sea uniforme en toda la pieza, se produzca la transformación de la perlita en austenita tanto en el centro como en la superficie de la pieza. Los largos tiempos de permanencia y sobre todo a altas temperaturas son muy peligrosos ya que el grano austenítico crece rápidamente dejando al acero con estructuras finales gruesas y frágiles.

Velocidad De Enfriamiento.

La velocidad de enfriamiento depende del medio en el cual se realiza el de la forma y de las dimensiones de la pieza a enfriar, esta debe ser rigurosamente controlada en función del tipo de tratamiento que se realice.

2.6.2. TIPOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS.

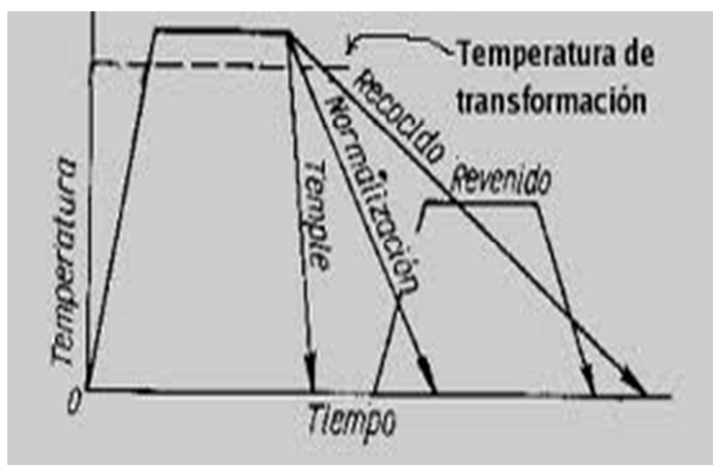


Figura 16. Tipos de tratamientos térmicos

Fuente Fig. 16: metalurgia/tratatermacero.html

2.6.2.1. RECOCIDO.

Es el un tratamiento térmico que, en general, tiene como finalidad principal ablandar el acero, regenerar la estructura de aceros sobrecalentados o simplemente eliminar las tensiones internas que siguen a un trabajo en frío. Implica un calentamiento hasta una temperatura que permita obtener plenamente la fase estable a alta temperatura seguido de un enfriamiento lo suficientemente lento como para que se desarrollen todas las reacciones completas.

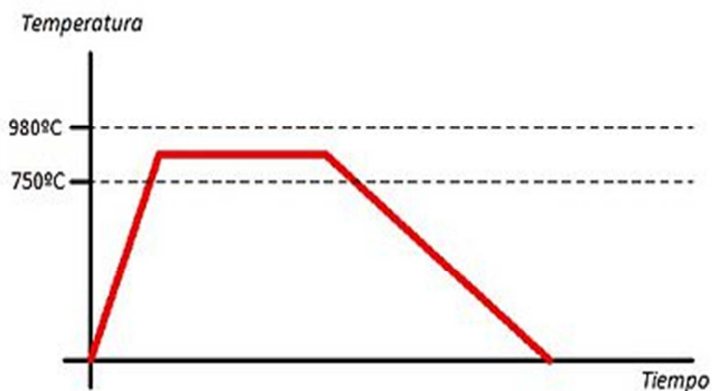


Figura 17. Temperatura del Recocido del acero

Fuente Fig. 16: Ciencia e Ingeniería de los Materiales Edición 3

Tipos De Recocidos.

Recocido De Regeneración O Total.

Cuando se trata de ablandar el acero y regenerar su estructura. Consiste en calentar el acero a una temperatura entre 30 °C y 50 °C superior a la crítica, mantener la temperatura durante un tiempo y dejarlo enfriar lentamente con objeto de conseguir un grano fino que facilite su mecanizado y una perlita con una configuración más dislocada. En general se deja enfriar dentro del mismo horno y se

consiguen estructuras con grandes masas de perlitas rodeadas de ferrita o cementita.

Recocido De Globalización.

Debido a que los aceros hipereutectoides tienen poca maquinabilidad por la presencia de láminas duras de cementita se debe someter a este tratamiento térmico conocido también como recocido globular, mediante el carbono adopta una forma esférica o globular esta estructura proporciona no solo una buena maquinabilidad sino también una buena ductilidad. Los métodos más frecuentes de realizar este tratamiento térmico son:

- 1.-Permanencia prolongada a una temperatura inmediatamente por debajo de la crítica inferior A1 (700 °C).

- 2.-Empleo de un ciclo oscilante de calentamiento y enfriamiento a temperaturas que son unas veces inmediatamente superiores y otras inferiores a las correspondientes a la línea crítica inferior A1.

Recocido De Alivio De Tensiones.

Es conocido también como subcrítico, tiene por objeto la eliminación de las tensiones internas que aparecen en el material después de haber sufrido un fuerte mecanizado o en cualquier otro proceso de deformación en frío. Se realiza normalmente a temperaturas inferiores a las correspondientes a la línea crítica inferior a A1 (538 a 648 °C).

Recocido Contra Acritud.

Este tratamiento se utiliza en las industrias que trabajan con chapas y alambres y se realiza calentando el acero a temperaturas por debajo de las críticas inferiores

A1(538 a 650 °C). Se aplican después de que los materiales han sufrido una deformación en frío y durante el calentamiento el acero se ablanda debido a la recristalización, lo que le permite sufrir una nueva deformación.

2.6.2.2. NORMALIZADO.

Es un tratamiento térmico que se emplea para dar al acero una estructura y unas características tecnológicas que se consideran el estado natural o inicial del material que fue sometido a trabajos de forja, laminación o tratamientos defectuosos. Se hace como preparación de la pieza para el temple.

El procedimiento consiste en calentar la pieza entre 30 y 50 grados centígrados por encima de la temperatura crítica superior (A_3 o A_{cm}), tanto para aceros hipereutectoides, como para aceros hipoeutectoides, y mantener esa temperatura el tiempo suficiente para conseguir la transformación completa en austenita. A continuación se deja enfriar en aire tranquilo, obteniéndose una estructura uniforme, con esto se consigue una estructura perlítica con el grano más fino y más uniforme que la estructura previa al tratamiento, consiguiendo un acero más tenaz.

2.6.2. TEMPLE.

Es un tratamiento térmico al que se somete al acero, concretamente a piezas o masas metálicas ya conformadas en el mecanizado, para aumentar su dureza, resistencia a esfuerzos y tenacidad. El proceso se lleva a cabo calentando el acero a una temperatura aproximada de 915°C en el cual la ferrita se convierte en austenita, después la masa metálica es enfriada rápidamente, sumergiéndola o rociándola en

agua, en aceite o en otros fluidos o sales. Después del temple siempre se suele hacer un revenido.

Características Generales Del Temple.

- Es el tratamiento térmico más importante que se realiza.
- Hace el acero más duro y resistente pero más frágil.
- La temperatura de calentamiento puede variar de acuerdo a las características de la pieza y resistencia que se desea obtener.
- El enfriamiento es rápido.

2.6.2.3. REVENIDO

Es un tratamiento térmico que sigue al de templado del acero. Tiene como fin reducir las tensiones internas de la pieza originadas por el temple o por deformación en frío. Mejora las características mecánicas reduciendo la fragilidad, disminuyendo ligeramente la dureza, esto será tanto más acusado cuanto más elevada sea la temperatura de revenido.

Características Generales Del Revenido.

- Es un tratamiento que se da después del temple.
- Se da este tratamiento para ablandar el acero.
- Elimina las tensiones internas.
- La temperatura de calentamiento está entre 150 y 500 °C (debe ser inferior a Ac1).
- El enfriamiento puede ser al aire o en aceite.

CAPÍTULO 3.

DISEÑO TÉRMICO DEL HORNO

3.1. PARAMETROS DE DISEÑO.

En este apartado se presentan los factores básicos a tomar en cuenta a la hora de afrontar el diseño de un horno para tratamientos térmicos, así como los criterios fundamentales para la elección de las principales variables del equipo, factores que especifiquen las dimensiones y materiales de construcción, siendo importante la temperatura de operación, la misma que por tratarse de un horno intermitente variara a lo largo del tiempo, siguiendo un ciclo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento sin extraer la carga del interior del horno.

Es por ello que estructurar el diseño básico de los hornos, tanto desde el punto de vista energético como geométrico, se requiere de una vasta tarea.

Entre los principales parámetros que se ha considerado para el diseño del horno, están los siguientes:

- Dimensiones internas del horno
- Dimensiones máximas de la probeta
- Temperaturas de diseño
- Selección de materiales para las paredes, puerta.
- Calor que se transfiere a través de los elementos que conforman el horno.

3.2. DIMENSIONES INTERIORES DE LA CAMARA.

a = Ancho = 120 mm

b = Altura = 120 mm

c = Profundidad = 200 mm

Calculo del volumen interior de la cámara de calentamiento.

V = Volumen interior de la cámara.

$V_{camara} = a \cdot b \cdot c$

(3.1)

$V_{camara} = 120\text{mm} \cdot 120\text{mm} \cdot 200\text{mm}$

$V_{camara} = 2880000\text{mm}^3 = 0.00288 \text{ [m}^3\text{]}$

d = ancho – acero

e = largo – acero

f = profundidad – acero

$V_{acero} = d \cdot e \cdot f$

$V_{acero} = 120 \cdot 60 \cdot 80 \text{ [mm]}$

$V_{acero} = 576000 \text{ [mm}^3\text{]} = 0,000576 \text{ [m}^3\text{]}$

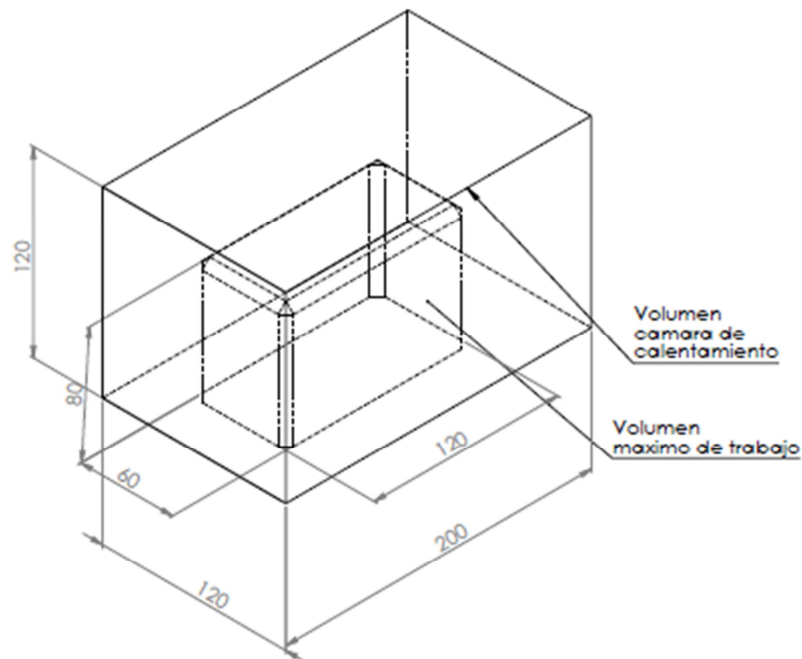


Figura 18. Dimensiones de la cámara de calentamiento

Fuente Fig. 18: Elaboración propia.

3.3. CANTIDAD DE CALOR A IMPARTIR A LA CARGA.

La cantidad de calor que absorbe la carga se la puede separar en algunas partes es decir: la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del aire y la cantidad de calor que absorbe el material a realizar el tratamiento térmico.

$$Q_C = Q_A + Q_m \quad (3.2)$$

Donde:

Q_A = Calor debido al calentamiento del aire.

Q_m = Calor debido al calentamiento del material a realizar el tratamiento térmico.

- **Calor que absorbe el aire.**

Para el cálculo de dicho calor nos valemos de una ecuación que es muy conocida en el campo de la ingeniería:

$$Q_A = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3.3)$$

Donde:

m = Masa [Kg]

C_p = Calor específico [KJ/Kg°C]

ΔT = Diferencia de temperaturas.

Primeramente se calcula la masa, ya que tengo el volumen y la densidad del aire de la siguiente manera:

Tabla 4. Valores de las propiedades del aire (Anexo 10)

T(°K)	ρ (kg/m ³)	C_p (kj/kg°k)
1200	0,2902	1.175
1300	0,2679	1,189

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Valores de las propiedades del aire a 1000 °C

T(°K)	ρ (kg/m ³)	Cp (kJ/kg°k)
1273	0,274	1,185

Fuente: Elaboración propia

$$m_A = \rho \cdot V \quad (3.4)$$

$$\rho_A = \text{Densidad del aire a } 1000^\circ\text{C} = 0.274 \text{ [Kg/m}^3 \text{]} (\text{Anexo 7})$$

$$V_A = V_{\text{camara}} - V_{\text{vacero}}$$

$$V_A = 0.00288 - 0,000576$$

$$V_A = 0,002304 \text{ [m}^3 \text{]}$$

$$m_A = 0.274 \text{ Kg/m}^3 * 0.002304 \text{ m}^3 = 0.000631 \text{ [Kg]}$$

$$Q_A = m \cdot C_{pA} \cdot (T_f - T_i) \quad (3.5)$$

$$C_{pA} = \text{Calor específico del aire a } 1000^\circ\text{C} = 1.185 \text{ [KJ/Kg}^\circ\text{K]} (\text{Anexo 7})$$

Por lo tanto se tiene:

$$Q_A = 0.000631 \text{ Kg} * 1.185 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{k} * (1273^\circ\text{K} - 295^\circ\text{K})$$

$$\underline{Q_A = 0,7316 \text{ [KJ]}}$$

- **Calor debido al calentamiento del material al realizar el tratamiento térmico.**

$$Q_m = m * C_p * \Delta T \quad (3.6)$$

Para el cálculo de la masa del acero se tomo en cuenta un volumen real

Para la realización de tratamientos térmicos.

$$m = \rho \cdot V$$

$$V_{\text{vacero}} = 120 * 60 * 80 \text{ [mm]}$$

$$V_{\text{vacero}} = 576000 \text{ [mm}^3 \text{]} = 0,000576 \text{ [m}^3 \text{]}$$

$$\rho = 7865 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$$

$$m = 7865 * 0,000576 = 4,5 \text{ [kg]}$$

$$C_p = \text{Calor específico del Acero} = 0.460 \text{ [KJ/Kg}^\circ\text{K]} (\text{Anexo 6})$$

$$Q_m = 4,5 \text{ Kg} * 0.460 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} * (1273^\circ\text{K} - 295^\circ\text{K}).$$

$$Q_m = 2024,46 \text{ KJ}$$

$$Q_C = Q_A + Q_m$$

$$Q_C = 0,7316 \text{ KJ} + 2024,46 \text{ KJ}$$

$$Q_C = 2025,19 \text{ KJ} = 562,55 \text{ [W-h.]}$$

3.4. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

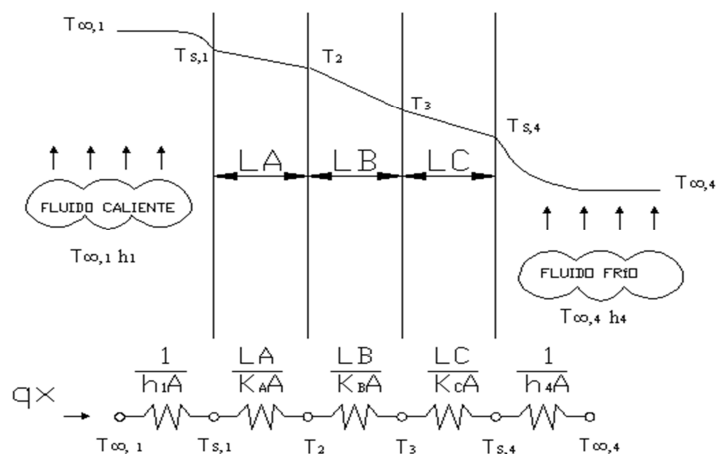


Figura 19. Circuito equivalente para una pared compuesta en serie

Fuente Fig. 19: Elaboración propia.

Se considera estructuras compuestas en las cuales el flujo de calor es unidimensional, por lo menos aproximadamente. Para hacer que el tratamiento resulte aplicable a casos prácticos cuyas temperaturas de superficie por lo general se desconocen. Se incluirá en el tratamiento del flujo de calor a través de las resistencias térmicas. Se supondrá que el sistema está expuesto por un lado a un medio a alta temperatura constante y conocida y por el otro medio a baja temperatura constante y conocida.

La figura representa una pared compuesta de tipo generalmente utilizado en un horno.

Analizando el circuito térmico obtendremos la siguiente ecuación.

3.5. CALCULO DE PERDIDAS DE CALOR.

3.5.1. RESISTENCIAS TÉRMICAS EN LAS PAREDES DEL HORNO.

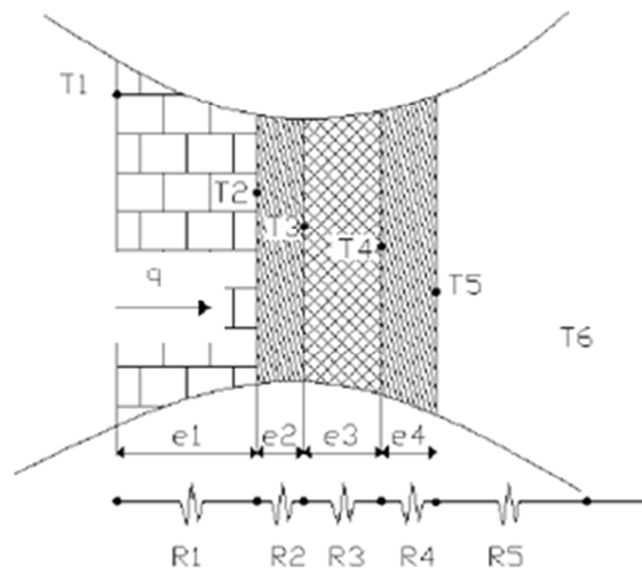


Figura 20. Corte lateral de la pared de la cámara de calentamiento

Fuente Fig. 20: Elaboración propia.

Donde:

T1 = Temperatura en la pared interior del horno = 1000°C

T5 = Temperatura en la superficie exterior del horno

T6 = Temperatura del ambiente = 22°C

e1 = Espesor del ladrillo refractario = 0.05m

e2 = Espesor del tol negro = 0.002m

e3 = Espesor de la manta cerámica = 0.025m

e4 = Espesor del tol negro = 0.0015m

R1 = Resistencia térmica del ladrillo refractario

R2 = Resistencia térmica del tol negro de 2mm

R3 = Resistencia térmica de la manta cerámica

R4 = Resistencia térmica del tol negro de 1.5 mm

R5 = Resistencia térmica por convección del aire

Siendo:

$$R1 = \frac{e1}{K1 * A1}$$

Resistencia de calor por Conducción.

$$R2 = \frac{e2}{K2 * A2}$$

Resistencia de calor por Conducción.

$$R3 = \frac{e3}{K3 * A3}$$

Resistencia de calor por Conducción.

$$R4 = \frac{e4}{K4 * A4}$$

Resistencia de calor por Conducción.

$$R5 = \frac{1}{h0 * A4}$$

Resistencia de calor por Convección

Donde:

K1 = Conductividad térmica del ladrillo refractario

K1 = 1.05 [W/m°K] (Anexo 8)

K2 = Conductividad térmica del tol negro de 2mm

K2 = 68 [W/m°K] (Anexo 8)

K3 = Conductividad térmica de la manta cerámica.

K3 = 0.03 [W/m°K] (Anexo 8)

K_4 = conductividad térmica del tol negro de 1.5 mm

$K_4 = 68 \text{ [W/m}^\circ\text{K]}$ (Anexo 8)

h_o = Coeficientes de convección en el exterior del horno

A_1 = Área de transferencia de calor del ladrillo refractario.

A_2 = Área de transferencia de calor del tol negro

A_3 = Área de transferencia de calor de la manta cerámica

A_4 = Área del exterior del horno.

3.6. CALCULO DE ÁREAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

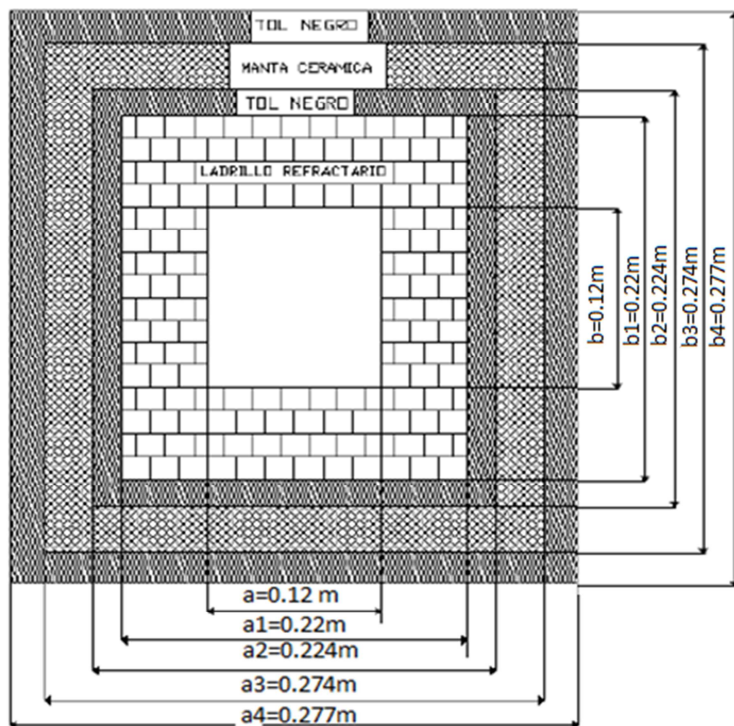


Figura 21. Vista frontal – cámara de calentamiento

Fuente Fig. 21: Elaboración propia.

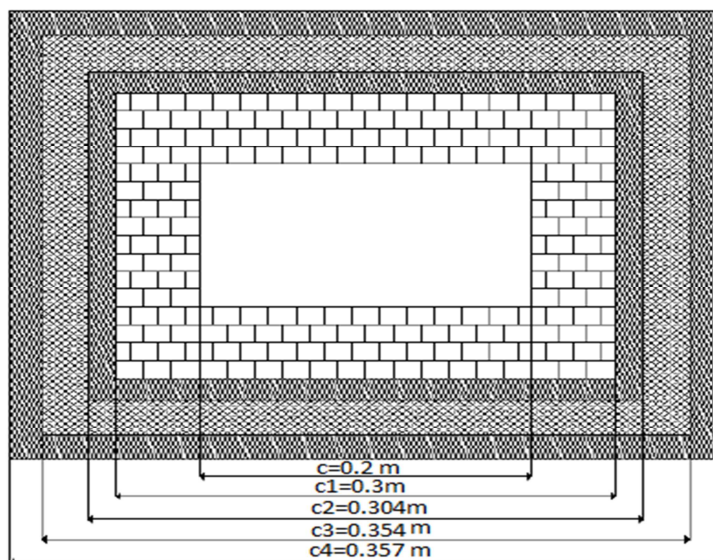


Figura 22. Vista lateral – cámara de calentamiento

Fuente Fig. 22: Elaboración propia.

Para el cálculo de las áreas se supondrá que las paredes son homogéneas es decir que no se tomara en cuenta las aberturas dejadas para las resistencias eléctricas.

$$A1=2((a1*c1)+(b1*c1)+(a1+b1))$$

$$A1= 2((0.22m*0.3m)+(0.22m*0.3m)+(0.22m*0.22m))$$

$$A1=0.361 [m^2]$$

$$A2=2((a2*c2)+(b2*c2)+(a2+b2))$$

$$A2= 2((0.224m*0.304m)+(0.224m*0.304m)+(0.224*0.224))$$

$$A2=0.373 [m^2]$$

$$A3=2((a3*c3)+(b3*c3)+(a3+b3))$$

$$A3= 2((0.274m*0.354m)+(0.274m*0.354m)+(0.274m*0.274m))$$

$$A3= 0.538 [m^2]$$

$$A4=2((a4*c4)+(b4*c4)+(a4+b4))$$

$$A4=2((0.277m*0.357m)+(0.277m*0.357m)+(0.277m*0.277m))$$

$$A4 = 0.549 [m^2]$$

3.7. CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN DEL AIRE

Para conocer el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección debe hacerse uso del número de Nusselt, número adimensional que relaciona la resistencia conducción entre la película del fluido en contacto con la pared sólida y la resistencia de convección del fluido en movimiento.

Para evaluar el número de Nusselt se puede hacer uso de la siguiente ecuación:

$$Nu= C (Gr * Pr) \quad \square \quad (3.7)$$

Donde:

Gr = Numero de Grashof

Pr = Numero de Prandt

C y P = Constantes

————— (3.8)

g = Aceleración de la gravedad

β = Coeficiente de expansión térmica volumétrica.

ρ = Densidad del aire

u = Viscosidad absoluta

ΔT = Diferencia de temperaturas entre la superficie exterior del horno y la media del ambiente = $T_5 - T_6$.

L = Longitud característica.

Las propiedades del aire se evalúan con la temperatura de película; gracias a la cámara termografica FLUKE TI25 se realizo las siguientes lecturas de temperatura:



Figura 23. Cámara termografica FLUKE TI 25

Fuente Fig. 23: Laboratorio de Materiales DECEM.

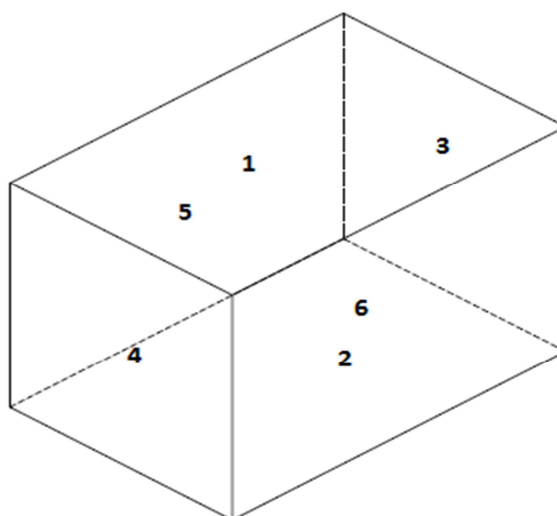


Figura 24. Paredes laterales - estructura exterior

Fuente Fig. 24: Elaboración propia.

Tabla 6. Temperaturas - estructura exterior.

PARED	Variación de temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)
1	62 - 70	66
2	66 - 71	68,5
3	61 - 69	65
4	62 - 67	64,5
5	59 - 66	62,5
6	50 - 67	63,5
Temperatura Promedio Final (°C)		65

Fuente: Elaboración propia

Con esta temperatura filmica determinamos las propiedades del aire.

Tabla 7. Valores de las propiedades del aire (Anexo10)

T(°K)	P(Kg/m3)	u(Kg/m.s)x10-5	Pr	K(W/m°K)
300	1.1614	1.983	0.707	0.026
350	0.9950	2.075	0.700	0.03

Fuente: Elaboración propia

Interpolando con la temperatura de 316 °K tenemos:

Tabla 8. Valores de las propiedades del aire a 308 °K

T(°K)	P(Kg/m3)	u(Kg/m.s)x10-5	Pr	K(W/m°K)
316	1.1081	1.922	0.704	0.027

Fuente: Elaboración propia

Longitud Característica.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{LH} + \frac{1}{LV} + \frac{1}{LL} \quad (3.9)$$

L = Longitud característica

LH = Longitud horizontal de cámara

LV = Longitud vertical de la cámara.

LL = Longitud lateral de la cámara.

$$LH = a + 2 \cdot (e_1 + e_2 + e_3 + e_4)$$

$$LH = 0.12 + 2 \cdot (0.05 + 0.002 + 0.025 + 0.0015) \text{ [m]}$$

$$LH = 0.277 \text{ [m]}$$

$$LV = b + 2 \cdot (e_1 + e_2 + e_3 + e_4)$$

$$LV = 0.12 + 2 \cdot (0.05 + 0.002 + 0.025 + 0.0015) \text{ [m]}$$

$$LV = 0.277 \text{ [m]}$$

$$LL = c + 2 * (e1+e2+e3+e4)$$

$$LL = 0,2 + 2*(0,05+0,002+0,025+0,0015) \text{ [m]}$$

$$LL = 0,357 \text{ [m]}$$

Despejando L tenemos:

$$L = \frac{1}{\frac{1}{LH} + \frac{1}{LV} + \frac{1}{LL}} = \frac{1}{\frac{1}{0.277} + \frac{1}{0.277} + \frac{1}{0.357}} = 0.0997 \text{ [m]}$$

Coefficiente de expansión volumétrica.

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (3.10)$$

$$\beta = \frac{1}{316^0\text{K}}$$

$$\beta = 3.165 * 10^{-3} \text{ [}^\circ\text{K}^{-1}\text{]}$$

$$Gr = (\Delta T) \left(\frac{g * \beta * \rho^2}{u^2} \right) L^3 \quad (3.11)$$

$$Gr = (338 - 295) \left(\frac{9.81 * 3.165 * 10^{-3} * 1.1081^2}{(1.922 * 10^{-5})^2} \right) 0.0997^3$$

$$Gr = (43)(1.027 * 10^8)(0.0997)^3$$

$$Gr = 4.37 * 10^6$$

Numero de Rayleigh

$$Ra = Gr * Pr \quad (3.12)$$

$$Ra = (4.37 * 10^6)(0.704)$$

$$Ra = 3,0814 * 10^6$$

Si $10^4 < Gr * Pr < 10^9$ entonces $C=0.6$ y $m=1/4$ (ANEXO 9)

Numero de Nusselt

$$Nu = C(Pr * Gr)^m$$

$$Nu = 0.6(3.0814 * 10^6)^{1/4}$$

$$Nu = 25.14$$

Coeficiente de Convección

$$h = \frac{Nu \cdot K}{L} \quad (3.13)$$

$$h = \frac{25.14 \cdot 0.026664 \frac{W}{m \cdot K}}{0.0997 \text{ m}}$$

$$h = 6.81 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

3.8. PERDIDA DE CALOR TOTAL.

$$q = \frac{T_1 - T_6}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad (3.14)$$

$$q = \frac{T_1 - T_6}{\frac{e_1}{K_1 \cdot A_1} + \frac{e_2}{K_2 \cdot A_2} + \frac{e_3}{K_3 \cdot A_3} + \frac{e_4}{K_4 \cdot A_4} + \frac{1}{h \cdot A_4}}$$

$$q = \frac{1273 - 295}{\frac{0.05}{1.05 \cdot 0.361} + \frac{0.002}{68 \cdot 0.373} + \frac{0.025}{0.03 \cdot 0.538} + \frac{0.0015}{68 \cdot 0.549} + \frac{1}{6.81 \cdot 0.549}}$$

$$q = 501.94 \text{ [W]}$$

3.9. PERDIDAS DE CALOR DEBIDO A LA APERTURA DE COMPUERTA

Debemos anotar que existe una pérdidas de calor por radiación debido a la apertura de la compuerta donde se produce una diferencia de temperatura entre la cámara y el ambiente.

Debido al poco tiempo que la compuerta permanece abierta la transferencia de calor es mínima ya que la recuperación de temperatura es inmediata; razón por la cual no será considerada en las pérdidas de calor.

3.10. RENDIMIENTO DEL HORNO.

Rendimiento Térmico

Se obtiene a partir del calor requerido Q_c y el calor total perdido que según la ecuación de rendimiento térmico

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_c + q} \quad (3.15)$$

$$Q_c = 562.55 [w - h]$$

$$q = 501.94 [w]$$

Para que las unidades del cálculo sean compatibles, al calor requerido Q_c [w-h] se divide para 1.5 horas [h] que es el tiempo que necesita el horno para alcanzar la temperatura de los 1000 °C, por lo tanto $Q_c = 375.03 [w]$

$$\eta = \frac{375.03[w]}{(375.03 + 501.94)[w]}$$

$$\eta = 0.427$$

Rendimiento Térmico Neto de Operación

Es igual a la relación existente entre el peso de la carga expresado en (kg) y la correspondiente cantidad de calor suministrado al sistema para una determinada elevación de temperatura en Kw – h.

$$Nto = \frac{\text{peso-carga}}{kw-h} \quad (3.16)$$

$$Nto = \frac{4.5 [kg]}{0.562[kw - h]}$$

$$Nto = 7.99 \text{ [kg/kw-h]}$$

3.11. ENERGIA REQUERIDA DEL HORNO.

La energía requerida por el horno se obtiene relacionando el calor requerido para el horno en un determinado tiempo y el rendimiento.

$$P = \frac{Qc}{\eta * t} \quad (3.17)$$

Donde:

t= tiempo necesario para calentar el Acero (tratamiento térmico).

t= 1.5 Hora.

$$P = \frac{562.65[w - h]}{0.427 * 1.5[h]}$$

$$P = 876.97 [w]$$

3.12. CALCULO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA.

Con la potencia obtenida anteriormente se puede calcular el valor de la resistencia necesario para el funcionamiento optimo del horno, también se puede obtener un dato necesario que es la corriente con la que se alimentara el circuito eléctrico.

Mediante la ley de ohm tenemos que:

$$P=V*i \quad (3.18)$$

Donde:

P= Potencia del horno, cuyo valor es 876.97 W.

V= Tensión disponible, cuyo valor es de 220 V.

I= Intensidad del horno en Amp.

De aquí podemos despejar I:

$$I = \frac{P}{V} \quad (3.19)$$

El circuito será alimentado con 220V, entonces:

$$I = \frac{876.97 [W]}{220 [V]}$$

$$I = 3.98 [\text{Amp}]$$

Con el valor de la corriente obtenemos el valor de la resistencia con:

$$R_t = \frac{V}{I} \quad (3.20)$$

$$R_t = \frac{220 [V]}{3.98 [\text{Amp}]}$$

$$R_t = 55.18 [\Omega]$$

Para este horno utilizaremos un tipo de material especial para hornos de alta temperatura llamado KANTHAL A-1 el cual es de una aleación compuesta principalmente por hierro y cromo (20–30 %), aluminio (4–7,5 %) y está diseñado para trabajar a temperaturas hasta 1200 °C.

Es necesario conocer algunas propiedades del KANTHAL ya que tendremos que saber cuánto material será necesario utilizar para hacer las resistencias, estas propiedades son importantes porque cambian del tipo de aleación con que se trabaje.

Tabla 9. Propiedades del KANTHAL A-1

Propiedades del KANTHAL A-1	
Tipo de aleación	hierro y cromo (20–30 %), aluminio (4–7,5 %)
Diámetro	1.30 mm
Resistividad (ρ)	$1.45 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$
Coefficiente de resistividad a 1000 °C	1.045

Fuente: KANTHAL súper ER

Las resistencias que se utilizarán serán del tipo arrollado en espiral las mismas que estarán ubicadas en las paredes del ladrillo refractario.

Resistencia eléctrica a 20°C.

Este dato es importante porque con el conoceremos la resistencia por metro que existe en el Kanthal.

$$R_{20} = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (3.21)$$

Donde:

R_{20} = Resistencia eléctrica a 20°C.

ρ = Resistividad en Ω -m.

L = Longitud del material en m.

A = Área transversal en m^2

$$A = \frac{\pi \phi^2}{4} \quad (3.22)$$

Donde:

ϕ = Diámetro del conductor m.

$$A = \frac{\pi * 0.0013^2}{4}$$

$$A = 1.32 \times 10^{-6} [\text{m}^2]$$

$$R_{20} = \frac{1.45 \times 10^{-6} \Omega \text{m} \cdot 1 \text{m}}{1.32 \times 10^{-6} \text{m}^2}$$

$$R_{20} = 1.11 [\Omega]$$

Así que tenemos que por cada metro habrá 1.11 Ω

3.13. CALCULO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA A LA TEMPERATURA DE TRABAJO.

Esta resistencia será calculada con el coeficiente de resistividad, este coeficiente nos sirve para saber cuánto cambia la resistencia con los cambios de temperatura.

El valor de coeficiente será de 1.045 a 1000°C tomando las tablas de coeficientes del KANTHAL.

$$R_T = C_t \times R_{20} \tag{3.23}$$

Donde:

R_t = Resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo en Ω

C_t = Coeficiente de resistividad a 1000°C

$$R_T = 1.045 \cdot 1.11 [\Omega] = 1.16 [\Omega]$$

Con esto tenemos que la resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo cambia a 1.16 Ω por metro.

Ahora con el valor obtenido de 68.38 Ω para el horno y el valor obtenido de para el horno y el valor obtenido de 1,16 Ω /m de la resistencia de trabajo, podemos saber cuánto material será necesario para hacer las resistencias:

$$L_t = \frac{R}{R_T} \tag{3.24}$$

$$L_t = \frac{55.18 [\Omega]}{1.16 \left[\frac{\Omega}{\text{m}} \right]}$$

$$L_t = 47.57 \text{ [m]}$$

Con la longitud del material para hacer las resistencias, podemos saber cuánto material será necesario por cada resistencia (tres):

$$L_u = \frac{L}{3} \quad (3.25)$$

$$L_u = \frac{47.57 \text{ [m]}}{3}$$

$$L_u = 15.85 \text{ [m]}$$

Diámetro de la espira (D)

Para hornos industriales.

Temperatura de los elementos menores a 1000°C $D/d = 6$

Temperatura de los elementos mayores a 1000°C $D/c = 5$

$$D = 5 * d \quad (3.26)$$

$$D = 5 * 1.3 \text{ [mm]}$$

$$D = 6.5 \text{ [mm]}$$

CAPÍTULO 4.

SELECCIÓN E IMPLEMENTACION DE COMPONENTES.

4.1. FUNDAMENTACION.

La presente propuesta se basa en la información recabada y presentada en el CAPITULO II que corresponde al marco teórico, donde se presentan todos los factores y características básicas de todas las partes principales que incluyen en el proyecto.

4.2. SELECCION DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

Para poder seleccionar el sistema más adecuado se tomaron en cuenta ciertos parámetros como son:

- Temperatura (Mínima y Máxima).
- Características del material a calentar.
- Ventajas Técnicas y Económicas.

Analizando todos estos parámetros se seleccionó un sistema eléctrico Tipo Mufla, debido a que presenta las siguientes ventajas:

- Control simple y preciso de la temperatura, mediante elementos de regulación de costo bajo.
- Ambiente limpio para el proceso, pues no existe contacto entre los materiales de las probetas a ensayar con ningún tipo de combustible.

- Temperatura aproximadamente constante y uniforme al interior del Horno.
- Mínima Influencia de la temperatura Ambiente sobre el interior del horno.
- Facilidad para construcción y mantenimiento, debido a la forma de la cámara.
- Las temperaturas que se alcanzan no tienen otro límite superior que el limitado por las propiedades térmicas del material de las resistencias.
- Permite conocer de forma aproximada sobre el consumo útil de energía del horno.

4.3. TIEMPOS RECOMENDADOS Y TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO.

El horno eléctrico tipo mufla se diseñó exclusivamente para realizar tratamientos térmicos en los siguientes aceros, bajo los parámetros mostrados a continuación.

Tabla 10. Temperaturas y tiempos para realizar tratamientos térmicos de Diferentes tipos de aceros

Tipo de acero	Tipo de Tratamiento Térmico	Temperatura (°C)	Tiempo (horas).
SAE 1018	Recocido de Regeneración	27 °C	12 a 24
SAE 1040	Recocido de Globalización	700 a 750	12 a 24
DF Similar al AISI 01	Normalizado	55 °C +(Acm o A3)	1h por cada pulg de espesor o diámetro
705 Similar al AISI 4337	Temple	27°C+(A3)	1h por cada pulgada de espesor o diámetro

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se concluyó que este horno trabajará hasta una temperatura máxima de 1000 °C y durante un tiempo máximo de funcionamiento de 12 horas.

4.4. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DEL HORNO.

a) Materiales Aislantes.

Se escogió manta fibra cerámica (1 pulg) disponible en el mercado en rollos, con las siguientes características:

- Temperatura máxima de trabajo hasta 1100 °C
- Resistencia a la humedad alta.
- No se inflama y es además un excelente aislante térmico.
- Se comporta bien tanto en atmósferas reductoras como oxidantes. Si resultara mojada por aceites, agua o vapor, sus propiedades térmicas y físicas se restablecen en su totalidad al secarse.
- Resistente a la corrosión, a los ácidos y a los aceites.
- El punto de fusión es a los 1760° C, el color es blanco.

b) Resistencias Eléctricas.

Considerando que las resistencias eléctricas están directamente relacionadas con la máxima temperatura que trabajan los hornos, se seleccionaron aquellas que cumplen con las características planteadas en el diseño y además existen en el mercado nacional; Para nuestro caso la temperatura máxima que va a trabajar nuestro horno es de 1000 °C por lo que se requirieron resistencias de aleación compuesta de hierro y cromo (20–30 %), aluminio (4–7,5 %), con las siguientes propiedades:

**Tabla 11. Características de las resistencias eléctricas hierro y cromo
(20–30 %), aluminio (4–7,5 %)**

Temperatura máxima de trabajo	1000°C
Temperatura de fusión	1400 °C
Potencia Especifica a 1000 °C	2 W/cm ²
Resistencia a 20 °C	1.11 Ω
Coefficiente de resistividad a 1000 °C (ct)	1.045
Resistividad	1.45 x 10 ⁻⁶ Ω m
Coefficiente de temperatura	0.00013
Densidad Especifica	5.6

Fuente: Elaboración propia

c) Soporte de ladrillos refractarios.

Como la cámara interna del horno va a soportar todo el peso de los ladrillos y los diferentes compones se ha determinando utilizar una plancha de tol negro de 2mm de espesor tan solo para la cámara interna de calentamiento del horno ya que todo el resto de la estructura del horno está diseñada.

d) Ladrillos Refractarios.

De acuerdo con la temperatura 1000 °C y algunas condiciones de trabajo.

e) Mortero Refractario.

El mortero refractario que se selecciono fue ELECTROLAND el mismo que es utilizado para mamposterías de ladrillos U-33 y es fácil de conseguir en el mercado nacional.

f) Electrodo

El electrodo que se selecciono fue AGA 6011 el mismo que cumple con las características del metal base es decir es apto para soldar tol negro de 2 mm (Acero

de bajo porcentaje de carbono), además que se trabajara en una unión en el cual un lado no esté biselado proporcionara una buena penetración, también adopta diferentes posiciones a soldar (Anexo).

4.5. REHABILITACION, CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION

Una vez haber seleccionado las partes básicas del horno eléctrico se procede a su rehabilitación.

4.5.1 ESTRUCTURA DE LA CAMARA INTERNA DEL HORNO ELECTRICO.

Para la construcción de la estructura de la cámara interna se necesita los siguientes materiales.

Tabla 12. Materiales para estructura de cámara interna

Material	Dimensiones	Cantidad
Tol de 2 mm	680 x 250 mm	1
Electrodo 6011	-	1

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de la estructura de la cámara interna del horno se realizara los siguientes pasos:

1. Con la plancha de tol de 2 mm procedemos el respectivo rayado con intervalos de 224 mm
2. Realizamos dobleces a 90 ° hacia dentro en las cuatro señales del rayado.
3. Procedemos a realizar un cordón de soldadura en la unión de cubo.



Figura 25. Construcción de la cámara de calentamiento

Fuente Fig. 23: Elaboración propia.

4.5.2. CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE CALENTAMIENTO.

A continuación se presenta brevemente una descripción de cómo está conformada la cámara de calentamiento. Hay que mencionar que el material que se utilizó en la construcción es Ladrillo refractario U33 y mortero refractario ELECTROLAND. Para la construcción de la cámara de calentamiento se le ha dividido en cuatro partes, pared inferior, superior, laterales y posterior.

Tabla 13. Materiales para estructura de cámara interna

Material	Dimensiones	Cantidad
Ladrillo Refractario U33	200 x 110 x 30 mm	12
Mortero Refractario	-	25 kg

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de la pared inferior se realizó los siguientes pasos:

1. Ubicamos correctamente dos ladrillos refractarios con la ayuda de un marco de madera (240x250x50 mm) el cual también nos servirá como molde.
2. En un recipiente limpio se vierte el mortero refractario que viene listo para ser utilizado.

3. Con la ayuda de un palustre colocamos la cantidad necesaria de mortero para llegar al volumen deseado
4. Finalmente dejamos el molde secar al ambiente.



Figura 26. Pared inferior de la cámara de calentamiento

Fuente Fig. 24: Elaboración propia.

Para la construcción de las paredes laterales realizamos los siguientes pasos:

1. Primeramente realizamos los canales en tres ladrillos con el objetivo de ubicar las resistencias eléctricas.
2. Alineamos correctamente cada uno de los ladrillos en moldes de madera de (120x250x50 mm).
3. Con la ayuda de un palustre colocamos el mortero necesario para llegar al volumen deseado.
4. Finalmente dejamos el molde secar al ambiente.



Figura 27. Paredes laterales de la cámara de calentamiento

Fuente Fig. 25: Elaboración propia.

Para ensamblar la cámara de calentamiento realizamos los siguientes pasos:

1. Ubicamos todas las paredes de la cámara de calentamientos antes construidas
2. En la estructura interna de la cámara de calentamiento antes construida se procede a ubicar las paredes antes fundidas.
3. Finalmente ensamblamos la cámara de calentamiento con la ayuda del mortero refractario.



Figura 28. Ensamblaje de la cámara de calentamiento

Fuente Fig. 25: Elaboración propia.

4.5.3. IMPLEMENTACION DE LA CAMARA DE CALENTAMIENTO EN EL HORNO.

Para la implementación de la cámara de calentamiento en el horno utilizaremos planchas de aislante de fibra de vidrio de 25.4 mm de espesor mediante los siguientes pasos:

1. Colocamos la plancha del aislante en base de la estructura del horno donde sobre ella va estar la cámara de calentamiento.
2. Colocamos la cámara interna calentamiento dentro de la estructura original de horno.
3. Ubicamos las planchas de aislantes alrededor de la cama interna de calentamiento
4. Colocamos la tapa de la estructura original del horno.



Figura 29. Ensamblaje del horno

Fuente Fig. 27: Elaboración propia.

4.5.4. RECONSTRUCCION DE LA COM PUERTA DEL HORNO.

Para la reconstrucción de la compuerta del horno realizamos los siguientes pasos:

1. Colocamos ladrillos refractarios en la estructura original de la tapa del horno.
2. Con la ayuda de un palustre colocamos la cantidad necesaria de mortero para llegar al volumen deseado Finamente lo dejamos secar al ambiente.
3. Finamente lo dejamos secar al ambiente.



Figura 30. Reconstrucción de la compuerta del horno

Fuente Fig. 28: Elaboración propia.

4.6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL HORNO.

Para poder seleccionar el sistema de control más adecuado se tomaron en cuenta ciertos parámetros como son:

- Temperatura (Mínima y Máxima).
- Tiempo de duración de los tratamientos térmicos de acero.
- Facilidad de programación de los parámetros (temperatura – tiempo).

a) Selección del dispositivo de control.

Para poder seleccionar el dispositivo adecuado se presenta a continuación una tabla comparativa de las características más sobresalientes de los diferentes dispositivos de control.

Tabla 14. Matriz de selección del dispositivo de control

ITEM	PLC	Microprocesador PIC	PC Industriales	Controlador de temperatura
Precio	Alto	Bajo	Alto	Medio
Tamaño	Espacio Considerable	Poco Espacio	Espacio Considerable	Poco Espacio
Disponibilidad	Regular	Alto	Bajo	Alto
Software	Propio	Libre	Propio	Propio
Precisión	Alta	Alta	Alta	Alta
Reparación	No	Si	No	Si
Programación	Fácil	Difícil	Difícil	Fácil

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se puede observar que el controlador de temperatura se pueden utilizar para el control del horno debido a que se puede encontrar fácilmente en el mercado a un precio medianamente cómodo, para el desarrollo del sistema del horno se utilizara este dispositivo ya que el controlador de temperatura que se utilizara es TIPO P41 - BRAINCHILD el cual cumple con los rangos de temperatura necesitados.

b) Termocupla.

De acuerdo con la temperatura que va a trabajar el horno que es de 1000 °C y apoyándonos con el marco teórico en donde nos indica las características técnicas de cada una de las termocuplas utilizamos una termocupla tipo K la misma que está diseñada para trabajar hasta un temperatura de 1260°C además se puede encontrar

con facilidad en el mercado nacional. En la tabla 13 se presenta las termocuplas más utilizadas en hornos eléctricos conjuntamente con los rangos de operación.

Tabla 15. Tipos de termocuplas

Designación	Rango Típico (°C)	Material De Unión	Sensibilidad (Uv/°C)
B	38 A 1800	Pt6%/Rodio- Pt30%/Rodio	7.7
C	0 A 2300	Tg(5%)/Renio- Tg(26%)7renio	16
E	0 A 928	Cromo – Constatan	76
J	0 A 760	Hierro – Constatan	55
K	-184 A 1260	Cromo – Aluminio	39
R	0 A 1593	Pt(13%)/Rodio – Pt	11.7
S	0 A 1538	Pt(10%)/Rodio – Pt	10.4
T	-184 A 400	Cobre – Constatan	45

Fuente: Marco teórico.

c) Temporizador.

El micro controlador de temperatura que utilizaremos para la implementación del sistema de control del horno incluye un temporizador adecuado para la realización de tratamientos térmicos en el acero.

d) Sistema de control.

El sistema de control que se emplea en un horno es un sistema de control de lazo cerrado, ya que en él las señales de salida y de entrada están relacionadas mediante un bucle de realimentación, a través del cual la señal de salida influye sobre la de entrada. De esta forma, la señal de salida tiene efecto sobre la acción de control.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las características del control ON/OFF y P.I.D.

Tabla 16. Características Control ON/OFF y P.I.D

Características	ON/OFF	P.I.D
Estabilidad térmica	Baja	Alta
Rapidez de respuesta	Alta	Media
Autocorrección de error	No	Si
Dificultad de calculo	Baja	Alta

Fuente: Marco teórico.

De esta tabla se puede observar que el sistema más adecuado es el P.I.D (Control Proporcional Integral Derivativa) debido a los beneficios que presenta en la estabilización de temperaturas.

4.7. SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir sin intervención de factor humano, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento.

Entre los sistemas de control tenemos los de lazo abierto y lazo cerrado en el caso del presente proyecto se enfoca el de lazo cerrado

4.7.1. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO.

El sistema de control que se emplea en un horno es un sistema de control de lazo cerrado, ya que en él las señales de salida y de entrada están relacionadas mediante un bucle de realimentación, a través del cual la señal de salida influye sobre la de entrada. De esta forma, la señal de salida tiene efecto sobre la acción de control.

Por tanto, los sistemas de control en lazo cerrado son capaces de controlar en cada momento lo que ocurre a la salida del sistema, y modificarlo si es necesario. De

esta manera, el sistema es capaz de funcionar por sí solo de forma automática y cíclica, sin necesidad de intervención humana.

El esquema que maneja con el sistema térmico para realizar tratamientos térmicos se puede representar mediante el siguiente esquema:

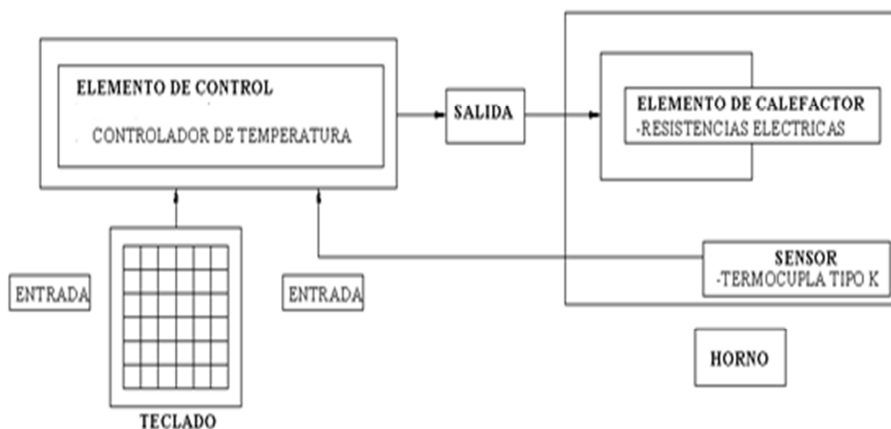


Figura 31. Sistema de control utilizado en el equipo

Fuente Fig. 29: Elaboración propia.

4.7.2. ELEMENTO DE CONTROL.

El elemento de control de control se considerara al control de temperatura P41 Auto-Tune Fuzzy/PID que es el elemento encargado de mantener la temperatura dentro del horno necesario para realizar un tratamiento térmico en el acero.

4.7.3. SENSOR.

Es capaz de detectar los cambios que se producen en la salida y llevar esa información al dispositivo de control, que podrá actuar en consonancia con la información recibida para conseguir la señal de salida deseada, este elemento de calentamiento se encuentra dispuesto de una termocupla tipo K, que soporta

temperaturas superiores a los 1100 °C, fácil de conseguir en el mercado y a su vez que es compatible con el controlador de temperatura P41.

4.7.4. ELEMENTO DE CALENTAMIENTO

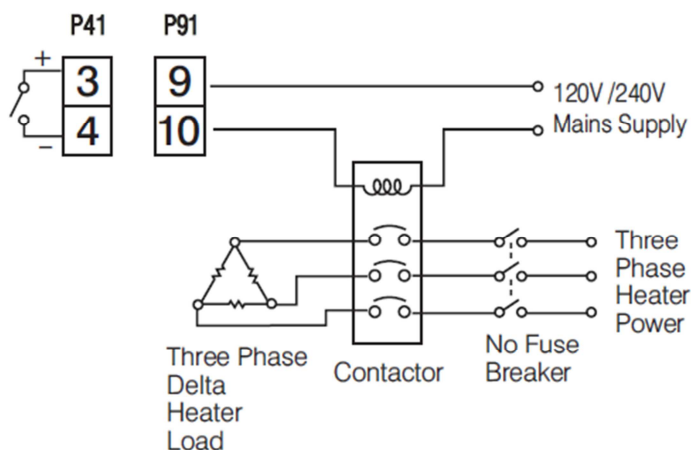


Figura 32. Conexión en triángulo de resistencias

Fuente Fig. 30: Manual p-41

El elemento de calentamiento en el horno funciona mediante tres resistencias eléctricas de conectadas en la disposición de triángulo a fin de conseguir una potencia de 2397.88 Watts que es la potencia óptima calculada para que el horno funcione correctamente en las temperaturas requeridas para realizar un tratamiento térmico en el Acero.

4.8. UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRONICOS DE PARA EL CONTROL AUTOMATICO.

a) Mediante dispositivos existentes en el taller de mecánica.

1. Primeramente ubicamos correctamente todos los dispositivos de control que anteriormente fueron seleccionados en el panel frontal del horno.

2. Seguidamente se procede a realizar las respectivas conexiones mediante la ayuda del diagrama de control (ver anexo).
3. Finalmente se realiza pruebas de funcionamiento.

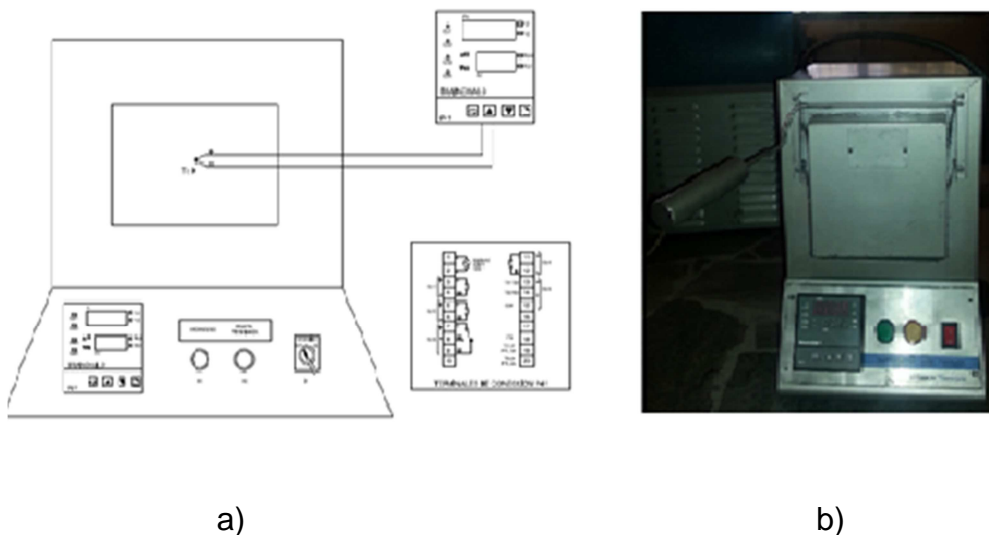


Figura 33. Ubicación de dispositivos de control a) diagrama b) horno eléctrico

Fuente Fig. 31: Elaboración propia.

b) Control del horno mediante dispositivos electrónicos existentes en el mercado nacional.

Para el control del horno es necesario la construcción de un circuito electrónico lo cual lo realizamos de la siguiente manera:

Una vez que se ha analizado el diagrama esquemático, se procede a realizar un listado de todos los componentes electrónicos que conforman (Plano) y posteriormente a la instalación de los mismos.

A continuación se presentan los pasos básicos para la implementación del circuito electrónico.

1. Con todos los componentes listos el siguiente paso es diseñar el circuito electrónico el cual es impreso en un plano que simula todos los componentes con sus respectivas conexiones, para ordenarlos en el lugar en el que deben ir conectados.
2. Luego que está listo el diseño del circuito electrónico si procede a imprimirlo

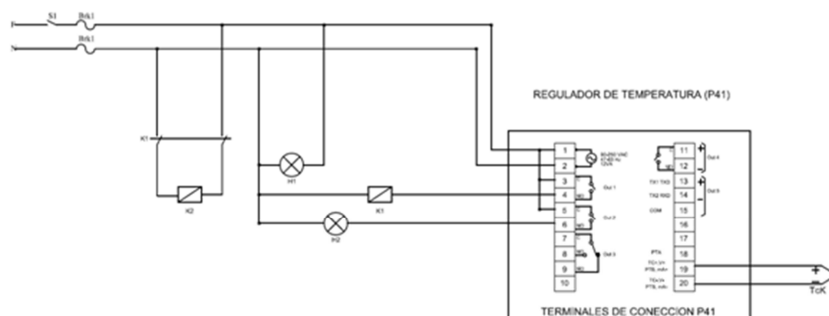


Figura 34. Circuito electrónico

Fuente Fig. 32: Elaboración propia.

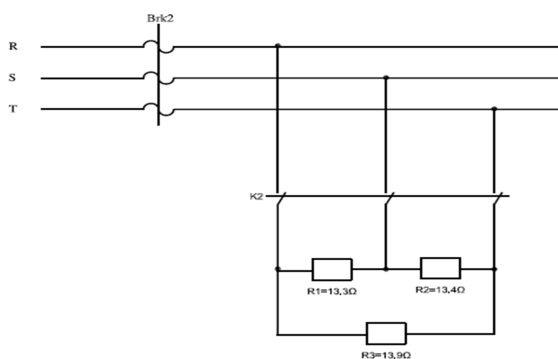


Figura 35. Circuito de potencia

Fuente Fig. 33: Elaboración propia.

3. Una vez listo el circuito impreso, se procede a colocar los dispositivos electrónicos en espacio designado para el sistema de control.

4. Luego se realizan perforaciones necesarias con las brocas adecuadas al tamaño de los huecos para que los componentes puedan colocarse.
5. Posteriormente cada uno de los componentes se ubica en su respectivo lugar para luego ser fijado.
6. Finalmente se realizan las pruebas de funcionamiento y comprobación de voltajes.

El funcionamiento del circuito electrónico que conforman y del circuito de fuerza con el que funciona el sistema de control es el siguiente:

Circuito de Fuerza.

1. A través de un conector se introduce el voltaje de alimentación trifásica - AC en este caso de luego pasa por un Breaker de 3 polos, 32 amp (AC3) el cual nos sirve como protección de las resistencias en caso variaciones de voltaje.
2. Seguidamente pasa por un contactor de 3 polos NA, 30 amp (AC3), el cual regula el voltaje por medio de la señal de una bobina 110/125 Vac que está directamente conectado al micro controlador de temperatura.
3. Los terminales del contactor de tres polos son conectados por medio de borneras a las resistencias en la disposición triangular.



Figura 36. Instalación del Circuito de potencia

Fuente Fig. 34: Elaboración propia.

Circuito de Control

1. A través de un conector se introduce voltaje (110 v - AC), a continuación pasa por un contactor on/off, luego pasa por un Breaker el cual nos sirve como protección de las resistencias en caso variaciones de voltaje.
2. Seguidamente se conecta a los puertos 1 y 2 del controlador de temperatura las líneas de voltaje.
3. A continuación se conecta en el puerto 4 del controlador de temperatura una bobina 110/1250 Vac la cual proporciona la señal al contactor de 3 polos NA (control de fuerza).
4. Se conecta a los puertos 19 y 20 respectivamente de controlador de temperatura una termocupla tipo K , la cual nos proporciona nuestra señal de entrada para el correcto funcionamiento del sistema de control.

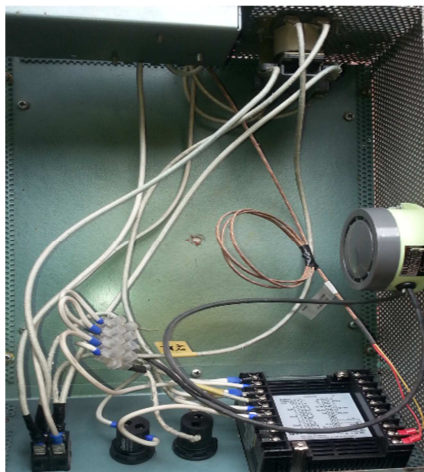


Figura 37. Instalación del Circuito electrónico

Fuente Fig. 35: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5.

EXPERIMENTACION.

5.1. INTRODUCCION.

Una vez culminada la rehabilitación e instalación del equipo de control del horno de Tratamientos Térmicos, se ejecutaron pruebas para calibrar el mismo.

En primer lugar se efectuaron pruebas en vacío para verificar la programación y realizar los ajustes necesarios para las tres rampas diseñadas.

5.1.1. PRUEBAS EN VACIO PARA CINCO ESCALONES PROGRAMADOS.

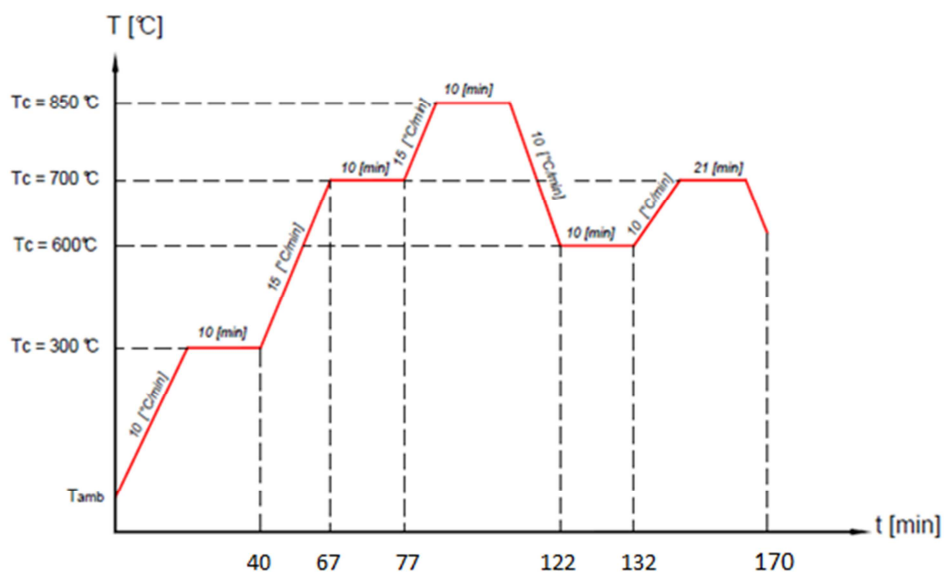


Figura 38. Rampa programada para la prueba en vacío

Fuente Fig. 36: Elaboración propia.

Una vez realizada la rehabilitación del horno, terminada la instalación eléctrica para el sistema de control y montada la caja de control se efectuaron varias pruebas

de al sistema de control del horno, en las cuales se programaron cinco escales utilizando diferentes temperaturas de calentamiento, de igual forma se obtuvieron tablas con valores de temperatura para cada minuto. Una de las rampas programadas se muestra en la figura.

Los valores de temperatura real tomados cada minuto con la ayuda de un termómetro digital existente en el laboratorio de materiales para corroborar las lecturas del display del controlador de temperatura, que dispone de dos valores temperatura real y temperatura del setpoint (teórica) como se muestra en la tabla.



Figura 39. Termómetro digital para la prueba en vacío

Fuente Fig. 37: Elaboración propia.

Tabla 17. Valores de temperatura y tiempo obtenido durante la prueba de cinco escales.

PRUEBA CINCO ESCALONES			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
22	22	1	0.0
28	40	2	30.0
51	50	3	2.0
79	60	4	31.7
96	70	5	37.1

Continua...

PRUEBA CINCO ESCALONES			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
103	80	6	28.8
107	90	7	18.9
110	100	8	10.0
110	110	9	0.0
110	120	10	8.3
123	130	11	5.4
150	140	12	7.1
168	150	13	12.0
176	160	14	10.0
179	170	15	5.3
180	180	16	0.0
179	190	17	5.8
192	200	18	4.0
220	210	19	4.8
237	220	20	7.7
244	230	21	6.1
245	240	22	2.1
244	250	23	2.4
259	260	24	0.4
283	270	25	4.8
293	280	26	4.6
296	290	27	2.1
296	300	28	1.3
309	300	29	3.0
320	300	30	6.7
322	300	31	7.3
321	300	32	7.0
317	300	33	5.7
312	300	34	4.0
308	300	35	2.7
302	300	36	0.7
297	300	37	1.0
305	300	38	1.7
318	315	39	1.0
322	330	40	2.4
340	345	41	1.4
365	360	42	1.4
377	375	43	0.5
380	390	44	2.6
397	405	45	2.0
425	420	46	1.2

Continua...

PRUEBA CINCO ESCALONES			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
440	435	47	1.1
445	450	48	1.1
460	465	49	1.1
484	480	50	0.8
496	495	51	0.2
507	510	52	0.6
523	525	53	0.4
539	540	54	0.2
553	555	55	0.4
567	570	56	0.5
583	585	57	0.3
598	600	58	0.3
612	615	59	0.5
686	690	64	0.6
701	700	65	0.1
706	700	66	0.9
696	700	67	0.6
705	700	68	0.7
706	700	69	0.9
696	700	70	0.6
705	700	71	0.7
706	700	72	0.9
696	700	73	0.6
706	700	74	0.9
705	700	75	0.7
697	715	76	2.5
713	730	77	2.3
743	745	78	0.3
760	760	79	0.0
768	775	80	0.9
785	790	81	0.6
801	805	82	0.5
814	820	83	0.7
830	835	84	0.6
844	850	85	0.7
856	850	86	0.7
846	850	87	0.5
855	850	88	0.6
847	850	89	0.4
854	850	90	0.5
848	850	91	0.2

Continua...

PRUEBA CINCO ESCALONES			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
854	850	92	0.5
850	850	93	0.0
852	850	94	0.2
853	850	95	0.4
845	840	96	0.6
833	830	97	0.4
825	820	98	0.6
815	810	99	0.6
804	800	100	0.5
794	790	101	0.5
785	780	102	0.6
774	770	103	0.5
764	760	104	0.5
754	750	105	0.5
746	740	106	0.8
735	730	107	0.7
725	720	108	0.7
715	710	109	0.7
706	700	110	0.9
696	690	111	0.9
688	680	112	1.2
679	670	113	1.3
671	660	114	1.7
662	650	115	1.8
655	640	116	2.3
647	630	117	2.7
640	620	118	3.2
634	610	119	3.9
626	600	120	4.3
619	600	121	3.2
613	600	122	2.2
606	600	123	1.0
600	600	124	0.0
599	600	125	0.2
612	600	126	2.0
614	600	127	2.3
610	600	128	1.7
604	600	129	0.7
600	600	130	0.0
610	610	131	0
623	620	132	0,5

Continua...

PRUEBA CINCO ESCALONES			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
624	630	133	1
642	640	134	0,3
654	650	135	0,6
654	660	136	0,9
672	670	137	0,3
684	680	138	0,6
682	690	139	1,2
701	700	140	0,1
714	700	141	2
709	700	142	1,3
699	700	143	0,1
703	700	144	0,4
709	700	145	1,3
703	700	146	0,4
697	700	147	0,4
709	700	148	1,3
705	700	149	0,7
% Error Promedio			2,9

Fuente: Elaboración propia

La Figura 36. Muestra la curva real y teórica obtenida en esta prueba.

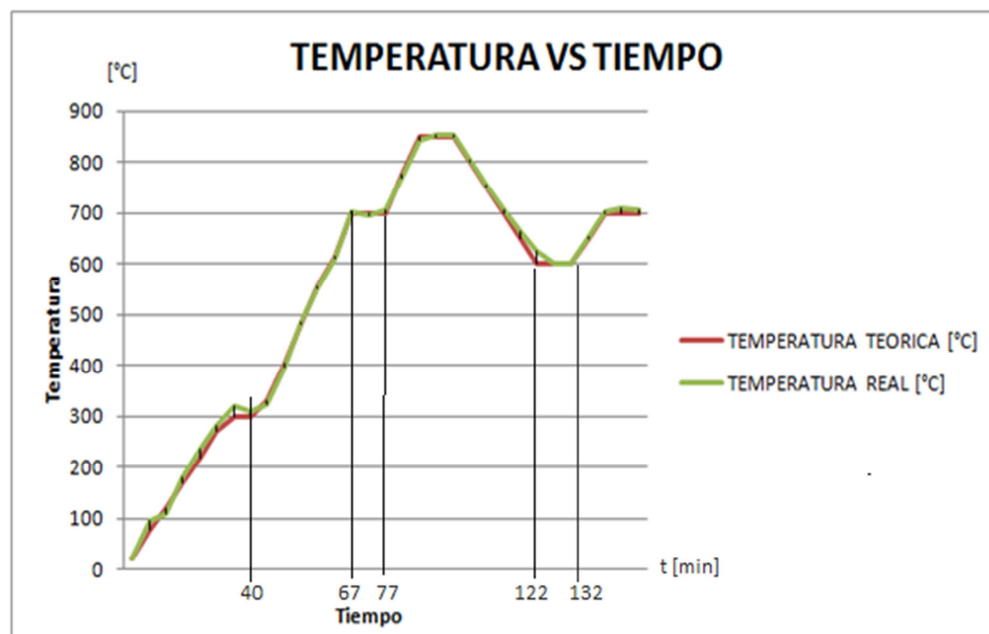


Figura 40. Temperatura real y teórica vs tiempo de la prueba de cinco escalones

Fuente Fig. 38: Elaboración propia

La Tabla 17 y Figura 36 muestran que a bajas temperaturas el error obtenido es mayor debido a que el controlador está diseñado para controlar temperaturas altas, sin embargo para valores desde 350 [°C] hacia arriba, estos errores disminuyen considerando además que se estableció un valor de histéresis de ± 5 [°C] . La velocidad de enfriamiento es un valor constante establecido mediante pruebas, razón por la cual justifica una leve desviación a medida que la temperatura del horno disminuye, ya que este valor fue tomado para rangos de 550 – 1000 [°C] que es donde se requiere este tipo de enfriamientos.

El error promedio obtenido después de realizar los ajustes requeridos al sistema de control es aproximadamente 2.5 %, este es un valor relativamente bajo y aceptable.

Posteriormente se realizaron tratamientos térmicos a probetas de diferentes tipos de aceros y un análisis metalográfico de las mismas para constatar que se hayan obtenido las estructuras cristalinas deseadas.

ACERO AISI 1045.

Su composición química es: 0.45%C, 0.25%Si y 0.65%Mn.

Tratamiento Térmico.

En la siguiente tabla se muestra las temperaturas de calentamiento para los diferentes tipos tratamientos térmicos que son posibles realizar a este tipo de acero y durezas obtenibles en el temple.

Tabla 18. Tratamientos Térmicos para el acero 1045

Forjado:	1100 -850 [°C]
Recocido:	650 -700 [°C]
Enfriamiento en el horno	
Normalizado:	840 – 870 [°C]
Distensionado:	500 [°C]
Temple:	820 – 850 [°C]
Enfriamiento en: agua, aceite (piezas pequeñas)	
Dureza obtenible:	54 – 56 [HRC]
Nitruración: en baño de sales.	580 [°C]

Fuente: Elaboración propia

Empleo.

Se utiliza para la fabricación de partes de maquinaria sometida a esfuerzos normales como: árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas y porta matrices.

5.1.2. REALIZACION DE TRATAMIENTOS TERMICOS.

Basados en las descripciones anteriores del acero y recomendaciones del fabricante se procedió a establecer los regímenes de tratamiento térmico para cada una de las probetas construidas y a programar estos datos en la interfaz gráfica.

Se estableció además un código para cada probeta de dimensiones ¾” de diámetro de acuerdo a su material al tratamiento térmico que se realizó. Las probetas elaboradas se muestran en la figura siguiente y los códigos asignadas a estas se enlistan en la Tabla 19.



Figura 41. Probetas de acero 1045

Fuente Fig. 39: Elaboración propia.

Tabla 19. Código de las probetas testigo

Probetas de Acero AISI 1045	Código
Testigo	1
Recocida	2R
Normalizada	3N
Templada	4T

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en todos los tratamientos térmicos fueron los siguientes:

ACERO AISI 1045.

Se construyeron cuatro probetas, una testigo y otras para Recocido, normalizado y temple.

Recocido.

A la probeta 2R, se le realizó un recocido siguiendo un régimen de tratamiento térmico como se muestra en la figura.

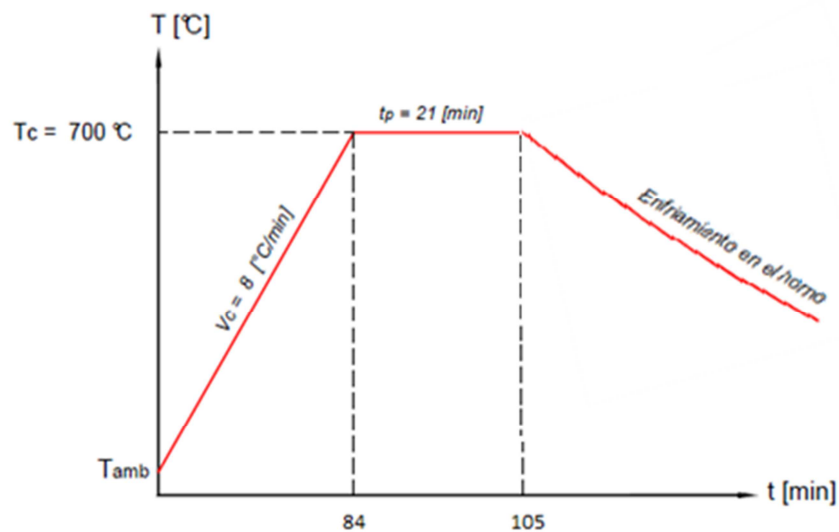


Figura 42. Régimen de tratamiento térmico del recocido

Fuente Fig. 40: Elaboración propia.

Para producir el enfriamiento lento necesario se programó el enfriamiento con el horno apagado.

El controlador de temperatura consta en su display los valores de temperatura real y temperatura teórica de acuerdo a un tiempo establecido (1 min en este caso), no existe por lo tanto la necesidad de realizar esta tarea con el termómetro digital.

Tabla 20. Valores de temperatura y tiempo obtenidos durante el recocido del acero 1045

ACERO 1045			
Recocido			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
50	55	1	9.1
66	63	2	4.8
88	71	3	23.9

Continua...

Recocido			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
100	79	4	26.6
107	87	5	23.0
110	95	6	15.8
112	103	7	8.7
113	111	8	1.8
114	119	9	4.2
135	127	10	6.3
154	135	11	14.1
165	143	12	15.4
170	151	13	12.6
170	159	14	6.9
170	167	15	1.8
172	175	16	1.7
192	183	17	4.9
210	191	18	9.9
219	199	19	10.1
220	207	20	6.3
220	215	21	2.3
222	223	22	0.4
240	231	23	3.9
253	239	24	5.9
259	247	25	4.9
260	255	26	2.0
261	263	27	0.8
280	271	28	3.3
295	279	29	5.7
300	287	30	4.5
300	295	31	1.7
301	303	32	0.7
319	311	33	2.6
333	319	34	4.4
337	327	35	3.1
336	335	36	0.3
337	343	37	1.7
356	351	38	1.4
374	359	39	4.2
379	367	40	3.3
379	375	41	1.1
379	383	42	1.0
397	391	43	1.5
413	399	44	3.5
416	407	45	2.2

Continua...

Recocido			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
414	415	46	0.2
415	423	47	1.9
436	431	48	1.2
453	439	49	3.2
457	447	50	2.2
454	455	51	0.2
453	463	52	2.2
473	471	53	0.4
491	479	54	2.5
494	487	55	1.4
493	495	56	0.4
508	503	57	1.0
520	511	58	1.8
520	519	59	0.2
519	527	60	1.5
540	535	61	0.9
554	543	62	2.0
554	551	63	0.5
554	559	64	0.9
574	567	65	1.2
585	575	66	1.7
582	583	67	0.2
584	591	68	1.2
606	599	69	1.2
616	607	70	1.5
613	615	71	0.3
620	623	72	0.5
640	631	73	1.4
644	639	74	0.8
644	647	75	0.5
663	655	76	1.2
667	663	77	0.6
667	671	78	0.6
686	679	79	1.0
691	687	80	0.6
691	695	81	0.6
708	700	82	1.1
711	700	83	1.6
701	700	84	0.1
699	700	85	0.1
708	700	86	1.1
704	700	87	0.6

Continua...

Recocido			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
697	700	88	0.4
707	700	89	1.0
707	700	90	1.0
700	700	91	0.0
702	700	92	0.3
709	700	93	1.3
703	700	94	0.4
697	700	95	0.4
708	700	96	1.1
707	700	97	1.0
699	700	98	0.1
703	700	99	0.4
709	700	100	1.3
705	700	101	0.7
697	700	102	0.4
% Error Promedio			3,2

Fuente: Elaboración propia

La figura siguiente muestra las curvas real y teórica obtenidas en este tratamiento térmico.

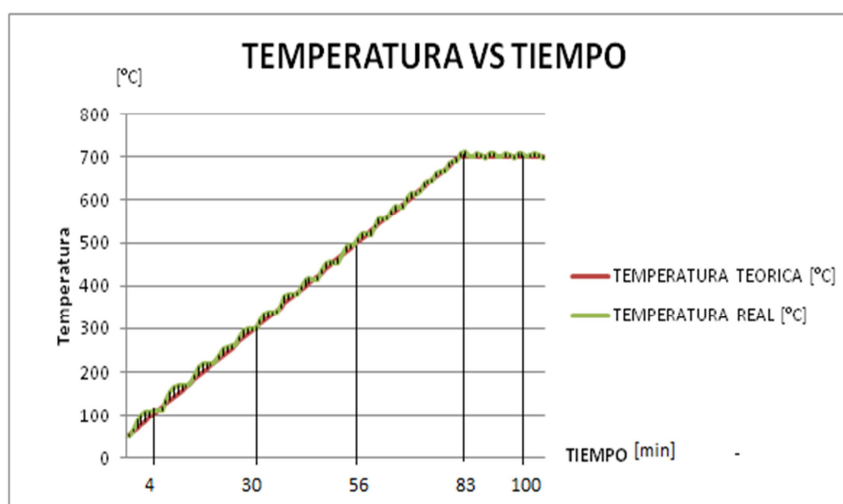
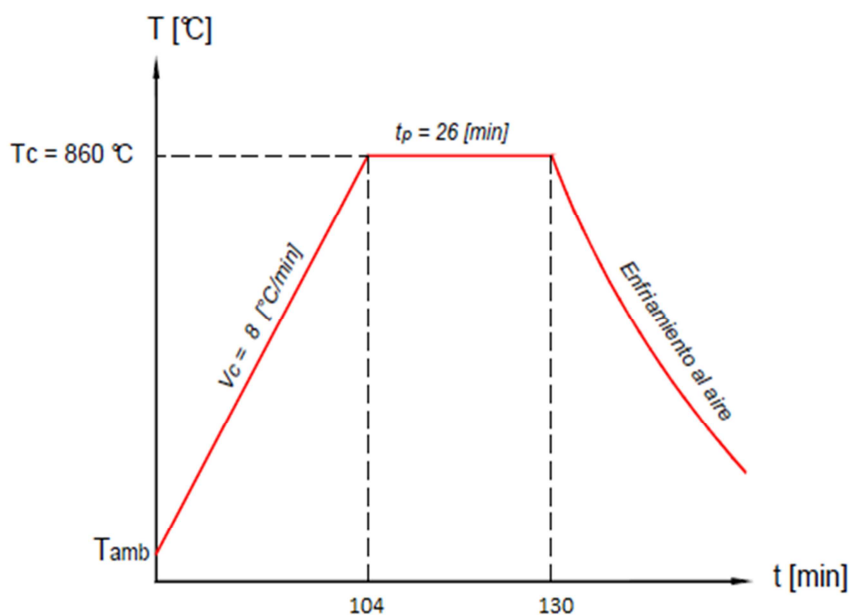


Figura 43. Temperatura real y teórica vs tiempo del recocido

Fuente Fig. 41: Elaboración propia.

Normalizado.**Figura 44. Régimen de tratamiento térmico del normalizado**

Fuente Fig. 40: Elaboración propia.

A la probeta 3N se le realizó un normalizado siguiendo un régimen de tratamiento térmico como se muestra en la Figura.

Los valores tomados cada uno durante el normalizado del acero 1045 es muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21. Valores de temperatura y tiempo obtenidos durante el normalizado del acero 1045

ACERO 1045			
Normalizado			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
40	44	1	9.1
45	52	2	13.5
64	60	3	6.7

Continua...

Normalizado			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
81	68	4	19.1
90	76	5	18.4
94	84	6	11.9
96	92	7	4.3
97	100	8	3.0
105	108	9	2.8
123	116	10	6.0
135	124	11	8.9
140	132	12	6.1
143	140	13	2.1
143	148	14	3.4
152	156	15	2.6
174	164	16	6.1
187	172	17	8.7
193	180	18	7.2
195	188	19	3.7
194	196	20	1.0
197	204	21	3.4
216	212	22	1.9
232	220	23	5.5
238	228	24	4.4
239	236	25	1.3
237	244	26	2.9
245	252	27	2.8
269	260	28	3.5
281	268	29	4.9
286	276	30	3.6
286	284	31	0.7
283	292	32	3.1
291	300	33	3.0
315	308	34	2.3
329	316	35	4.1
332	324	36	2.5
332	332	37	0.0
330	340	38	2.9
344	348	39	1.1
366	356	40	2.8
377	364	41	3.6
378	372	42	1.6
403	396	45	1.8
411	404	46	1.7
412	412	47	0.0

Continua...

Normalizado			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
410	420	48	2.4
424	428	49	0.9
445	436	50	2.1
453	444	51	2.0
451	452	52	0.2
450	460	53	2.2
465	468	54	0.6
487	492	57	1.0
494	500	58	1.2
515	508	59	1.4
521	516	60	1.0
518	524	61	1.1
526	532	62	1.1
546	540	63	1.1
550	548	64	0.4
546	556	65	1.8
555	564	66	1.6
577	572	67	0.9
582	580	68	0.3
578	588	69	1.7
586	596	70	1.7
608	604	71	0.7
613	612	72	0.2
609	620	73	1.8
624	628	74	0.6
641	636	75	0.8
640	644	76	0.6
649	652	77	0.5
662	660	78	0.3
660	668	79	1.2
669	676	80	1.0
688	684	81	0.6
688	692	82	0.6
697	700	83	0.4
709	708	84	0.1
705	716	85	1.5
715	724	86	1.2
735	732	87	0.4
733	740	88	0.9
742	748	89	0.8
758	756	90	0.3
754	764	91	1.3

Continua...

Normalizado			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
762	772	92	1.3
781	780	93	0.1
779	788	94	1.1
787	796	95	1.1
805	804	96	0.1
801	812	97	1.4
811	820	98	1.1
829	828	99	0.1
825	836	100	1.3
839	844	101	0.6
852	852	102	0.0
852	860	103	0.9
867	860	104	0.8
860	860	105	0.0
860	860	106	0.0
864	860	107	0.5
857	860	108	0.3
866	860	109	0.7
858	860	110	0.2
864	860	111	0.5
863	860	112	0.3
856	860	115	0.5
866	860	116	0.7
861	860	117	0.1
860	860	118	0.0
865	860	119	0.6
856	860	120	0.5
866	860	121	0.7
860	860	122	0.0
861	860	123	0.1
865	860	124	0.6
857	860	125	0.3
866	860	126	0.7
861	860	127	0.1
861	860	128	0.1
% Error Promedio			2,2

Fuente: Elaboración propia

La figura muestra las curvas real y teórica obtenidas en este tratamiento térmico.

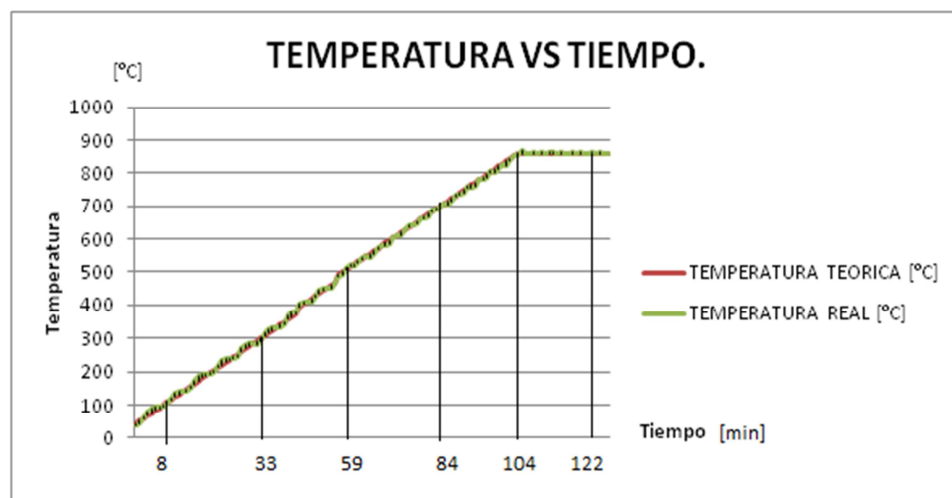


Figura 45. Temperatura real y teórica vs tiempo del Normalizado

Fuente Fig. 43: Elaboración propia.

Temple.

A la probeta 4T se le realizó un temple siguiendo en régimen de tratamiento térmico como se muestra en la figura.

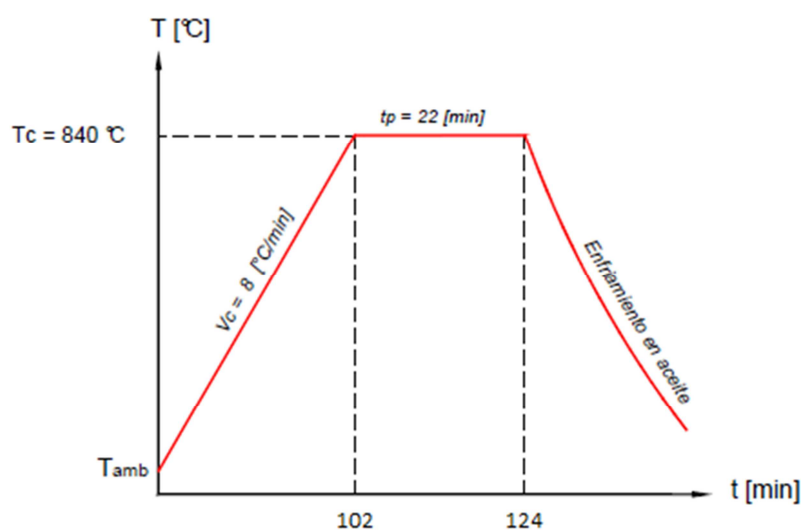


Figura 46. Régimen de tratamiento térmico de temple

Fuente Fig. 44: Elaboración propia.

Para producir un enfriamiento rápido y alcanzar estructuras de altas dureza inmediatamente después de sacar la probeta calentada se la sumerge en el medio de temple (agua o aceite), tal como se muestra en la figura. Este proceso se sigue de manera similar para las otras probetas a templar.

El medio de temple para la probeta 4T fue en aceite. Los valores obtenidos se muestran en la tabla

Tabla 22. Valores de temperatura y tiempo obtenidos durante el temple del acero 1045

ACERO 1045			
Temple			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
18	25	1	28.0
23	33	2	30.3
44	41	3	7.3
66	49	4	34.7
78	57	5	36.8
85	65	6	30.8
87	73	7	19.2
89	81	8	9.9
89	89	9	0.0
89	97	10	8.2
100	105	11	4.8
123	113	12	8.8
139	121	13	14.9
146	129	14	13.2
148	137	15	8.0
149	145	16	2.8
149	153	17	2.6
160	161	18	0.6
183	169	19	8.3
195	177	20	10.2
199	185	21	7.6
200	193	22	3.6
199	201	23	1.0
209	209	24	0.0

Continua...

Temple			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
225	217	25	3.7
231	225	26	2.7
233	233	27	0.0
233	241	28	3.3
245	249	29	1.6
268	257	30	4.3
279	265	31	5.3
281	273	32	2.9
280	281	33	0.4
280	289	34	3.1
300	297	35	1.0
318	305	36	4.3
325	313	37	3.8
325	321	38	1.2
322	329	39	2.1
334	337	40	0.9
355	345	41	2.9
365	353	42	3.4
366	361	43	1.4
364	369	44	1.4
375	377	45	0.5
395	385	46	2.6
404	393	47	2.8
403	401	48	0.5
401	409	49	2.0
411	417	50	1.4
434	425	51	2.1
442	433	52	2.1
443	441	53	0.5
439	449	54	2.2
450	457	55	1.5
474	465	56	1.9
482	473	57	1.9
481	481	58	0.0
480	489	59	1.8
499	497	60	0.4
516	505	61	2.2
516	513	62	0.6
512	521	63	1.7
524	529	64	0.9
545	537	65	1.5
549	545	66	0.7

Continua...

Temple			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
545	553	67	1.4
559	561	68	0.4
577	569	69	1.4
578	577	70	0.2
574	585	71	1.9
590	593	72	0.5
608	601	73	1.2
609	609	74	0.0
607	617	75	1.6
625	625	76	0.0
640	633	77	1.1
639	641	78	0.3
650	649	79	0.2
658	657	80	0.2
654	665	81	1.7
668	673	82	0.7
686	681	83	0.7
686	689	84	0.4
697	697	85	0.0
706	705	86	0.1
702	713	87	1.5
729	737	90	1.1
742	745	91	0.4
755	753	92	0.3
751	761	93	1.3
764	769	94	0.7
779	777	95	0.3
774	785	96	1.4
787	793	97	0.8
802	801	98	0.1
797	809	99	1.5
812	817	100	0.6
826	825	101	0.1
822	833	102	1.3
838	840	103	0.2
848	840	104	1.0
837	840	105	0.4
844	840	106	0.5
842	840	107	0.2
837	840	108	0.4
846	840	109	0.7
838	840	110	0.2

Continua...

Temple			
TEMPERATURA REAL [°C]	TEMPERATURA TEORICA [°C]	TIEMPO [min]	% ERROR
843	840	111	0.4
843	840	112	0.4
837	840	113	0.4
846	840	114	0.7
839	840	115	0.1
842	840	116	0.2
845	840	117	0.6
836	840	118	0.5
845	840	119	0.6
842	840	120	0.2
840	840	121	0.0
846	840	122	0.7
837	840	123	0.4
845	840	124	0.6
% Error Promedio			3,3

Fuente: Elaboración propia

La figura muestra las curvas real y teórica obtenidas en este tratamiento térmico.

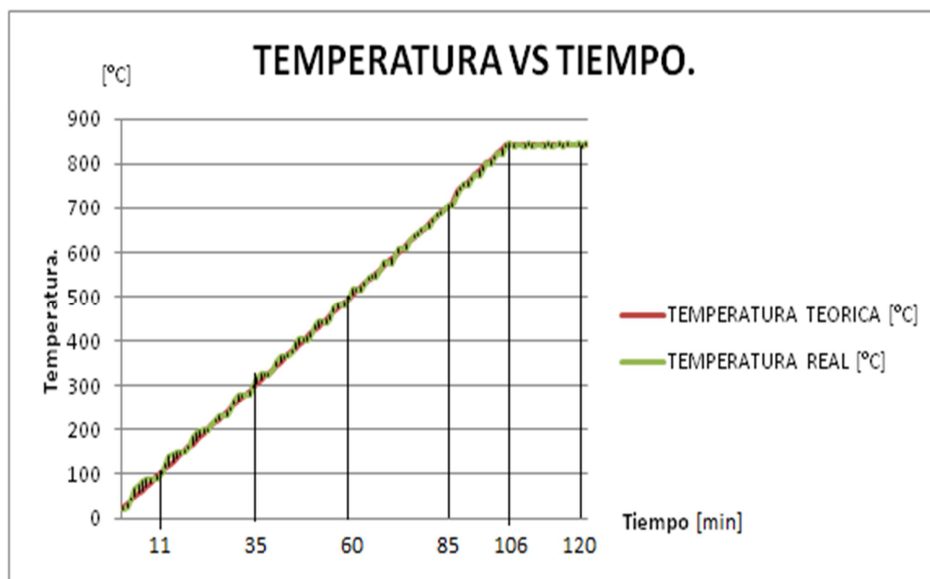


Figura 47. Temperatura real y teórica vs tiempo para el Temple

Fuente Fig. 45: Elaboración propia.

Analizando tanto las tablas de datos obtenidas y gráficas para cada tratamiento térmico de los diferentes tipos de aceros se observa que el error o desviación entre la temperatura real y teórica del horno se presenta en bajas temperaturas debido a la inercia de calentamiento en las resistencias del horno, pero para los rangos de temperatura en los que generalmente se requiere mayor precisión (500 -1000 °C) esta desviación disminuye notablemente de tal forma que el error promedio obtenido es relativamente pequeño y despreciable.

Se puede considerar entonces que una vez realizados los ajustes necesarios de control de la temperatura del horno esta calibrado adecuadamente.

5.2. ANÁLISIS METALOGRAFÍCO.

Una vez realizados los diferentes tratamientos térmicos a las probetas de diferentes alecciones se procedió a realizar un análisis metalográfico para constatar que las estructuras obtenidas en cada probeta son las deseadas y con esto verificar además que el horno haya alcanzado y permanecido a las temperaturas programadas. Todas las probetas se pulieron adecuadamente a continuación las probetas fueron atacadas químicamente con Nital al 3% solución de alcohol y acido nítrico y observando a través del microscopio se obtuvieron los siguientes resultados.

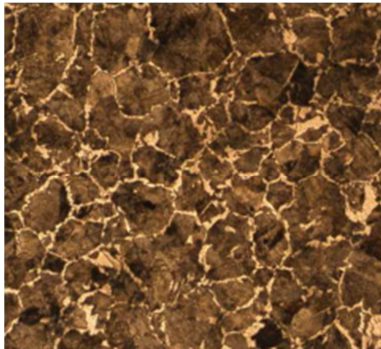


Figura 48. Procedimiento de pulimiento de probetas

Fuente Fig. 46: Lab. Ciencia de materiales DECEM.

ACERO 1045

(1) PROBETA TESTIGO.



a)



b)

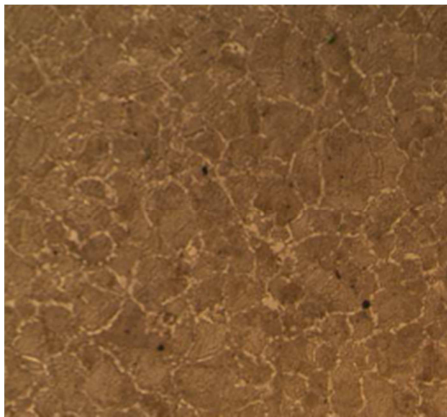
Figura 49. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta testigo. Nital 3%, a) 100x b) 500x

Fuente Fig. 47: Elaboración propia.

En la probeta testigo se puede apreciar ferrita en los límites de grano (zonas blancas) y perlita (zonas oscuras), el grano no tiene un tamaño uniforme y se observan placas laterales de ferrita.

(2R) PROBETA RECOCIDA.

Se observa en el ensayo metalográfico principalmente la presencia de ferrita proeutectoide en los límites de grano con inmersiones de espigas de ferrita en una matriz de perlita. A diferencia de la probeta testigo el tamaño de grano se redujo y la estructura es más homogénea, esto es debido al enfriamiento lento alcanzado en el horno.



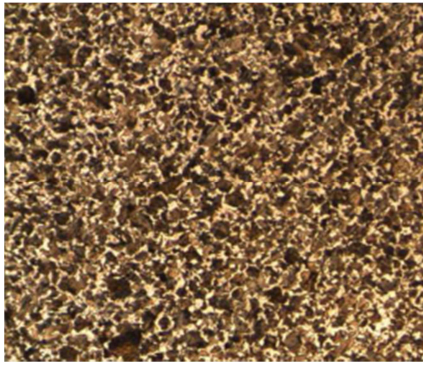
a)



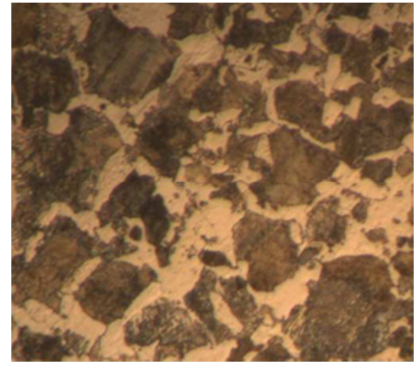
b)

Figura 50. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta recocida. Nital 3%,a) 100x b) 500x

Fuente Fig. 48: Elaboración propia.

(3N) PROBETA NORMALIZADA.

a)



b)

Figura 51. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta normalizada.**Nital 3%,a) 100x b) 500x**

Fuente Fig. 49: Elaboración propia.

Se puede observar una perlita fina laminar (zonas oscuras) y ferrita (zonas blancas). Esta estructura tiene mayor presencia de perlita que la probeta testigo, razón por la cual la dureza debe ser mayor, no es una estructura homogénea debido a que el enfriamiento se realizó al aire libre.

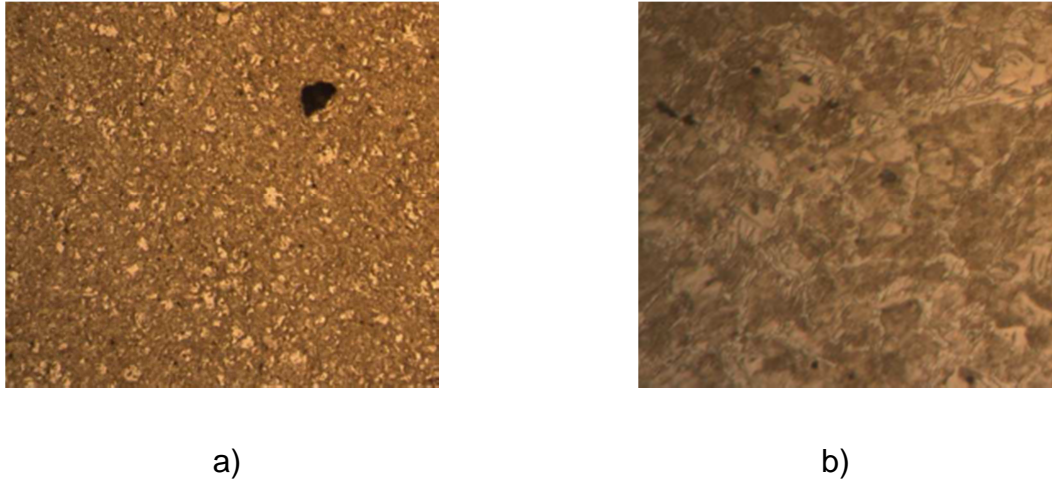
(4T) PROBETA TEMPLADA.

Figura 52. Ensayo metalográfico del acero 1045 probeta templada. Nital 3%,a) 100x b) 500x

Fuente Fig. 50: Elaboración propia.

En el ensayo metalografico se puede observar la presencia de ferrita en los límites de grano, la estructura acircular es probablemente vainita superior, la matriz es perlita. Esta probeta fue enfriada en aceite, por tal razón no se forma martensita, pero la presencia de vainita en la estructura de la probeta aumenta la dureza.

5.3. ANÁLISIS DE DUREZAS.

A continuación del ensayo metalográfico de las probetas tratadas térmicamente se procede a verificar la dureza de cada una de ellas. A continuación se tabulan las durezas obtenidas por cada probeta.



Figura 53. Ensayo de dureza – Durómetro

Fuente Fig. 51: Lab. Metrología DECEM.

Tabla 23. Códigos de la probeta testigo y las tratadas térmicamente

Probetas de Acero AISI 1045	Código
Testigo	1
Recocida	2R
Normalizada	3N
Templada	4T

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Durezas de las probetas tratadas térmicamente

DETERMINACION DE DUREZAS ANTES DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS						
PROBETAS	DUREZA 1[HRB]	DUREZA 2[HRB]	DUREZA 3[HRB]	DUREZA 4[HRB]	PROM. [HRB]	DUREZA BRINELL
1	88,3	88,7	89,1	89,4	88,9	172,5
2R	88,5	89,7	89,3	88,8	89,1	173,1
3N	88,2	88,6	88,8	89,4	88,8	172,1
4T	80,7	89,2	88,7	89,7	87,1	167,7
DETERMINACION DE DUREZAS DESPUES DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS.						
PROBETA	DUREZA 1[HRB]	DUREZA 2[HRB]	DUREZA 3[HRB]	DUREZA 4[HRB]	PROM. [HRB]	DUREZA BRINELL
2R	89,6	90,5	90,6	90,3	90,3	177,2
3N	91,8	90,9	89,7	91,5	91,0	180,4
PROBETA	DUREZA 1[HRC]	DUREZA 2[HRC]	DUREZA 3[HRC]	DUREZA 4[HRC]	PROM. [HRC]	DUREZA BRINELL
4T	25,3	25,4	23,5	25,4	24,9	260

Fuente: Elaboración Propia

Las transformaciones de las escalas HRB y HRC a la escala Brinell se realizaron usando las tablas del manual de acero de BOHLER para aceros especiales. Esto permite tener tabuladas todas las durezas en escala Brinell.

Se analizo lo siguiente:

- Todas las probetas de acero presentan un aumento de en su dureza después de ser sometidas a los tratamientos térmicos, esto reafirma que se produjeron cambios estructurales anteriormente explicados, además los valores tabulados están dentro de los valores esperados.
- La probeta 2R (recocida) presenta una dureza similar a la probeta testigo 1 , esto debe a que el estado de suministro de la misma es en Recocido, sin embargo la probeta 2R presenta una grana más pequeño y una estructura homogénea.
- La probeta templada 4T su medio de enfriamiento no fue en agua por tal razón no alcanzó su máxima dureza, la templarla en aceite obtuvo un valor medio debido a que la velocidad de enfriamiento en este medio es menor.
- La probeta 3N normalizada presenta una dureza levemente mayor a la probeta 2R recocida esta la por la cual a veces es preferible realizar un recocido en lugar de un normalizado a los aceros con más del 0,4 % C.

5.4. GUIA DE MANEJO DEL SISTEMA DE CONTROL.

Previo a realizar la programación del proceso de tratamientos térmicos se deben realizar los siguientes pasos.

1. Conectar los cables de poder a las redes:
110 VAC – sistema de control.
220 VAC (trifásica) – sistema de calentamiento.
2. Verificar que los Breakers de seguridad estén conectados para cada uno de los sistemas.
3. Pulsar el botón ON/OFF en la caja de control, donde se encuentra ubicado el sistema de control como se indica en la figura.



Figura 54. Encendido del sistema de control

Fuente Fig. 52: Lab. Ciencia de materiales DECEM.

NOTA: En la consola de control se enciende el indicador verde RUN, lo cual indica que está listo para funcionar.

El controlador PID de temperatura consta de la siguiente interfaz que se muestra en la figura:

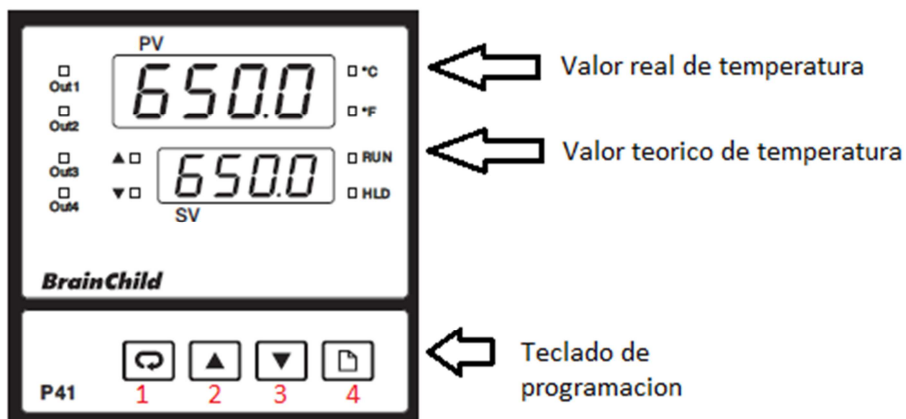


Figura 55. Interfaz del sistema de control PID

Fuente Fig. 53: Manual BrainChild.

PANTALLA Y TECLAS.

La descripción del panel frontal del controlador de temperatura PID se detalla a continuación:

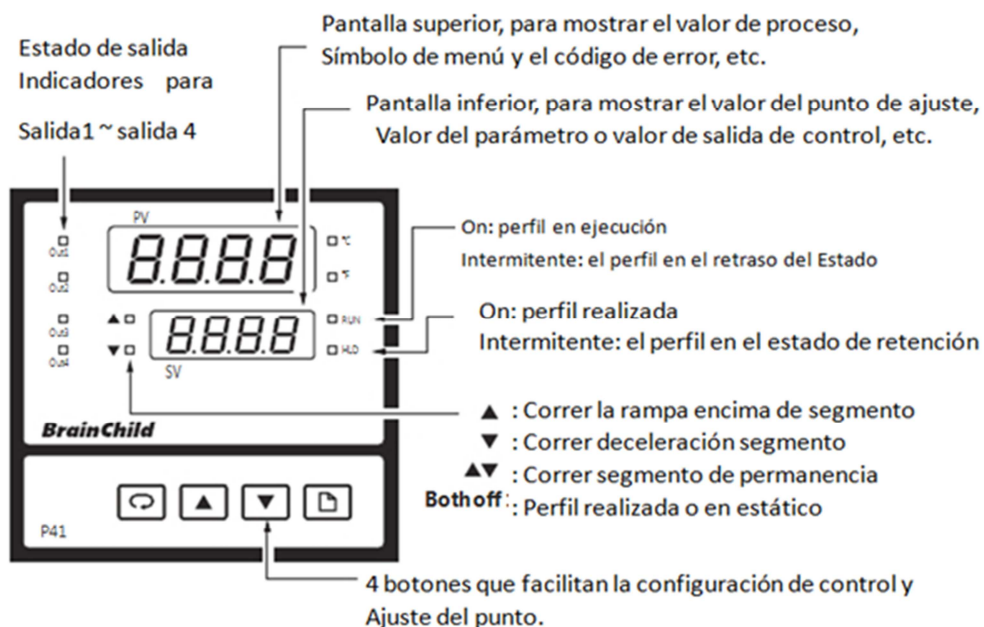


Figura 56. Pantalla y teclas del sistema de control PID

Fuente Fig. 54: Manual BrainChild.

- Tecla de desplazamiento: 

Esta clave se utiliza para seleccionar un parámetro para ser visto o ajustado.

- TECLA  UP:

Esta clave se utiliza para aumentar el valor del parámetro seleccionado.

- TECLA  DOWN:

Esta clave se utiliza para disminuir el valor del parámetro seleccionado.

- PÁGINA  CLAVE:

Esta clave se utiliza para seleccionar la página deseada de parámetros.


- DESPLAZAMIENTO HACIA ATRÁS  

Presione ambas teclas y para saltar al parámetro anterior.

- TECLA DE RESET.  

Presione ambas teclas y para:

1. Revertir la pantalla para visualizar el valor del proceso.
2. Restablecer la alarma de bloqueo, una vez que la condición de alarma es eliminado.
3. Detenga el modo de control manual, el modo de autoajuste y fuera modo, a continuación, entra en el modo estático.
4. Borrar el mensaje de error de comunicación, de mantenimiento del secreto de tiempo error y error de autoajuste.

- TECLA ENTER: Pulse durante 5 segundos a: 

1. Entre en el modo seleccionado para funcionar.
2. Ejecute el procedimiento de calibración para el punto bajo y punto alto de calibración.

5.5. GUIA DE FUNCIONAMIENTO.

A continuación se detalla la forma en la que se debe manipular el equipo para que el mismo funcione de manera óptima.

- Seleccionar el tipo de Acero a realizar el tratamiento térmico.
- Determinar el tratamiento térmico a realizar.
- Determinar las temperaturas y tiempos para la programación del perfil a seguir para la realización del tratamiento térmico.
- Colocamos las probetas en el interior del horno.
- Una vez que se tiene los parámetros para realizar el tratamiento térmico se pulsa la tecla de entre durante 5 segundos.
- A continuación el empieza el calentamiento del horno establecido en el perfil a seguir.
- Una vez que el horno ha alcanzado la temperatura y cumplido el tiempo (perfil programado) del tratamiento térmico el horno se apaga automáticamente.

5.6. GUIA DE MANTENIMEINTO.

La guía de mantenimiento presenta tareas dependiendo de su utilidad se las debe realizar antes, durante y después de las prácticas de tratamientos térmicos. Estas actividades tienen con finalidad el cumplir un mantenimiento preventivo con el cual logramos incrementar la vida útil del horno, por lo cual las actividades de mantenimiento deberán realizarse conjuntamente con el ayudante encargado del laboratorio y los estudiantes que realicen las prácticas.

ANTES DE LA PRÁCTICA:

- Realizar una inspección en toda la estructura y conexiones eléctricas verificando que no exista daños, golpes y desajustes.
- Verificar que la cámara de calentamiento se encuentre limpia y en buen estado.
- Comprobar el estado de funcionamiento del controlador de temperatura PID y demás dispositivos electrónicos.
- Para evitar peligro de incendios, el horno no debe utilizarse cerca o debajo de materiales inflamables.

DURANTE LA PRÁCTICA:

- Realizar un control visual continuo durante el funcionamiento del horno.
- Verificar que las resistencias se encuentren ubicadas en las paredes laterales de la cámara de calentamiento.
- Controlar que la temperatura no sobrepase los límites programados en el controlador de temperatura PID.

DESPUÉS DE LA PRÁCTICA:

- Desconectar las dos líneas de alimentación de voltaje con las que consta el horno
- Limpieza de la cámara de calentamiento.
- Limpieza del panel de control.
- Limpieza del refractario de la puerta del horno.

MANTENIMIENTO MENSUAL:

- Verificar que los Breakers, tanto del sistema de calentamiento como del sistema de control se encuentren en buen estado.
- Limpieza general de la cámara de calentamiento, principalmente de la termocupla que se encuentra en la parte interna de la cámara, esto con el fin de que se obtengan datos temperatura lo más fiables posibles.
- Limpieza interna de todo el sistema de control.
- Verificación con la ayuda de un multímetro de la resistividad de las resistencias.

CAPÍTULO 6.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

6.1. ANALISIS ECONÓMICO.

Partiendo del hecho que es de una rehabilitación y que en el laboratorio ya se disponía de algunos elementos críticos para el equipo, por lo tanto se ha tomado en cuenta los materiales necesarios y faltantes para la rehabilitación del horno.

6.2. ANÁLISIS DE COSTOS.

Para el análisis de costos se han tomado en cuenta los siguientes rubros que inciden en los costos directos, indirectos y costo total en la rehabilitación del horno.

- Transporte.
- Adquisición del sistema de control como de los elementos necesarios para la realizar la conexión del mismo.
- Rehabilitación del horno.
- Mano de obra calificada.
- Pruebas y funcionamiento.

6.2.1. COSTOS DIRECTOS.

A continuación se detalla la inversión fija que se necesitó:

Tabla 25. Costos directos

COSTOS DIRECTOS.			
ITEM	DENOMINACION		VALOR
1	Materiales para la cámara de calentamiento	\$	120,00
2	Materiales para el sistema de calentamiento.	\$	450,00
3	Sistema de control PID	\$	520,00
4	Materiales electrónicos	\$	180,00
5	Mano de obra	\$	100,00
TOTAL		\$	1.370,00

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 COSTOS INDIRECTOS.

En los costos indirectos se ha tomado un valor del 32 % con relación a los costos directos, se considera una utilidad de 0% para fines de estudio realizado en el proyecto de tesis.

Tabla 26. Costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS.			
ITEM	DENOMINACION	PROCENTAJE	VALOR
1	Imprevistos de costos directos	6%	\$ 100,00
2	Montaje de equipos	6%	\$ 100,00
3	Servicios básicos	0%	\$ -
4	Utilidad	0%	\$ -
5	Diseño ingenieril	12%	\$ 150,00
6	Combustible	6%	\$ 100,00
TOTAL			\$ 450,00

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. COSTO TOTAL.

El costo total del proyecto está representado por la suma de los costos directos e indirectos, por lo tanto:

Tabla 27. Costo total

COSTO TOTAL		
ITEM	DENOMINACION	VALOR
1	Costos directos	\$ 1.370,00
2	Costos Indirectos	\$ 450,00
	TOTAL	\$ 1.820,00

Fuente: Elaboración propia

Se tiene un valor total del proyecto de tesis de 1.820,00 dólares, el cual es financiado completamente por el estudiante encargado de la tesis.

CAPÍTULO 7.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. CONCLUSIONES.

- Se realizó completamente el diseño, rehabilitación y puesta en marcha del horno para tratamientos térmicos.
- El diseño del sistema de calentamiento del horno permitió cumplir con los requerimientos del laboratorio para la óptima realización de las practicas de tratamientos térmicos.
- Al implementar tres resistencias eléctricas como elementos de calentamiento la cantidad de calor es mayor permitiendo que las temperaturas de los tratamientos térmicos se alcance en menor tiempo, y en consecuencia un tiempo total menor.
- El tiempo promedio para que el horno alcance una temperatura aproximada de 800°C es de 1 hora con 40 minutos, es 2.4 veces menor comparado con el horno tipo mufla que se usa actualmente en el laboratorio de Ciencia de Materiales del DECEM.
- La implementación del controlador de temperatura PID como sistema de control del horno consta con tecnología de lógica difusa que permite un proceso para llegar un punto de ajuste predeterminado en el menor tiempo posible.
- La operación entre el operador y el controlador de temperatura PID no requiere de conocimientos profundos de computación, ya que únicamente se usa la consola de control.

- Realizadas las pruebas se ha establecido el error de $\pm 3\%$ de la temperatura real promedio, este error es mínimo ya que las probetas obtuvieron los resultados esperados en las pruebas de metalografía y dureza.

7.2. RECOMENDACIONES.

- Se debe dar una operación adecuada a los sistemas del horno, así como un mantenimiento periódico para poder conservar la eficiencia, remitiéndose estrictamente al manual de operación y a la guía de mantenimiento.
- Para realizar el mantenimiento de recomienda seguir lo establecido en el manual que consta en este proyecto.
- Se recomienda esperar 40 minutos después de realizada la práctica para realizar la limpieza del horno.
- Para lograr un control de temperatura más preciso con el PID, un mantenimiento continuo a la termocupla
- Para evitar daños en el controlador de temperatura PID se deben verificar los circuitos de protección del mismo, tener cuidado con las conexiones eléctricas.
- Aun cuando el manejo del controlador de temperatura PID es sencillo, se recomienda un adiestramiento previo al personal que está a cargo del equipo.
- Se recomienda que el horno debe ser ubicado en lugares secos y ventilados debido a que la humedad puede producir daños tanto en los implementos mecánicos, como eléctricos y electrónicos.

BIBLIOGRAFIA

1. Frank. P. Incropera (1999). Fundamentos de Transferencia de calor Editorial Prentice Hall. Cuarta Edición. México.
2. ASKELAND, Donald R. (1998). (Tercera Edición) Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México.
3. SMITH, William, (2005). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales. Concepción Fernández. España, Madrid.
4. Carlos A. Reyes (2004) Aprenda Rápidamente a Programar micricontroladores Quito-Ecuador.
5. Yu.M.LAJTIN 1985. Metalografía y tratamiento térmico de los metales.Moscu.
6. Telemecanique. Catalogo de Contactores, Reles Térmico Auditivo
7. Hichs Hitler, (2003). Formulas de Ingenieria Mecanica. Primera edición. McGraw-Hill, España.
8. ACOSTA, Luis, (1972). “Guía Práctica para la Investigación Científica”.Paidós. Buenos Aires. Argentina.
9. BrainChild, (2012) User Manual P41

Páginas Web:

- 1 . http://www.sapiensman.com/control_automatico.htm
2. <http://www.parallaxinc.com>
3. <http://www.stampsenclase.com>
- 4.[http://es.wikipedia.org/wiki/termocuplas\[consulta:17julio2010\]](http://es.wikipedia.org/wiki/termocuplas[consulta:17julio2010])
- 5.www.udb.edu.sv/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%200208.pdf
6. <http://www.mitecnologico.com/Main/TempleTratamientoTermicoAce>
7. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9403>

8. <http://ingeniaste.com/ingenias/telecom/ventajas-desventajas-plc.html>
9. <http://www.monografias.com/trabajos55/dureza-aceroaisi>
10. <http://www.slideshare.net/xMorfe0x/metodos-de-tratamientos-termicos-en-un-acero>