



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“REPOTENCIACIÓN DE LOS HORNOS DE TRATAMIENTO  
TÉRMICO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA  
SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

JORGE EDUARDO BURGOS CAYAMBE

CARLOS DANIEL FREIRE CARRANZA

Riobamba - Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“REPOTENCIACIÓN DE LOS HORNOS DE TRATAMIENTO  
TÉRMICO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA  
SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES: JORGE EDUARDO BURGOS CAYAMBE**

**CARLOS DANIEL FREIRE CARRANZA**

**DIRECTOR: ING. EDISSON FERNANDO CALDERÓN FREIRE**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Jorge Eduardo Burgos Cayambe y Carlos Daniel Freire Carranza**

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

Nosotros, JORGE EDUARDO BURGOS CAYAMBE Y CARLOS DANIEL FREIRE CARRANZA, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 09 de agosto de 2023



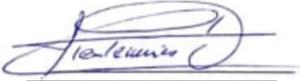
**Carlos Daniel Freire Carranza**  
**180435531-9**



**Jorge Eduardo Burgos Cayambe**  
**060381142-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**REPOTENCIACIÓN DE LOS HORNOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”, realizado por los señores: **JORGE EDUARDO BURGOS CAYAMBE** y **CARLOS DANIEL FREIRE CARRANZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-08-09
Ing. Edison Fernando Calderón Freire <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-08-09
Ing. Alex Giovanni Tenicota Garcia <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-08-09

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación dedico a Dios y mi familia Jorge, Pilar, Lizbeth, Paola y Adriel que durante estos años de vida universitaria han sido mi apoyo incondicional y una guía para poder alcanzar la meta de llegar a ser profesional y ser mejor cada día. Una mención especial a mi hijo Adriel Nicolas Burgos que con su llegada a mi vida ha sido mi motivación, inspiración y fortaleza para poder concluir mi carrera universitaria y superarme todos los días.

Jorge Burgos C.

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios, por darme la vida, salud, a todas aquellas personas que confiaron en mí, en especial a mis padres, Carlos y Sandra por ser los pilares fundamentales en mi vida y un ejemplo a seguir, quienes desde el primer momento me brindaron su apoyo incondicional me motivaron día tras día en el transcurso de esta etapa de mi vida para que no desista y cumplir la meta de ser un profesional, a mi hermano Erik quien me inspiro a seguir en la lucha de mis sueños, me supo escuchar, alentar, motivar en cada momento y sobre todo nunca me dejaron solo.

Carlos Freire C.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por guiarme, darme salud y sabiduría para poder culminar mi carrera universitaria, gracias a mis docentes que en el transcurso de mi formación compartieron sus conocimientos y experiencias, gracias a mi familia por siempre estar apoyándome y ser un pilar fundamental para mi formación profesional, Gracias a mi Hijo Adriel por ser una inspiración para jamás rendirme. Gracias al director y asesor del presente trabajo de titulación, que supieron guiarnos y aconsejarnos durante el desarrollo y presentación de nuestro trabajo. Y finalmente Gracias a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la escuela de ingeniería de Mantenimiento Industrial por permitirme formar parte de gran prestigiosa institución

Jorge Burgos C

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por darme la vida, salud, guiarme por buen camino, además por llenarme siempre de sabiduría, fortaleza y capacidad para lograr y alcanzar mis metas, a mis padres y mi hermano quienes hicieron todo lo posible para ayudarme a cumplir esta meta más en mi vida, y acompañarme en cada momento, gracias por todos sus esfuerzo, y agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y a la prestigiosa Escuela de Ingeniería de Mantenimiento Industrial, por haberme permitido formar parte de tan prestigiosa carrera. al director y Asesor del proyecto de integración curricular quienes nos compartieron sus conocimientos para el desarrollo y ejecución del presente trabajo.

Carlos Freire C

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1.</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.</b>	<b>Justificación y actualidad.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.</b>	<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<i>1.4.1.</i>	<i>Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2.</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
<b>1.5.</b>	<b>Consideraciones técnicas y tecnológicas.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6.</b>	<b>Resultados a alcanzar.....</b>	<b>5</b>

### CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.</b>	<b>Tratamientos térmicos.....</b>	<b>6</b>
<i>2.1.1.</i>	<i>Objetivos del tratamiento térmico.....</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2.</i>	<i>Tipos de tratamiento.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2.1.</i>	<i>Tratamientos térmicos temple.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2.2.</i>	<i>Tratamientos térmicos revenidos.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.2.3.</i>	<i>Tratamientos térmicos recocido.....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.2.4.</i>	<i>Tratamientos térmicos cementación.....</i>	<i>14</i>
<b>2.2.</b>	<b>Horno.....</b>	<b>17</b>
<i>2.2.1.</i>	<i>Partes de un horno.....</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2.</i>	<i>Clasificación de los hornos.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.3.</i>	<i>Tipos de hornos de calentamiento.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3.1.</i>	<i>Eléctrico.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3.2.</i>	<i>Gas.....</i>	<i>21</i>

2.2.3.3.	<i>Oil</i> .....	22
<b>2.3.</b>	<b>Mantenimiento de hornos de tratamiento térmico</b> .....	<b>22</b>
2.3.1.	<i>Ventajas del mantenimiento preventivo</i> .....	22
2.3.2.	<i>Elementos o partes del mantenimiento</i> .....	23
2.3.2.1.	<i>Cronograma</i> .....	23
2.3.2.2.	<i>Tareas implementadas</i> .....	23
2.3.2.3.	<i>Recursos necesarios</i> .....	24
2.3.2.4.	<i>Documentación</i> .....	24
<b>2.4.</b>	<b>Electrónica de potencia</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5.</b>	<b>Sistemas de control electrónico</b> .....	<b>25</b>
2.5.1.	<i>Sistema de control de lazo abierto</i> .....	25
2.5.2.	<i>Sistema de control de lazo cerrado</i> .....	25
2.5.3.	<i>Sistema de control on/off</i> .....	26
<b>2.6.</b>	<b>Tarjeta de control</b> .....	<b>26</b>
2.6.1.	<i>Arduino</i> .....	26
2.6.1.1.	<i>Tipos de arduino</i> .....	27
<b>2.7.</b>	<b>Normas ASTM</b> .....	<b>27</b>
2.7.1.	<i>Tipos</i> .....	28
2.7.2.	<i>Normativas para las instalaciones</i> .....	30

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1.</b>	<b>Evaluación inicial</b> .....	<b>32</b>
3.1.1.	<i>Checklist para diagnóstico del horno</i> .....	33
3.1.2.	<i>Beneficios de contar con el Checklist</i> .....	33
<b>3.2.</b>	<b>Diagrama de conexión eléctrica y electrónica del controlador</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3.</b>	<b>Controladores de proceso para medición y retrasmisión de temperatura</b> .....	<b>38</b>
3.3.1.	<i>Selección de equipos e instrumentos necesarios</i> .....	38
3.3.1.1.	<i>Arduino UNO</i> .....	38
3.3.1.2.	<i>Controlador de temperatura</i> .....	39
3.3.2.	<i>Insumos y materiales</i> .....	39
3.3.3.	<i>Diagrama del proceso</i> .....	40
<b>3.4.</b>	<b>Plataforma de desarrollo basado en software libre</b> .....	<b>40</b>
3.4.1.	<i>Configuración de parámetros para retrasmisión de temperatura con salida analógica</i> .....	41
3.4.2.	<i>Ejecución del software portable para adquisición de datos</i> .....	41

3.5.	Documentos necesarios.....	45
3.5.1.	<i>Formato inventario de activos</i> .....	45
3.5.2.	<i>Ficha técnica del activo</i> .....	46
3.5.3.	<i>Bitácora de mantenimiento de los activos</i> .....	48
3.5.4.	<i>Orden de trabajo</i> .....	48
3.5.5.	<i>Cronograma de mantenimiento preventivo</i> .....	50

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	51
4.1.	<b>Cálculo de la temperatura</b> .....	51
4.2.	<b>Características de los elementos</b> .....	52
4.2.1.	<i>Características del agua</i> .....	52
4.2.2.	<i>Características de las soluciones salinas</i> .....	52
4.2.3.	<i>Características de los aceites</i> .....	52
4.2.4.	<i>Características de los gases</i> .....	53
4.2.5.	<i>Características de las sales fundidas</i> .....	53
4.3.	<b>Mantenimiento y repotenciación</b> .....	54
4.4.	<b>Procedimiento para el cálculo de la dureza</b> .....	55
4.5.	<b>Cálculo de la Dureza Brinell (HB)</b> .....	57
4.6.	<b>Cuadro comparativo de los promedios obtenidos en los diferentes elementos</b>	58
4.7.	<b>Comparación de los resultados obtenidos</b> .....	59
4.7.1.	<i>Metalografía</i> .....	61
4.7.1.1.	<i>Requerimientos</i> .....	61
4.8.	<b>Manual de operación y mantenimiento para los hornos de tratamientos térmicos</b> .....	65
4.8.1.	<i>Manual de operación</i> .....	65
4.8.2.	<i>Manual de mantenimiento</i> .....	69
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	71
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	72
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Clasificación del acero según ASTM.....	28
<b>Tabla 3-1:</b> Checklist de verificación del estado del horno.....	34
<b>Tabla 3-2:</b> Checklist general del estado del horno.....	35
<b>Tabla 3-3:</b> Especificaciones del microcontrolador .....	38
<b>Tabla 3-4:</b> Especificaciones del controlador de temperatura .....	39
<b>Tabla 3-5:</b> Insumos y materiales .....	39
<b>Tabla 3-6:</b> Ejecución del software en horno 1 .....	41
<b>Tabla 3-7:</b> Ejecución del software en horno 1 .....	42
<b>Tabla 3-8:</b> Ejecución del software horno 2.....	43
<b>Tabla 3-9:</b> Ejecución del software horno 2.....	44
<b>Tabla 3-10:</b> Formato inventario de activos.....	46
<b>Tabla 3-11:</b> Formato ficha técnica del activo .....	47
<b>Tabla 3-12:</b> Formato ficha técnica del activo .....	48
<b>Tabla 3-13:</b> Orden de trabajo .....	49
<b>Tabla 3-14:</b> Cronograma de mantenimiento preventivo .....	50
<b>Tabla 4-1:</b> Mantenimiento y repotenciación.....	54
<b>Tabla 4-2:</b> Propiedades del acero AISI 1018.....	56
<b>Tabla 4-3:</b> Dureza Brinell acero AISI 1018 en condiciones normales.....	56
<b>Tabla 4-4:</b> Cálculo de la dureza Brinell.....	57
<b>Tabla 4-5:</b> Promedios obtenidos por tipo de elemento utilizado.....	58
<b>Tabla 4-6:</b> Variación de las durezas .....	59
<b>Tabla 4-7:</b> Lijas utilizadas .....	61
<b>Tabla 4-8:</b> Tipo de pulido.....	61
<b>Tabla 4-9:</b> Temperatura de prueba .....	62
<b>Tabla 4-10:</b> Tiempo en el horno .....	62
<b>Tabla 4-11:</b> Vistas en el microscopio antes y después del cementado 20x y 50x .....	63
<b>Tabla 4-12:</b> Vistas en el microscopio antes y después del temple en agua 20x y 50x .....	64
<b>Tabla 4-13:</b> Pantalla, leds y botones.....	66
<b>Tabla 4-14:</b> Listado de parámetros .....	67

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Tratamientos térmicos temple .....	7
<b>Ilustración 2-2:</b> Tratamientos térmicos revenido .....	9
<b>Ilustración 2-3:</b> Temperatura en el revenido .....	10
<b>Ilustración 2-4:</b> Temperatura vs tiempo en temple .....	11
<b>Ilustración 2-5:</b> Diagrama de tiempo, temperatura, transformación (TTT) .....	11
<b>Ilustración 2-6:</b> Tratamientos térmicos recocido.....	12
<b>Ilustración 2-7:</b> Tratamientos térmicos cementación .....	14
<b>Ilustración 2-8:</b> Partes de un horno.....	18
<b>Ilustración 2-9:</b> Clasificación por calentamiento .....	19
<b>Ilustración 2-10:</b> Clasificación según la atmósfera .....	19
<b>Ilustración 2-11:</b> Clasificación según la solera .....	19
<b>Ilustración 2-12:</b> Horno de tratamiento térmico.....	21
<b>Ilustración 2-13:</b> Sistema de control de lazo abierto .....	25
<b>Ilustración 2-14:</b> Sistema de control de lazo cerrado .....	26
<b>Ilustración 2-15:</b> Arduino .....	27
<b>Ilustración 2-16:</b> Normas internacionales del acero .....	29
<b>Ilustración 3-1:</b> Evaluación inicial.....	32
<b>Ilustración 3-2:</b> Conexión eléctrica y electrónica 1 .....	36
<b>Ilustración 3-3:</b> Conexión eléctrica y electrónica 2.....	37
<b>Ilustración 3-4:</b> Arduino UNO.....	38
<b>Ilustración 3-5:</b> Controlador de temperatura .....	39
<b>Ilustración 3-6:</b> Diagrama del proceso.....	40
<b>Ilustración 3-7:</b> Plataforma de Arduino .....	40
<b>Ilustración 3-8:</b> Información obtenida del horno 1 .....	42
<b>Ilustración 3-9:</b> Información obtenida del horno 1 .....	43
<b>Ilustración 3-10:</b> Información obtenida del horno 2.....	44
<b>Ilustración 3-11:</b> Información obtenida del horno 2.....	45
<b>Ilustración 4-1:</b> Cálculo de la temperatura.....	51
<b>Ilustración 2-4:</b> Configuración de parámetros .....	55
<b>Ilustración 4-3:</b> Escalas límite superior e inferior .....	55
<b>Ilustración 4-4:</b> Dureza Brinell en acero AISI 1018 .....	58
<b>Ilustración 4-5:</b> Variación de la Dureza Brinell HB en diferentes elementos.....	58
<b>Ilustración 4-6:</b> Cortes realizados antes y después del pulido.....	62
<b>Ilustración 4-7:</b> Temple del Acero AISI 1018 antes y después del tratamiento .....	63

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: CHECK LIST DE MANTENIMIENTO**

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo repotenciar los hornos de tratamiento térmico de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El primer paso fue diagnosticar las fallas y averías existentes en los hornos de tratamiento térmico mediante una ficha de observación basada en veintidós ítems, determinando características con las que se debe contar para garantizar su adecuado funcionamiento. Después se realizó una investigación acerca de las características técnicas con las que debe contar un equipo de automatización en hornos, con lo anterior realizado se procedió con la realización del mantenimiento y su repotenciación en piezas, partes o accesorios. Se realizaron pruebas con diferentes tratamientos térmicos mediante ensayos de Dureza Brinell (Hard Brinell HB) en Acero AISI 1018 mediante tres agujeros y diferentes tratamientos como: aceite, agua, al horno, arena y cementación en donde el índice HB más alto se obtuvo mediante agua con un valor de 242,46 y el menor fue de 151,97 en cementación esto en comparación del valor del acero en condiciones normales que es de 184,16. Adicionalmente se detalla un manual de operación y mantenimiento para el tipo de horno con el que cuenta la Facultad de Mecánica, enfocado en: instrucciones de uso, precauciones, comandos y operatividad de la pantalla, mantenimientos de piezas y partes. Se concluye que, al identificar las fallas o averías existentes en el horno de tratamiento térmico mediante fichas de observación, se procede a realizar el mantenimiento requerido y redactar un manual para que los estudiantes de la Facultad de Mecánica puedan desarrollar prácticas de tratamientos térmicos de manera segura, eficaz y con resultados más precisos.

**Palabras clave:** <HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO> <MANTENIMIENTO>  
<REPOTENCIACIÓN> <ENSAYOS DE DUREZA> <MANUAL DE OPERACIÓN>.

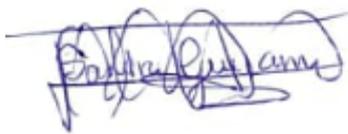
1711-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

This degree work aimed to upgrade the heat treatment furnaces of the Mechanics Faculty at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The first step was to diagnose the existing failures and breakdowns in the heat treatment furnaces utilizing an observation sheet based on twenty-two items, determining the characteristics that must be considered to guarantee their adequate operation. Afterward, an investigation was made about the technical aspects that automation equipment in furnaces must have; with the above mentioned, we proceeded with the maintenance and its repowering in pieces, parts, or accessories. Tests were carried out with different thermal treatments employing Brinell Hardness tests (Hard Brinell HB) in AISI 1018 steel through three holes and other procedures such as oil, water, furnace, sand, and cementation where the highest HB index was obtained with water with a value of 242.46 and the lowest was 151.97 in cementation, this in comparison with the value of the steel in normal conditions which is 184.16. Additionally, an operation and maintenance manual is detailed for the type of furnace the Faculty of Mechanics has, focusing on instructions for use, precautions, commands and operation of the screen, and maintenance of parts and pieces. It is concluded that by identifying the existing failures or breakdowns in the heat treatment furnace using observation sheets, the required maintenance is carried out, and a manual is written so that the students of the Mechanics Faculty can develop heat treatment practices safely and efficiently and with more accurate results.

**Keywords:** <HEAT TREATMENT FURNACE> <MAINTENANCE> <HARDNESS TESTS>  
<OPERATION MANUAL> <REPOWERING> <OPERATING MANUAL>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay  
C.I.: 0603366113

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento preventivo aplicado al horno de tratamiento térmico de la Facultad de Mecánica, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, es sumamente importante para asegurar un funcionamiento constante, eficaz y adecuado en las prácticas desarrolladas por los alumnos de la facultad, se ha identificado mediante instrumentos de investigación que este activo no cuenta con las condiciones mínimas para asegurar su funcionamiento, razón por la cual se procede al desarrollo del presente trabajo técnico, desarrollado de la siguiente manera:

**CAPÍTULO I.** Diagnóstico del problema, se realizó el planteamiento del problema especificando por qué se propone el tema de estudio, conjuntamente se presenta la justificación y se determinan los objetivos tanto general como específicos, a los cuales se dará cumplimiento durante el desarrollo del trabajo de titulación.

**CAPÍTULO II.** Marco referencial, se encuentra compuesto de los antecedentes investigativos, se estableció mediante la revisión bibliográfica de temas que guarden alguna relación con el tema de investigación. Adicionalmente, las referencias teóricas se desarrollaron en base a las variables dependiente e independiente, definiciones que se han obtenido de diferentes fuentes, entre ellas: artículos científicos, libros, sitios web, trabajos de pregrados, normativas nacionales e internacionales, entre otras.

**CAPÍTULO III.** Marco metodológico, dentro de este capítulo se desarrollaron ciertos documentos que permitieron realizar un diagnóstico del estado del horno de tratamiento térmico, así como también se determinaron todos aquellos materiales y recursos necesarios para los ensayos de Dureza Brinell HB y su repotenciación para el uso de los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

**CAPÍTULO IV.** Resultados, en este capítulo se analizaron e interpretaron todos aquellos datos recopilados, determinando daños y averías existentes en el horno de tratamiento térmico, también se llevaron a cabo los ensayos de dureza HB del Acero AISI 1018 en condiciones normales frente a diferentes índices HB conseguidos mediante tratamientos como: agua, arena, aceite, horno y cementación. También se creó un manual para uso, revisión y realización de un adecuado mantenimiento del horno.

**CAPÍTULO V.** Conclusiones y recomendaciones, es la etapa en donde se redactaron las conclusiones y recomendaciones con base en los objetivos planteados inicialmente en el trabajo técnico.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

Para el sustento del presente trabajo de integración curricular se obtuvo referencias bibliográficas sobre proyectos afines con el tema propuesto, que son de gran importancia para comprender la implementación a efectuarse, se conoció que, en varias Instituciones de Educación Superior, en carreras de ingeniería, se han enfocado trabajos de titulación en el área de laboratorio, principalmente en la repotenciación o rediseño de los hornos de tratamiento térmico, entre ellas se encuentran:

Mediante un proyecto técnico desarrollado en la Escuela Politécnica Nacional con el fin de repotenciar el horno de tratamiento térmico del laboratorio que se encontraba sin funcionamiento, de esta manera se pudo establecer los rangos de calentamiento necesarios, mediante la implementación de controladores que permitió la automatización del sistema y una HMI para el monitoreo desde un computador, obteniendo un equipo de alta tecnología capaz de controlar la temperatura en base a la necesidad requerida (Monar, 2021 p. 13).

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se desarrolló el tema denominado, “Diseño, rehabilitación y puesta en marcha del sistema de calentamiento del horno de tratamientos térmicos hasta 1000 °C Marca Sybrom Modelo Termolyne 1500, perteneciente al laboratorio de Ciencias de Materiales del Decem” en el año 2014, donde se determinó trabajar en la parte de los requisitos técnicos, ya que es la parte más sensible y en la cual se requiere mayor precisión al ejecutar el diseño del sistema de calentamiento, la metodología aplicado se enfocó en el uso de controladores que permitan tener el control de la temperatura en el equipo para el desarrollo de las prácticas

#### 1.2. Justificación y actualidad

El desarrollo del presente trabajo de integración curricular surge de la necesidad que se ha observado en la instalación del laboratorio, ya que, a través de la repotenciación del equipo, los estudiantes que efectúan las prácticas en el transcurso de la preparación profesional en las instalaciones de la facultad fortalecerán sus conocimientos y habilidades, que posteriormente en el campo laboral pondrán en práctica los aprendizajes obtenidos.

El horno térmico que posee la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por el paso del tiempo y uso frecuente, ha sufrido un desgaste notorio, por lo cual hoy en día no se encuentra en condiciones apropiadas para el funcionamiento adecuado, es por ello que ciertos controladores de la maquinaria deberán ser sustituidos, permitiendo ejecutar un desempeño eficiente.

### **1.3. Planteamiento del problema**

A nivel mundial en los hornos de tratamiento térmico se han detectado problemas relacionados con el control de temperatura, es por ello que muchas industrias han optado por implementar nuevos controladores en los equipos con los cuales se incrementará la tecnología y el rendimiento para el mejoramiento de las líneas de producción (Monar, 2021).

En Latinoamérica, en países como Chile y Colombia, se ha aplicado metodologías en los hornos de tratamiento con el fin de repotenciar el equipo, es por ello que mediante los estudios realizados y aplicados se ha determinado que los sistemas que recuperan solo una fracción del calor disponible ya son viables económicamente y, por ende, se considera la implementación de sistemas de recuperación de calor en hornos ya existentes en la industria de tratamiento térmico, como una oportunidad atractiva y factible económicamente (Moreno, 2020).

Para la implementación de los diferentes controladores ubicados en los hornos se realizó una investigación minuciosa sobre las características de cada uno de los posibles a implementar, de esta manera se seleccionó el más apropiado para minimizar las pérdidas por calentamiento al momento de la implementación, por esta razón una vez colocados los equipos adquiridos se procedió a realizar pruebas en su funcionamiento para comprobar los resultados esperados tras la repotenciación.

En Ecuador se ha repotenciado hornos de tratamiento térmico principalmente en las instituciones de educación superior, para lo cual se han utilizado una serie de elementos para mejorar la temperatura del equipo entre ellos; controladores electrónicos configurados mediante programación en un software, también se han implementado resistencias eléctricas con una potencia de 9.6 kW y una temperatura máxima de 900 °C, obteniendo como resultado un aumento de 3.5 veces más después de la repotenciación (López, 2019).

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo dispone de áreas designadas para desarrollar las habilidades en cada una de las carreras técnicas, uno de los laboratorios se encuentra en la Facultad de Mecánica, que en la actualidad posee un horno térmico en condiciones no apropiadas

para que los estudiantes realicen las prácticas designadas en cada uno de los semestres, es por ello que se plantea la repotenciación del equipo mediante la implementación de controladores que permitan controlar la temperatura del equipo, de esta manera se fortalecerán los conocimientos adquiridos de forma teórica en las aulas con la práctica.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

Repotenciar los hornos de tratamiento térmico de la Facultad de Mecánica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

##### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Diagnosticar las fallas y averías existentes en los hornos de tratamientos térmicos, de la Facultad de Mecánica.
- Investigar las características de los equipos de automatización que garanticen el correcto funcionamiento de los hornos.
- Realizar el mantenimiento correctivo y repotenciación necesario de las partes y accesorios de los hornos, para el funcionamiento correcto.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento para los hornos de tratamientos térmicos de la Facultad de Mecánica de La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

#### **1.5. Consideraciones técnicas y tecnológicas**

Para el desarrollo del proyecto técnico se procedió con diferentes actividades, las cuales se describen a continuación:

- Se empezó a realizar el diagnóstico sobre el funcionamiento actual de los hornos de tratamientos térmicos.
- Se obtuvo ciencia cierta las falencias existentes.
- Se determinó los requerimientos necesarios para el funcionamiento del equipo
- Se procedió con la investigación bibliográfica sobre los equipos electrónicos útiles y necesarios con el fin de seleccionar las características más adecuadas de los controladores a implementar.
- Una vez implementados los equipos en los hornos de tratamientos térmicos se efectuaron

pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de los mismos.

#### **1.6. Resultados a alcanzar**

La Facultad de Mecánica posee un laboratorio donde se ubican los hornos de tratamiento térmicos, el que actualmente se encuentra en estado obsoleto, es por ello que se repotenciará el equipo a través de la implementación de controladores que permitirán regular la temperatura, esta propuesta se efectuará con el fin que los estudiantes desarrollen talleres prácticos de una manera más cómoda y óptima, además los docentes tendrán las facilidades adecuadas y herramientas necesarias para impartir las clases.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. Tratamientos térmicos

Es un tratamiento de un acero que por medio del calor y frío alteran las propiedades del material de manera física o mecánicamente, esto ocurre debido al cambio de su microestructura o tipo de material, es importante recordar que no hay cambios químicos, simplemente son expuestos a temperaturas establecidas por un tiempo predeterminado, posteriormente el material debe ser enfriado para ello se pueden utilizar varios elementos como: agua, aceite, aire libre, arena o en horno (Belzunce , 2020).

Estos procesos ayudan a transformar diversas propiedades de los materiales, a su vez pueden modificar los metales, especialmente el acero, de la misma manera los plásticos, vidrios o cerámica (Masqui , 2018). En el caso de los materiales metálicos, la solución de tratamiento térmico permite obtener piezas acabadas de alta calidad, los cuales garantizan las propiedades mecánicas (dureza, solidez, resistencia a la corrosión o a la fricción) que requieren las distintas industrias (aeroespacial, automoción, médica, etc.) (Sánchez, 2019 p. 52).

Las operaciones de tratamiento térmico de los metales permiten cambiar las propiedades y características mecánicas de los materiales, en este caso del acero. Cuando el acero se expone a cambios extremos de temperatura, su estructura interna cambia y adquiere nuevas propiedades como la resistencia, tenacidad, dureza, entre otras que se realizan según:

- Los resultados exigidos en función de las limitaciones de uso de las piezas acabadas
- Los tipos de materiales que se van a tratar
- La criticidad de la pieza acabada

##### 2.1.1. *Objetivos del tratamiento térmico*

Para (Sánchez, 2019) los objetivos que se persiguen mediante estos procesos son variados, los más destacados son:

- Mejorar la dureza de la superficie de las piezas, sin reducir la tenacidad del núcleo.
- Aumentar la resistencia al desgaste aumentando el poder lubricante.

- Aumentar la resistencia a la fatiga y/o a la corrosión, sin sacrificar otras propiedades importantes tales como adaptabilidad. Se aplican a herramientas de arranque de viruta, camisas de pistón.

## 2.1.2. Tipos de tratamiento

### 2.1.2.1. Tratamientos térmicos temple

En algunos casos, el enfriamiento se interrumpe en el rango de temperatura de (180-500 °C), alcanzando que el temple tenga un mínimo de variación en las dimensiones de las piezas, el menor riesgo de deformación, obteniendo durezas y resistencias definidas, de acuerdo con las estructuras cristalinas en lo que se refiere a martensita, austenita, o vainita (Arias, 2019 p. 97).



**Ilustración 2-1:** Tratamientos térmicos temple

Fuente: (Arias, 2019)

## Características

(Arias, 2019), manifiesta que las características de los tratamientos térmicos de temple son:

Es el tratamiento térmico más importante

- Mayor dureza y resistencia del acero
- La temperatura de calentamiento varía de acuerdo al material utilizado
- Enfriamiento rápido
- Se puede generar grietas en las piezas si la temperatura no es adecuada

## Ventajas

Para (Arias, 2019), las ventajas del temple son:

- Permite tratar una parte determinada de la pieza (perfil de temple)
- Gestión de la potencia aplicada.
- Control de la frecuencia y tiempos de calentamiento.
- Control del enfriamiento.
- Ahorro de energía.
- No hay contacto físico.
- Control y localización del calor.
- Posibilidad de integración en líneas de producción.

### **Desventajas**

Según (Arias, 2019), las desventajas del temple son:

- Cuando se calienta un acero de manera rápida, no se respeta los tiempos correspondientes al tipo de acero y medida.
- Después de sacar al acero del horno, se debe enfriar con aceite en lugar de agua.
- Cuando un acero en el temple no alcanza la temperatura (baja o insuficiente)
- Si a un acero se expone a altas temperaturas sin quemarse

### **Procedimiento de temple**

El proceso del temple del metal está comprendido en tres etapas

- Calentamiento del metal
- Uniformidad en la temperatura proporcionada al material
- Enfriamiento rápido

#### *2.1.2.2. Tratamientos térmicos revenidos*

El revenido es un tratamiento térmico que sigue al de templado del acero, tiene como finalidad aminorar las tensiones internas de la pieza producidas por el temple o por la deformación en frío. De la misma manera, mejora las propiedades mecánicas y reduce la fragilidad y ligeramente la dureza, esto será más procesado cuanto más elevada sea la temperatura de revenido (Nuñez, et al., 2020 p. 45).



**Ilustración 2-2:** Tratamientos térmicos revenido

Fuente: (Nuñez, et al., 2020)

### **Características**

Según (Nuñez, et al., 2020), las características de los tratamientos térmicos de revenido son:

- Es un tratamiento que se realiza después del temple.
- Permite ablandar el acero.
- Elimina las tensiones internas.
- La temperatura de calentamiento está entre 150 °C y 500 °C
- El enfriamiento puede ser al aire o en aceite.

### **Ventajas**

Para (Nuñez, et al., 2020), las ventajas del proceso de revenido son:

- Mejorar la tenacidad de los aceros templados, en base a la disminución de la dureza, la resistencia mecánica y su límite elástico.
- Optimizar los efectos del temple, llevando al acero a un estado de mínima fragilidad.
- Modificar las características mecánicas.
- Aumentar las características de ductilidad; alargamiento estiración y las de tenacidad.

### **Desventajas**

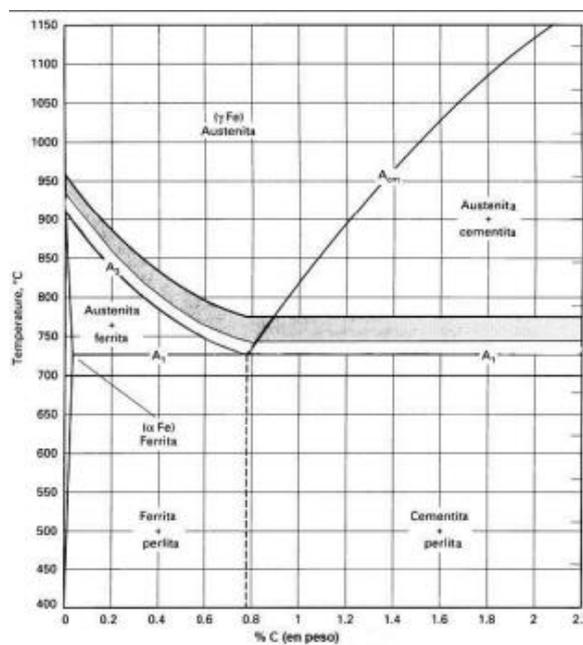
Para (Nuñez, et al., 2020), las desventajas del proceso de revenido son:

- Las piezas se convierten en residuos difíciles de reutilizar cuando el proceso es mal aplicado.
- La superficie puede tornarse ennegrecida y oxidada debido a la presencia de vapor de agua en el horno.
- Variación no homogénea de la dureza en la superficie.

## Procedimiento

(Nuñez, et al., 2020), estable que el procedimiento para tratamientos térmicos de revenido es:

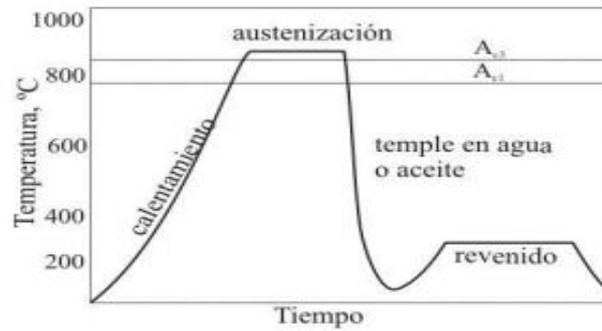
- Calentar a una temperatura inferior a la crítica establecida, entre 150 °C y 500°C.
- Mantener la temperatura, para igualar toda la pieza.
- Enfriar a una velocidad variable.
- Probar la dureza del material.



**Ilustración 2-3:** Temperatura en el revenido

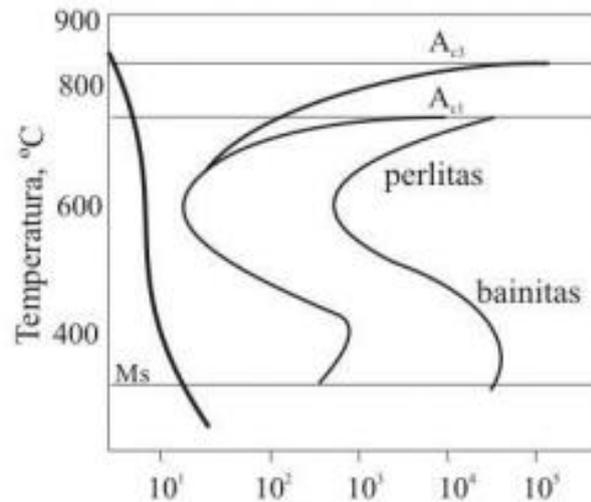
Fuente: (Cholango, et al., 2020)

Después del calentamiento, se austeniza la estructura del acero a una temperatura superior de 800°C. En el enfriamiento rápido posterior se transforma la austenita en martensita (Ortiz, et al., 2019).



**Ilustración 2-4:** Temperatura vs tiempo en temple

Fuente: (Ortiz, et al., 2019)



**Ilustración 2-5:** Diagrama de tiempo, temperatura, transformación (TTT)

Fuente: (Rátiva, 2018)

### 2.1.2.3. Tratamientos térmicos recocido

Permite reducir la dureza y mejorar la formabilidad del acero. Su propósito incluye mejorar las propiedades mecánicas o promover la estabilidad dimensional de las piezas metálicas. En la práctica, existe una variedad casi infinita de ciclos térmicos clasificados según la temperatura a la que se calienta el acero y el método de enfriamiento utilizado, el éxito de cualquier recocido depende de la elección y control del ciclo térmico (Sánchez, 2019).

El recocido es un término genérico y puede clasificarse en función de la temperatura, puede ser llevado a cabo por varios motivos:

- Para suavizar el metal y facilitar el mecanizado.

- Para aliviar las tensiones internas inducidas por algún proceso anterior (a menudo para permitir el procesamiento adicional sin la producción de fracturas).
- Para corregir una estructura de grano grueso.
- Para aportar elementos de aleación en una solución.



**Ilustración 2-6:** Tratamientos térmicos recocido

Fente: (Sánchez, 2019)

### **Características**

Las características de los tratamientos térmicos de recocido para (Sánchez, 2019) son:

- Permite suavizar el metal
- Disminuye las tensiones internas inducidas por algún proceso anterior en el metal
- Corrige la estructura de grano grueso
- Aporta elementos de aleación al metal

### **Ventajas**

Entre las ventajas se puede mencionar, (Sánchez, 2019):

- Mecanizado más fácil.
- Estabilidad dimensional.
- Mejora de las propiedades mecánicas y eléctricas.

## **Desventajas**

Entre las desventajas se puede mencionar, (Sánchez, 2019):

- Disminuye la dureza del metal
- No se puede exceder el tiempo de recocido, esto provocaría fallas en el material
- Alto costo de la prueba, en algunas ocasiones es necesario repetir la operación en el material

## **Procedimiento**

Según (Sánchez, 2019), el procedimiento del proceso de recocido es:

- El material se debe calentar hasta una temperatura de acuerdo al tipo de recocido.
- Mantener el material a una temperatura por una cuarta parte del tiempo de calentamiento.
- Realizar el enfriamiento a baja velocidad, esta velocidad es más lenta que la del normalizado y mucho más lenta que la del temple.
- El enfriamiento se realiza en el mismo horno donde se calentó.

## **Tipos de recocido**

**Alivio de tensión.** - La tensión en un material se puede reducir recociendo y calentando el metal a 550 °C y 650 °C y manteniendo la temperatura durante 30min a 120 min, posterior a ello se procede a enfriar.

Reblandecimiento de metales con alto contenido de carbono (más del 0,9%) que son difíciles de mecanizar por arranque de viruta (torneado, fresado, etc.) o por cualquier proceso de conversión en frío. Para ablandar el material, se puede efectuar un recocido. La pieza se calienta entre 650 °C y 750 °C, después de lo cual la temperatura se mantiene durante 3 horas antes de que su temperatura disminuya lentamente. Se mantiene un aumento y una disminución alternados de la temperatura de aproximadamente 723 °C (Herrera, 2019).

**El recocido convencional.** - Afina la fibra de la estructura y compensa las desviaciones de la pieza, provocadas por la deformación de la fundición, el proceso consiste en calentar a una temperatura entre 750 °C y 980°C, dependiendo del contenido de carbono del material, luego se mantiene la temperatura y en seguida se deja enfriar lentamente en el aire (Sahuquillo, 2018).

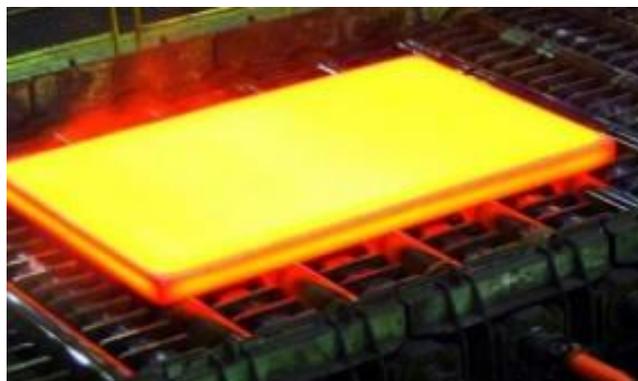
#### 2.1.2.4. Tratamientos térmicos cementación

La cementación es la incorporación de grandes cantidades de carbono en superficies de acero con bajo contenido de carbono. Por ello, está indicada para aceros dulces o aleados cuando el carbono original es inferior al 0,25%. La cementación eleva este nivel a un valor cercano al 1%, garantizando una superficie más dura y un núcleo más resistente (Buitrago, et al., 2021).

Las piezas de acero que tienen un porcentaje medio o alto de carbono, están sujetos a sufrir fuertes operaciones de flexión y tienden a agrietarse. Sin embargo, se pueden obtener buenos resultados sin el riesgo de agrietamiento de la pieza si se fabrica con acero de bajo carbono como SAE 1010, moldeado y cementado. La cementación se puede realizar en métodos sólidos, líquidos o gaseosos (Rivas, 2018).

El tratamiento térmico de endurecimiento se puede decir que es uno de los procesos más conocidos entre los trabajos de metalurgia mediante hornos industriales, también conocido como cementación, a su vez es un proceso que modifica las propiedades químicas y físicas de un metal (Figuroa, 2021 p. 120).

El tratamiento térmico endurecedor explota varios principios químicos básicos para lograr resultados superiores. El proceso de endurecimiento del tratamiento térmico se fundamenta simplemente en precalentar el material y luego lo enfría rápidamente, los parámetros que cambian son las técnicas con las que se puede alcanzar el resultado requerido. La primera parte del proceso consiste en pasar el material por un horno que puede alcanzar temperaturas de hasta 870 ° C. (Salazar, et al., 2018).



**Ilustración 2-7:** Tratamientos térmicos cementación

Fuente: (Salazar, et al., 2018)

#### **Características**

Para (Salazar, et al., 2018), las características de cementación son:

- No afecta al corazón de la pieza
- Incrementa el carbono en la superficie del metal
- La temperatura de calentamiento es de 900°C
- El enfriamiento se realiza de manera lenta

### **Ventajas**

Según (Salazar, et al., 2018), las ventajas del proceso de cementación son:

- Elevada dureza superficial.
- Buena tenacidad en el núcleo
- Homogeneidad de capa
- Resistencia mecánica
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia a las deformaciones

### **Desventajas**

(Salazar, et al., 2018), manifiesta que las desventajas de los tratamientos térmicos de cementación son:

- Alto costo del procedimiento
- Variación en la temperatura
- Enfriamiento rápido con el fin de obtener la dureza superficial
- Irregularidades en el proceso de enfriamiento

### **Procedimiento**

Para (Salazar, et al., 2018), el procedimiento de cementación es:

- Difundir de carbono sobre la superficie
- Calentar del material a una temperatura máxima de 900°C
- Proceder al enfriamiento

## **Tipos de cementación**

### **Cementación sólida**

En este tipo de cementación, la pieza se sitúa en una caja de acero que contiene sustancias ricas en carbono tales como: carbón, coque, carbonato de calcio y aceite de linaza. Seguidamente, la pieza se lleva al horno a una temperatura de aproximadamente 930 ° C hasta que se forme la capa deseada. Después de eso, la pieza se somete a temple para alcanzar la dureza (Meza, 2018).

El tiempo de residencia en el horno varía de una a treinta horas y la capa resultante puede variar de 0,3 mm a 2,0 mm. (Guevara, et al., 2018).

### **Cementación gaseosa**

La cementación gaseosa es el método más eficiente, ya que permite que las piezas se unan de manera más consistente y sean energéticamente eficientes. Este proceso comúnmente se utiliza propano o gas natural, para producir carbono necesario y la temperatura varía entre 850°C a 950°C. Después de la cementación, el acero se temple en aceite (Joritz, 2021).

### **Cementación líquida**

El proceso utiliza sales fundidas ricas en carbono, principalmente a base de las sales de cianuro y carbonato. La temperatura debe estar entre 930 °C a 950 °C, dado que las sales se vuelven líquidas a esta temperatura y se funde alrededor de los 650 ° C (Guevara, et al., 2019 p. 96). A continuación, las piezas se precalientan a 400°C y se sumergen en baño fundido. El rol del precalentamiento es eliminar el agua y evitar el choque térmico, las piezas deben enfriarse con salmuera de cloruro de sodio (ClNa) al 10 al 15% o en aceite de temple (Cangas, 2020).

Actualmente, el proceso de cementación se considera obsoleto y ya se emplea con mucha frecuencia, aunque todavía se utiliza para piezas como ejes y levas, pero la resistencia en el horno depende del metal que se esté procesando: acero inoxidable, acero, aluminio, cobre etc. todos estos tienen diferentes características y tiempos de elaboración (Llanos, 2018).

La temperatura del tratamiento térmico de endurecimiento se modifica dependiendo del medio de enfriamiento elegido, el cual debe calentarse gradualmente para evitar anomalías de agrietamiento agrietamientos (Duarte, et al., 2018).

De hecho, es la segunda parte del proceso en la que fluctúa significativamente. Posterior de un calentamiento gradual, debe enfriarse rápidamente. Solo así el tratamiento térmico de endurecimiento puede dar al material las propiedades de resistencia deseadas (Peña, 2019 p. 54).

Para el tratamiento térmico de endurecimiento se utilizan los siguientes medios de enfriamiento:

- Aire
- Agua
- Petróleo
- Sales derretidas
- Arena
- Horno

Cada medio tiene sus ventajas y desventajas y es más apropiado para un determinado material que para otros, lo que une al procedimiento es la profesionalidad y precisión de los operarios involucrados, y la calidad de las máquinas utilizadas (Cetina, 2019).

## **2.2. Horno**

Son equipos o instrumentos fabricados para realizar procesos de tratamiento térmico, entre ellos; fundir o cocer, calentar a una temperatura superior al ambiente, ya sea que el material o la pieza se encuentre en un espacio cerrado, el proceso de fundir, ablandar, vaporizar o recubrir el metal con otros elementos para crear nuevos materiales o aleaciones (Suministro ingeniería y soluciones S.A., 2017).

### **2.2.1. Partes de un horno**

**Cimientos:** Son soportes directos al suelo previamente homologados como aptos para instalaciones de hornos industriales y son las piezas de apoyo de todas las piezas que componen el horno (Suministro ingeniería y soluciones S.A., 2017).

**Paredes:** Tiene la capacidad fundamental de evitar la salida de gas desde el horno industrial y la inhalación de aire atmosférico hacia el interior, las paredes del horno suelen estar construidas con elementos externos como placas de acero o aluminio, mientras que el interior está hecho de fibra aislante (Suministro ingeniería y soluciones S.A., 2017).

**Cámara de combustión:** Es una de las partes más importantes de un horno industrial, puede

soportar temperaturas muy altas y es impermeable a los gases calientes de alta presión presentes sobre el área de trabajo (Suministro ingeniería y soluciones S.A., 2017).

**Juntas térmicas:** Las juntas de los hornos industriales deben poder adaptarse a la expansión térmica del horno para garantizar la integridad (Suministro ingeniería y soluciones S.A., 2017).

**Puertas:** Un horno debe ser hermético, ligero, sólido, resistente al calor, mecánicamente fuerte y duradera. Permiten un fácil acceso para la carga y descarga de materiales, pueden estar estructuradas con bisagras o independientes, sin embargo; en ambos casos deben garantizar el mejor sellado posible (Suministro ingeniería y soluciones S.A., 2017).

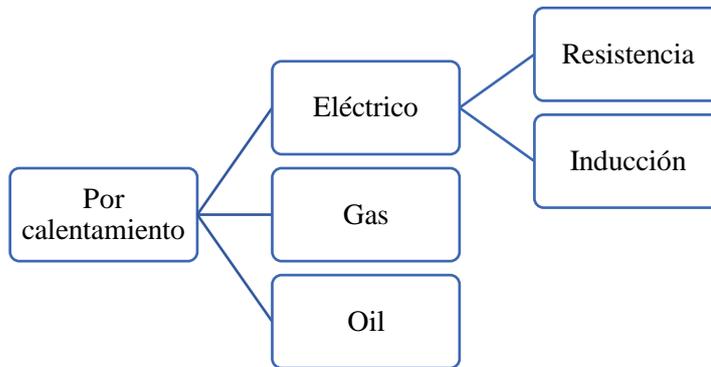


**Ilustración 2-8:** Partes de un horno

Fuente: (Duarte, et al., 2018)

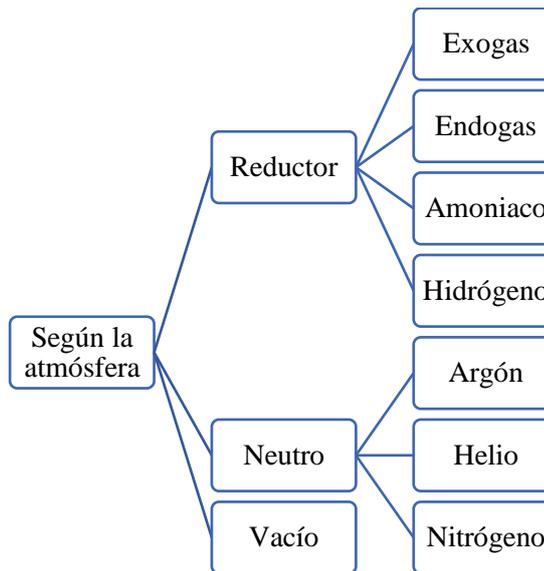
### 2.2.2. *Clasificación de los hornos*

A partir de las diversas maneras de calentamientos se realiza la siguiente clasificación: calentamiento, atmósfera reinante y solera se da la siguiente clasificación de hornos (Nabertherm, 2022 p. 65).



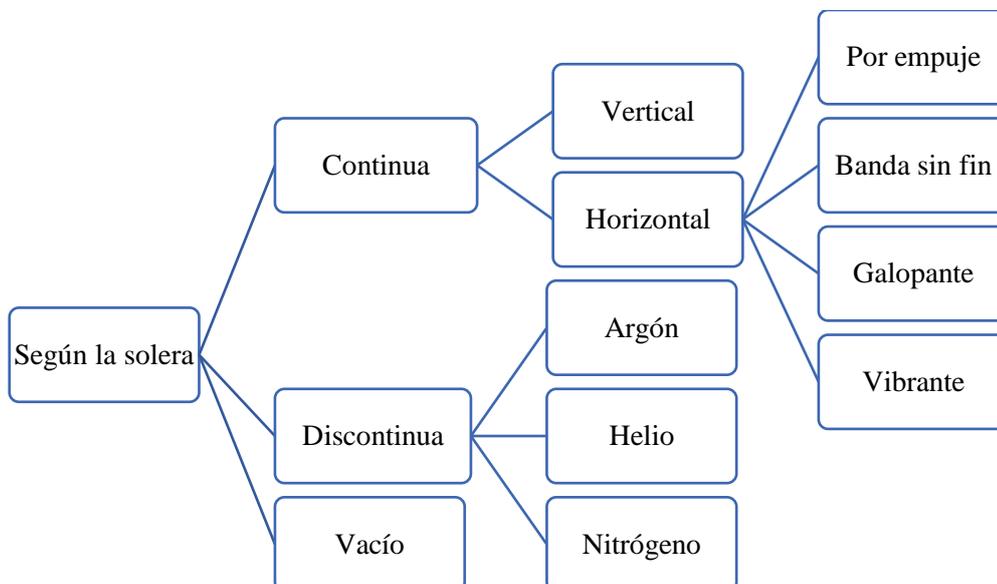
**Ilustración 2-9:** Clasificación por calentamiento

Fuente: (Nabertherm, 2022 p. 65).



**Ilustración 2-10:** Clasificación según la atmósfera

Fuente: (Nabertherm, 2022 p. 65).



**Ilustración 2-11:** Clasificación según la solera

Fuente: (Nabertherm, 2022 p. 65).

### **2.2.3. Tipos de hornos de calentamiento**

Los hornos industriales son aparatos o equipos que se utilizan para fundir o calentar elementos a diversas temperaturas y se colocan en su interior a temperaturas no inferiores a la temperatura ambiente; que, en función de la obtención del producto deseado, llevan a cabo reacciones químicas, también puede tratar materiales con calor para darles propiedades específicas, suavizar materiales para su posterior moldeo y cubrir piezas con otros materiales, este calor puede ocurrir directamente en la pieza de trabajo o indirectamente a través de la transferencia de calor de otros elementos a través de mecanismos de transferencia de calor como conducción, convección y radiación (Duarte, et al., 2018 p. 16).

Son hornos industriales todos aquellos equipos o dispositivos en los que partes o elementos en su interior se calientan a temperatura ambiente directamente mediante: inducción, resistencia interna, etc. o indirectamente por transferencia de calor desde conductos de otros elementos como: radiación, gas combustible, gases, resistencias eléctricas, entre otros (Hanco, 2021).

#### **2.2.3.1. Eléctrico**

Estos hornos son usados frecuentemente para el tratamiento térmico donde se requiere un calentamiento y enfriamiento vigilados, dichos tratamientos pueden ser: cementación o soldadura plana, temple, revenido, recocido o normalización (Duarte, et al., 2018).

- Es totalmente automático el funcionamiento del horno, para lo cual se requiere una mínima intervención de personal.
- La temperatura está controlada por un controlador térmico electrónico confiable que procesa las señales recibidas de los sensores térmicos.
- La coordinación adecuada de señales y comandos evita la ejecución de operaciones no deseadas.

Los hornos funcionan con voltajes entre 125 v y 500 v y, dentro de cada voltaje la fuerza y la potencia del horno se ajusta moviendo los electrodos más o más cerca del baño, proceso que se realiza de forma automática. Las aplicaciones más comunes de hornos de tratamiento térmico se encuentran en el procesamiento de materiales, sistemas fotovoltaicos de concentración, tratamiento térmico de obleas de semiconductores, horneado de alimentos, curado de pinturas, tintes, y más (Hanco, 2021).

Generalmente, tienen una lámina de calentamiento en la parte superior, lugar en donde se colocan calentadores o quemadores separados y una lámina de muestra casi siempre localizada en la parte inferior, que recibe la muestra para ser tratada térmicamente (Duarte, et al., 2018).



**Ilustración 2-12:** Horno de tratamiento térmico

Fuente: (Duarte, et al., 2018)

#### 2.2.3.2. Gas

Los hornos a gas son aquellos cuya fuente de energía no es la electricidad, sino el gas. El inconveniente de estos equipos es que su fuente de energía no es apta para el medioambiente, tienden a ser un poco menos resistentes y seguros, y la instalación debe ser revisada obligatoriamente cada cierto tiempo. Sin embargo, son más fáciles de utilizar y su costo es menor. Por lo demás, son prácticamente iguales: son compartimientos cuyos quemadores, estratégicamente ubicados, hacen que el calor se propague en diferentes direcciones y de manera uniforme. (Urrea, 2016)

La parte más importante de este horno es la cámara de combustión, ya que es donde se encuentra el quemador, que, a su vez, se divide en dos fases. Fuera de la cámara se encuentra la chimenea, que se encarga de remover los gases de combustión y renovar el aire interior para que la cocción sea óptima. Las aplicaciones de los hornos de gas se pueden resumir en dos: acelerar los procesos y favorecer que se lleven a cabo determinados procedimientos químicos. (Urrea, 2016)

- **Acelerar los procesos:** Comúnmente usados para acelerar los procesos de secado. Un ejemplo es en la industria del automóvil: cuando un vehículo se ha pintado, se hornea durante unos 20 minutos a 70 grados para evaporar gran parte de los solventes que se encuentran presentes en la pintura.

- **Desencadenar procesos químicos:** Se usa por ejemplo para activar las propiedades químicas en la pintura electrostática en polvo: necesita del calor para adherirse a la superficie y potenciar todas las características finales

#### 2.2.3.3. Oil

Un horno de diésel es una pieza de equipo que produce calor por la combustión de este combustible y se utiliza para alimentar el calor del horno y puede ser de origen de petróleo o de biomasa. Los hornos diésel se utilizan en todo el mundo para una amplia variedad de propósitos y que son fabricados por una serie de empresas diferentes. (Calvo, 2015)

En el caso de un horno de diésel, el calor se produce con un quemador adaptado para trabajar con diésel. El quemador puede ser controlado para ajustar la velocidad de combustión para aumentar o disminuir el calor del horno. Además del quemador, el horno también tiene un ventilador para hacer circular el calor a lo largo con orificios de ventilación que eliminan los subproductos de la combustión y permiten que el aire fresco fluya hacia el quemador para una velocidad de combustión constante. (Calvo, 2015)

### 2.3. Mantenimiento de hornos de tratamiento térmico

El mantenimiento preventivo es una de las estrategias enfocadas al mantenimiento más simple y comúnmente aplicadas, ya que contribuye a extender la vida útil de los activos, aumentar la productividad, así como también reducir o evitar el gasto de mantenimientos correctivos. Son diversos los beneficios que se obtienen mediante el establecimiento de programas para el mantenimiento preventivo, un programa efectivo de mantenimiento preventivo ayuda a las empresas a reducir costos, mejorar procesos y operaciones (Bonilla, 2003).

Algunos beneficios tangibles y cuantificables incluyen:

#### 2.3.1. Ventajas del mantenimiento preventivo

- Mayor seguridad
- Ciclo de vida del equipo más prolongado
- Tiempo de inactividad no planificado reducido
- Deficiencias del mantenimiento preventivo
- Planificación más prolongada

- Es posible que sea necesario ajustar la frecuencia del mantenimiento programado.
- Curva de aprendizaje de cambio de flujo de trabajo

### **2.3.2. Elementos o partes del mantenimiento**

El mantenimiento es el proceso que se lleva a cabo para que un elemento, o unidad de producción, pueda continuar funcionando a un rendimiento óptimo. El mantenimiento, en otras palabras, consiste en la realización de una serie de actividades, como reparaciones y actualizaciones, que permiten que el paso del tiempo no afecte al rendimiento. (Silva, 2019)

#### **2.3.2.1. Cronograma**

Los cronogramas sirven para concretar y ejecutar la planificación del mantenimiento definiendo los objetivos y las tareas a realizar. Asimismo, consideran la metodología y descripción de procesos. El cronograma forma parte de un plan de mantenimiento y en él se asigna un tiempo preciso para encajar las tareas de mantenimiento dentro de los procesos industriales. (Silva, 2019)

Elaborar un cronograma no debe tomarse a la ligera, ya que el cálculo del tiempo necesario para el mantenimiento debe ser muy preciso. Al asignar un periodo demasiado corto para una tarea de mantenimiento puede que no se logre un avance significativo y los objetivos de la planificación no puedan cumplirse. Por el contrario, dar demasiado tiempo al mantenimiento puede afectar las operaciones de la empresa. Un cronograma de mantenimiento preventivo debe ser fácil de usar por los técnicos responsables de las tareas y simplificar la coordinación de los equipos involucrados. Existen ciertas consideraciones para la elaboración del cronograma entre ellas, se puede mencionar: (Silva, 2019)

- Productividad de la mano de obra
- Prioridades
- Programación diaria
- Abordar todos los aspectos del plan de mantenimiento

#### **2.3.2.2. Tareas implementadas**

Como parte de las tareas implementadas se cuenta con los procesos a seguir dentro del mantenimiento y se puede evidenciar de manera más detallada en la sección 3.1. en donde se preparó un modelo de Checklist para determinar el estado del horno basado en 26 ítems. (Silva, 2019)

### 2.3.2.3. Recursos necesarios

Entre los recursos que se requieren para la realización del mantenimiento preventivo tenemos:

- **Recursos humanos:** Son todas aquellas personas con el conocimiento en la maquinaria que se requiere dar mantenimiento.
- **Herramientas:** Necesarias para manipular la maquinaria sus piezas y partes
- **Repuestos:** En caso de que se requiera realizar un cambio dentro de la maquinaria.

### 2.3.2.4. Documentación

Existen varios documentos con los que se requiere contar para la realización del mantenimiento, entre ellos:

- Datos técnicos
- Manual de operación
- Manual de mantenimiento
- Listado de componentes
- Mapa de lubricación
- Diagrama unifilar
- Diagrama de circuitos
- Diagrama lógico
- Diagrama de instrumentos, controles, tuberías
- Programa de pruebas
- Certificados

## 2.4. Electrónica de potencia

Se encarga del estudio de los circuitos, sistemas, dispositivos, procesos que transforman y controlan la tensión y la corriente en niveles críticos mediante la gestión, control y conversión de la energía eléctrica, la electrónica de potencia nos permite adaptar y convertir la energía eléctrica para una variedad de propósitos, que incluyen: suministro regulado de otros aparatos, conversión de energía eléctrica directa a corriente alterna o viceversa, regulación de control de velocidad y operación de máquinas eléctricas (Casellas, 2021 p. 55).

## 2.5. Sistemas de control electrónico

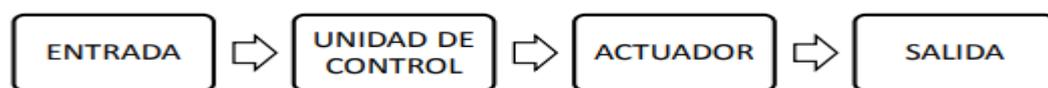
Un sistema de control es un tipo de sistema caracterizado por la existencia de muchos factores que le permiten incidir sobre su funcionamiento, la manipulación y control de las variables de control tiene influencia directa sobre las variables de salida para alcanzar un valor dado (Kuo, 2017 p. 10).

Un sistema de control cumple los siguientes requisitos:

- Asegurar la estabilidad y hacer que el modelo sea especialmente eficaz frente a perturbaciones y errores.
- Ser lo más eficiente posible según criterios predeterminados, por lo general, el criterio es que las acciones de control sobre las variables de entrada se pueden realizar evitando un comportamiento abrupto y poco realista.
- Simple de implementar y fácil de operar en tiempo real usando una computadora.

### 2.5.1. Sistema de control de lazo abierto

Este es un sistema en el que la salida es directa, independiente de los actuadores de control del proceso, de ella depende la precisión, pero se establece la calibración del sistema y la operación se realiza por las señales de entrada y salida. La señal de salida es, por tanto, independiente de la señal de entrada, pero dependiente de la señal anterior (Kuo, 2017 p. 12).

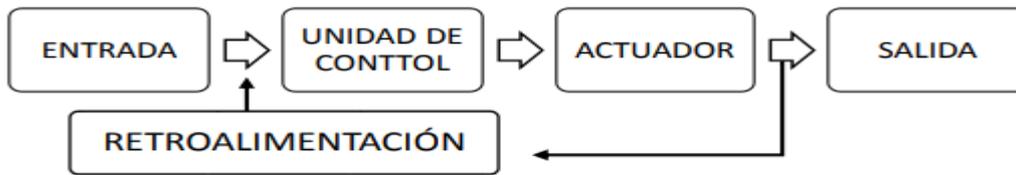


**Ilustración 2-13:** Sistema de control de lazo abierto

Fuente: (Kuo, 2017)

### 2.5.2. Sistema de control de lazo cerrado

Este es un sistema que hace uso de una señal de retroalimentación y la compara con la de salida, esta comparación proporciona el mismo error operativo que la entrada al controlador para determinar y calcular la señal, dicho proceso permite calcular y reducir el error del sistema de control (Kuo, 2017 p. 12).



**Ilustración 2-14:** Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: (Kuo, 2017)

### 2.5.3. Sistema de control on/off

A este sistema de control también se lo conoce como abierto o cerrado y es la forma más simple de control de retroalimentación, es un control de dos puntos donde el actuador toma solo una de dos posiciones posibles: encendido (100%) y apagado (0%) (Kuo, 2017 p. 12).

## 2.6. Tarjeta de control

Son tarjetas de plástico idénticas a las tarjetas de crédito en el tamaño y otras características físicas, poseen estampes en su diseño sobre un circuito integrado, el circuito puede tener una memoria o incluir un microprocesador (CPU) con un sistema operativo adecuado, donde se puede ejecutar actividades como:

- Almacenar
- Encriptar información
- Procesar datos
- Comunicación entre actuadores
- Leer y escribir datos, como un ordenador

### 2.6.1. Arduino

Es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basados en software y hardware abierto, en el cual se puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede interactuar con todo aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores (Serrano, 2017 p. 56).



**Ilustración 2-15:** Arduino

**Fuente:** (Serrano, 2017)

#### 2.6.1.1. Tipos de arduino

En cuanto a los Arduino, existe una gran diversidad de tarjetas creadas de manera oficial y no oficial por terceros, pero con características similares que cumplen el mismo propósito, las placas más utilizadas en el campo de la tecnología son:

- Arduino uno
- Arduino Mega 2560
- Arduino Fio

### 2.7. Normas ASTM

La norma ASTM, conocida como Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM International), es una de las organizaciones más grandes del mundo que desarrolla y publica acuerdos voluntarios sobre normas técnicas para una amplia variedad de materiales, productos, sistemas y servicios, este documento fue desarrollado y decretado dentro del marco de los principios de consenso de la organización y cumple con los requisitos reglamentarios y de proceso de ASTM (Asociación Española para la Calidad, 2019).

Se estima que en la actualidad existen más de 12,500 normas ASTM, entre las que se encuentran programas de prueba de aptitud, cursos técnicos de capacitación, programas de formación a distancia y certificaciones para productos, personas y servicios con validez mundial

La norma ASTM aplicada al acero se enfoca en la regulación de materiales compuestos de este material, para que su uso se determine como apto para diversas aplicaciones, dando como

resultado el uso y aplicación adecuadas de los productos. Con el uso de esta norma se han logrado evitar incidentes relacionados con el exceso de los límites y tensiones de los materiales. A continuación, se muestra la clasificación del acero basado en la norma ASTM y sus respectivas tensiones y límites. (Marulanda, et al., 2019)

Las normas ASTM ayudan a construir infraestructuras para industrias locales competitivas y seguras, y se incorporan a contratos, códigos, leyes y reglamentos de todo el mundo. Desde traducciones de normas hasta asistencia para la adopción de documentos a nivel nacional, nuestra estructura y programas establecidos le ayudan a acceder a las normas y a la orientación que necesita para aplicarlas eficazmente. (Marulanda, et al., 2019)

**Tabla 2-1:** Clasificación del acero según ASTM

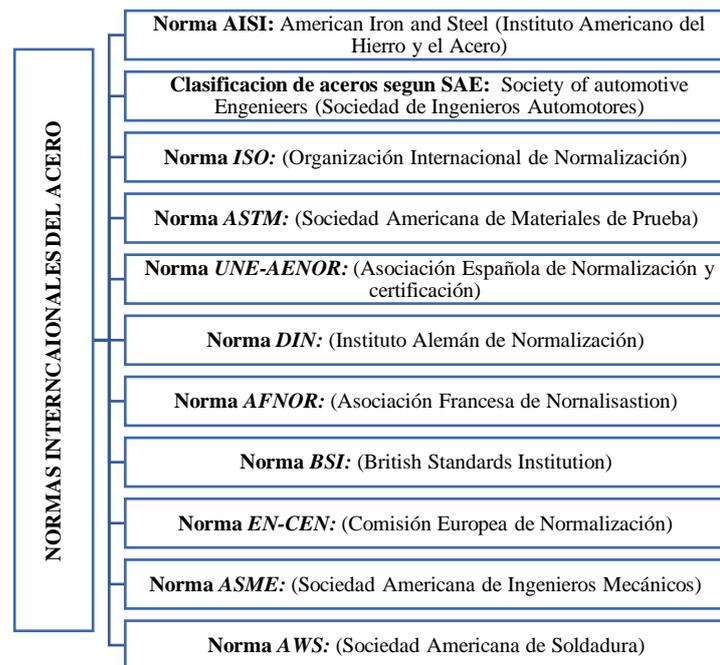
CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS, SEGÚN ASTM	LÍMITE ELÁSTICO		TENSION DE ROTURA	
	Ksl	MPa	Ksl	MPa
ASTM A36	36	250	58 - 80	400 - 550
ASTM A53 / Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A106 / Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A131 / Grado A, B, CS, D, DS, E	34	235	58 - 71	400 - 490
ASTM A139 / Grado Y35	35	240	> 60	> 415
ASTM A381 / Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A500 / Grado A	33	228	> 45	> 310
ASTM A500 / Grado B	42	290	> 58	> 400
ASTM A501	36	250	> 58	> 400
ASTM A516 / Grado 55	30	205	55 - 75	380 - 515
ASTM A516 / Grado 60	32	220	60 - 80	415 - 550
ASTM A524 / Grado I	35	240	60 - 85	415 - 586
ASTM A524 / Grado II	30	205	55 - 80	380 - 550
ASTM A529	42	290	60 - 85	415 - 550
ASTM A570 / Grado 30	30	205	> 49	> 340
ASTM A570 / Grado 33	33	230	> 52	> 360
ASTM A570 / Grado 36	36	250	> 53	> 365
ASTM A570 / Grado 40	40	275	> 55	> 380
ASTM A570 / Grado 45	45	310	> 60	> 415
ASTM A570 / Grado 50	50	345	> 65	> 450
ASTM A709 / Grado 36	36	250	58 - 80	400 - 550
API 5L / Grado B	35	240	60	415
API 5L / Grado X42	42	290	60	415

Fuente: (Asociación Española para la Calidad, 2019).

### 2.7.1. Tipos

**Norma del acero:** Esta norma clasifica, evalúa y especifica diferentes tipos de acero utilizados en distintas aplicaciones industriales. Estas aplicaciones pueden incluir la fabricación de piezas

mecánicas, piezas industriales y otros accesorios. La ASTM también conocida como American Society for Testing and Materials, es una asociación creada en 1898 con sede principal en Pensilvania Estados Unidos y que, a través de diversos consensos conformados por consumidores, usuarios, gobiernos y productores, establece periódicamente una serie de acuerdos conocidos como normas ASTM que son aplicables en la producción, desarrollo y distribución de materiales, sistemas, productos y servicios a nivel mundial. Existen normas para muchos tipos de acero: acero inoxidable, acero ferrítico, acero al carbono y acero estructural (Asociación Española para la Calidad, 2019).



**Ilustración 2-16:** Normas internacionales del acero

Fuente: (Serrano, 2017)

**Normas de Construcción:** Está compuesta por más de 1.300 normas individuales. Las subcategorías de las normas de construcción de ASTM incluyen normas para: adhesivos, construcción, cemento, techos y madera.

**Norma de metales:** Esta norma provee estándares para varios metales como; cobre, hierro fundido y aluminio. Se aplican a productos compuestos de metal y se utilizan en el área de construcción. La norma ASTM también cubre la fatiga, la corrosión y el desgaste de varios metales, tanto en la fuerza como en el tiempo.

**Norma de Plásticos:** Este documento garantiza las resinas y de la misma manera sus derivados poliméricos. Las sub partidas estándar de plástico incorporan métodos analíticos para evidenciar las propiedades de diferentes resinas, materiales celulares, resistencia de la resina,

particularidades mecánicas, estándares que incluyen otros conjuntos de estándares, piezas moldeadas de plástico, construcción de plástico, madera plástica y un conjunto de estándares para el reciclaje de plástico (Asociación Española para la Calidad, 2019).

**Norma de pintura:** esta norma igualmente cubre los revestimientos, además de estandarizar las propiedades de pinturas y una variedad de coberturas, esmaltes, barnices, galvanoplastia, pigmentos y solventes. Adicionalmente, esta norma desarrolla estándares que describen procedimientos precisos para aplicar pinturas y recubrimientos.

### **2.7.2. Normativas para las instalaciones**

(Air Liquide, 2022), menciona las siguientes características a tomar en consideración para las instalaciones de tratamiento térmico deben garantizar lo siguiente:

- Uniformidad de temperatura en el espacio de trabajo (TUS)
- Instrumentación (definición de los equipos de medida y control)
- Calibración de la ruta de medición (IT) entre el controlador y el termopar, incluida la línea de medición
- Pruebas de precisión del sistema (SAT)

El cumplimiento de las disposiciones y normas es esencial para respaldar el nivel de calidad que deben obtener los componentes, incluso si se producen en masa. Por lo tanto, es necesario realizar pruebas exhaustivas y repetidas, incluidas las pruebas de los instrumentos para redactar la documentación.

La norma AMS 2750 F contiene estándares para la aplicación de materiales de gran calidad y se reglamentan requisitos específicos para el tratamiento térmico. En función de los requisitos de calidad sobre el tratamiento térmico, el usuario establece el tipo de instrumentos y la clase de homogeneidad de la temperatura. El tipo de instrumentos describe la necesaria composición de la normativa empleada, los medios de registro y los elementos térmicos. La homogeneidad de la temperatura del horno y la calidad de los instrumentos empleados se derivan de la clase de hornos requerida. Cuanto mayores sean los requisitos planteados a la clase de hornos, más precisa debe ser la instrumentación.

El equipo de tratamiento térmico debe estar diseñados de modo que cumpla los requisitos de la norma AMS 2750 F de manera reproducible. La norma describe también los intervalos de ensayo para los instrumentos (SAT = System Accuracy Test) y la homogeneidad de la temperatura del

horno (TUS = Temperatura Uniformity Survey). El cliente debe realizar los ensayos de SAT/TUS con medidores y sensores que funcionen con independencia de los instrumentos del horno.

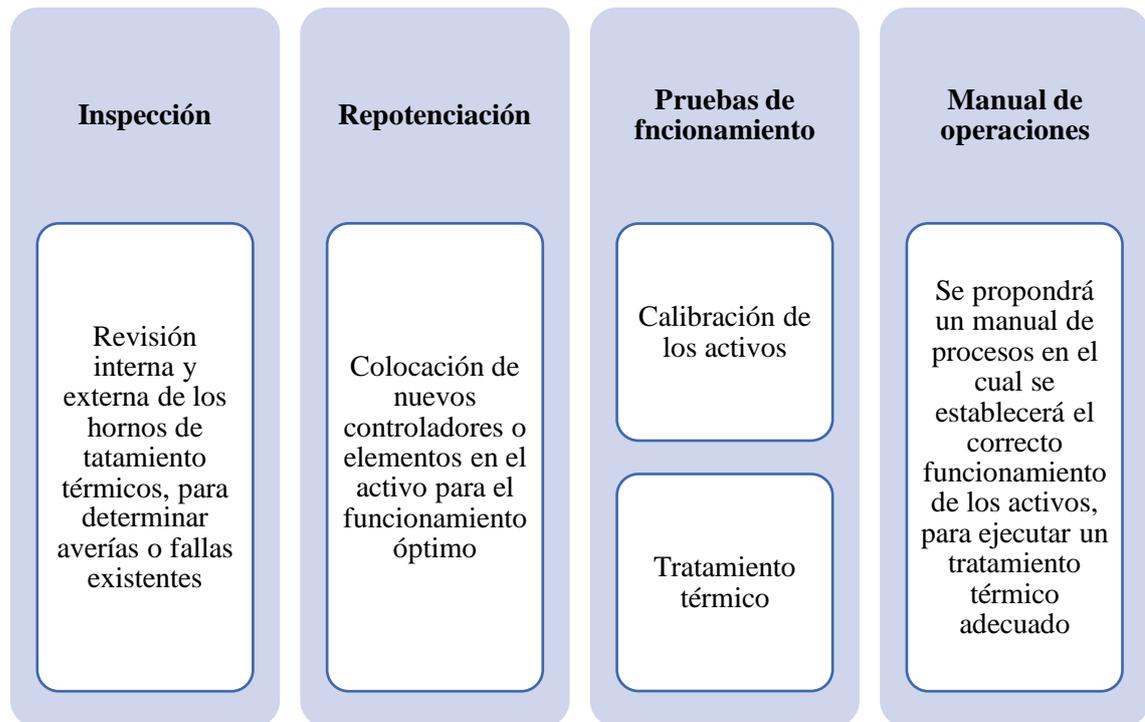
## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Evaluación inicial

El desarrollo del proyecto técnico se llevó a cabo mediante la inspección de los equipos de estudio (hornos de tratamientos térmicos), para lo cual se efectuará en primer lugar una verificación de fallas o averías existentes en los equipos, una vez determinados los cambios o reemplazos de los diferentes elementos de los activos se efectuará la repotenciación de cada uno.

Mediante los documentos a utilizarse como instrumentos de investigación se realizará en primer lugar un inventario de los equipos que dispone el taller de mecánica al cual pertenecen los activos de estudio, posteriormente mediante las características obtenidas de los hornos se procederá a determinar los problemas con la finalidad de mantener en constante funcionamiento el activo, finalmente se elaborará un manual de operaciones para los hornos de tratamientos térmicos. Para lo expuesto se llevará a cabo el procedimiento de la siguiente manera:



**Ilustración 3-1:** Evaluación inicial

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

### ***3.1.1. Checklist para diagnóstico del horno***

El diagnóstico técnico del horno de tratamiento térmico, se realiza en base a una hoja de verificación o también conocida como Checklist, dentro de la cual se detallan los procedimientos que se deben realizar para verificar que las partes del horno funciones de una manera adecuada.

Contar con un óptimo estado de todos los componentes del horno es vital para un buen desempeño durante su operación. La forma más sencilla y económica de evitar percances siempre será realizar revisiones frecuentes que permitan detectar cualquier problema desde sus etapas más tempranas, asegurando la maquinaria en su punto más alto de eficiencia. A continuación, se presenta una lista de chequeo de 26 puntos. (Belzunce , 2020)

### ***3.1.2. Beneficios de contar con el Checklist***

Algunas de las ventajas de revisar tus equipos con regularidad, (Belzunce , 2020) son:

- Mantener los equipos en óptima operación la mayor parte del tiempo.
- Realizar mantenimientos preventivos en vez de correctivos.
- Menores costos de mantenimiento.
- Cumplir con el indicador “Overall equipment efficiency” el cual nos ayuda a medir la productividad de fabricación e identifica el porcentaje de tiempo de fabricación que es realmente productivo. Siendo su medición una de las mejores prácticas recomendadas de fabricación.

Adicionalmente, dentro de la organización el uso de los Checklist puede contribuir a:

- Proporcionan los detalles de cada paso de un proceso.
- Favorecen la delegación de tareas, dado que proporciona más confianza tanto para quien las delega como para quien las tiene que hacer.
- Mejoran la productividad, una vez que, al seguir una lista, es posible optimizar el tiempo para cada tarea, permitiendo realizar muchas otras cosas.
- Fomentan la creatividad, pues, al no tener que recordar los pasos importantes para realizar un proceso, es posible liberar la mente para tareas que requieren ser más creativos.
- Colaboran con la reducción de errores, puesto que con todo listado es mucho más difícil equivocarse.

**Tabla 3-1:** Checklist de verificación del estado del horno

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>				
<b>CHECK LIST PARA VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>				
<b>Indicaciones:</b> A continuación, se presenta un listado para la verificación del funcionamiento del horno, consta de 26 ítems; marque con una X en la columna si cumple o no cumple con el procedimiento.				
<b>Responsable:</b>		<b>Frecuencia:</b>		
PROCEDIMIENTO	CUMPLE	NO CUMPLE	REVISIÓN	
Verifique todos los controles de seguridad y conexiones de cables				
Limpie e inspeccione los quemadores y el compartimento del quemador.				
Verifique el estado de las conexiones eléctricas del horno				
Limpie y verifique el sensor de llama del termopar I				
Limpie y revise las resistencias				
Encienda el horno y controle el encendido				
Verifique el aislamiento de la cámara del horno que no presente fugas				
Inspeccione el sistema en busca de fugas eléctricas, sobrecargas y escombros.				
Verifique y registre la temperatura de encendido				
Verifique el aumento de temperatura y el tiempo que demora en llegar a la temperatura deseada				
Verifique el aislamiento de la cámara del horno que no presente fugas				
Inspeccione si no existen fugas de calor en el horno				
Lubrique todas las partes móviles				
Verifique que todas las áreas alrededor del horno estén limpias				
Verifique el consumo de amperaje del horno				
Verificar si no existe vibraciones en el horno				
Verifique los manuales de operación de instalación I del fabricante				
Revise y documente los resultados I recomendaciones con el cliente				
Revise y documente los resultados I recomendaciones con el cliente				
Temperatura : 200 °C a 1200 °C				
VOLTAJE: 100 a 240 voltios				
TERMOCUPLA: 1300 °C				
CONTADOR: 32 A				
<b>Interpretación:</b> Se considera que el horno se encuentra en óptimas condiciones cuando se cumple con los 26 ítems, en buen estado si cumple con 24 ítems, en estado regular si cumple con 18 ítems y en mal estado si cumple con menos de 18 ítems.				
<b>NOTA:</b> Se debe cumplir con al menos 20 ítems para hacer uso del horno de manera segura.				

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

A continuación, se propone un modelo de Checklist basado en una tabla de verificación para determinar el estado de funcionamiento del horno de tratamiento térmico basado en seis puntos. Se verifica el concepto, la frecuencia, las acciones requeridas y los componentes. Dentro del concepto, se establece la pieza o parte que se va a revisar, dentro de la frecuencia se establece en manera diaria, mensual o anual, esto depende de la pieza o parte ya que cuenta con características distintas unas de otras, dentro de la sección acción se establece a breves rasgos como proceder con la revisión del componente para después poder determinar técnicamente cada uno de los seis puntos que se encuentran contenido en este Checklist en estado bueno o malo.

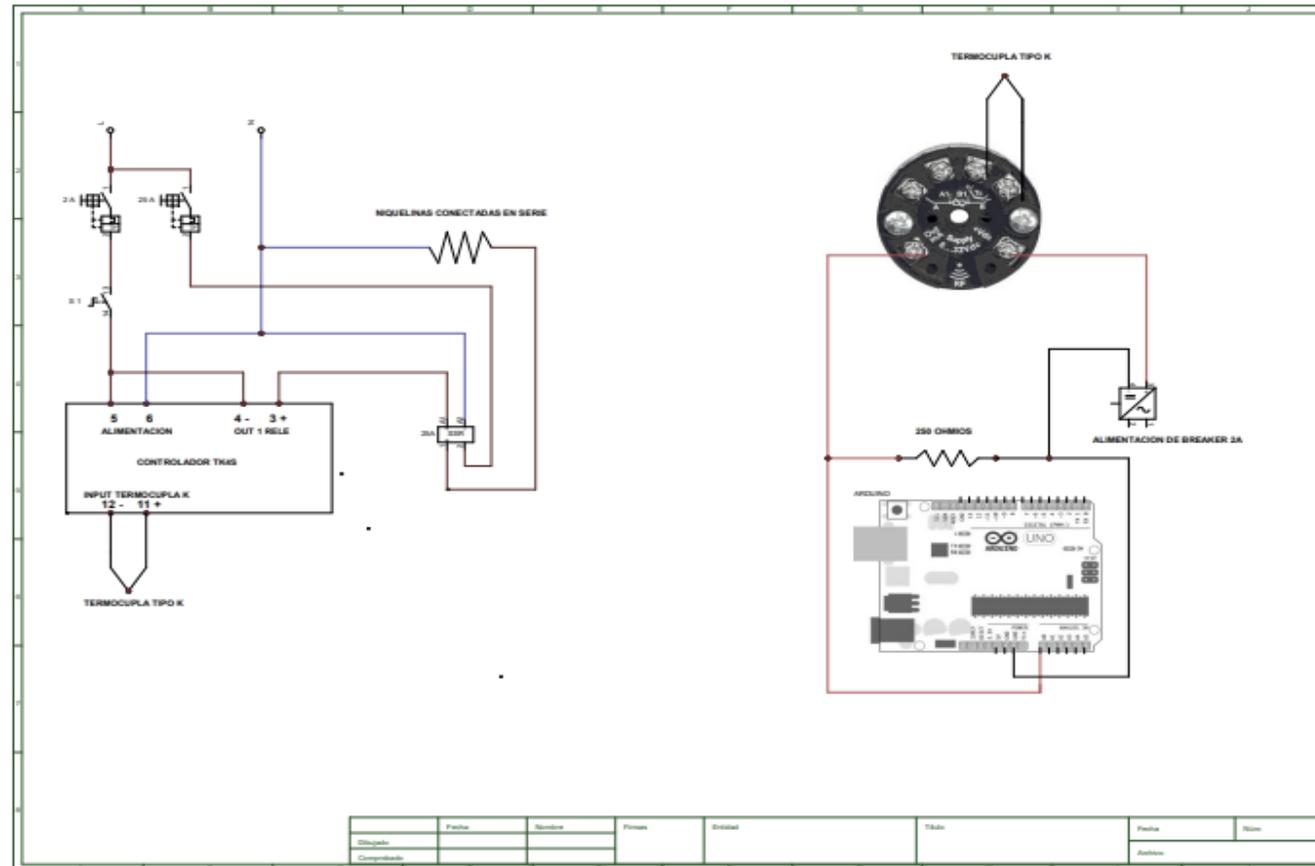
**Tabla 3-2:** Checklist general del estado del horno.

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>						
N.	Concepto	Frecuencia	Acción	Componente	Estado	
					Bueno	Malo
1	Interruptor de seguridad e interruptor final	Anual	Comprobación del funcionamiento	Eléctrico		
2	Cámara del horno, orificios y tubos de escape	Mensual	Limpiar, comprobar si existe daños, aspirar cuidadosamente	Mecánico		
3	Superficies de sellado: reborde de la puerta/reborde del horno	Diaria	Comprobar o sustituir	Mecánico		
4	Elementos calefactores	Diaria	Inspección visual a partes del calefactor que está en la cámara del horno	Eléctrico		
5	Comprobar que el consumo de corriente sea uniforme durante el calentamiento	Anual	Comprobar que el consumo de corriente sea uniforme durante el calentamiento	Eléctrico		
6	Termoelemento	Diaria	Inspección visual a partes del termoelemento que se ve en el horno	Eléctrico		

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

Para el correcto funcionamiento del horno de tratamiento térmico y para salvaguardar la seguridad de los operadores se debe dar constancia del correcto estado del horno mediante los dos Checklist antes propuestos; si alguna de sus piezas o partes se encuentra en fallo o requiere de una revisión o mantenimiento, se recomienda que no se haga uso del mismo ya que representa un riesgo.

### 3.2. Diagrama de conexión eléctrica y electrónica del controlador



**Ilustración 3-2:** Conexión eléctrica y electrónica 1

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.



### 3.3. Controladores de proceso para medición y retransmisión de temperatura

#### 3.3.1. Selección de equipos e instrumentos necesarios

##### 3.3.1.1. Arduino UNO



**Ilustración 3-4:** Arduino UNO

Fuente: (Suárez, 2022)

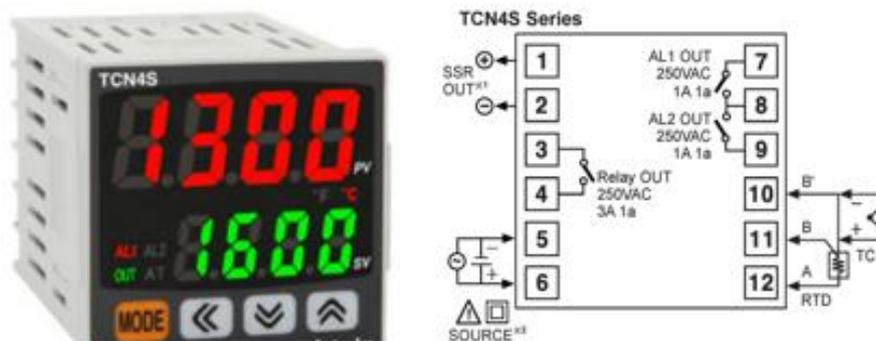
**Tabla 3-3:** Especificaciones del microcontrolador

Selección del microcontrolador	
Parámetros	Arduino UNO
Microcontrolador	ATmega 328
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada	7 V a 12 V
Pines Digitales	14
Pines de entrada análogos	6
Corriente de pin	40 mA
Corriente a 3.3 V de pin	50 mA
Memoria flash	32 kb
SRAM	2 kb
EEPROM	1 kb
Clock Speed	16 Mhz
Comunicación	UART, USART, SPI, ICSP, I2C, USB
Interrupción externa	2
Temperatura de operación	-40°C a 85°C

Fuente: (Suárez, 2022)

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

### 3.3.1.2. Controlador de temperatura



**Ilustración 3-5:** Controlador de temperatura

Fuente: (Exhibir, 2022)

**Tabla 3-4:** Especificaciones del controlador de temperatura

<b>Marca</b>	Autonics
<b>Modelo</b>	TCN4S-24R
<b>Display</b>	Doble - 2 indicadores numéricos
<b>Dimensiones</b>	48x48 mm
<b>Voltaje</b>	100 a 240 voltios AC
<b>Control temperatura</b>	1200 grados centígrados máximo.
<b>Dimensiones</b>	Para empotrar en perforación de 48 x 48 mm

Fuente: (Exhibir, 2022)

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

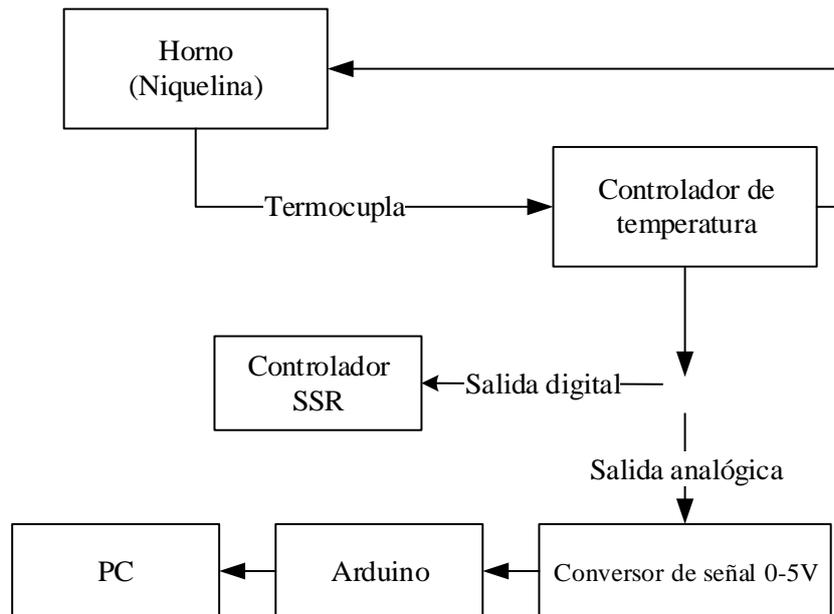
### 3.3.2. Insumos y materiales

**Tabla 3-5:** Insumos y materiales

Materiales e insumos	Cantidad
Termocupla tipo K (1300 °C)	2
Gabinete metálico (40x40x20)	2
Controlador de proceso digital	2
Placa Arduino	2
Convertor de señal	2
Contactador ( 32 A ; 220V)	6
Cable siliconado (10 AWG)	8
Braker riel ( 2P ; 32 A)	6
Fuente de poder panel ( 24V ; 2.5 A )	2
Breaker riel ( 2p ; 4 A)	2
Fusible	1

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

### 3.3.3. Diagrama del proceso

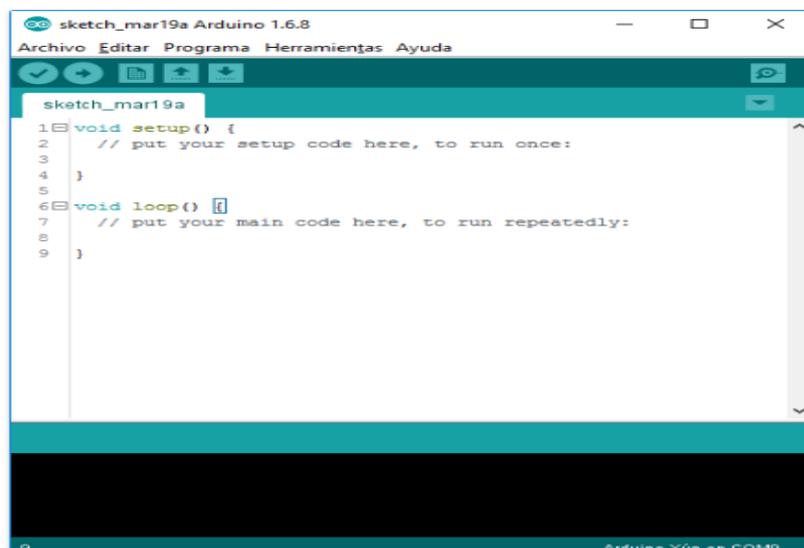


**Ilustración 3-6:** Diagrama del proceso

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

### 3.4. Plataforma de desarrollo basado en software libre

El IDE Arduino es un programa informático que posee un conjunto de herramientas, que puede ser utilizado para uno o varios lenguajes de programación, ha sido empaquetado como aplicación, es decir, compuesto por: editor de código, compilador, depurador y constructor de interfaz gráfica, lo cual permite trabajar directamente con el elemento.



**Ilustración 3-7:** Plataforma de Arduino

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

### 3.4.1. Configuración de parámetros para retrasmisión de temperatura con salida analógica

```
const int sensorPin = A3; // seleccionar la entrada para el sensor
int sensorValue; // variable que almacena el valor raw (0 a 1023)
int temperatura;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  sensorValue = analogRead(sensorPin); // realizar la lectura
  temperatura=(sensorValue-180)*(1200/570);
  Serial.println(temperatura);
  delay(2000);//tiempo de muestreo o adquisicion de datos
}
```

### 3.4.2. Ejecución del software portable para adquisición de datos

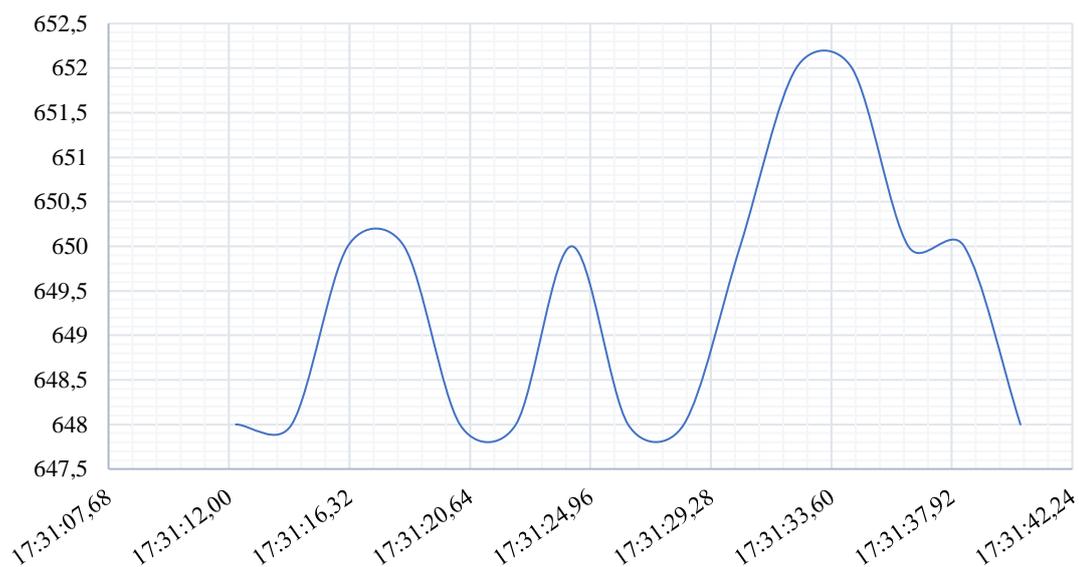
Una vez se estableció la configuración de los parámetros de retrasmisión se pudo identificar la variación de tiempo y temperatura, misma que se representa en la siguiente tabla:

**Tabla 3-6:** Ejecución del software en horno 1

TIME	CH1
17:31:40,38	648
17:31:38,36	650
17:31:36,36	650
17:31:34,34	652
17:31:32,34	652
17:31:30,33	650
17:31:28,31	648
17:31:26,31	648
17:31:24,29	650
17:31:22,29	648
17:31:20,28	648
17:31:18,28	650
17:31:16,26	650
17:31:14,25	648
17:31:12,25	648

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

## HORNO 1



**Ilustración 3-8:** Información obtenida del horno 1

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

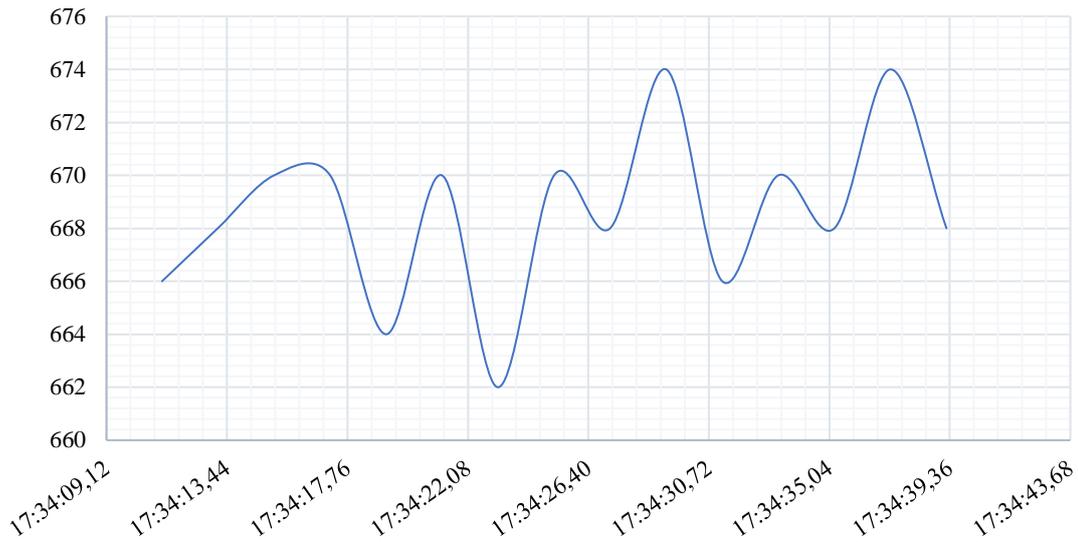
Como se puede observar en la ilustración anterior se encuentra representada la variación de la temperatura al interior del horno, en función del tiempo. El tiempo en que se realizó el registro fue desde las 17:31:07,68 hasta las 17:31:42,24, la mayor temperatura alcanzada fue de 652° y la menor de 648°.

**Tabla 3-7:** Ejecución del software en horno 1

TIME	CH1
17:34:39,24	668
17:34:37,23	674
17:34:35,22	668
17:34:33,21	670
17:34:31,20	666
17:34:29,19	674
17:34:27,18	668
17:34:25,17	670
17:34:23,16	662
17:34:21,15	670
17:34:19,15	664
17:34:17,14	670
17:34:15,13	670
17:34:13,11	668
17:34:11,11	666

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

### HORNO 1



**Ilustración 3-9:** Información obtenida del horno 1

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

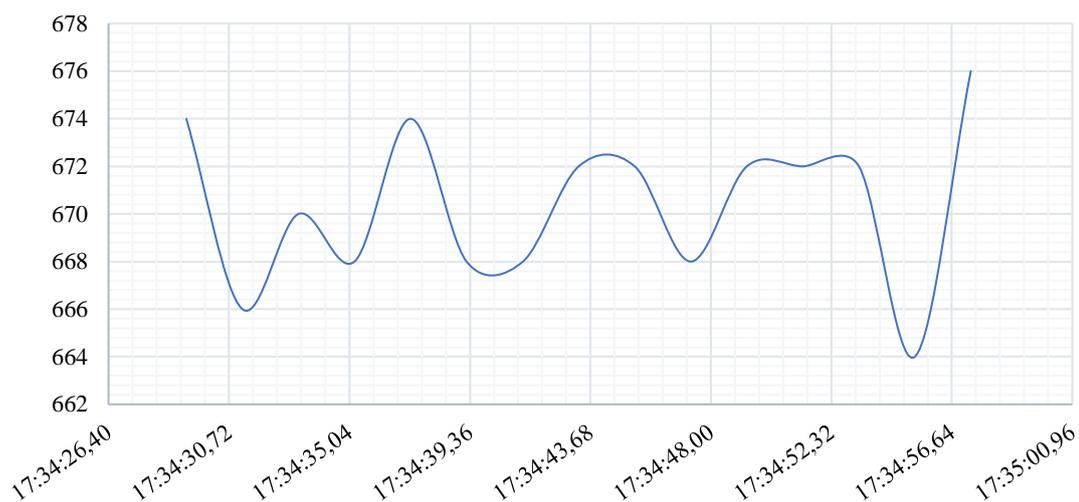
Se realizó una segunda ejecución del software en el mismo horno 1 de tratamiento térmico, los valores que se obtuvieron representan la variación de la temperatura al interior del horno, en función del tiempo. El tiempo en que se realizó el registro fue desde las 17:34:57,32 hasta las 17:34:29,19 dentro de las cuales la mayor temperatura alcanzada fue de 672° y la menor de 664°.

**Tabla 3-8:** Ejecución del software horno 2

TIME	CH1
17:34:57,32	676
17:34:55,31	664
17:34:53,31	672
17:34:51,30	672
17:34:49,29	672
17:34:47,28	668
17:34:45,27	672
17:34:43,26	672
17:34:41,26	668
17:34:39,24	668
17:34:37,23	674
17:34:35,22	668
17:34:33,21	670
17:34:31,20	666
17:34:29,19	674

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

## HORNO 2



**Ilustración 3-10:** Información obtenida del horno 2

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

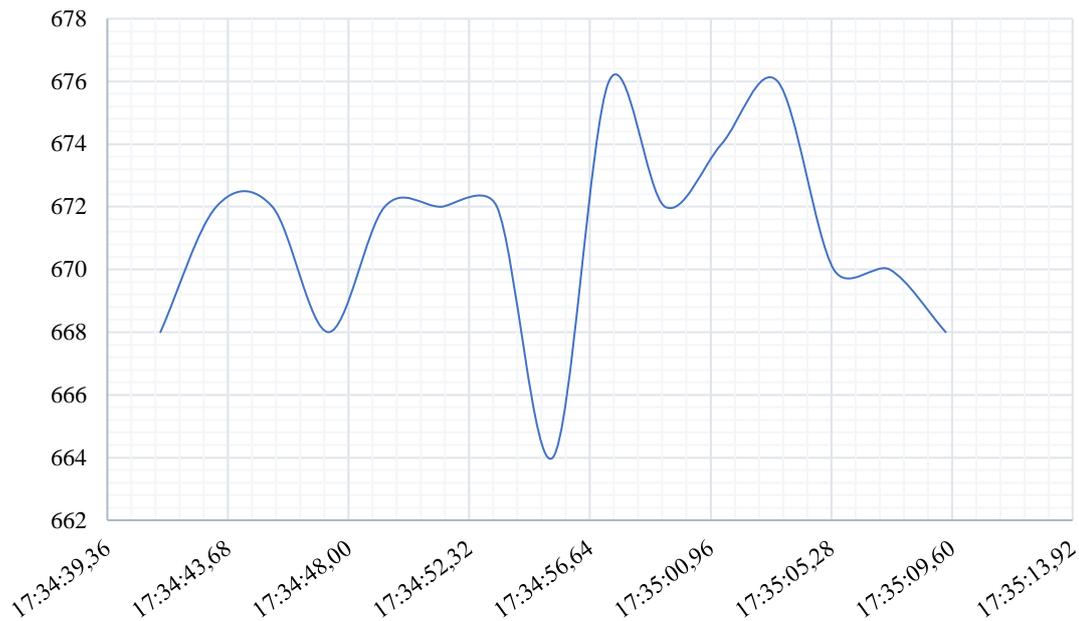
Como se puede observar en la ilustración anterior se encuentra representada la variación de la temperatura al interior del horno 2, en función del tiempo. Los tiempos en los cuales se realizó el registro fue desde las 17:34:26,40 hasta las 17:35:00,96, la mayor temperatura alcanzada fue de 676° y la menor de 664°.

**Tabla 3-9:** Ejecución del software horno 2

TIME	CH1
17:35:09,38	668
17:35:07,37	670
17:35:05,37	670
17:35:03,36	676
17:35:01,35	674
17:34:59,33	672
17:34:57,32	676
17:34:55,31	664
17:34:53,31	672
17:34:51,30	672
17:34:49,29	672
17:34:47,28	668
17:34:45,27	672
17:34:43,26	672
17:34:41,26	668

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

## HORNO 2



**Ilustración 3-11:** Información obtenida del horno 2

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

Se realizó una segunda ejecución del software en el mismo horno 2 de tratamiento térmico, los valores que se obtuvieron representan la variación de la temperatura al interior del horno, en función del tiempo. El tiempo en que se realizó el registro fue desde las 17:34:39,36 hasta las 17:35:13,92 dentro de las cuales la mayor temperatura alcanzada fue de 676° y la menor de 664°.

### 3.5. Documentos necesarios

#### 3.5.1. Formato inventario de activos

La forma más fácil de organizar, controlar y gestionar los activos fijos desde la adquisición, el proceso de cálculos y contabilización automático de las depreciaciones, así como el control de los activos por su estado, ubicación, responsable dentro de la empresa, grupo, dependencia. Es mediante el inventario de los activos mismo que se elaboró con el fin de disponer una correcta planificación y organización en el taller o laboratorio de la facultad de mecánica, de esta manera en base a las características reportadas se podrá realizar un correcto mantenimiento de los activos existentes y mantener en funcionamiento constante para su uso inmediato.

**Tabla 3-10:** Formato inventario de activos

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>INVENTARIO DE ACTIVOS</b>					
Custodio responsable:				Fecha:	
Responsable de mantenimiento:					
Nº	Código	Nombre del activo	Marca	Modelo	Año de fabricación
<b>Observaciones generales:</b>					

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

### 3.5.2. *Ficha técnica del activo*

A través del presente documento diseñado se realizó un diagnóstico del estado actual del activo, en el cual se determinó las fallas y averías que ocasionan la inactividad de los hornos de tratamiento térmicos, de esta manera el personal responsable podrá aplicar un mantenimiento o repotenciación oportuna en equipo.

**Tabla 3-11:** Formato ficha técnica del activo

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>FICHA TÉCNICA DEL ACTIVO</b>														
<b>INDICACIONES:</b> Coloque los datos que se solicitan a continuación, permite determinar el estado actual del activo, determinando fallas y averías producto de la inactividad, con la finalidad de establecer mantenimientos.														
<b>Responsable:</b>														
<b>Frecuencia:</b>														
<b>Responsable de mantenimiento:</b>														
<b>Fecha de la ficha técnica:</b>														
<b>Código:</b>				<b>Marca:</b>						<b>Modelo:</b>				
<b>Subsistemas:</b>							<b>Componentes:</b>							
<b>Fotografía:</b>														
<b>Procedimiento de operación del equipo:</b>														
<b>Recomendaciones durante la operación del equipo:</b>														
<b>Recomendaciones después de la operación del equipo:</b>														
<b>Descripción de las fallas del equipo:</b>														
<b>Función principal:</b>							<b>Capacidad de trabajo:</b>							
<b>Fecha de la última operación efectiva:</b>							<b>Fecha de adquisición:</b>							
<b>Principales actividades de mantenimiento:</b>									<b>Fecha del último mantenimiento:</b>					
1. Preventivas:														
2. Correctivas:														
<b>Disponibilidad</b>						<b>Razón de mantenimiento</b>								
Alta		Media		Baja		Nula		Alta		Media		Baja		Nula
<b>Actualización del estado técnico:</b>														
<p><b>NOTA:</b> Esta ficha se debe revisar y volver a llenar cada 3 meses o dependiendo de la utilización del horno para procurar su correcto estado de funcionamiento.</p>														

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2022

### 3.5.3. Bitácora de mantenimiento de los activos

El diseño propuesto del presente documento permitirá realizar un registro de los tipos de mantenimiento empleados en los activos, detallando cada una de las actividades realizadas en base a las fallas o averías diagnosticadas, de esta manera se podrá socializar el procedimiento llevado a cabo con el personal responsable del equipo.

**Tabla 3-12:** Formato ficha técnica del activo

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>BITÁCORA DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS</b>						
Realizado por:						
Fecha:						
N° de Taller						
Código	Fecha último mantenimiento	Nombre del activo	Descripción de fallas o averías	Tipo de mantenimiento		Actividad de mantenimiento realizada
				Preventivo	Correctivo	
Materiales, repuestos y accesorios						
Nombre del elemento		Cantidad		Acción realizada		
<b>Técnico responsable:</b>						

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2022

### 3.5.4. Orden de trabajo

Se diseñó en base a la importancia que posee, pues es uno de los documentos que permite ejecutar el mantenimiento adecuado del activo, en el cual se detallan características importantes como: estado del activo, insumos y materiales a utilizarse, diagnóstico, de fallas existentes.

**Tabla 3-13:** Orden de trabajo

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ORDEN DE TRABAJO</b>							N° Orde n
Técnico responsable:							
Fecha:							
Características del equipo		Estado de la orden		Estado funcional del equipo		Tipo de actividad de mantenimiento	
Código		Abierta Planificada		En Operación:		Preventivo:	
Marca		Cerrada terminada:		Función a media capacidad:		Correctivo:	
Modelo		En ejecución o desarrollo:		Fuera de servicio:		Monitoreo de Condición:	
Año de fabricación		Aplazada o postergada:					Mejorativo:
Diagnóstico de reporte de falla o solicitud de mantenimiento:					Hora y fecha de la falla reportada:		
ACTIVIDAD DE MANTTO		MANTTO PREVENTICO DE LA PLACA MECANICA		Tiempo estimado en el mantenimiento:			
<b>Descripción de actividades a realizarse</b>							
Desconectar el equipo hasta las pruebas de funcionamiento, consiste en verificar valores referenciales del check list							
<b>PIEZA O PARTE</b>				<b>VALOR</b>		<b>REQUERIDO</b>	
Termocupla				\$12			
Controlador de temperatura				\$38			
Arduino				\$15			
Convertor de señal				\$3			
Contactor				\$22			
Braker riel				\$9			
Fuente de poder panal				\$65			
Fusible				\$3			
Mano de obra				\$20-\$200			
<b>TOTAL</b>							
<b>ORDEN DE TRABAJO</b>							
Controlador							
Resistencia							
Termocupla							
Parte mecánica							
Insumos y materiales utilizados:							
Hora de inicio de mantenimiento:				Hora de culminación de mantenimiento:			
Nombre y firma del técnico:				_____			
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>\$</b>			

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

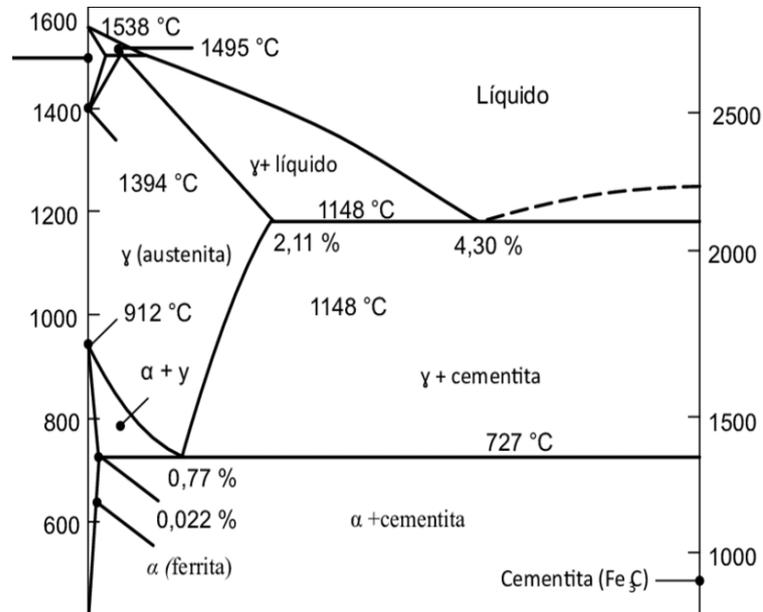


## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Cálculo de la temperatura

En base al porcentaje de carbono que poseen los aceros seleccionados para las pruebas, se procede a desarrollar el cálculo para obtener la temperatura a la cual serán sometidas las probetas.



**Ilustración 4-1:** Cálculo de la temperatura

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

Se procede al desarrollo del cálculo de la temperatura que será utilizada, puesto que el porcentaje de carbono del acero seleccionado es menor al referencial.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{T_2 - T_1}{\%C_2 - \%C_1}$$

$$m = \frac{727 - 912}{0,8 - 0}$$

$$m = -231,25 \left( \frac{^{\circ}C}{\%C} \right)$$

- Acero AISI 1018 con 0,18% de carbono

$$T_2 = -231,25(\%C) + 912^{\circ}C$$

$$T_2 = -231,25(0,18) + 912^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 870,37^{\circ}\text{C}$$

Para obtener la temperatura final se realizó un promedio entre  $T_1$  y  $T_2$ , donde se obtuvo:

$$T_2 = 900^{\circ}\text{C}$$

## **4.2. Características de los elementos**

### ***4.2.1. Características del agua***

Debe evitarse que el agua se caliente durante el temple, debido a que puede prolongarse la primera etapa del enfriamiento. El agua enfría muy rápidamente la superficie, con lo que se forma una corteza muy dura y se crean tensiones internas peligrosas que pueden deformar o romper las piezas

### ***4.2.2. Características de las soluciones salinas***

Añadiendo al agua una determinada cantidad de sales de temple, el enfriamiento es más rápido y por lo tanto más energético, debido no solo al mayor calor específico de las soluciones respecto al agua pura, sino también porque debido a la evaporación, las soluciones salinas cristalizan y sus cristales, dada las altas temperaturas estallan rompiendo el velo de vapor que circunda la pieza.

### ***4.2.3. Características de los aceites***

Los aceites animales y vegetales con el uso continuo a determinada temperatura se descomponen, espesan y se vuelven gomosos dando temples bastante irregulares. Además, son caros y de olor desagradable. Los mejores aceites para el temple son los minerales obtenidos por destilación fraccionada del petróleo. El aceite caliente tiene más poder refrigerante (30 - 40°C) que el frío, por ser más fluido. Este tipo de temple produce deformaciones y tensiones internas notablemente inferiores a los del agua y soluciones salinas. Un buen aceite de temple debe poseer las propiedades siguientes:

- Volatilidad no muy elevada.
- Temperatura de inflamación y combustión lo más elevada posible.
- Gran resistencia a la oxidación.

#### ***4.2.4. Características de los gases***

Para muchos aceros basta enfriar al aire tranquilo para que se forme martensita, aunque este tipo de enfriamiento es el que provoca menos distorsiones, también como contrapartida produce cierta oxidación superficial.

En lugar de aire pueden usarse gases protectores o inertes. Ejemplo Amoniaco craquizado o el gas de ciudad quemado. Utilizando estos gases en los hornos y como medios de temple, se obtienen piezas templadas brillantes.

#### ***4.2.5. Características de las sales fundidas***

Las características de las sales fundidas son:

- Están constituidas por cantidades variables de sodio, potasio, bario, etc, en forma de cianuros y sus componentes.
- Son utilizados como medios de enfriamiento y sustituyen con ventaja al aceite y al plomo fundido. Las sales se emplean en un intervalo de temperaturas entre 150 - 600°C.
- Se utilizan para enfriar las piezas durante el temple y para calentar durante el revenido.
- Algunos se utilizan para el calentamiento y fundamentalmente para el tratamiento termoquímico. Las sales fundidas presentan muy alta temperatura de transición.
- Con respecto a la severidad de temple, se comportan muy semejante al aceite pudiendo considerarse los efectos equivalentes.
- La agitación aumenta la severidad de temple por la difusión del calor.

#### **Tipos de elementos utilizados para el temple**

Para realizar el tratamiento térmico de temple se consideró

- Aceite
- Agua
- Al horno
- Cementación
- Arena

### 4.3. Mantenimiento y repotenciación

Tabla 4-1: Mantenimiento y repotenciación

MANTENIMIENTO Y REPOTENCIACIÓN DE LOS HORNOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS	
Evaluación del estado del activo	
Preparación de herramientas para mantenimiento y repotenciación de los activos	
Cambio de elementos (controlador, contactor entre otros)	
Hornos de tratamientos térmicos repotenciados y en operación	

Fuente: Trabajo de campo

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

#### 4.4. Procedimiento para el cálculo de la dureza

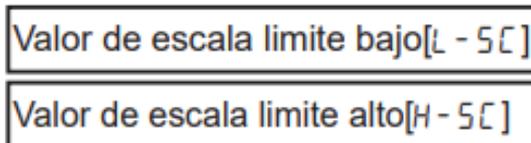
- **Configuración de parámetros:** Presione la tecla MODE por más de 5 segundos, aparecerá el mensaje PAR 1, con las teclas de subir o bajar avance hasta PAR 3, presione MODE nuevamente para ingresar al MENÚ y en tipo de entrada (IN-T) seleccione:

Sensor de entrada	Punto	Display	Rango de entrada(°C)	Rango de entrada(°F)
K(CA)	1	ℓℓRH	-200 a 1350	-328 a 2463
	0.1	ℓℓRL	-199.9 a 999.9	-199.9 a 999.9

**Ilustración 2-4:** Configuración de parámetros

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

Y avance con las teclas hasta:



**Ilustración 4-3:** Escalas límite superior e inferior

**Realizado por:** Burgos, J.; Freire, C. 2023.

- Dentro del límite inferior colocar 0° y en el límite superior 1200°.
- Presione MODE por más de 5 segundos para salir de la función PAR 3.
- Presione nuevamente MODE por más de 5 segundos para salir de configuración.
- Ingrese un SET de temperatura mayor al de la temperatura ambiente, por ejemplo: 180°
- Presione MODE por más de 5 segundos para ingresar a CONFIGURACIÓN y con las teclas de subir o bajar avance hasta PAR 2 y presione MODE para ingresar al MENÚ y se visualiza AUTOTUNING ATT, la misma que se encuentra en OFF y se requiere cambiar a ON, presionar MODE para ejecutar.
- Para salir del grupo 2 presionar MODE por más de 5 segundos y salir a la pantalla inicial presionando MODE nuevamente por más de 5 segundos, una vez terminado el AUTOTUNIGN se habrán agregado valores de ganancias proporcional integral derivativo que se ajusten al proceso de calentamiento del horno en cuestión.

Para el cálculo de la dureza se aplicó la siguiente fórmula

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Donde:

- $P = 187,5 \text{ kg}/f$
- $D = 2,5 \text{ mm}$
- $\pi = 3,1415926$
- $D^2 = 6,25$
- $2P = 375$
- $\pi D = 7,854$
- $d^2 = \text{promedio de los diámetros}$

### Datos generales del acero AISI 1018

Previo a la realización de los cálculos de dureza es importante señalar ciertas características específicas con las que cuenta el acero AISI 1018 sin ningún de tratamiento, es decir sin someterlo a ningún tipo de esfuerzo o varianza en su temperatura, sus características son las siguientes:

**Tabla 4-2:** Propiedades del acero AISI 1018

TIPO DE PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS
<b>Propiedades mecánicas</b>	Dureza 126 HB (71 HRb)
	Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI)
	Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI)
	Elongación máxima 15% (en 50mm)
	Reducción de área 40%
	Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)
	Maquinabilidad 76% (AISI 1212 = 100%)
<b>Propiedades físicas</b>	Densidad 7.87 g/cm <sup>3</sup> (0.284 lb/in <sup>3</sup> )
<b>Propiedades químicas</b>	0.15 – 0.20% C
	0.60 – 0.90% C
	0.04% P máx.
	0.05% S máx.

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

Adicionalmente, como se mostró en la tabla anterior las características normales con las que cuenta el acero AISI 1018, se muestra el índice HB (Hard Brinell), en condiciones normales antes de la realización de las pruebas

**Tabla 4-3:** Dureza Brinell acero AISI 1018 en condiciones normales

ACERO AISI 1018				PROMEDIO	DUREZA HB	
<b>Probeta</b>	Agujero 1	1,10	Agujero 1	1,12	1,110	183,69
	Agujero 2	1,09	Agujero 2	1,12	1,105	185,45
	Agujero 3	1,08	Agujero 3	1,13	1,105	185,45

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

#### 4.5. Cálculo de la Dureza Brinell (HB)

Una vez aplicada la formula se han obtenido los siguientes valores de HB de cada uno de los agujeros de las pruebas. Adicionalmente en escala de colores se muestran los valores de dureza, de la siguiente manera, el color verde representa a los niveles de HB más altos, mientras que el color rojo a los niveles de dureza inferiores.

**Tabla 4-4:** Cálculo de la dureza Brinell

<b>ACERO AISI 1018</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DUREZA HB</b>
<b>Prueba 1</b>	Agujero 1	1,10	Agujero 1	1,12	1,110	183,69
	Agujero 2	1,09	Agujero 2	1,12	1,105	185,45
	Agujero 3	1,08	Agujero 3	1,13	1,105	185,45
<b>ACEITE</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DUREZA HB</b>
<b>Prueba 1</b>	Agujero 1	1,17	Agujero 1	1,10	1,135	175,22
	Agujero 2	1,09	Agujero 2	1,04	1,065	200,45
	Agujero 3	1,20	Agujero 3	1,11	1,155	168,83
<b>Prueba 2</b>	Agujero 1	1,07	Agujero 1	1,02	1,045	208,61
	Agujero 2	1,14	Agujero 2	1,06	1,100	187,24
	Agujero 3	1,09	Agujero 3	1,07	1,080	194,63
<b>AGUA</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DUREZA HB</b>
<b>Prueba 1</b>	Agujero 1	1,01	Agujero 1	1,045	1,0275	216,13
	Agujero 2	0,96	Agujero 2	1,015	0,9875	234,86
	Agujero 3	1,00	Agujero 3	1,040	1,0200	219,48
<b>Prueba 2</b>	Agujero 1	0,99	Agujero 1	0,92	0,9550	251,84
	Agujero 2	0,96	Agujero 2	0,92	0,9400	260,27
	Agujero 3	0,94	Agujero 3	0,90	0,9200	272,16
<b>HORNO</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DUREZA HB</b>
<b>Prueba 1</b>	Agujero 1	1,085	Agujero 1	1,06	1,073	197,51
	Agujero 2	1,070	Agujero 2	1,06	1,065	200,45
	Agujero 3	1,050	Agujero 3	1,06	1,055	204,47
<b>Prueba 2</b>	Agujero 1	1,025	Agujero 1	1,03	1,028	216,13
	Agujero 2	1,015	Agujero 2	1,00	1,008	225,22
	Agujero 3	1,030	Agujero 3	1,00	1,015	221,75
<b>CEMENTACIÓN</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DUREZA HB</b>
<b>Prueba 1</b>	Agujero 1	1,26	Agujero 1	1,23	1,245	143,79
	Agujero 2	1,30	Agujero 2	1,16	1,230	147,59
	Agujero 3	1,23	Agujero 3	1,11	1,170	164,26
<b>Prueba 2</b>	Agujero 1	1,23	Agujero 1	1,21	1,220	150,20
	Agujero 2	1,27	Agujero 2	1,19	1,230	147,59
	Agujero 3	1,21	Agujero 3	1,17	1,190	158,42
<b>ARENA</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DUREZA HB</b>
<b>Prueba 1</b>	Agujero 1	1,20	Agujero 1	1,12	1,160	167,29
	Agujero 2	1,13	Agujero 2	1,08	1,105	185,45
	Agujero 3	1,07	Agujero 3	1,00	1,035	212,86
<b>Prueba 2</b>	Agujero 1	1,11	Agujero 1	1,04	1,075	196,55
	Agujero 2	1,12	Agujero 2	1,05	1,085	192,75
	Agujero 3	1,20	Agujero 3	1,11	1,155	168,83

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

Como se puede observar en la tabla anterior, de los resultados en las pruebas es en agua donde los materiales presentan una mayor dureza

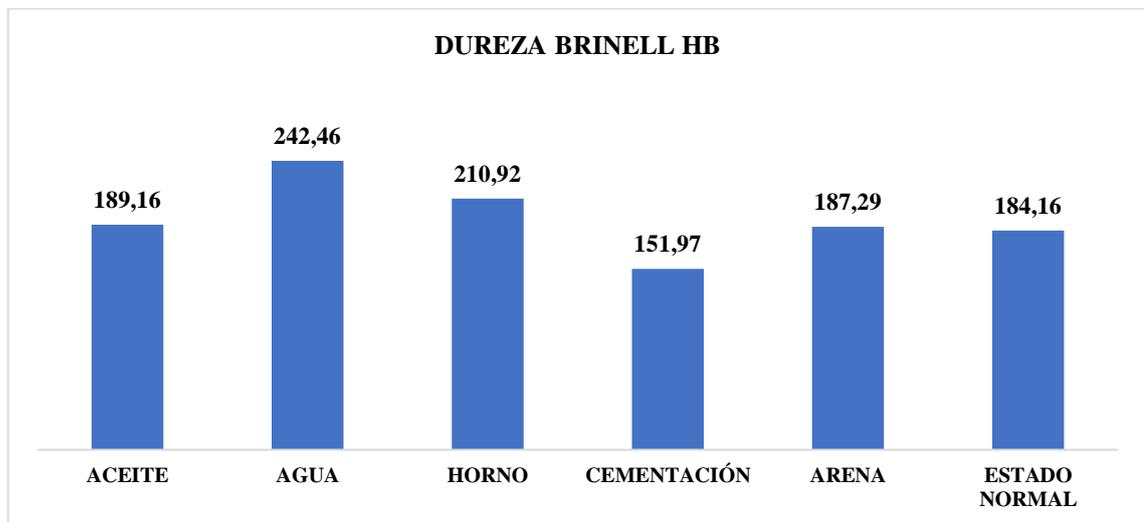
**Tabla 4-5:** Promedios obtenidos por tipo de elemento utilizado

PROMEDIOS		
ACERO AISI 1018	ACEITE	189,16
	AGUA	242,46
	HORNO	210,92
	CEMENTACIÓN	151,97
	ARENA	187,29
	ESTADO NORMAL	184,16

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

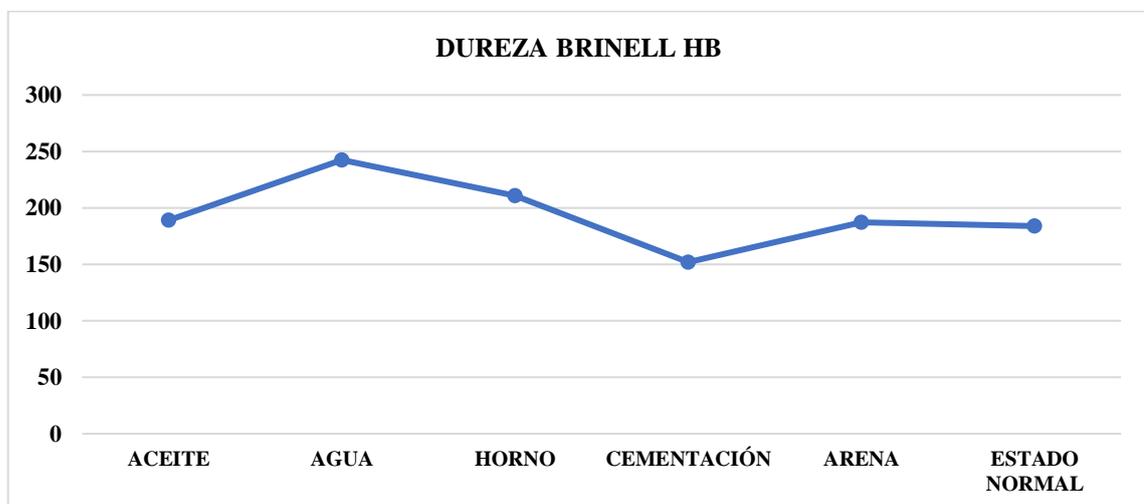
#### 4.6. Cuadro comparativo de los promedios obtenidos en los diferentes elementos

En la siguiente ilustración se muestran los diferentes valores obtenidos de Dureza Brinell (HB) en los diferentes elementos.



**Ilustración 4-4:** Dureza Brinell en acero AISI 1018

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.



**Ilustración 4-5:** Variación de la Dureza Brinell HB en diferentes elementos

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, se muestra la dureza del acero AISI 1018 sometido a diferentes tipos de elementos, los resultados fueron los siguientes: en agua la dureza Brinell (HB) obtuvo el mayor valor que fue de 242,46, seguido por horno con 210,92, el tercer lugar lo ocupa el valor HB de 189,16 del aceite; el antepenúltimo material fue la arena con un HB de 187,29 y el mínimo valor de dureza fue de 151,97 en cementación del acero. Todos estos valores han sido sometidos a diferentes tratamientos para determinar su comparación de dureza que en condiciones normales son de 184,16.

#### 4.7. Comparación de los resultados obtenidos

Para la realización de la comparación entre los resultados obtenidos, se establecieron los valores estándares del acero AISI 1018 en condiciones normales para después compararlos con los datos obtenidos de este mismo acero, pero sometido a diferentes temperaturas y materiales, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 4-6:** Variación de las durezas

DUREZA BRINELL HB				HB NORMAL	VARIACIÓN	
ACEITE	Prueba 1	Agujero 1	175,22	183,69	-8,47	↓
		Agujero 2	200,45	185,45	15,00	↑
		Agujero 3	168,83	185,45	-16,62	↓
	Prueba 2	Agujero 1	208,61	183,69	24,92	↑
		Agujero 2	187,24	185,45	1,79	↑
		Agujero 3	194,63	185,45	9,18	↑
AGUA	Prueba 1	Agujero 1	216,13	183,69	32,44	↑
		Agujero 2	234,86	185,45	49,41	↑
		Agujero 3	219,48	185,45	34,03	↑
	Prueba 2	Agujero 1	251,84	183,69	68,15	↑
		Agujero 2	260,27	185,45	74,82	↑
		Agujero 3	272,16	185,45	86,71	↑
HORNO	Prueba 1	Agujero 1	197,51	183,69	13,82	↑
		Agujero 2	200,45	185,45	15,00	↑
		Agujero 3	204,47	185,45	19,02	↑
	Prueba 2	Agujero 1	216,13	183,69	32,44	↑
		Agujero 2	225,22	185,45	39,77	↑
		Agujero 3	221,75	185,45	36,30	↑
CEMENTACIÓN	Prueba 1	Agujero 1	143,79	183,69	-39,90	↓
		Agujero 2	147,59	185,45	-37,86	↓
		Agujero 3	164,26	185,45	-21,19	↓
	Prueba 2	Agujero 1	150,20	183,69	-33,49	↓
		Agujero 2	147,59	185,45	-37,86	↓
		Agujero 3	158,42	185,45	-27,03	↓
ARENA	Prueba 1	Agujero 1	167,29	183,69	-16,40	↓
		Agujero 2	185,45	185,45	0,00	■
		Agujero 3	212,86	185,45	27,41	↑
	Prueba 2	Agujero 1	196,55	183,69	12,86	↑
		Agujero 2	192,75	185,45	7,30	↑
		Agujero 3	168,83	185,45	-16,62	↓

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023.

## **Análisis:**

Como se observa en la tabla anterior, se muestra la diferencia existente entre los valores de Dureza Brinell HB del acero AISI 1018 en condiciones normales y su variación en los diferentes tratamientos. Su variación es de incremento o reducción dependiendo del tratamiento que se dio al acero.

- **Aceite**

En cuanto a las pruebas realizadas con el acero en aceite se obtuvo mayor dureza cuando se efectuó en el agujero 1 de la prueba 2 que reflejó una variación de 24,92; puesto que el valor normal es de 183,69 y en la prueba se obtuvo un valor de dureza de 208,61.

- **Agua**

En el proceso realizado con el acero mediante agua el índice más alto de dureza alcanzado fue de 272,16 y al realizar una comparación con el índice HB del acero en condiciones normales que es de 185,45 se obtuvo un incremento de 86,71, esto en la prueba dos y agujero 3.

- **Horno**

Como se puede observar en la tabla de la variación de las durezas, en el proceso realizado con el acero AISI 1018 mediante horno se puede mencionar que la variación más representativa fue del agujero 2 en la prueba 2 al incrementar su dureza en 39,77 ya que su valor de HB en condiciones normales es de 185,45 y al realizar este tratamiento se obtuvo un HB de 225,22.

- **Cementación**

A través de las pruebas realizadas con el acero en tratamiento de cementación se obtuvieron valores de dureza HB todos menores tanto en la prueba 1 y 2 en todos sus agujeros, es decir que el índice HB en condiciones normales es más alto que con el tratamiento de cementación. Donde los valores de HB se redujeron hasta -39,90 como máximo.

- **Arena**

Finalmente, el tratamiento realizado con arena al acero AISI 1018 obtuvo tanto valores de incremento como de reducción en su índice HB, el valor de incremento más alto fue de 27,41;

mientras que en reducción fue de -16,62 en comparación con los índices de dureza del acero en condiciones normales.

#### 4.7.1. Metalografía

El análisis metalográfico o metalografía, es el estudio de la microestructura del acero como es el tamaño de agujeros, fases, fisuras u otros tipos de deformaciones. En este análisis tenemos como objetivo determinar si el material ha sido procesado de manera correcta tanto de origen como después de un tratamiento.

El procedimiento que se aplica para este estudio son: preparación metalográfica de la pieza, que consta de corte, montaje y pulido. Este último paso nos ayuda a revelar la microestructura de la pieza para posteriormente realizar la observación por microscopio para así realizar el análisis de la misma.

##### 4.7.1.1. Requerimientos

- Número de lija utilizado

**Tabla 4-7:** Lijas utilizadas

<b>NÚMERO DE LAS LIJAS</b>	200
	400
	600
	800
	1000
	1200
	1500
	2000

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

- **Tipo de pulido**

**Tabla 4-8:** Tipo de pulido

<b>Tipo de pulido</b>	<b>Características</b>
Espejo	Permite eliminar las rayas que se producen por la operación del desbaste, al girar el disco de la máquina pulidora en sentido contrario permite pulir la muestra en todas las direcciones obteniendo un

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

- **Temperatura a la que fue sometida**

**Tabla 4-9:** Temperatura de prueba

Elementos utilizados	Temperatura
Aceite	900°C
Agua	
Horno	
Cementación	
Arena	

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

- **Tiempo de encapsulado (tiempo en horno)**

Para el proceso se aplicó dos tiempos del metal en el horno detallado a continuación:

**Tabla 4-10:** Tiempo en el horno

Elementos utilizados	Tiempo en horno
Cementación	1h
Aceite	25 min
Agua	
Horno	
Arena	

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

- **Cortes realizados en el acero (fotografías antes y después del pulido)**



**Ilustración 4-6:** Cortes realizados antes y después del pulido

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

- **Cortes realizados en el acero (fotografías antes y del tiempo en horno temple)**



**Ilustración 4-7:** Temple del Acero AISI 1018 antes y después del tratamiento

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

- **Vistas en el microscopio antes y después del temple 20x y 50x**

**Tabla 4-11:** Vistas en el microscopio antes y después del cementado 20x y 50x

SIN TRATAMIENTO 20X	CEMENTADO 20X
 <p>M. PASTOR, IM&amp;M</p>	 <p>M. PASTOR, IM&amp;M</p>
SIN TRATAMIENTO 50X	CEMENTADO 50X
 <p>M. PASTOR, IM&amp;M</p>	 <p>M. PASTOR, IM&amp;M</p>

**Análisis:**

Como se puede observar en la tabla anterior, se muestran la vista en el microscopio del Acero AISI 1018 sin tratamiento con el aumento al lente 20x y 50x. Adicionalmente se muestra el mismo Acero AISI 1018, después de haber realizado el tratamiento de cementación en donde se puede identificar dos tipos de elementos: el primero es la ferrita (color rosado) y el segundo es la cementita (color negro), la diferencia entre la ferrita y la cementita es que la cementita es el carburo que se acumula y no se han disuelto ni convertido en ferrita. El porcentaje de materiales se denotaron, así: 60% ferrita y 40% cementita antes del tratamiento, después del tratamiento de cementación su valor de dureza se ve comprometido, es decir disminuye en comparación de la dureza en condiciones normales, esto se puede corroborar al ver una mayor cantidad de cementita (color negro) en los diferentes aumentos del lente microscópico.

**Tabla 4-12:** Vistas en el microscopio antes y después del temple en agua 20x y 50x

SIN TRATAMIENTO 20X	TEMPLE AGUA 20X
	
SIN TRATAMIENTO 50X	TEMPLE AGUA 50X
	

## **Análisis:**

Como se observa en la tabla anterior, se muestran la vista al microscopio con aumentos 20x y 50x del Acero AISI 1018 sin tratamiento y con temple en agua. Dentro de este tratamiento antes y después, se pueden identificar dos elementos: ferrita (color rosado) y cementita (color negro), la diferencia entre la ferrita y la cementita es que la cementita es el carburo que se acumula y no se ha disuelto. El porcentaje de materiales se denotaron, así: 60% ferrita y 40% cementita antes del tratamiento, después del tratamiento de cementación su valor de dureza aumentó en comparación de la dureza en condiciones normales, esto se puede corroborar al ver una mayor cantidad de ferrita (color rosado) en los diferentes aumentos del lente microscópico. También se puede mencionar que este material ahora es dúctil y altamente soldable, pero cuenta con baja templabilidad.

## **4.8. Manual de operación y mantenimiento para los hornos de tratamientos térmicos**

### ***4.8.1. Manual de operación***

#### **Selección de temperatura**

Para la selección óptima de temperatura de trabajo en el activo FM-TF-HCT9195, es de suma importancia programar el equipo, para este procedimiento se seleccionó una configuración del manual del controlado, que se detalla a continuación:

#### **1. Precaución**

- 1.1. No toque los terminales de corriente alterna mientras el controlador está alimentado, para evitar una descarga eléctrica.
- 1.2. Asegúrese de que la alimentación está desconectada mientras se esté revisando el interior de la unidad.

El símbolo  indica que este controlador de temperatura serie Delta A está protegido por DOBLE AISLAMIENTO o AISLAMIENTO REFORZADO

## 2. Pantalla, leds y botones

**Tabla 4-13:** Pantalla, leds y botones

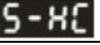
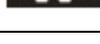
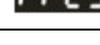
		
<b>Pantalla PV</b>		Muestra el valor actual de la temperatura de proceso, o el tipo de parámetro
<b>Pantalla SV</b>		Muestra la consigna, valor leído del parámetro operativo, variable manipulada o valor consignado al parámetro.
<b>AT</b>		Parpadea cuando el proceso de auto-sintonizado está en marcha.
<b>OUT1/OUT2</b>		LEDs de salidas. Se encienden cuando la salida correspondiente está activada.
	<b>Tecla de confirmación / cambio de menú</b>	Tecla de confirmación / cambio de menú Pulse esta tecla para cambiar de menú, y para confirmar un valor de ajuste
	<b>Tecla de navegación entre parámetros</b>	Pulse esta tecla para moverse entre parámetros.
<b>°C, °F</b>		LEDs de unidades de temperatura. °C = Celsius (centígrados); °F = Fahrenheit
<b>ALM1 – ALM3</b>		LEDs de salida de alarma, se encienden cuando la alarma correspondiente está activada.

	<b>Botón arriba</b>	Pulse este botón para incrementar los valores mostrados en la pantalla SV. Manténgalo presionado para acelerar los incrementos
	<b>Botón abajo</b>	Pulse este botón para disminuir los valores mostrados en la pantalla SV. Manténgalo presionado para acelerar las disminuciones.

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

## Listado de parámetros

Tabla 4-14: Listado de parámetros

<b>LISTADO DE PARÁMETROS</b>	
<b>Display LED</b>	<b>Descripción</b>
	Selección del tipo de entrada (PT1)
	Selección del tipo de termocupla (tipo k)
	Selección de grados °F o °C (°c)
	Selección del límite superior de temperatura (1200)
	Selección del límite inferior de temperatura (Mantener el valor del controlador )
	Ajuste del modo de control (on-off)
	Selección de calor o frío (heat)
	AL1 SET: ajuste de alarma 1 (Mantener el valor del controlador )
	AL2 SET: ajuste de alarma 2
	C WE: habilitación de la función de escritura (manifiesto cuando se usa la comunicación en serie) <b>(Mantener el valor del controlador )</b>
	C NO: ajuste de dirección (manifiesto cuando se usa la comunicación en serie) <b>(Mantener el valor del controlador )</b>
	BPS: ajuste de la velocidad media de transferencia (manifiesto cuando se usa la comunicación en serie) <b>(Mantener el valor del controlador )</b>
	LENGTH: ajuste de longitud de datos (manifiesto cuando se usa la comunicación en serie) <b>(Mantener el valor del controlador )</b>
	PARITY: ajuste de bit de paridad (manifiesto cuando se usa la comunicación en serie) <b>(Mantener el valor del controlador )</b>



STOP BIT: ajuste de bit de stop (manifiesto cuando se usa la comunicación en serie) (**Mantener el valor del controlador**)

Realizado por: Burgos, J.; Freire, C. 2023

## Operativa

Activar el auto tuning



2.1. Ajuste el auto tuning

2.2. Presione set para guardar





El manual de mantenimiento debe efectuarse semestralmente con el fin de mantener en constante operación los equipos, los principales elementos a tomar en consideración deben ser: controlador, contactor, interruptor y el indicador de energización, adicionalmente es de suma importancia utilizar los materiales necesarios para efectuar el correcto mantenimiento entre ellos: pinzas, desarmadores, multímetro etc., de esta manera se podrán mantener en operación constante los activos.

## CONCLUSIONES

- Entre las fallas y averías identificadas mediante la lista de chequeo, basada en veinticinco puntos se pudo identificar que el 100% de estos requerimientos no se están cumpliendo, es decir que requiere de una intervención inmediata en cada uno de estos ítems para asegurar su eficiencia y seguridad durante su uso.
- Entre las principales características con las que deben contar los hornos para garantizar su adecuado funcionamiento tenemos: verificación de piezas y partes como controladores, sensores, resistencias, sellados, fugas, limpieza, seguridad, conexiones eléctricas, aislamientos, consumos, entre otros.
- Como se menciona anteriormente existe un incumplimiento de la totalidad de ítems que conforman la lista de chequeo, por ende, se procede a la verificación y cumplimientos de los mismos para que el horno se encuentre operativo al 100% brindando mayor eficiencia en resultados y consumos, así como también en los niveles de seguridad prestados a sus operarios.
- El manual de operación y mantenimiento para los hornos de tratamientos térmicos se realizó mediante la investigación de las características de operación adecuada de piezas y partes del horno, de tal manera que se detalla el procedimiento a seguir por los estudiantes de la Facultad de Mecánica de La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
- En el proceso de cementado no se pudo obtener un aumento de dureza debido el carbón triturado que se utilizó en el tratamiento presento varios impureza (glúcidos como la celulosa y lignina, proteínas vegetales y materia inorgánica), las cuales no permitieron el aumento de la dureza.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar mantenimientos preventivos y correctivos frecuentes, dependiendo del uso que se le dé al horno de tratamiento térmico
- Llevar un registro con todos los mantenimientos realizados, así como también de los fallos presentados
- Hacer uso del manual de operación y mantenimiento propuesto ya que de esta manera se precautela la eficiencia y la seguridad mientras se hace uso del horno de la Facultad de Mecánica de La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Para la prevención de accidentes al poner en funcionamiento los hornos de debe utilizar el equipo de protección personal. (EPP).
- En la recolección de datos se recomienda instalar la función complementaria de Excel llamada adquisición de datos.
- El horno podrá ser utilizado para otros tipos de operaciones como realizar aleaciones y fundiciones

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AIR Liquide.** Instalaciones para actividades de tratamiento térmico. [En línea] 2022. [Consultado: 08 de noviembre de 2022.] Disponible en: <https://es.airliquide.com/soluciones/tratamiento-termico-de-metales/instalaciones-para-actividades-de-tratamiento-termico>.
2. **ARIAS, L.** Método multicriterio para la selección de técnicas de reforzamiento sísmico mediante el uso de criterios de transparencia y herramientas BIM. [En línea] (Tesis de maestría), Pontificia Universidad del Perú 2019. [Consultado: 18 de noviembre de 2022.] Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14629>
3. **ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD.** Normas ASTM. [En línea] 2019. [Consultado: 08 de noviembre de 2022.] Disponible en: <https://la.astm.org/es/standards/>
4. **BELZUNCE, F.** Estructuras, transformaciones, tratamientos térmicos y aplicaciones. . Aceros y fundiciones . [En línea] 2020. [Consultado: 16 de abril de 2022.] Disponible en: <https://aceroplatea.es/docs/documento138.pdf>.
5. **BONILLA, Mario.** Mntenimiento correctivo montaje y puesta en marcha de un horno electrico para tratamiento con capacidad de 1,5 Ton/día. [En línea], (Tesis Ingeniería) Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2003. [Consultado: 16 de abril de 2022.] Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2356783>
6. **BUITRAGO, C & ARÉVALO, C.** Influencia del tratamiento de cementación, temple a temperaturas intercríticas, criogenización y revenido en la resistencia al impacto de un acero Aisi 1020. [en línea], vol. 1800, 2021, pp. 15-16. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: [https://www.mtu-solutions.com/content/dam/mtu/download/technical-info/betriebsstoffvorschrift\\_en/A001061\\_40E.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original./A001061\\_40E.pdf](https://www.mtu-solutions.com/content/dam/mtu/download/technical-info/betriebsstoffvorschrift_en/A001061_40E.pdf/_jcr_content/renditions/original./A001061_40E.pdf).
7. **CANGAS, P.** Fuerza de unión de un composite vitrocerámico monohíbrido con silano sometido a un tratamiento térmico. [en línea], 2020, pp. 4-5. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23871>
8. **CARBOSYSTEM.** Tipos de hornos industriales. [En línea] 2022. [Consulta: 8 de noviembre de 2022.] Disponible en: <https://carbosystem.com/tipos-de-hornos-industriales/>.

9. **CASELLAS, F.** Desarrollo de una metodología para el prototipado, aplicado a la electrónica de potencia. [en línea] 2021, pp. 1-100. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.
10. **CETINA, J.** Evaluación de la resistencia al desgaste adhesivo del acero AISI 1020 cementado con carbón obtenido a partir de la biomasa de café. [en línea], vol. 1, 2019, Disponible en: <https://repositorio.unibague.edu.co/server/api/core/bitstreams/68c038cb-6b25-4dcb-a069-096a7c9215bb/content>
11. **CHOLANGO, A & ZAPATA, J.** Determinar la resistencia a la tracción y dureza del acero AISI/SAE 4340, tratado térmicamente por temple a 860° C y revenido a 280° C, 320° C y 380° C. [en línea], vol. 3, 2020, pp. 6-3. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19191>
12. **DUARTE, D & VARGAS, J.** Diseño de Horno eléctrico para tratamiento térmico con atmosferas controladas. [en línea], vol. 1, 2020, pp. 4-7. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250160082.pdf>
13. **DUARTE, D & VARGAS, J.** Diseño de horno eléctrico para tratamientos térmicos con atmósfera controlada. [en línea], 2018. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250160082.pdf>
14. **DUARTE, Diego & VARGAS, Jesús.** Diseño de horno eléctrico para tratamientos térmicos con atmósfera controlada. [en línea], (Tesis Ingeniería) Bogotá : Fundacion Universitaria Los Libertadores, 2018. pp. 214. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3268>
15. **EXHIBIR.** Controlador de temperatura autonics TCN2S-24R. [En línea] 2022. [Consulta: 09 de septiembre de 2022.] Disponible en: <https://exhibirequipos.com/producto/control-temperatura-autonics-tcn4s-24r/>.
16. **FIGUEROA, P.** Optimización de los costos de procesos de cementado bajo atmosfera controladas. [en línea], vol. 6, 2021, pp. 1-7. Disponible en: [https://www.swissoil.com.ec/boletines/SO\\_BOLETIN\\_6\\_grados\\_viscosidad.pdf](https://www.swissoil.com.ec/boletines/SO_BOLETIN_6_grados_viscosidad.pdf).
17. **GUEVARA, O & SARMIENTO, N.** Evaluación de la cinética de crecimiento de grano austenítico en un acero de cementación AISI 8620. [en línea], vol. 63, 2019, pp. 397-407.

ISSN 0002-5151. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en:  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755026009%0ACómo>.

18. **HANCCO, A. 2021.** *Estudio y aplicación de tratamientos térmicos a fundiciones grises fabricados en horno cubilote en la Región Puno-2021.* 2021.
19. **HERRERA, J.** *Evaluación de la fundición gris nodular con la aplicación de técnicas térmicas para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas.* [en línea], 2019 [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en:  
<http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/handle/123456789/2477>
20. **JORITZ, D.** *Ipsen software para instalaciones de temple y cementación gaseosa.* [en línea], 2021. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7963387>
21. **KUO, Benjamin.** *Sistemas de control automático. s.l. : Hall Hispanoamericana,* [en línea], 2017. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en:  
<https://dademuchconnection.files.wordpress.com/2017/07/sistemas-de-control-automatico-benjamin-c-kuo.pdf>
22. **LLANOS, A.** *Tratamiento termoquímico de cementación y su incidencia en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.* [en línea], 2018. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en:  
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3820>
23. **LÓPEZ, Andrés** *Repotenciación de horno para tratamientos térmico en la Universidad Técnica de Cotopaxi.* [En línea] 2019. [Consulta: 1 de octubre de 2022.] Disponible en:  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5469>
24. **MASQUI, Erick.** *Repotenciación del horno de temple del laboratorio de tratamientos térmicos, analizando las fallas de cada elemento, para la elaboración de un manual de prácticas y plan de mantenimiento.* Instituto Superior Tecnológico central Técnico . [En línea] 2018. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en:  
[https://www.istct.edu.ec/gia\\_nuevo/titulacion/1726237850/1726237850\\_informeTutor.pdf](https://www.istct.edu.ec/gia_nuevo/titulacion/1726237850/1726237850_informeTutor.pdf).
25. **MEZA, D.** *Implementación de la ingeniería de métodos para mejorar la productividad en el área de tratamiento térmico en la empresa Aceros del Perú SAC,* Lima 2017. [En línea]

2018. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en:  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23289>

26. **MONAR, Roth.** *Fallas en el tratamiento térmico.* [Online] 2021 [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://www.novus.com.br/blog/conozca-las-3-principales-fallas-en-el-tratamiento-termico-y-como-evitarlas/?lang=es>.
27. **MORENO, Alvaro.** *Metodología aplicada en hornos de tratamiento térmico de distorsionamiento de piezas ferrosas.* [En línea] 2020. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/177647/Metodologia-de-dise%C3%B1o-de-hornos-para-tratamiento-termico-de-distensionado-de-grandes-piezas-ferrosas-de-mineria.pdf?sequence=1>
28. **NABERTHERM.** *Hornos de cámara calentamiento por gas hasta 1300 °C.* [Online] 2022 [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://nabertherm.com/es/productos/industria/materiales-avanzados/hornos-calentamiento/hornos-de-camara-calentamiento-por>.
29. **NUÑEZ, J & YANGUISELA, A.** *Validación de la variación de las propiedades mecánicas a la torsión del acero AISI/SAE 4140 tratado térmicamente por temple a 830° C-860 °C y revenido a 500 °C,* (Tesis pregrado) Universidad Politécnica Salesiana [En línea] 2020. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19312>
30. **ORTIZ, W & SANTILLAN, J.** *Efecto del tiempo de temple en una aleación cuproaluminio cobre-10% aluminio revenido a 400° c sobre la resistencia al desgaste, resistencia al impacto y dureza.* [En línea] 2019. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13046>
31. **PEÑA, N.** *Perfeccionamiento de los parámetros técnicos y constructivos en el horno de tratamiento térmico de la UEB Fundación.* 2019. [En línea] 2019. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3731>
32. **RÁTIVA, E.** *Influencia del temple a temperaturas intercríticas y revenido por debajo de ms en la resistencia a la tracción de un acero de bajo carbono y manganeso cercano al 1%.* [En línea] 2018. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22394?show=full>

33. **RIVAS, R.** *Análisis de metalografías de tratamientos térmicos en aceros AISI 1036, 1045 y 3115.* [En línea] 2018. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/AN%C3%A1LISIS-DE-METALOGRAF%C3%8DAS-DE-TRATAMIENTOS-T%C3%89RMICOS-Rivas/363ba73e4ca361a8f409c1a025db23ab39135752>
34. **SAHUQUILLO, R.** *Análisis de la soldadura de fundición laminar por procedimiento TIG y aporte de varilla de Inconel sometida a distintos tratamientos térmicos.* [En línea] 2018. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/110556>
35. **SALAZAR, J, SALVADOR, G & MARÍA, B.** *Efecto de la permanencia a la temperatura de cementado en un acero 8620 sobre la profundidad efectiva de la capa cementada y la distribución de la microdureza.* [En línea] 2018. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: [http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A2\\_156.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A2_156.pdf)
36. **SÁNCHEZ, F.** *Air Liquide.* [Online]2019. [Consulta: 17 de junio de 2022.] Disponible en: <https://es.airliquide.com/soluciones/tratamiento-termico-de-metales/para-que-sirve-el-tratamiento-termico-de-los-materiales#:~:text=El%20tratamiento%20t%C3%A9rmico%20es%20un,tambi%C3%A9n%20pl%C3%A1sticos%20%20vidrio%20o%20cer%C3%A1mica..>
37. **STEEL SUPPLY L,P.** *Electric Arc Furnace vs. Blast Furnace.* [En línea] 2020. [Consulta: 8 de noviembre de 2022.] Disponible en: <https://www.steelupply.com/blog/electric-arc-furnace-vs-blast-furnace>.
38. **SUÁREZ, Roberto.** *Arduino UNO .* [En línea] 2022. [Consulta: 09 de Septiembre de 2022.] disponible en: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>.
39. **SUMINISTRO INGENIERÍA Y SOLUCIONES S.A.** *Qué es un horno industrial y para qué sirve.* [En línea] 2017. [Consulta: 06 de 05 de 2022.] Disponible en: <https://sissa.com.co/site/que-es-un-horno-industrial-y-para-que-sirve/>.

## ANEXOS

### ANEXO A: CHECK LIST DE MANTENIMIENTO

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>				
<b>CHECK LIST PARA VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>				
<b>Indicaciones:</b> A continuación, se presenta un listado para la verificación del funcionamiento del horno, consta de 26 ítems; marque con una X en la columna si cumple o no cumple con el procedimiento.				
<b>Responsable:</b>	<b>Técnico de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia:</b>	<b>Trimestral</b>	
<b>PROCEDIMIENTO</b>		<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>REVISIÓN</b>
Verifique todos los controles de seguridad			X	No existe controladores de seguridad
Limpie e inspeccione los quemadores y el compartimento del quemador.			X	Quemadores corroídos y en mal estado
Verifique el estado de las conexiones eléctricas del horno			X	Conexiones en mal estado
Limpie y verifique el sensor de llama del termopar I			X	No existe
Limpie y revise las resistencias			X	No enciende
Encienda el horno y controle el encendido.			X	No enciende
Verifique el aislamiento de la cámara del horno que no presente fugas			X	Presenta grietas
Inspeccione el sistema en busca de fugas eléctricas, sobrecargas y escombros.			X	No existe
Verifique y registre la temperatura de encendido			X	No enciende
Verifique el aumento de temperatura y el tiempo que demora en llegar a la temperatura deseada			X	No
Verifique el aislamiento de la cámara del horno que no presente fugas			X	No enciende
Inspeccione si no existe fugas de calor en el horno			X	No existen controladores
Limpie el horno que limpio alrededor del horno			X	No enciende
Verifique el consumo de amperaje del horno				No enciende
Verificar si no existe vibraciones en el horno			X	No existe
Verifique los manuales de operación de instalación I del fabricante			X	No existe conexiones
Revise y documente los resultados I recomendaciones con el cliente			X	No existe
Revise y documente los resultados I recomendaciones con el cliente			X	No existe
Temperatura : 200 °C a 1200 °C			X	
VOLTAJE: 100 a 240 voltios			X	
TERMOCUPLA: 1300 °C			X	
CONTADOR: 32 A			X	
<b>Interpretación:</b> Se considera que el horno se encuentra en óptimas condiciones cuando se cumple con los 26 ítems, en buen estado si cumple con 24 ítems, en estado regular si cumple con 18 ítems y en mal estado si cumple con menos de 18 ítems.				
<b>NOTA:</b> Se debe cumplir con al menos 24 ítems para hacer uso del horno de manera segura.				