



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE MECÁNICA**

Trabajo de Integración  
Curricular previa la obtención  
del Grado Académico de  
Ingeniero Mecánico.

**Proyecto Tecnológico:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO DE  
TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA EL LABORATORIO INDUSTRIAL DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO”**

**Autor:**

**BRYAN ALEXANDER ALVERCA LAMAR**

**Director del Proyecto Tecnológico:**

**ING. HERNAN DARIO HERRERA CONTRERAS, M.Sc.**

**Quevedo – Los Ríos – Ecuador**

**2024**





## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **BRYAN ALEXANDER ALVERCA LAMAR**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**BRYAN ALEXANDER ALVERCA LAMAR**

**C.I: 2200472302**



## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO TECNOLÓGICO**

El suscrito, **Ing. Hernan Dario Herrera Contreras, M.Sc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Bryan Alexander Alverca Lamar**, realizó el Proyecto Tecnológico de grado titulado “**Diseño y construcción de un horno eléctrico de tratamientos térmicos para el laboratorio industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

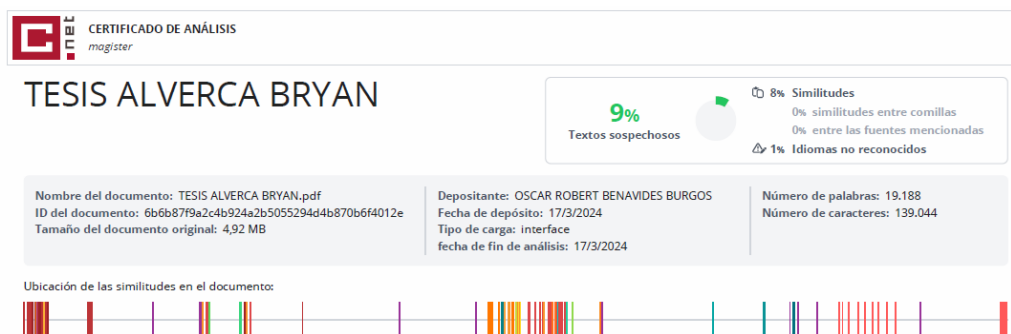
---

**Ing. Hernan Dario Herrera Contreras, M.Sc.**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO TECNOLÓGICO**



## CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, **Ing. Hernan Dario Herrera Contreras, M.Sc.**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe del Proyecto Tecnológico titulado “**Diseño y construcción de un horno eléctrico de tratamientos térmicos para el laboratorio industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo**”. Presentado por el estudiante **Bryan Alexander Alverca Lamar**, egresado de la Carrera de Mecánica, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 91% y similitud 9%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.



**Ing. Hernan Dario Herrera Contreras, M.Sc.**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO TECNOLÓGICO**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE MECÁNICA**

**PROYECTO TECNOLÓGICO**

**Título:**

“Diseño y construcción de un horno eléctrico de tratamientos térmicos para el laboratorio industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo”

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

---

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**  
Ing. Jorge Acosta Manosalvas, M.Sc.

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**  
Ing. Cristian Paúl Topa Chuquitarco, M.Sc.

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**  
Ing. Jaime Alfredo Lopez Chica, M.Sc.

**QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR**

2024

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera especial a la realización de esta tesis. Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo incondicional de diversas personas.

Agradezco a mi tribunal de tesis por dedicar su tiempo a revisar y enriquecer este trabajo. Sus comentarios constructivos han mejorado significativamente en la calidad de la tesis.

No puedo dejar pasar por alto el apoyo de mi familia y amigos. Agradezco a mi papá Alejandro, mi mamá Salome por su aliento constante, comprensión y amor durante todo este proceso, su respaldo ha sido mi mayor motivación para lograr este objetivo.

Finalmente, expreso mi gratitud a todos quienes han colaborado conmigo de diversas formas en este proyecto de tesis y en mi desarrollo académico. Este éxito no solo es mío, sino que también es compartido con quienes me han acompañado en esta larga travesía.

**Bryan Alexander Alverca Lamar.**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de tesis se la dedico a mis padres, Alejandro y Salomé por ser mi fuente inagotable de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de esta travesía de estudios. Su sacrificio, amor y sabiduría han sido mi guía constante para poder sobresalir.

A mi hijo Sebastian, por ser mi motivación para salir adelante.

A mis amigos, quienes han compartido conmigo las alegrías y desafíos que se han presentado durante esta travesía académica.

A mis compañeros de estudio, por compartir risas, conocimientos y experiencias inolvidables. Juntos hemos construido memorias que llevaré por siempre.

**Bryan Alexander Alverca Lamar.**

## RESUMEN

Este proyecto de tesis tecnológico se enfoca en el diseño, desarrollo y evaluación de un horno eléctrico para tratamientos térmicos, uno de los principales objetivos que se busca es mejorar la eficiencia y la precisión en procesos de temple, revenido y recocido. Para lograr esto, se empleó un enfoque integral que abarca desde la ingeniería de diseño hasta la implementación del horno en el laboratorio de la universidad.

En la fase de diseño fue considerado los principios de transferencia de calor conducción, convección y radiación además de las características termodinámicas de los materiales que se someten a tratamientos térmicos. Se incorporó sistemas de control para regular y monitorear la temperatura dentro de la cámara interna del horno, para de esta manera garantizar la uniformidad y consistencia en los procesos de los tratamientos térmicos.

Así mismo se obtuvo espesores aislantes de 17,75 cm para todas las paredes del horno y de la puerta, todo eso para evitar pérdidas de calor significativas. El horno se construyó y fue sometido a pruebas de temple y recocido para comprobar su funcionamiento, en donde se pudo notar que evidentemente el horno es funcional y está listo para realizar tratamientos térmicos y se puede adaptar a cualquier tipo de probeta que se quiera usar debido que cuenta con una cámara de 22 x 20 x 22 cm.

Este proyecto de tesis contribuye al avance tecnológico de la universidad y además al perfeccionamiento de procesos industriales, la implementación de este horno en el laboratorio significará un impacto muy grande para los estudiantes y docentes que quieran dedicarse hacer los diferentes tipos de tratamiento térmicos que existen.

**Palabras claves:** Horno eléctrico, Tratamientos térmicos, Transferencia de calor, Control de temperatura.

## **ABSTRACT**

This technological thesis project focuses on the design, development and evaluation of an electric furnace for heat treatments, one of the main objectives is to improve the efficiency and accuracy in quenching, tempering and annealing processes. To achieve this, an integral approach was used, from the design engineering to the implementation of the furnace in the university laboratory.

In the design phase, the principles of conduction, convection and radiation heat transfer were considered, in addition to the thermodynamic characteristics of the materials that undergo heat treatment. Control systems were incorporated to regulate and monitor the temperature inside the internal chamber of the furnace, in order to guarantee uniformity and consistency in the heat treatment processes.

Insulation thicknesses of 17.75 cm were obtained for all the furnace and door walls to avoid significant heat losses. The furnace was built and was subjected to hardening and annealing tests to check its operation, where it could be noted that the furnace is obviously functional and ready to perform heat treatments and can be adapted to any type of specimen to be used because it has a chamber of 22 x 20 x 22 cm.

This thesis project contributes to the technological advancement of the university and also to the improvement of industrial processes, the implementation of this furnace in the laboratory will mean a great impact for students and teachers who want to dedicate themselves to the different types of heat treatment that exist.

**Keywords:** Electric furnace, Heat treatment, Heat transfer, Temperature control.

## TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO TECNOLÓGICO.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO .....	iv
PROYECTO TECNOLÓGICO.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xx
CÓDIGO DUBLIN .....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I MARCO CONTEXTUAL DEL PROYECTO TECNOLÓGICO .....	2
1.1.    Problematización de la investigación.....	3
1.1.1.    Planteamiento del problema .....	3
1.1.2.    Diagnóstico.....	3
1.1.3.    Pronóstico .....	3
1.1.4.    Formulación del problema.....	3
1.1.5.    Sistematización del problema.....	4
1.2.    Objetivos.....	5
1.2.1.    Objetivo general .....	5
1.2.2.    Objetivos específicos .....	5
1.3.    Justificación .....	6

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO TECNOLÓGICO .....	7
2.1. Marco conceptual.....	8
2.1.1. Horno para tratamientos térmicos.....	8
2.1.2. Tipos de hornos .....	8
2.1.2.1. Hornos de mufla. ....	8
2.1.2.2. Hornos de atmósfera controlada.....	9
2.1.2.3. Hornos de vacío.....	9
2.1.2.4. Horno de temple por llama.....	10
2.1.3. Principio de funcionamiento del horno eléctrico de tratamientos térmicos ..	11
2.1.3.1. Fuente de energía eléctrica. ....	11
2.1.3.2. Elementos de generación de calor.....	11
2.1.3.3. Generación de calor.....	11
2.1.3.4. Aislamientos térmicos. ....	12
2.1.3.5. Cámara de trabajo.....	12
2.1.4. Materiales aislantes térmicos.....	12
2.1.4.1. Ladrillo refractario. ....	12
2.1.4.2. Manta vidrio. ....	13
2.1.5. Sistema de control de temperatura.....	14
2.1.5.1. Termocupla.....	14
2.1.6. Tratamientos térmicos .....	15
2.1.6.1. Recocido.....	15
2.1.6.2. Temple.....	16
2.1.6.3. Revenido.....	16
2.1.6.4. Normalizado.....	17
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	18
3.1. Marco de Fases de Desarrollo del Proyecto Tecnológico.....	19
3.1.1. Localización.....	19

3.1.2.	Tipo de investigación .....	19
3.1.2.1.	Investigación descriptiva.....	19
3.1.2.2.	Investigación Linkográfica.....	20
3.1.2.3.	Investigación Bibliográfica.....	20
3.1.3.	Métodos de investigación .....	20
3.1.3.1.	Método experimental.....	20
3.1.3.2.	Método bibliográfico.....	20
3.1.3.3.	Método analítico.....	20
3.1.4.	Fuentes de recopilación de información .....	21
3.1.5.	Diseño de la investigación.....	21
3.1.6.	Propuestas de diseños para el horno de tratamientos térmicos.....	22
3.1.7.	Instrumentos de investigación .....	25
3.1.8.	Parámetros de diseño .....	25
3.1.9.	Dimensiones internas del horno .....	26
3.1.10.	Cálculos de ingeniería.....	27
3.1.10.1.	Análisis de transferencia de calor.....	27
3.1.10.2.	Balace de energía en la superficie. ....	28
3.1.10.3.	Transferencia de calor por conducción.....	29
3.1.10.4.	Transferencia de calor por convección.....	29
3.1.10.5.	Transferencia de calor por radiación. ....	31
3.1.10.6.	Conducción de calor en estado estacionario en paredes planas.....	32
3.1.10.7.	Resistencia térmica.....	33
3.1.10.8.	Red de resistencias térmicas.....	37
3.1.10.9.	Paredes planas de capas múltiples.....	38
3.1.10.10.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación.....	40
3.1.10.11.	Cálculo del número de Rayleigh. ....	40
3.1.10.12.	Cálculo del número de Nusselt.....	42

3.1.10.13.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección.....	42
3.1.10.14.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor combinado. ....	43
3.1.10.15.	Calor generado a través de la pared plana. ....	43
3.1.10.16.	Cálculo de espesores aislantes.....	44
3.1.11.	Selección de materiales.....	46
3.1.11.1.	Ladrillo refractario K-23. ....	47
3.1.11.2.	Manta cerámica.....	47
3.2.	Cronograma .....	49
3.3.	Recursos, presupuesto y financiamiento.....	52
3.3.1.	Tratamientos de datos .....	52
3.3.2.	Recursos humanos y materiales.....	52
3.3.3.	Presupuesto.....	53
3.4.	Instrumentos para el seguimiento y control.....	56
3.4.1.	Software de Gestión de Proyectos .....	56
3.4.1.1.	Microsoft Project.....	56
3.4.2.	Herramientas de comunicación y colaboración.....	57
3.4.2.1.	Google Meet.....	57
3.4.3.	Software de gestión de versiones y control de documentos .....	57
3.4.3.1.	SolidWorks.....	57
3.5.	Indicadores de evaluación.....	58
3.5.1.	Cronograma y Plazos.....	58
3.5.2.	Presupuesto.....	58
3.5.3.	Eficiencia operativa .....	59
3.5.4.	Seguridad y Cumplimiento Normativo .....	59
3.5.5.	Tiempo de Inactividad y Mantenimiento.....	59
CAPÍTULO IX RESULTADOS .....		60
4.1.	Producto tecnológico desarrollado.....	61

4.1.1.	Diseño y planificación .....	61
4.1.2.	Preparación de los materiales .....	61
4.2.	Comprobación.....	65
4.2.1.	Fabricación de las probetas a utilizar .....	65
4.2.2.	Tratamiento térmico de temple.....	65
4.2.3.	Medio de enfriamiento por aceite .....	66
4.2.4.	Pasos para realizar el proceso de temple .....	66
4.2.5.	Datos obtenidos del tratamiento térmico de temple .....	67
4.2.6.	Tratamiento térmico de recocido .....	68
4.2.7.	Pasos para realizar el proceso de recocido .....	68
4.2.8.	Datos obtenidos del tratamiento térmico de recocido .....	69
4.3.	Manual de funcionamiento .....	69
CAPÍTULO V BIBLIOGRAFÍA .....		70
CAPÍTULO VI ANEXOS .....		77

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Horno mufla</i> [47]. .....	8
<b>Figura 2</b> <i>Horno de atmósfera controlada</i> [48]. .....	9
<b>Figura 3</b> <i>Horno de vacío</i> [49]. .....	10
<b>Figura 4</b> <i>Horno de temple por llama</i> [50]. .....	10
<b>Figura 5</b> <i>Resistencias eléctricas Kanthal</i> [46]. .....	11
<b>Figura 6</b> <i>Cámara de trabajo del horno</i> .....	12
<b>Figura 7</b> <i>Ladrillo refractario K-23</i> [18]. .....	13
<b>Figura 8</b> <i>Manta cerámica</i> [20]. .....	13
<b>Figura 9</b> <i>Control de temperatura pirómetro</i> [45]. .....	14
<b>Figura 10</b> <i>Termocupla tipo k</i> [44]. .....	14
<b>Figura 11</b> <i>Gráfica temperatura-tiempo del tratamiento térmico de recocido</i> [51]. .....	15
<b>Figura 12</b> <i>Temperaturas de austenización para el temple, indicadas en el diagrama Fe-C</i> [41]. .....	16
<b>Figura 13</b> <i>Proceso de revenido</i> [9]. .....	17
<b>Figura 14</b> <i>Proceso de Normalizado</i> [11]. .....	17
<b>Figura 15</b> <i>Ubicación geográfica de la UTEQ, campus "La María"</i> [42]. .....	19
<b>Figura 16</b> <i>Propuesta N° 1 del horno para tratamientos térmicos</i> .....	22
<b>Figura 17</b> <i>Propuesta N°2 del horno para tratamientos térmicos</i> .....	23
<b>Figura 18</b> <i>Propuesta N°3 del horno para tratamientos térmicos</i> .....	24
<b>Figura 19</b> <i>Medidas internas del horno</i> .....	26
<b>Figura 20</b> <i>Interacciones energéticas en la superficie exterior</i> [13]. .....	28
<b>Figura 21</b> <i>Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección</i> [13]. .....	30
<b>Figura 22</b> <i>Distribución de temperatura en una pared plana</i> [13]. .....	33
<b>Figura 23</b> <i>Flujo de calor</i> [13]. .....	34
<b>Figura 24</b> <i>Esquema para la resistencia a la convección en una superficie</i> [13]. .....	35
<b>Figura 25</b> <i>Resistencias a la convección y a la radiación en una superficie</i> [13]. .....	36
<b>Figura 26</b> <i>Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana</i> [13]. .....	37
<b>Figura 27</b> <i>Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana de dos capas sujeta a convección sobre ambos lados</i> [15]. .....	39
<b>Figura 28</b> <i>Pared plana, para cálculo de espesores</i> .....	44

<b>Figura 29</b> <i>Espesor total de la pared</i> .....	46
<b>Figura 30</b> <i>Ventana de trabajo de Microsoft Project</i> .....	56
<b>Figura 31</b> <i>Ventana de trabajo de Google Meet</i> .....	57
<b>Figura 32</b> <i>Ventana de trabajo de SolidWorks Student Edition</i> .....	58
<b>Figura 33</b> <i>Caparazón del horno</i> .....	61
<b>Figura 34</b> <i>Resultado final al pegar los ladrillos refractarios</i> .....	62
<b>Figura 35</b> <i>Mortero refractario</i> .....	62
<b>Figura 36</b> <i>Cemento refractario</i> .....	63
<b>Figura 37</b> <i>Puerta del horno</i> .....	63
<b>Figura 38</b> <i>Manta cerámica en la puerta del horno</i> .....	64
<b>Figura 39</b> <i>Conexión de las resistencias del horno</i> .....	64
<b>Figura 40</b> <i>Probeta utilizada para el tratamiento térmico</i> .....	65
<b>Figura 41</b> <i>Temperatura para realizar el temple</i> .....	66
<b>Figura 42</b> <i>Probeta dentro de la cámara del horno, mientras se realiza el temple</i> .....	66
<b>Figura 43</b> <i>Enfriamiento de la probeta</i> .....	67
<b>Figura 44</b> <i>Resultado final, después de realizar el enfriamiento de la probeta</i> .....	67
<b>Figura 45</b> <i>Temperatura para realizar el recocido</i> .....	68
<b>Figura 46</b> <i>Probeta dentro de la cámara del horno, mientras se realiza el proceso de recocido</i> .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Fuentes de recopilación de información</i> .....	21
<b>Tabla 2</b>	<i>Tabla de ponderación, para elegir el mejor diseño</i> .....	24
<b>Tabla 3</b>	<i>Dimensiones internas de hornos eléctricos</i> .....	26
<b>Tabla 4</b>	<i>Características más importantes del ladrillo escogido</i> .....	47
<b>Tabla 5</b>	<i>Características más importantes de la manta cerámica escogida</i> .....	48
<b>Tabla 6</b>	<i>Tratamientos de datos</i> .....	52
<b>Tabla 7</b>	<i>Recursos humanos y materiales</i> .....	52
<b>Tabla 8</b>	<i>Recursos, presupuesto y financiamiento</i> .....	53
<b>Tabla 9</b>	<i>Datos obtenidos al realizar el temple</i> .....	67
<b>Tabla 10</b>	<i>Datos obtenidos al realizar el recocido</i> .....	69

## ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación 1) <i>Balance de energía</i> .....	27
(Ecuación 2) <i>Balance de calor</i> .....	27
(Ecuación 3) <i>Estado estacionario</i> .....	28
(Ecuación 4) <i>Balance de energía para una superficie exterior</i> .....	28
(Ecuación 5) <i>Transferencia de calor por conducción</i> .....	29
(Ecuación 6) <i>Transferencia de calor por convección</i> .....	30
(Ecuación 7) <i>Transferencia de calor por radiación</i> .....	31
(Ecuación 8) <i>Transferencia de calor por radiación, entre dos superficies</i> .....	31
(Ecuación 9) <i>Transferencia de calor total</i> .....	32
(Ecuación 10) <i>Coefficiente de transferencia de calor combinado</i> .....	32
(Ecuación 11) <i>Conducción de calor a través de una pared plana</i> .....	34
(Ecuación 12) <i>Resistencia térmica de la pared</i> .....	34
(Ecuación 13) <i>Transferencia de calor por convección de una superficie sólida</i> .....	34
(Ecuación 14) <i>Resistencia térmica por convección</i> .....	34
(Ecuación 15) <i>Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies circundantes</i> .....	35
(Ecuación 16) <i>Resistencia térmica por radiación</i> .....	35
(Ecuación 17) <i>Coefficiente de transferencia de calor por radiación</i> .....	36
(Ecuación 18) <i>Razón de la convección de calor hacia la pared</i> .....	37
(Ecuación 19) <i>Razón de la conducción de calor a través de la pared</i> .....	38
(Ecuación 20) <i>Razón de la convección de calor desde la pared</i> .....	38
(Ecuación 21) <i>Resistencia térmica total</i> .....	38
(Ecuación 22) <i>Caída de temperatura a través de una capa</i> .....	38
(Ecuación 23) <i>Transferencia de calor estacionaria a través de una pared compuesta de dos capas</i> .....	38
(Ecuación 24) <i>Resistencia térmica total a través de paredes planas de capas múltiples</i> ...	39
(Ecuación 25) <i>Temperatura superficial T1</i> .....	39
(Ecuación 26) <i>Temperatura superficial T2</i> .....	40
(Ecuación 27) <i>Temperatura superficial T3</i> .....	40
(Ecuación 28) <i>Temperatura de película</i> .....	41
(Ecuación 29) <i>Número de Rayleigh</i> .....	41
(Ecuación 30) <i>Número de Nusselt</i> .....	42

(Ecuación 31) <i>Coeficiente de transferencia de calor por convección</i> .....	42
(Ecuación 32) <i>Coeficiente de transferencia de calor combinado</i> .....	43
(Ecuación 33) <i>Calor generado a través de la pared plana</i> .....	43
(Ecuación 34) <i>Espesor aislante de ladrillo</i> .....	44
(Ecuación 35) <i>Espesor aislante de manta cerámica</i> .....	45
(Ecuación 36) <i>Espesor total de la pared</i> .....	46

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> <i>Características técnicas del ladrillo refractario</i> [18]. .....	78
<b>Anexo 2</b> <i>Características técnicas de la manta cerámica</i> [20]. .....	79
<b>Anexo 3</b> <i>Data Sheet de las placas, donde van alojadas las resistencias</i> .....	80
<b>Anexo 4</b> <i>Data Sheet del mortero refractario</i> .....	80
<b>Anexo 5</b> <i>Data Sheet de la plancha cerámica</i> .....	81
<b>Anexo 6</b> <i>Planchas cerámicas</i> .....	81
<b>Anexo 7</b> <i>Manta cerámica</i> .....	82
<b>Anexo 8</b> <i>Colocación de la manta y plancha cerámica en el interior del horno</i> .....	82
<b>Anexo 9</b> <i>Colocación de ladrillos refractarios</i> .....	83
<b>Anexo 10</b> <i>Colocación de ladrillos refractarios en la cámara interna del horno</i> .....	83
<b>Anexo 11</b> <i>Colocación de la manta cerámica en la puerta del horno</i> .....	84
<b>Anexo 12</b> <i>Corte de materiales</i> .....	84

## CÓDIGO DUBLIN

<b>Título:</b>	Diseño y construcción de un horno eléctrico de tratamientos térmicos para el laboratorio industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo			
<b>Autor:</b>	Alverca Lamar Bryan Alexander			
<b>Palabras claves:</b>	Horno eléctrico	Tratamientos térmicos	Transferencia de calor	Control de temperatura
<b>Fecha de publicación:</b>	MAYO, 2024			
<b>Editorial:</b>	Quevedo- UTEQ “La María”, 2024			
<b>Resumen:</b>	<p>Este proyecto de tesis tecnológico se enfoca en el diseño, desarrollo y evaluación de un horno eléctrico para tratamientos térmicos, uno de los principales objetivos que se busca es mejorar la eficiencia y la precisión en procesos de temple, revenido y recocido. Para lograr esto, se empleó un enfoque integral que abarca desde la ingeniería de diseño hasta la implementación del horno en el laboratorio de la universidad.</p> <p>En la fase de diseño fue considerado los principios de transferencia de calor conducción, convección y radiación además de las características termodinámicas de los materiales que se someten a tratamientos térmicos. Se incorporó sistemas de control para regular y monitorear la temperatura dentro de la cámara interna del horno, para de esta manera garantizar la uniformidad y consistencia en los procesos de los tratamientos térmicos.</p> <p>Así mismo se obtuvo espesores aislantes de 17,75 cm para todas las paredes del horno y de la puerta, todo eso para evitar pérdidas de calor significativas. El horno se construyó y fue sometido a pruebas de temple y recocido para comprobar su funcionamiento, en donde se pudo notar que evidentemente el horno es funcional y está listo para realizar tratamientos térmicos y se puede adaptar a cualquier tipo de probeta que se quiera usar debido que cuenta con una cámara de 22 x 20 x 22 cm.</p> <p>Este proyecto de tesis contribuye al avance tecnológico de la universidad y además al perfeccionamiento de procesos industriales, la implementación de este horno en el laboratorio significará un impacto muy grande para los estudiantes y docentes que quieran dedicarse hacer los diferentes tipos de tratamiento térmicos que existen.</p> <p>This technological thesis project focuses on the design, development and evaluation of an electric furnace for heat treatments, one of the main objectives is to improve the efficiency and accuracy in quenching, tempering and annealing processes. To achieve this, an integral approach was used, from the design engineering to the implementation of the furnace in the university laboratory.</p> <p>In the design phase, the principles of conduction, convection and radiation heat transfer were considered, in addition to the thermodynamic characteristics of the materials that undergo heat treatment. Control systems were incorporated to regulate and monitor the temperature inside the internal chamber of the furnace, in order to guarantee uniformity and consistency in the heat treatment processes.</p> <p>Insulation thicknesses of 17.75 cm were obtained for all the furnace and door walls to avoid significant heat losses. The furnace was built and was subjected to hardening and annealing tests to check its operation, where it could be noted that the furnace is obviously functional and ready to perform heat treatments and can be adapted to any type of specimen to be used because it has a chamber of 22 x 20 x 22 cm.</p> <p>This thesis project contributes to the technological advancement of the university and also to the improvement of industrial processes, the implementation of this furnace in the laboratory will mean a great impact for students and teachers who want to dedicate themselves to the different types of heat treatment that exist.</p>			
<b>Descripción:</b>	124 hojas : dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162			
<b>URI:</b>				

## INTRODUCCIÓN

La presente construcción del horno busca proporcionar a las asignaturas de Ciencias de los Materiales y Tratamientos Térmicos y a los estudiantes de la carrera de Mecánica herramientas que les permitan realizar prácticas de laboratorio y aplicar sus conocimientos adquiridos en el aula.

Uno de los objetivos es la implementación del horno en el laboratorio industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, aprovechando las instalaciones apropiadas que se encuentran disponibles en ese lugar para su correcto funcionamiento. Se aspira a contar con un sistema que permita llevar a cabo de manera precisa y cómoda una variedad de tratamientos térmicos y posibles fundiciones de materiales como las aleaciones de aluminio y cobre y obtener datos confiables.

En la construcción del horno es necesario realizar un diseño preliminar y elegir materiales refractarios que estén disponibles en el mercado y sean rentables en términos de costo/beneficio. Así mismo mencionar la importancia de contar con un aislamiento térmico, como la manta de fibra cerámica, para evitar la pérdida de calor durante el funcionamiento del horno. La estructura metálica juega un papel importante en el horno ya que ayuda a soportar todas las partes y también absorbe los esfuerzos que se originan al momento de entrar en funcionamiento.

Finalmente, la construcción del horno se fundamenta en la necesidad y relevancia que la carrera de Mecánica disponga de un equipo didáctico para llevar a cabo prácticas. Esto permitirá que los estudiantes que cursan asignaturas como Ciencias de los Materiales y Tratamientos Térmicos se beneficien al aplicar los conocimientos adquiridos durante el período académico.

**CAPÍTULO I**  
**MARCO CONTEXTUAL DEL PROYECTO TECNOLÓGICO**

## **1.1. Problematización de la investigación**

### ***1.1.1. Planteamiento del problema***

Los tratamientos térmicos son procesos importantes en las investigaciones y desarrollo de materiales, el cual se basa en la aplicación de calor generado y es controlado mediante dispositivos específicos, tomando en cuenta también el proceso de enfriamiento en el tiempo adecuado para culminar el proceso, ya que se busca alterar las propiedades físicas y mecánicas. No obstante, el laboratorio industrial de la Universidad cuenta con una unidad de horno eléctrico, pero no se encuentra en funcionamiento todo esto conlleva a una serie de dificultades y restricciones que impactan de manera negativa en la formación de los estudiantes y en la realización de investigaciones científicas.

### ***1.1.2. Diagnóstico***

En el laboratorio industrial de la UTEQ se encuentra un horno para tratamientos térmicos, pero por el momento se encuentra fuera de funcionamiento, por lo tanto, los estudiantes carecen de la oportunidad de adquirir experiencia en este tipo de procedimientos, lo que obstaculiza el desarrollo de sus destrezas. Esta situación restringe su capacidad para comprender y aplicar los conceptos enseñados en clase, y podría tener un impacto significativo en su trayectoria profesional si tienen un interés en esta especialización de la carrera. La falta de un horno limita también las investigaciones tanto de docentes como de estudiantes, ya que no podrían estudiar y evaluar el comportamiento de estos materiales en diferentes condiciones de temperatura.

### ***1.1.3. Pronóstico***

Al diseñar y construir el horno eléctrico para tratamientos térmicos se estima que los estudiantes puedan realizar sus prácticas de laboratorio, complementando todos los temas aprendidos dentro del aula, lo cual incrementará el nivel educativo.

### ***1.1.4. Formulación del problema***

¿Cuáles son los beneficios que se puede obtener con la implementación de un horno de tratamientos térmicos en el laboratorio industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo?

### ***1.1.5. Sistematización del problema***

¿Cuál sería el mejor diseño del horno que se adapte a los requisitos específicos como la temperatura máxima?

¿Cuáles serán los materiales por utilizar tomando en cuenta la resistencia a altas temperaturas, conductividad térmica y durabilidad?

¿Cuáles son las pruebas de funcionamiento que se realizará al horno de tratamientos térmicos?

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

- Construir un horno de tratamientos térmicos para el laboratorio industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Diseñar un horno de tratamientos térmicos que cumpla con los requisitos específicos del proceso, incluyendo la temperatura máxima requerida.
- Seleccionar los materiales idóneos para la construcción del horno, considerando factores como resistencia a altas temperaturas, conductividad térmica y durabilidad.
- Elaborar los planos de construcción para el modelo del horno propuesto mediante el uso de un software CAD.
- Desarrollar las pruebas de funcionamiento del horno construido para asegurar su eficiencia y correcto desempeño en condiciones de trabajo reales.

### **1.3. Justificación**

La construcción del horno busca proporcionar a los estudiantes que cursan las asignaturas de Ciencias de los Materiales y Tratamientos Térmicos la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos. Estos conocimientos se utilizarán durante la realización de las prácticas, y a su vez, servirán como experiencia cuando los estudiantes se adentren en el mundo laboral. La carrera de Mecánica se verá beneficiada con el horno, el cual se podrá utilizar para prácticas, investigaciones y pruebas de diferentes materiales que sean de fácil acceso para los practicantes.

La selección de materiales a emplear en la construcción está basada en una revisión de las mejores opciones disponibles en el mercado nacional. Esta elección se justifica por la necesidad de garantizar la disponibilidad inmediata para llevar a cabo el proyecto de manera eficiente y oportuna. Luego de la evaluación realizada, se ha corroborado que varios de los materiales a utilizar se encuentran actualmente en stock o a su vez pueden ser adquiridos en las diversas empresas dentro del territorio ecuatoriano.

La implementación de los sistemas de control en el horno se fundamenta en la búsqueda para lograr una mayor precisión y facilidad de uso. Estos sistemas están diseñados para ofrecer la exactitud necesaria en los procesos, lo que llegaría a generar una mayor confianza al momento de la ejecución de tratamientos térmicos. Esta selección está justificada en la importancia de garantizar la calidad y fiabilidad de los resultados obtenidos en dichos procesos.

La necesidad de dotar al laboratorio de la universidad con un horno tiene como objetivo abordar la carencia de equipos necesarios para llevar a cabo prácticas fundamentales en el campo educativo. Esta iniciativa se sustenta en el reconocimiento de la importancia de combinar la enseñanza teórica con experiencias prácticas. Al proporcionar el horno, se posibilita la planificación de prácticas de laboratorio que enriquecen a la formación de los estudiantes, permitiéndoles aplicar los conocimientos adquiridos en el aula y además se fomenta un aprendizaje más completo y aplicable en el campo industrial.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO TECNOLÓGICO**

## 2.1. Marco conceptual

### 2.1.1. Horno para tratamientos térmicos

Un horno para tratamientos térmicos es un equipo utilizado para realizar procesos de calentamiento y enfriamiento controlados en materiales con el objetivo de alterar sus propiedades físicas y químicas, son comúnmente utilizados en la industria metalúrgica para tratar metales y aleaciones, pero también pueden aplicarse en otros campos, como la cerámica y la fabricación de plásticos [1].

### 2.1.2. Tipos de hornos

Existen varios tipos de hornos utilizados para tratamientos térmicos, cada uno está diseñado para satisfacer necesidades específicas de temperatura, atmósfera y proceso.

#### 2.1.2.1. Hornos de mufla.

Los hornos de mufla son dispositivos utilizados en laboratorios e industrias para realizar diversas aplicaciones que requieren temperaturas elevadas y un ambiente controlado. Estos hornos son especialmente diseñados para alcanzar altas temperaturas y mantener condiciones específicas, como la ausencia de oxígeno o la presencia de gases inertes.

### Figura 1

*Horno mufla* [47].



### ***2.1.2.2. Hornos de atmósfera controlada.***

Los hornos de atmósfera controlada son equipos diseñados para crear un ambiente controlado dentro de la cámara de trabajo, regulando la composición de los gases presentes. Estos hornos son utilizados en diversas aplicaciones industriales y de investigación donde se requiere un control preciso de la atmósfera para procesos como tratamientos térmicos, sinterización, producción de materiales cerámicos, metalurgia, investigación de materiales, entre otros.

### **Figura 2**

*Horno de atmósfera controlada [48].*



### ***2.1.2.3. Hornos de vacío.***

Los hornos de vacío son equipos diseñados para crear un entorno libre de aire al eliminar la presión atmosférica dentro de la cámara de trabajo. Esto se logra mediante la creación de un vacío, es decir, la reducción de la presión atmosférica en el interior del horno. Estos hornos tienen diversas aplicaciones en la investigación, la industria y la fabricación de materiales.

**Figura 3**

*Horno de vacío [49].*



**2.1.2.4. Horno de temple por llama.**

Los hornos de temple por llama son dispositivos utilizados para realizar el proceso de temple mediante el uso de una fuente de calor directa, como una llama abierta. Este método implica calentar la pieza metálica a altas temperaturas y luego enfriarla rápidamente para mejorar sus propiedades mecánicas, como la dureza y la resistencia.

**Figura 4**

*Horno de temple por llama [50].*



### ***2.1.3. Principio de funcionamiento del horno eléctrico de tratamientos térmicos***

El principio de funcionamiento de un horno eléctrico de tratamientos térmicos se basa en la conversión de energía eléctrica en calor para elevar la temperatura de los materiales dentro de la cámara del horno.

#### ***2.1.3.1. Fuente de energía eléctrica.***

El horno eléctrico se conecta a una fuente de energía eléctrica, generalmente mediante una corriente alterna (CA) trifásica.

#### ***2.1.3.2. Elementos de generación de calor.***

En el interior del horno, hay elementos de generación de calor que generalmente suelen ser resistencias eléctricas fabricadas con materiales resistentes al calor y capaces de soportar altas temperaturas. Estos elementos están dispuestos estratégicamente en la cámara del horno para garantizar una distribución uniforme del calor.

#### **Figura 5**

*Resistencias eléctricas Kanthal [46].*



#### ***2.1.3.3. Generación de calor.***

Cuando se aplica energía eléctrica a los elementos de calefacción, estos se calientan y generan calor. La resistencia eléctrica de los elementos convierte la energía eléctrica en energía térmica, elevando la temperatura dentro del horno.

#### ***2.1.3.4. Aislamientos térmicos.***

Los hornos eléctricos de tratamientos térmicos suelen estar equipados con materiales aislantes térmicos para minimizar las pérdidas de calor y mejorar la eficiencia del proceso.

#### ***2.1.3.5. Cámara de trabajo.***

Dentro de la cámara del horno, se colocan las piezas o materiales que se someterán al tratamiento térmico.

### **Figura 6**

*Cámara de trabajo del horno*



#### ***2.1.4. Materiales aislantes térmicos***

Un aislante térmico para hornos es un material diseñado para reducir la transferencia de calor entre el interior del horno y el entorno circundante. Estos materiales tienen propiedades que minimizan la conducción, convección y radiación térmica, contribuyendo así a mantener temperaturas más estables dentro del horno y mejorar su eficiencia energética [2].

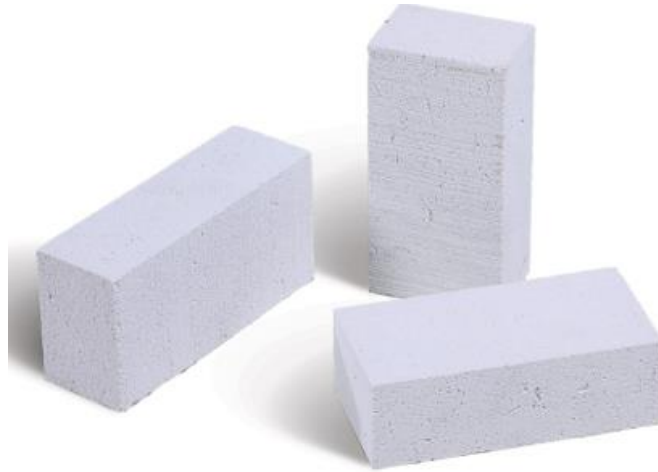
##### ***2.1.4.1. Ladrillo refractario.***

Es un tipo de aislante térmico diseñado específicamente para resistir elevadas temperaturas durante extensos periodos de tiempo. Gracias a su material aislante, caracterizado por su mayor dureza y densidad, exhiben una resistencia mecánica superior y tienen la capacidad

de retener más calor, lo que resulta en una respuesta más gradual frente a variaciones de temperatura [3].

**Figura 7**

*Ladrillo refractario K-23 [18].*



**2.1.4.2. Manta vidrio.**

Una manta de lana de vidrio es un material aislante compuesto por fibras finas de vidrio que se entrelazan para formar una estructura similar a una manta. Este tipo de aislante se utiliza comúnmente en la construcción y en aplicaciones industriales debido a sus propiedades térmicas y acústicas.

**Figura 8**

*Manta cerámica [20].*



### 2.1.5. Sistema de control de temperatura

El sistema de control de temperatura en un horno eléctrico para tratamientos térmicos es fundamental para asegurar que se mantenga la temperatura deseada de manera precisa y consistente durante el proceso.

#### Figura 9

Control de temperatura pirómetro [45].

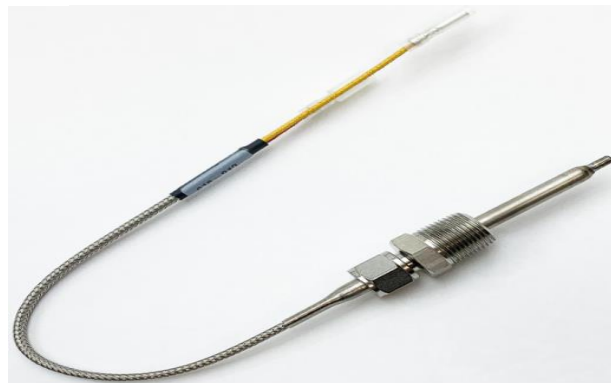


#### 2.1.5.1. Termocupla.

La termocupla es un dispositivo utilizado para medir la temperatura en base al principio del efecto Seebeck. Esta tecnología se basa en la generación de una fuerza electromotriz (fem) en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuando hay una diferencia de temperatura entre los puntos de conexión de esos metales [4].

#### Figura 10

Termocupla tipo k [44].



### 2.1.6. Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos son procesos controlados de calentamiento y enfriamiento aplicados a los materiales, generalmente metales y aleaciones, con el objetivo de modificar sus propiedades físicas y mecánicas. Estos procesos son esenciales en la fabricación y procesamiento de materiales para mejorar características como la dureza, la resistencia, la tenacidad y la microestructura [5].

Existen varios tipos de tratamientos térmicos que se detallan a continuación:

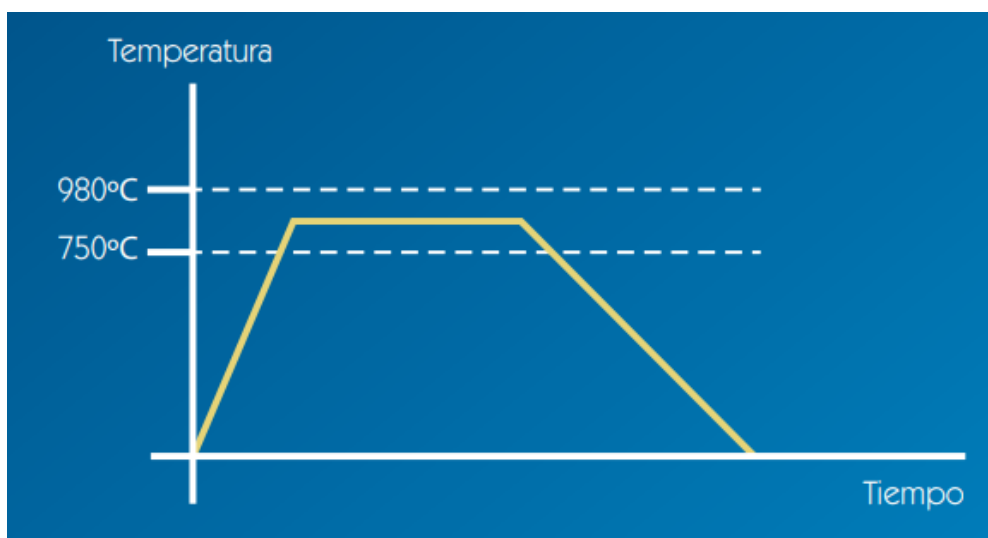
#### 2.1.6.1. Recocido.

El recocido es un tratamiento térmico utilizado para mejorar las propiedades de los materiales metálicos, en el que se busca disminuir la dureza del acero para así obtener una mejor ductilidad y de ese modo eliminar las tensiones internas que se generan durante el proceso de templado. Al lograr que el material tenga una mayor flexibilidad de trabajo es posible realizar procesos de maquinado sobre este mejorando así sus propiedades mecánicas.

De forma técnica, el material se eleva a altas temperaturas hasta llegar a su punto de austenización, el cual varía en cada metal entre 750 a 980 °C, aplicando un enfriado de forma paulatina [6].

#### Figura 11

Gráfica temperatura-tiempo del tratamiento térmico de recocido [51].

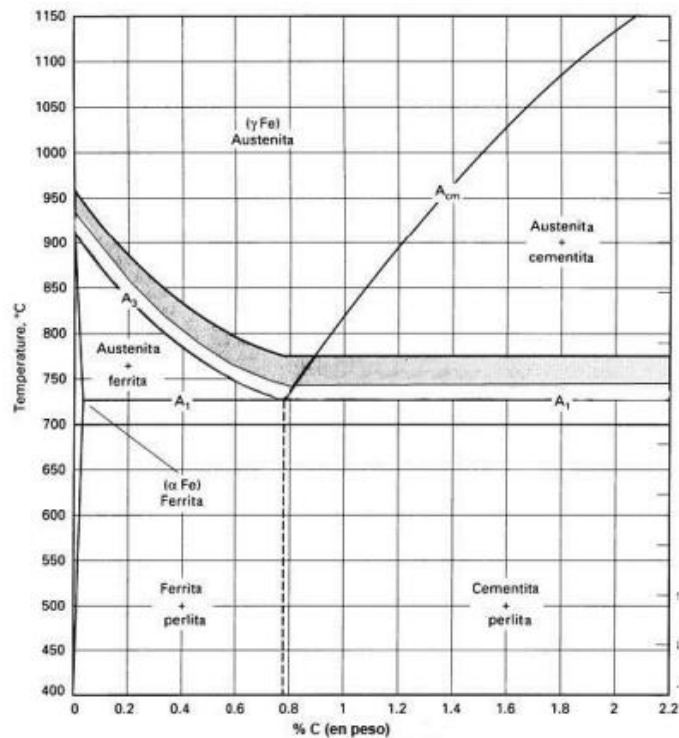


### 2.1.6.2. Temple.

Este proceso es realizado a partir de un endurecimiento de una aleación ferrosa por austenizado, el cual es calentado por debajo de su temperatura crítica y enfriado lo suficientemente rápido ya sea en agua, aceite o aire. El medio de enfriamiento, la temperatura y la velocidad determinan la microestructura de material y sus propiedades. La velocidad máxima de enfriamiento con aceite mineral es de  $150 - 200 \text{ }^\circ\text{C}/\text{s}$  y la velocidad puede ser 3 veces mayor durante el enfriamiento con agua [7].

**Figura 12**

*Temperaturas de austenización para el temple, indicadas en el diagrama Fe-C [41].*



### 2.1.6.3. Revenido.

El revenido es un proceso que se realiza después del temple para aliviar las tensiones internas y mejorar las propiedades mecánicas del material. Implica calentar el material templado a una temperatura inferior a la utilizada en el temple y mantenerlo a esa temperatura durante un tiempo determinado. Dependiendo del material en el que se aplique el revenido, varía su temperatura entre  $160$  y  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  [8].

**Figura 13**

Proceso de revenido [9].

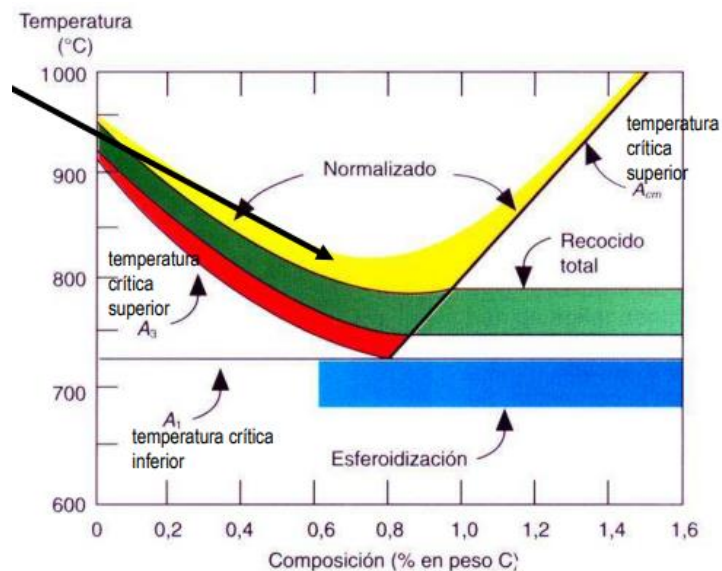


**2.1.6.4. Normalizado.**

El tratamiento térmico de normalizado es un proceso que se utiliza para obtener una estructura más uniforme en los materiales metálicos. Se realiza calentando el material a una temperatura por encima de su punto crítico de transformación y luego permitiendo que se enfríe al aire. Este proceso altera la microestructura para así reducir la variación de la dureza y la ductilidad dentro del proceso de fundición [10].

**Figura 14**

Proceso de Normalizado [11].



**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA**

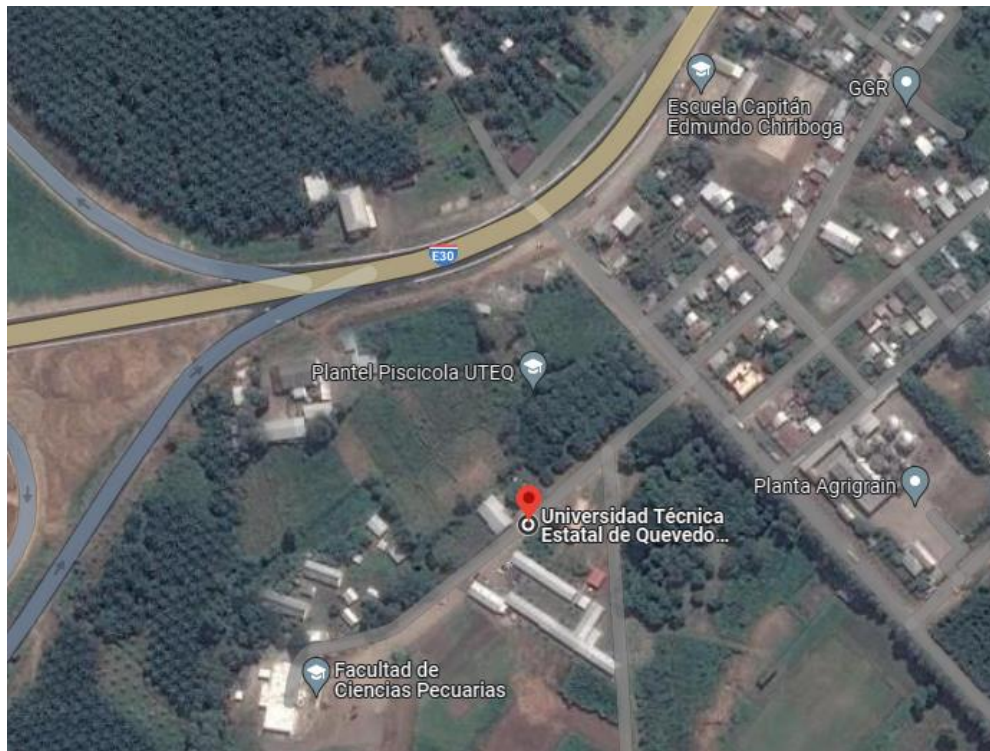
### 3.1. Marco de Fases de Desarrollo del Proyecto Tecnológico

#### 3.1.1. Localización

El presente trabajo tecnológico se realizó en el Laboratorio Industrial de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que se encuentra ubicado en el Campus “La María” en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, vía Quevedo- Mocache.

#### Figura 15

Ubicación geográfica de la UTEQ, campus "La María" [42].



#### 3.1.2. Tipo de investigación

##### 3.1.2.1. Investigación descriptiva.

Se utiliza para describir y caracterizar los fenómenos, eventos o situaciones que se puedan dar durante el proyecto, sin manipular ni controlar variables. Tiene el objetivo principal de obtener una imagen detallada y precisa de lo que se está investigando la cual se basa en la recolección de datos y observación de características del horno.

### **3.1.2.2. Investigación Linkográfica.**

Se realizó la búsqueda de información en base a los datos con el fin de sustentar la información que se utilizó para el proyecto tecnológico.

### **3.1.2.3. Investigación Bibliográfica.**

Consiste en recopilar, analizar información acerca de hornos eléctricos a partir de las fuentes bibliográficas, que se basa en la revisión y el estudio crítico de literatura, libros, revistas académicas, tesis, informes y otros documentos escritos. En este caso del horno se aplica para obtener una visión general sobre el estado actual del conocimiento y así identificar las teorías existentes, los métodos de investigación utilizados y las conclusiones alcanzadas por otros investigadores.

### **3.1.3. Métodos de investigación**

#### **3.1.3.1. Método experimental.**

El método experimental es un enfoque sistemático utilizado en las investigaciones con el fin de obtener información y respuestas, es por eso que en esta investigación sobre el horno es un método aplicado importante ya que nos permite la manipulación de variables y la observación de resultados, basados en el diseño y la realización de experimentos del horno eléctrico para tratamientos térmicos.

#### **3.1.3.2. Método bibliográfico.**

Se utilizó el método bibliográfico para la consulta de libros, artículos científicos y documentos de sitios web. Estos recursos brindarán la información necesaria para el desarrollo del tema de investigación, el cual aborda la complementación de varios tipos de hornos eléctricos para tratamientos térmicos y los tipos de tratamientos térmicos.

#### **3.1.3.3. Método analítico.**

Este tipo de método se aplica en la investigación del horno eléctrico para comprender y descomponer un fenómeno en sus componentes más pequeños. Se realiza un análisis detallado y minucioso de los elementos o partes constituyentes del horno para comprender su funcionamiento.

### 3.1.4. Fuentes de recopilación de información

En la siguiente tabla se presenta las fuentes de recopilación de información que se empleó para la investigación del proyecto.

**Tabla 1**

*Fuentes de recopilación de información*

<b>Fuentes primarias</b>	<b>Fuentes secundarias</b>	<b>Información virtual</b>
		Tesis
	Bibliográficas	Libros electrónicos
Investigación propia	Libros	Proyectos de grado
		Artículos científicos

### 3.1.5. Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue considerado en base a las metodologías que aplican las industrias al momento de diseñar un producto en el que se aplica conceptos de ingenierías fundamentales que consiste en 4 etapas que empieza con la toma de decisiones y finaliza con el diseño final a continuación se detalla las 4 etapas:

- **Definición de especificaciones:** Permite identificar los requisitos del sistema, definir funciones del equipo, indicar los requisitos necesarios para el diseño y definir los criterios de evaluación.
- **Creación de conceptos de diseño:** Proponer diferentes conceptos de diseño del horno para luego evaluar cada propuesta y finalmente validar cada propuesta con los criterios de evaluación.
- **Toma de decisiones:** Seleccionar el concepto del diseño más idóneo, de acuerdo con los requerimientos.

- **Diseño detallado:** Completar el diseño final seleccionado, aplicando detalles mínimos para su posterior construcción.

### ***3.1.6. Propuestas de diseños para el horno de tratamientos térmicos***

Se presentan 3 propuestas de hornos para tratamientos térmicos que busca cumplir con los parámetros establecidos de acuerdo con las necesidades del laboratorio, es por esto que se crea una tabla de ponderación para poner las condiciones del horno y que vayan ligadas directamente a los requerimientos del laboratorio, y por último se escoge la mejor opción en base a la tabla de ponderación.

Se presenta la propuesta de un horno que su medio de calentamiento sea eléctrico con una estructura que vaya apoyado al piso y que cuente con una altura considerable debido que las piezas tienen que ir paradas dentro del horno. Cuenta con un controlador que se encuentra en el extremo de horno con una inclinación que permitirá una fácil lectura al estar el horno en funcionamiento y la puerta se abre hacia arriba.

#### **Figura 16**

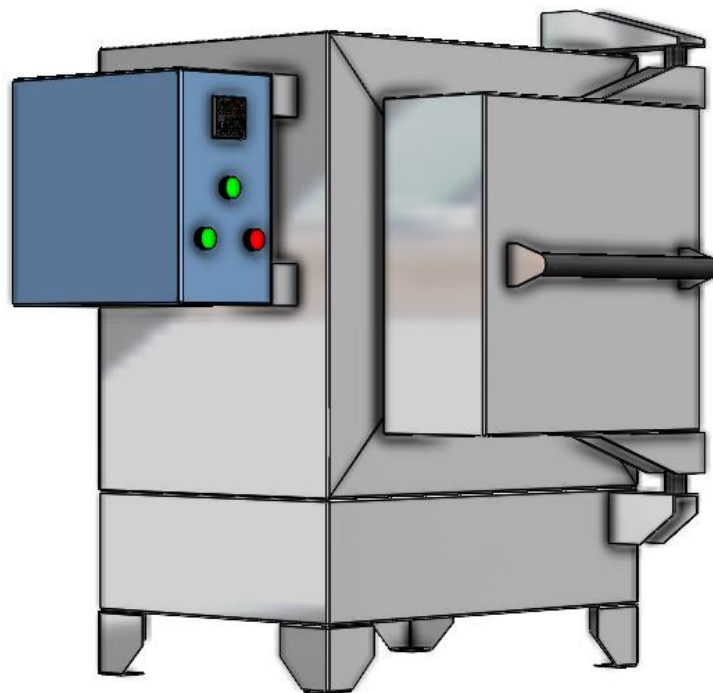
*Propuesta N° 1 del horno para tratamientos térmicos*



La segunda propuesta del horno de igual manera su medio de calentamiento es eléctrico por medio de resistencias, pero en cambio cuenta con un apoyo de estructura de tubos de 5 cm aproximadamente, lo que permite un ingreso cómodo para las piezas o probetas, el controlador estará ubicado en la pared derecha del horno, con una puerta que se abre para el mismo lado, y aquí las piezas o probetas se las colocará acostadas en la cámara interna del horno.

**Figura 17**

*Propuesta N°2 del horno para tratamientos térmicos*



Y por último la propuesta N°3 del horno para tratamientos térmicos, su medio de calentamiento es por gas, con estructura de apoyo en una mesa y la abertura de su puerta es hacia arriba, comparte características similares a la de la propuesta N°2, pero debido al medio de calentamiento contará con variaciones en sus componentes de construcción y en el consumo de energía.

## Figura 18

*Propuesta N°3 del horno para tratamientos térmicos*



Una vez obtenido las tres propuestas de diseño, es importante determinar cuál de las propuestas presentadas cumple con los requerimientos para su construcción, es por ello que se realiza una tabla de ponderación en el que se toma en cuenta para la selección del mejor diseño, las calificaciones que se dieron son: 1 Malo, 2 Medio y 3 Bueno, por lo tanto, se presenta la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Tabla de ponderación, para elegir el mejor diseño*

Factor	P	Propuesta N°1		Propuesta N°2		Propuesta N°3	
		C	P	C	P	C	P
Costo de fabricación	0.8	1	0.8	2	1.6	3	2.4
Fácil fabricación	0.5	2	1	3	1.5	2	1
Mantenimiento	0.7	2	1.4	2	1.4	2	1.4
Tamaño	0.3	1	0.3	3	0.9	3	0.9
Ergonomía	0.4	1	0.4	3	1.2	3	1.2
Funcionalidad	0.6	1	0.6	3	1.8	2	1.2
Seguridad	0.7	3	2.1	3	2.1	1	0.7
Sistema de calentamiento	0.5	3	1.5	3	1.5	2	1
Control	0.5	3	1.5	3	1.5	1	0.5
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>		<b>9.6</b>		<b>13.5</b>		<b>10.3</b>

Donde:

C: Calificación

P: Ponderación

Una vez obtenida la ponderación de los posibles diseños de hornos para tratamientos térmicos, se nota que la propuesta N°2 es la más adecuada para llevar a la construcción e implementación en el laboratorio de la universidad, un horno sencillo pero funcional que cuenta con un sistema de calentamiento por medio de resistencias y un sistema de control de temperatura por pirómetro. Por lo tanto, ese diseño es el elegido.

### ***3.1.7. Instrumentos de investigación***

El instrumento de investigación empleado se basa en la observación mediante la consulta de manuales de construcción de hornos eléctricos para tratamiento térmicos que ayuda a la comprensión de la investigación.

### ***3.1.8. Parámetros de diseño***

Se presenta las principales variables que fueron consideradas para el diseño del horno eléctrico, así mismo se especifica los factores de acuerdo con las necesidades.

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

- Temperatura máxima interna de 1200 °C.
- Dimensiones internas del horno.
- Calor que es transferido a través de los materiales aislantes hasta llegar al exterior del horno.
- Cálculo de los espesores para uno de los materiales aislantes que conforman el horno.
- Calentamiento por medio de resistencias eléctricas.
- Puerta aislante y hermética para asegurar la fácil maniobra de ingreso y salida de material (probeta).
- Control eléctrico por medio de controlador de temperatura, para asegurar mayor eficiencia y efectividad al momento de realizar tratamientos térmicos.

### 3.1.9. Dimensiones internas del horno

En la Tabla 2. se presenta los datos acerca de las dimensiones de cámaras internas que existen en el mercado, tomando como referencia medidas estándares que son usadas en laboratorio.

**Tabla 3**

*Dimensiones internas de hornos eléctricos*

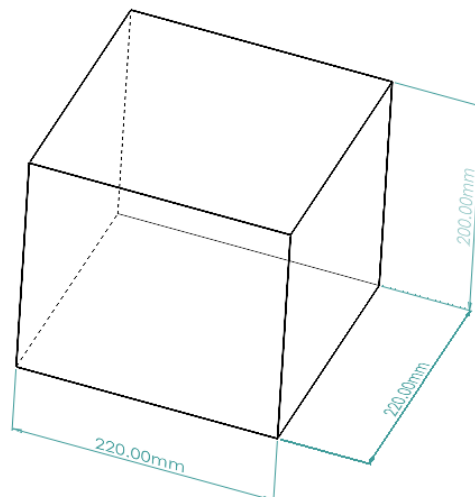
<b>Ancho</b> <b>(mm)</b>	<b>Altura</b> <b>(mm)</b>	<b>Profundidad</b> <b>(mm)</b>
230	190	280
230	230	305
120	175	170
180	170	270
170	175	170
220	200	220

**FUENTE:** Adaptado de [12].

Por lo tanto, las dimensiones de la cámara interna del horno serán de 220 mm de largo, 220 mm de ancho y 200 mm de alto, tomando en cuenta que estas medidas son estándar para uso de laboratorios.

**Figura 19**

*Medidas internas del horno*



### 3.1.10. Cálculos de ingeniería

En este apartado se detallará los procedimientos para el dimensionamiento del horno eléctrico para tratamientos térmicos en base a los cálculos y tomando en cuenta los requerimientos necesarios.

#### 3.1.10.1. Análisis de transferencia de calor.

En el análisis de transferencia de calor, es de interés las formas de energía que se pueden transferir como resultado de una diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ), en estos casos el balance de energía se puede expresar como un balance de calor [13]:

$$E_{\text{ent}} - E_{\text{sal}} = \Delta E_{\text{sistema}} \quad [J] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$E_{\text{ent}} - E_{\text{sal}}$ : Transferencia neta de energía por calor, trabajo y masa.

$\Delta E_{\text{sistema}}$ : Cambio en las energías interna, cinética, potencial.

De igual manera resulta conveniente escribir un balance de calor y tratar la conversión de las energías nuclear, química, mecánica y eléctrica hacia energía térmica como generación de calor, se puede expresar como:

$$Q_{\text{ent}} - Q_{\text{sal}} + E_{\text{gen}} = \Delta E_{\text{térmica,sistema}} \quad [J] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$Q_{\text{ent}} - Q_{\text{sal}}$ : Transferencia neta de calor.

$E_{\text{gen}}$ : Generación de calor.

$\Delta E_{\text{térmica,sistema}}$ : Cambio en la energía térmica del sistema.

### 3.1.10.2. Balance de energía en la superficie.

El calor es transferido por conducción, convección y radiación, por lo que se aplica el principio de conservación de la energía a la superficie (no contiene volumen ni masa, y por lo tanto tampoco energía).  $\Delta E$  permanece constante, como un sistema de estado estacionario, entonces el balance de energía se expresa como:

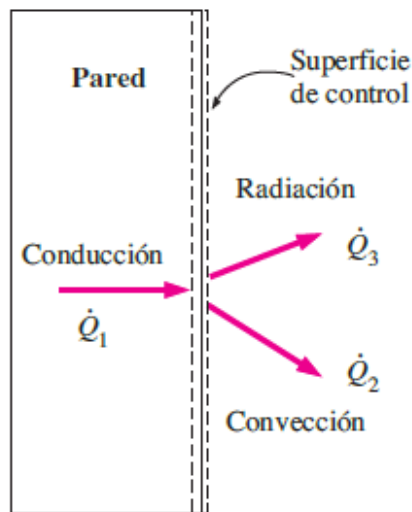
$$\dot{E}_{\text{ent}} - \dot{E}_{\text{sal}} = \Delta \dot{E}_{\text{sistema}}$$

$$\dot{E}_{\text{ent}} = \dot{E}_{\text{sal}} \quad [\text{W}] \quad (\text{Ecuación 3})$$

El balance de energía para una superficie exterior:

#### Figura 20

Interacciones energéticas en la superficie exterior [13].



$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$\dot{Q}_{\text{cond}}$ : Conducción a través de la pared hasta la superficie.

$\dot{Q}_{\text{conv}}$ : Convección de calor de la superficie hacia el aire del exterior.

$\dot{Q}_{\text{rad}}$ : Radiación neta de la superficie hacia los alrededores.

### **3.1.10.3.      *Transferencia de calor por conducción.***

Es un proceso que se realiza mediante el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, debido que el calor fluye desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura que está en contacto con el primero, lo cual provoca un aumento en la temperatura del material [14].

Por lo tanto, la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esta capa [13], es decir:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \kappa \times A_s \times \frac{T_1 - T_2}{L} \quad [\mathbf{W}] \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$\kappa$ : Conductividad térmica del material,  $\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$ .

$A_s$ : Área superficial de la pared, ( $\text{m}^2$ ).

$T_1 - T_2$ : Diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared, ( $^\circ\text{C}$ ).

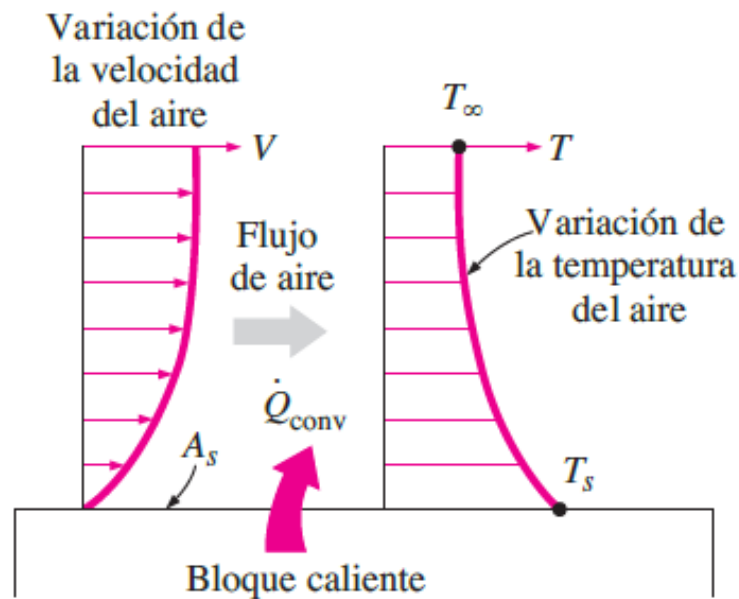
$L$ : Espesor de la pared, (m).

### **3.1.10.4.      *Transferencia de calor por convección.***

Es un proceso en que el calor se transfiere a través de un fluido (líquido o gas) debido al movimiento del fluido mismo.

**Figura 21**

*Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección [13].*



Hay dos tipos de procesos de convección: convección natural o convección forzada.

- **Convección natural:** Movimiento del fluido causado por la elevación de aire más caliente cercano a la superficie y la caída del más frío.
- **Convección forzada:** El fluido se fuerza a fluir sobre la superficie por medios externos.

A pesar de la complejidad de la convección, podemos decir que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa mediante la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} \times A_s \times (T_s - T_\infty) \quad [W] \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$h_{conv}$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección,  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$ .

$A_s$ : Área superficial,  $(m^2)$ .

$T_s$ : Temperatura de la superficie,  $(^\circ C)$ .

$T_{\infty}$ : Temperatura del fluido suficientemente alejado de la superficie, ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.1.10.5. *Transferencia de calor por radiación.*

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann. La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_s^4 \quad [\text{W}] \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$\varepsilon$ : Emisividad de la superficie,  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ .

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 \times 10^{-8} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right)$

$A_s$ : Área superficial, ( $\text{m}^2$ ).

$T_s$ : Temperatura superficial, ( $^{\circ}\text{C}$ ).

La razón neta de la transferencia de calor por radiación entre 2 superficies es:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4) \quad [\text{W}] \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

$T_{\text{alred}}$ : Temperatura del medio exterior, ( $^{\circ}\text{C}$ ).

La transferencia de calor por radiación hacia una superficie, o desde ésta, rodeada por un gas como el aire, ocurre de forma paralela a la conducción entre esa superficie y el gas. Por lo tanto, la transferencia de calor total es la suma de los 2 mecanismos de transferencia,

mediante un coeficiente combinado, ( $h_{\text{combinado}}$ ), que incluye la radiación y la convección, y se expresa como [13]:

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}}$$

$$\dot{Q}_{\text{total}} = h_{\text{conv}} \times A_s \times (T_s - T_{\infty}) + \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4)$$

$$\dot{Q}_{\text{total}} = h_{\text{combinado}} \times A_s \times (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde  $h_{\text{combinado}}$  se calcula a partir de:

$$h_{\text{combinado}} = h_{\text{conv}} + h_{\text{rad}} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Donde:

$h_{\text{rad}}$ : Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Por lo tanto, la fórmula queda de la siguiente forma:

$$h_{\text{combinado}} = h_{\text{conv}} + \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s + T_{\text{alred}})(T_s^2 + T_{\text{alred}}^2) \quad (\text{Ecuación 10})$$

**Nota:** La radiación suele ser significativa a la conducción o convección natural, pero despreciable con relación a la convección forzada.

### 3.1.10.6. *Conducción de calor en estado estacionario en paredes planas.*

El flujo de calor a través de una pared es unidimensional cuando la temperatura de esta varía solo en una dirección. El balance de calor para la pared se puede expresar como [13]:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Razón de la} \\ \text{transferencia de calor} \\ \text{hacia la pared} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Razón de la} \\ \text{transferencia de calor} \\ \text{hacia fuera de la pared} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Razón del} \\ \text{cambio de energía} \\ \text{de la pared} \end{array} \right)$$

O bien, expresado en fórmula:

$$\dot{Q}_{\text{ent}} - \dot{Q}_{\text{sal}} = \frac{dE_{\text{pared}}}{dt}$$

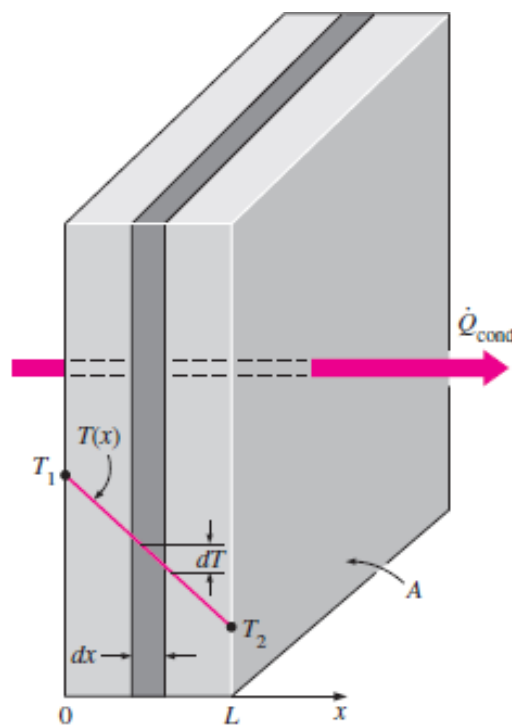
Pero teniendo en cuenta que  $\frac{dE_{\text{pared}}}{dt} = 0$ , para un sistema estacionario, puesto que no hay cambio en la temperatura de la pared con el tiempo en ningún punto.

$$\dot{Q}_{\text{ent}} = \dot{Q}_{\text{sal}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ent}} = \dot{Q}_{\text{cond}} = \text{constante}$$

**Figura 22**

*Distribución de temperatura en una pared plana [13].*



### 3.1.10.7. Resistencia térmica.

a) Para la conducción de calor a través de una pared plana:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{pared}}} \quad [\text{W}] \quad (\text{Ecuación 11})$$

En donde  $R_{\text{pared}}$  se calcula a partir de:

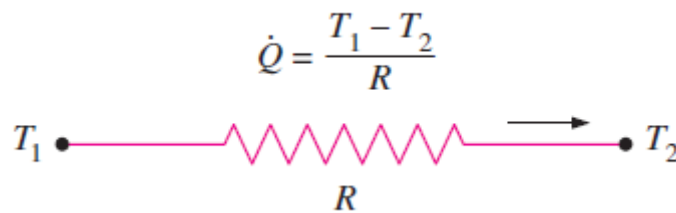
$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{\kappa \times A} \quad \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

**$R_{\text{pared}}$** : Resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor o resistencia a la conducción.

### Figura 23

*Flujo de calor* [13].



b) Para la transferencia de calor por convección de una superficie sólida, la ley de Newton del enfriamiento se puede reacomodar:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{conv}}} \quad [\text{W}] \quad (\text{Ecuación 13})$$

En donde  $R_{\text{conv}}$  se calcula a partir de:

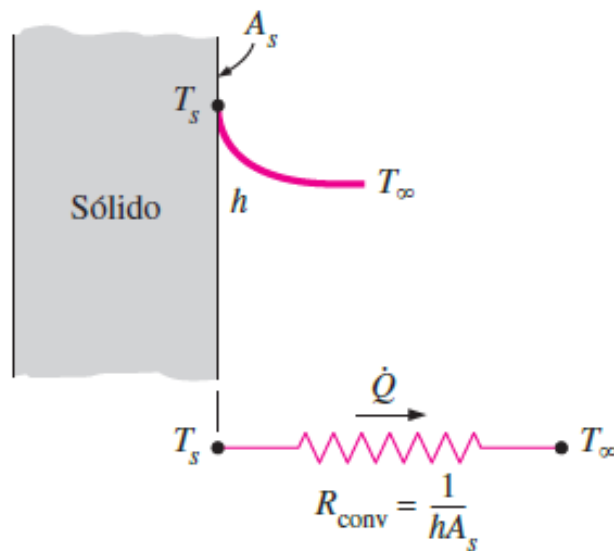
$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{h \times A_s} \quad \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

$R_{\text{conv}}$ : Resistencia a la convección de la superficie.

### Figura 24

Esquema para la resistencia a la convección en una superficie [13].



- c) La razón de transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies circundantes (pared o cuerpo rodeada por un gas), se puede expresar como:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = h_{\text{rad}} \times A_s \times (T_s - T_{\text{alred}})$$

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \frac{(T_s - T_{\text{alred}})}{R_{\text{rad}}} \quad [\text{W}] \quad (\text{Ecuación 15})$$

En donde  $R_{\text{rad}}$  se calcula a partir de:

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{h_{\text{rad}} \times A_s} \quad \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

$R_{\text{rad}}$ : Resistencia térmica de una superficie contra la radiación.

Una forma de obtener  $h_{\text{rad}}$  es a partir de:

$$h_{\text{rad}} = \frac{\dot{Q}_{\text{rad}}}{A_s \times (T_s - T_{\text{alred}})} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (\text{Ecuación 17})$$

O bien,

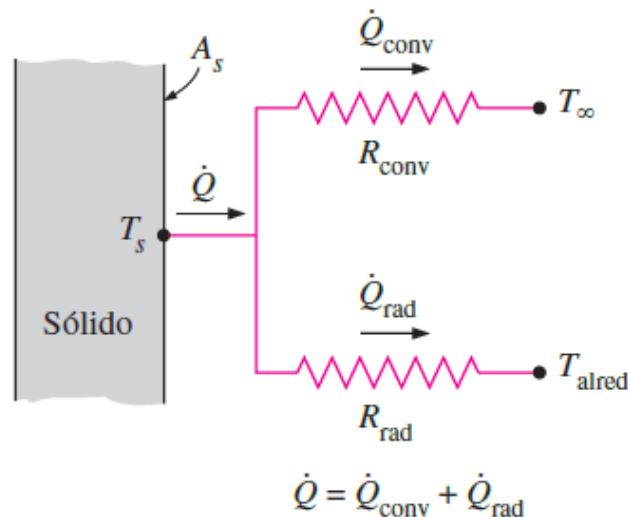
$$h_{\text{rad}} = \varepsilon \times \sigma \times (T_s^2 + T_{\text{alred}}^2) \times (T_s + T_{\text{alred}})$$

**Nota:** Tanto  $T_s$  como  $T_{\text{alred}}$  deben de estar en K, para el cálculo de  $h_{\text{rad}}$ .

Una superficie que está expuesta al aire circundante comprende convección y radiación de manera simultánea y la transferencia de calor total en la superficie se determina al sumar las componentes de radiación y convección.

### Figura 25

*Resistencias a la convección y a la radiación en una superficie [13].*



Las resistencias a la convección y radiación son paralelas entre sí como se muestra en la figura 19, y pueden provocar algunas complicaciones en la red de resistencias térmicas.

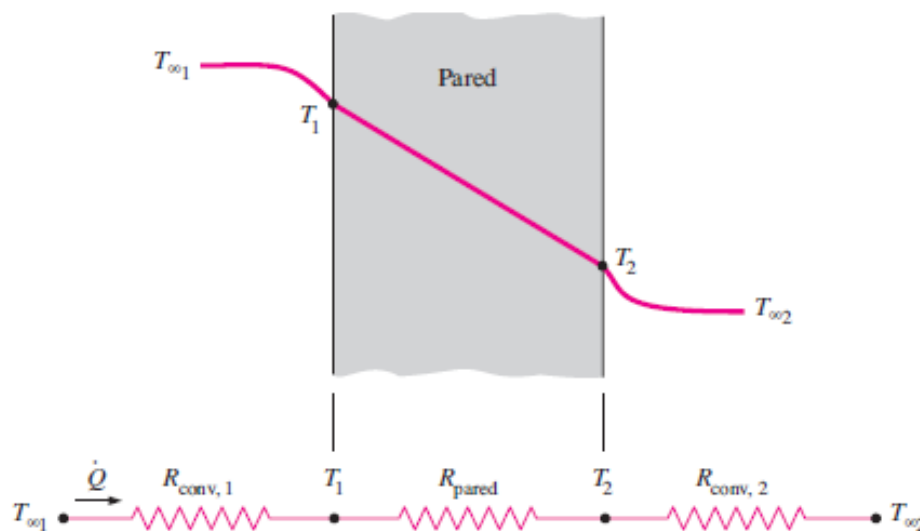
**Nota:** Cuando  $T_{\text{alred}} \approx T_{\infty}$ , el efecto de radiación puede ser tomado en cuenta de manera apropiada al reemplazar  $h$  en la relación de la resistencia por convección.

### 3.1.10.8. Red de resistencias térmicas.

Se considera la transferencia de calor unidimensional en estado estacionario a través de una pared plana de espesor ( $L$ ), área ( $A$ ) y conductividad térmica ( $k$ ) que está expuesta a la convección sobre ambos lados hacia fluidos a las temperaturas  $T_{\infty 1}$  y  $T_{\infty 2}$ , con coeficientes de transferencia de calor  $h_1$  y  $h_2$ . Si se supone que  $T_{\infty 2} < T_{\infty 1}$ , se puede notar que la temperatura varía en forma lineal en la pared tiende asintóticamente a  $T_{\infty 1}$  y  $T_{\infty 2}$  en los fluidos, a medida que se aleja de la pared [13].

**Figura 26**

*Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana [13].*



En condiciones estacionarias se tiene:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Razón de la} \\ \text{convección de calor} \\ \text{hacia la pared} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Razón de la} \\ \text{conducción de calor} \\ \text{a través de la pared} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Razón de la} \\ \text{convección de calor} \\ \text{desde la pared} \end{array} \right)$$

Por lo tanto:

$$\dot{Q}_1 = h_1 \times A \times (T_{\infty 1} - T_1) \quad \text{(Ecuación 18)}$$

$$\dot{Q}_2 = \kappa \times A \times \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{L} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$\dot{Q}_3 = h_2 \times A \times (T_2 - T_{\infty 2}) \quad (\text{Ecuación 20})$$

Una identidad matemática es útil en estos casos, ya que permite sumar los numeradores y denominadores:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - \cancel{T_1} + \cancel{T_1} - \cancel{T_2} + \cancel{T_2} - T_{\infty 2}}{R_{\text{conv},1} + R_{\text{pared}} + R_{\text{conv},2}}$$

Por lo tanto, queda de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}}$$

Donde  $R_{\text{total}}$  se obtiene a partir de:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{conv},1} + R_{\text{pared}} + R_{\text{conv},2}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_1 \times A} + \frac{L}{\kappa \times A} + \frac{1}{h_2 \times A} \quad \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (\text{Ecuación 21})$$

La caída de temperatura a través de una capa es proporcional a su resistencia térmica:

$$\Delta T = \dot{Q} \times R \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{Ecuación 22})$$

### 3.1.10.9. Paredes planas de capas múltiples.

Se considera una pared plana que consta de 2 capas, la razón de transferencia de calor estacionaria a través de esta pared compuesta de 2 capas se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

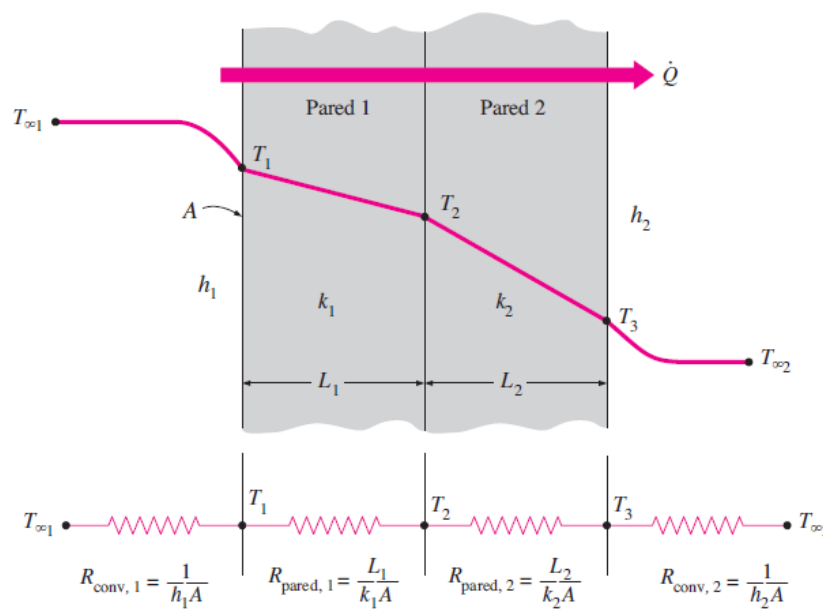
Se halla  $R_{\text{total}}$  de la siguiente manera:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{conv},1} + R_{\text{pared},1} + R_{\text{pared},2} + R_{\text{conv},2}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_1 \times A} + \frac{L_1}{\kappa_1 \times A} + \frac{L_2}{\kappa_2 \times A} + \frac{1}{h_2 \times A} \quad \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (\text{Ecuación 24})$$

**Figura 27**

Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana de dos capas sujeta a convección sobre ambos lados [15].



Una vez que se conoce el valor de  $\dot{Q}$ , se puede determinar una temperatura superficial desconocida  $T_1, T_2, T_3, T_j$  en cualquier superficie o interfase:

- Para hallar  $T_1$ , tomando como referencia la Figura 21 y se lo realiza de la siguiente forma:

$$T_1 = T_{\infty 1} - (\dot{Q} \times R_{\text{conv},1}) \quad (\text{Ecuación 25})$$

- Para hallar  $T_2$ , se toma como referencia la Figura 21 y se lo realiza de la siguiente forma:

$$T_2 = T_{\infty 1} - \dot{Q} \times (R_{\text{conv},1} + R_{\text{pared},1}) \quad (\text{Ecuación 26})$$

- Para encontrar  $T_3$ , de igual manera se toma de referencia la Figura 21 y queda de la siguiente manera:

$$T_3 = (\dot{Q} \times R_{\text{conv},2}) + T_{\infty 2} \quad (\text{Ecuación 27})$$

**Nota:** Para encontrar las temperaturas superficiales y en la interfase, se debe conocer el valor de  $T_{\infty 1}$  y  $T_{\infty 2}$  y  $\dot{Q}$  que se calcula previamente [15].

#### **3.1.10.10. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación.**

Se calcula el coeficiente convectivo por radiación teniendo en cuenta la temperatura promedio de la ciudad de Quevedo (27 °C) y asumiendo la temperatura superficial exterior del horno (120 °C), por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

Datos:

$\varepsilon$ : 0,26 (emisividad acero ASTM A-36) [16].

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon \times \sigma \times (T_s^2 + T_{\text{alred}}^2) \times (T_s + T_{\text{alred}})$$

$$h_{\text{rad}} = 0.26 \times 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times ((393,15 \text{ K})^2 + (300,15 \text{ K})^2) \times (393,15 \text{ K} + 300,15 \text{ K})$$

$$h_{\text{rad}} = 2,50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

#### **3.1.10.11. Cálculo del número de Rayleigh.**

Para la obtención del número de Rayleigh, se toma en cuenta la temperatura de película, que comprende desde la temperatura superficial exterior del horno hacia la temperatura del

ambiente de la ciudad de Quevedo, así mismo se busca valores de la tabla termodinámica A-15 de [13], se obtiene lo siguiente:

Datos:

$$\kappa: 0,029062 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \qquad T_f = \frac{T_s + T_{\text{alred}}}{2} \qquad (\text{Ecuación 28})$$

$$v: 2,0307 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \qquad T_f = \frac{(120 + 27) \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$\text{Pr}: 0,716895$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \qquad T_f = 73,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 0,2 \text{ m (longitud característica)} \qquad T_f = 346,65 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

En base a la temperatura  $T_f$  (temperatura de película), se obtuvo los valores de  $\kappa$ ,  $v$ ,  $\text{Pr}$ , mediante un proceso de interpolación con la ayuda de la tabla A-15 de [13].

Una vez obtenido los valores necesarios se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$R_{aL} = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_{\text{alred}}) \times (L)^3}{(v)^2} \times \text{Pr} \qquad (\text{Ecuación 29})$$

$$R_{aL} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{1}{346,65 \text{ K}} \times (120 - 27) \text{ }^\circ\text{C} \times (0,2 \text{ m})^3}{\left(2,0307 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)^2} \times 0,716895$$

$$R_{aL} = 36602837,36$$

El valor de  $R_{aL}$  nos ayudará a encontrar el valor de Nusselt.

### 3.1.10.12. Cálculo del número de Nusselt.

Es un número adimensional que nos describe la convección térmica en flujo de los fluidos, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 \times Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 \times (36602837,36)^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,492}{0,716895} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

$$Nu = 45,44$$

Una vez obtenido el valor de Nusselt, nos ayudará a calcular el valor del coeficiente convectivo de transferencia de calor  $h_{conv}$ .

### 3.1.10.13. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Este valor es obtenido a través de los valores de conductividad térmica en base a la temperatura de película, el número de Nusselt y la longitud característica.

$$h_{conv} = \frac{\kappa}{L} \times Nu \quad \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$h_{conv} = \frac{0,029062 \frac{W}{m \cdot K}}{0,2 \text{ m}} \times 45,44$$

$$h_{\text{conv}} = 6,60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}$$

**3.1.10.14. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor combinado.**

Este coeficiente se calcula a partir de la suma del coeficiente de transferencia de calor por radiación y el coeficiente de transferencia de calor por convección, por lo tanto, se obtiene:

$$h_{\text{comb}} = h_{\text{rad}} + h_{\text{conv}} \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$h_{\text{comb}} = (2,50 + 6,60) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}$$

$$h_{\text{comb}} = 9,10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}$$

Una vez calculado el  $h_{\text{comb}}$ , podemos obtener de  $\dot{Q}_{\text{conv,rad}}$ , que es el calor generado a través de la pared plana.

**3.1.10.15. Calor generado a través de la pared plana.**

Este es el valor que da referencia a la transferencia de calor que realiza a través de la pared del horno, debido a la diferencia de temperatura que existe entre el interior y el exterior, principalmente lo realiza mediante la conducción. Se la obtiene de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{\text{conv,rad}} = h_{\text{comb}} \times (T_s - T_{\text{alred}}) \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$\dot{Q}_{\text{conv,rad}} = 9,10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}} \times (120 - 27) \text{ C}$$

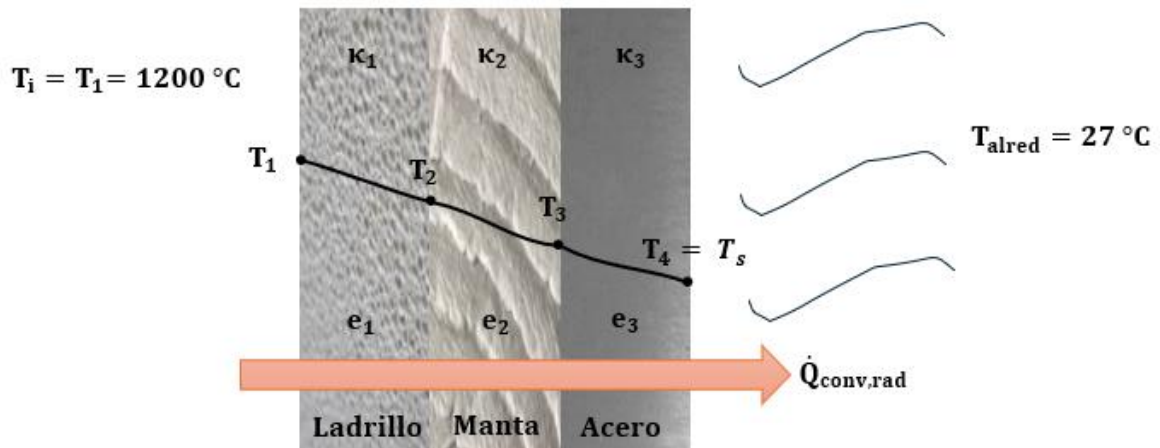
$$\dot{Q}_{\text{conv,rad}} = 846,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

### 3.1.10.16. Cálculo de espesores aislantes.

En este apartado, se calcula los espesores que llevará el horno de tratamientos térmicos, para cumplir con los requisitos de temperatura superficial exterior.

**Figura 28**

*Pared plana, para cálculo de espesores*



- Para hallar e<sub>1</sub>, se despeja la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{conv,rad}} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{\kappa_1}}$$

$$e_1 = \frac{\kappa_1 \times (T_1 - T_2)}{\dot{Q}_{\text{conv,rad}}} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde:

T<sub>2</sub>: Temperatura de operación de la manta cerámica, (800 °C)

Reemplazando valores obtenemos lo siguiente:

$$e_1 = \frac{0,24 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \times (1200 - 800) \text{ °C}}{846,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

$$e_1 = 0,1134 \text{ m}$$

$$e_1 = 11,34 \text{ cm}$$

Se observa que nos dio un valor de 11,34 cm para espesor de ladrillo refractario y tomando en cuenta que en el mercado nacional se encuentra ladrillo de 6,3 cm de espesor, por lo tanto, se opta por usar dos ladrillos refractarios k-23 con un espesor total de 12,6 cm.

- Para hallar  $e_2$ , se despeja la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{conv,rad}} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{e_1}{\kappa_1} + \frac{e_2}{\kappa_2} + \frac{e_3}{\kappa_3}}$$

Donde:

El  $e_3$  es el espesor de la chapa de acero, que, para este caso, como son planchas comerciales se opta por elegir el ASTM A36 con un espesor de 1,5 mm, laminado al caliente de la empresa DIPAC.

Por lo tanto, despejando la Ecuación 35 y reemplazando se obtiene lo siguiente:

$$e_2 = \kappa_2 \times \left( \frac{T_1 - T_4}{\dot{Q}_{\text{conv,rad}}} - \frac{e_1}{\kappa_1} - \frac{e_3}{\kappa_3} \right) \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$e_2 = 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \times \left( \frac{(1200 - 120) \text{ }^\circ\text{C}}{846,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} - \frac{0,1134 \text{ m}}{0,24 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} - \frac{0,0015 \text{ m}}{60,5 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)$$

$$e_2 = 0,0402 \text{ m}$$

$$e_2 = 4,02 \text{ cm}$$

De igual manera se obtiene un valor de 4,02 cm de espesor para la manta cerámica, pero así mismo se ocupa un espesor comercial y se utiliza el inmediato superior, ya que en el mercado nacional existen mantas cerámicas de 5 cm de espesor de la empresa Morgan Advanced Materials.

Una vez calculados los espesores que ocupará la pared del horno, se calcula el espesor total de la pared, tomando en cuenta los espesores comerciales, se obtiene:

$$e_{\text{total}} = e_1 + e_2 + e_3 \quad (\text{Ecuación 36})$$

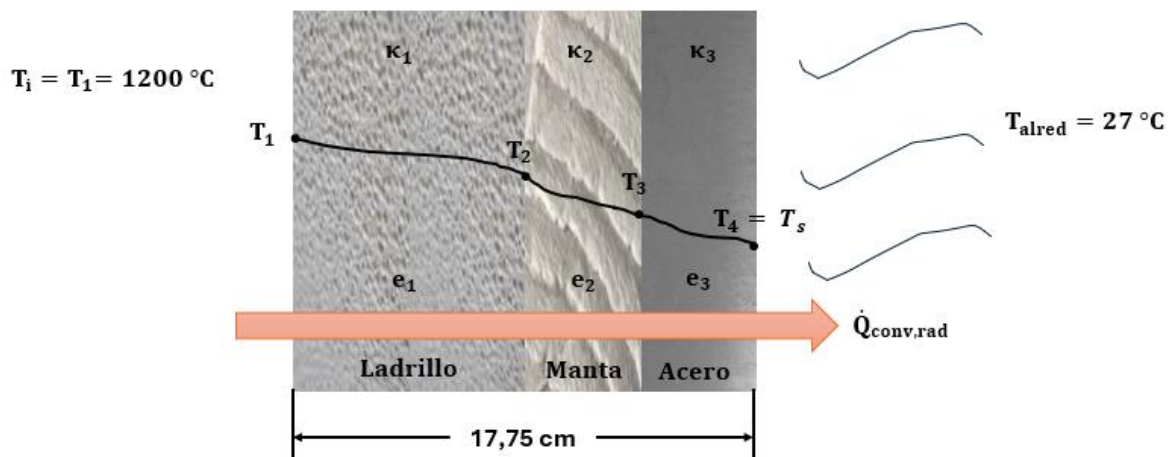
$$e_{\text{total}} = (12,6 + 5 + 0,15) \text{ cm}$$

$$e_{\text{total}} = 17,75 \text{ cm}$$

Se tiene un espesor de 17,75 cm que comprende la pared del horno incluyendo aislamientos térmicos y la chapa de acero, estos valores serán usados para su construcción.

### Figura 29

*Espesor total de la pared*



#### 3.1.11. Selección de materiales

En este apartado se detalla la selección de materiales que fueron utilizados para llevar a cabo la construcción del horno, importante mencionar que todos los materiales usados se encuentran disponibles en el mercado nacional, esto con el fin de evitar retrasos en el proyecto.

### 3.1.11.1. Ladrillo refractario K-23.

Es un ladrillo utilizado para aplicaciones donde requiere altas temperaturas, su designación K-23 se refiere que puede soportar temperaturas hasta 1315 °C. Estos ladrillos refractarios están hechos de materiales cerámicos especiales que tienen buenas propiedades de resistencia al calor y al fuego, son capaces de aguantar cambios bruscos de temperatura sin que se agriete ni se rompa [17].

**Tabla 4**

*Características más importantes del ladrillo escogido*

Ladrillo	Temperatura	Densidad	Conductividad térmica			
	máxima (°C)	$\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	$\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right)$			
K-23	1315	513	260 °C	540 °C	815 °C	1100 °C
			0,13	0,17	0,2	0,24

**FUENTE:** Adaptado de [18].

### 3.1.11.2. Manta cerámica.

Es un material aislante térmico flexible hecho de fibras cerámicas, que son resistentes al calor y tiene excelentes propiedades aislantes. Este tipo de mantas son flexibles y se pueden cortar fácilmente, para poder adaptar a diferentes formas y tamaños. Para el caso del horno se utilizó la manta cerámica Superwool® Plus Blanket de la empresa Morgan Advanced Materiales, ya que nos mantiene la temperatura interior evitando pérdidas de calor, lo que ayuda a mejorar la eficiencia energética [19].

**Tabla 5***Características más importantes de la manta cerámica escogida*

Manta	Temperatura	Densidad	Conductividad térmica					
	máxima (°C)	$\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	$\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right)$					
Superwool® Plus Blanket	1200	128	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C	
			0,05	0,08	0,12	0,18	0,25	

**FUENTE:** Adaptado de [20].

### 3.2. Cronograma

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Cronograma											
					jun	tri 3, 2023			tri 4, 2023			nov	dic			
						jul	ago	sep	oct							
1	Planteamiento del tema de tesis	6 días	jue 01/06/23	jue 08/06/23	■											
2	Corrección del tema de tesis	2 días	jue 08/06/23	vie 09/06/23	■											
3	Selección del posible tutor	2 días	lun 12/06/23	mar 13/06/23	■											
4	Elaboración de la introducción	3 días	vie 16/06/23	mar 20/06/23	■											
5	Identificación de la problemática	3 días	mié 21/06/23	vie 23/06/23	■											
6	Elaboración de los objetivos	4 días	lun 26/06/23	jue 29/06/23	■											
7	Elaboración de la justificación	3 días	vie 30/06/23	mar 04/07/23	■											
8	Elaboración del Marco Teórico	4 días	mar 04/07/23	vie 07/07/23	■											
9	Revisión del tutor para correcciones	3 días	mié 26/07/23	vie 28/07/23	■											
10	Primeras correcciones realizadas	2 días	mié 02/08/23	jue 03/08/23	■											
11	Segundas correcciones realizadas	2 días	vie 11/08/23	lun 14/08/23	■											
12	Aprobación por parte del tutor para enviar al comité	1 día	lun 21/08/23	lun 21/08/23	■											
13	Envío para revisión del comité	1 día	mié 23/08/23	mié 23/08/23	■											
14	Cálculos de transferencia de calor y espesores de aislamiento.	11 días	lun 04/12/23	lun 18/12/23	■											

Proyecto: cronograma tesis Fecha: lun 11/03/24	Tarea	■	Resumen inactivo	▬	Tareas externas	■
	División	⋯	Tarea manual	■	Hito externo	◇
	Hito	◆	solo duración	▬	Fecha límite	↓
	Resumen	▬	Informe de resumen manual	■	Progreso	▬
	Resumen del proyecto	▬	Resumen manual	▬	Progreso manual	▬
	Tarea inactiva	▬	solo el comienzo	[		
	Hito inactivo	◇	solo fin	]		

Página 1

Id	i	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2024			tri 2, 2024
						ene	feb	mar	abr
15		Presentación de Metodología del proyecto Tecnológico al docente de Titulación.	6 días	lun 01/01/24	lun 08/01/24				
16		Elaboración de planos de construcción	6 días	lun 05/02/24	lun 12/02/24				
17		Realización de las correcciones correspondientes	4 días	mié 10/01/24	lun 15/01/24				
18		Aprobación del Proyecto Tecnológico y cambio de tribunal del trabajo de integración curricular.	2 días	vie 12/01/24	lun 15/01/24				
19		Presentación del Marco de fases del Desarrollo del Proyecto Tecnológico al docente de Titulación.	6 días	lun 29/01/24	lun 05/02/24				
20		Construcción del equipo.	15 días	lun 19/02/24	vie 08/03/24				
21		Realización de las correcciones correspondientes	4 días	mié 07/02/24	lun 12/02/24				
22		Presentación de avances al tribunal y al tutor	6 días	lun 19/02/24	lun 26/02/24				
23		Realización de las correcciones correspondientes	3 días	mar 27/02/24	jue 29/02/24				

Proyecto: cronograma tesis Fecha: lun 11/03/24	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2024			tri 2, 2024	
					ene	feb	mar	abr	may
24	Presentación de avances al tribunal y al tutor	2 días	lun 04/03/24	mar 05/03/24			■		
25	Implementación del horno al laboratorio industrial	7 días	vie 08/03/24	lun 18/03/24			■	■	
26	Presentación del proyecto tecnologico terminado.	6 días	lun 11/03/24	lun 18/03/24			■	■	
27	Correcciones finales del Proyecto Tecnológico	2 días	mar 19/03/24	mié 20/03/24				■	
28	Pre defensas del Proyecto Tecnológico para aprobacion de Titulación.	2 días	jue 21/03/24	vie 22/03/24				■	

Proyecto: cronograma tesis Fecha: lun 11/03/24	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

Página 3

### 3.3. Recursos, presupuesto y financiamiento

#### 3.3.1. Tratamientos de datos

En la Tabla 3. se presenta los programas que fueron utilizados para el tratamiento de datos del presente proyecto.

**Tabla 6**

*Tratamientos de datos*

<b>Programas de datos e información</b>	<b>Programa de diseño</b>
Microsoft Word 2016	SolidWorks
Microsoft Excel 2016	

#### 3.3.2. Recursos humanos y materiales

En la Tabla 4. Se detalla los recursos humanos y materiales que se utilizaron durante el proceso de investigación del proyecto.

**Tabla 7**

*Recursos humanos y materiales*

<b>Recursos humanos</b>			<b>Equipos de oficina</b>
<b>Autor</b>	<b>Director de tesis</b>	<b>Docentes</b>	
Alverca Lamar Bryan Alexander	Ing. Hernan Dario Herrera Contreras, M.Sc.	FCI de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo	Laptop
			Pendrive
			Impresora
			Calculadora
			Carpetas
			Esferos
			Hojas

### 3.3.3. Presupuesto

A continuación, en la Tabla 5 se detalla los recursos que fueron utilizados para llevar a cabo el proyecto.

**Tabla 8**

*Recursos, presupuesto y financiamiento*

<b>PRESUPUESTO</b>							
<b>N o</b>	<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>U. medidas</b>	<b>Precio</b>	<b>Subtotal</b>	<b>% Ejecutor</b>	<b>% Financiado</b>
	<b>Materiales e insumos</b>						
1	Ladrillo refractario	15	Ud.	\$ 8,00	\$ 120,00	0%	100%
2	Fibra cerámica de 900 x 600 x 50 mm	1	in	\$ 95,00	\$ 95,00	0%	100%
3	Paneles de fibra cerámica de 900 x 600 x 50 mm	2	Ud.	\$ 60,00	\$ 60,00	0%	100%
4	Controlador de temperatura REX 48X48 110-220V	1	Ud.	\$ 140,00	\$ 140,00	0%	100%
5	Termocupla tipo K, J,P,T100	1	Ud.	\$ 18,00	\$ 18,00	0%	100%
6	Cemento refractario	5	kg	\$ 16,00	\$ 16,00	0%	100%
7	Mortero refractario	1	kg	\$ 9,00	\$ 9,00	0%	100%
8	Contactador 32A, 220V	1	Ud.	\$ 30,00	\$ 30,00	0%	100%
9	Luz piloto 22 mm Verde	1	Ud.	\$ 2,00	\$ 2,00	0%	100%
10	Luz piloto 22 mm Roja	1	Ud.	\$ 2,00	\$ 2,00	0%	100%

11	Bases porta fusibles 10x38	2	Ud.	\$ 2,50	\$ 2,50	0%	100%
12	Fusibles 22 x 38, 6A	2	Ud.	\$ 3,00	\$ 3,00	0%	100%
13	Breaker de riel CSC 2P, 32A	1	Ud.	\$ 11,00	\$ 11,00	0%	100%
14	Selector 22 mm ED-21 C/plastic 2 posiciones	2	Ud.	\$ 4,00	\$ 8,00	0%	100%
15	Cable #18	5	m	\$ 15,00	\$ 15,00	0%	100%
16	Amarra Plástica CH 10 cm	40	Ud.	\$ 1,50	\$ 1,50	0%	100%
17	Base adhesiva 20 x 20 mm	25	Ud.	\$ 4,00	\$ 4,00	0%	100%
18	Terminales U rojo 1,25- 3, 1/8, 3,7 mm 22-18	25	Ud.	\$ 3,50	\$ 3,50	0%	100%
19	Terminales U amarillos 5,5-5, 3/16, 5,3 mm 12- 10	10	Ud.	\$ 2,00	\$ 2,00	0%	100%
20	Cable #12	4	m	\$ 12,00	\$ 12,00	0%	100%
21	Alambre de resistencia de 1,5 mm x 25 m de largo- Alambre L&R	2	Ud.	\$ 15,00	\$ 30,00	0%	100%
22	Plancha ASTM A36 de 2 mm	1	mm	\$ 45,00	\$ 45,00	0%	100%
23	Plancha ASTM A36 de 0,9 mm	1	mm	\$ 24,00	\$ 24,00	0%	100%
24	Placa ASTM A36 de 450 x 250 x 4 mm	1	mm	\$ 4,50	\$ 4,50	0%	100%

25	Placa ASTM A36 E 265 x 140 x 6 mm	1	mm	\$ 4,00	\$ 4,00	0%	100%
26	Placa ASTM A36 de 200 x 150 x 10 mm	1	mm	\$ 3,50	\$ 3,50	0%	100%
27	Tubo ASTM A36 de 2" x 3 mm, largo 100mm	1	mm	\$ 6,00	\$ 6,00	0%	100%
28	Tubo ASTM A36 de 3/4" x 2mm, largo 600 mm	1	mm	\$ 3,00	\$ 3,00	0%	100%
	<b>Equipos y Herramientas</b>						
29	Fresadora	1	Ud.	----	----	0%	100%
30	Amoladora	1	Ud.	----	----	0%	100%
31	Taladro	1	Ud.	----	----	0%	100%
32	Soldadora	1	Ud.	----	----	0%	100%
33	Flexómetro	1	Ud.	----	----	0%	100%
	<b>Recursos Humanos</b>						
34	Mano de obra	1	Ud.	\$ 250,00	\$ 250,00	0%	100%
	<b>Otros recursos</b>						
35	Transporte	1	Ud.	\$ 50,00	\$ 50,00	0%	100%
36	Libros, Artículos, catálogos	4	Ud.	----	----	0%	100%
37	Impresiones	40	Ud.	\$ 5,50	\$ 5,50	0%	100%
<b>Total</b>					<b>\$ 980</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>

### 3.4. Instrumentos para el seguimiento y control

Los procesos para el seguimiento y control son importantes para la realización de proyectos, ya que nos permite evaluar los avances para alcanzar la mayor eficacia del proyecto. Este seguimiento involucra diversas herramientas e instrumentos que nos ayuda a la gestión, que comúnmente son:

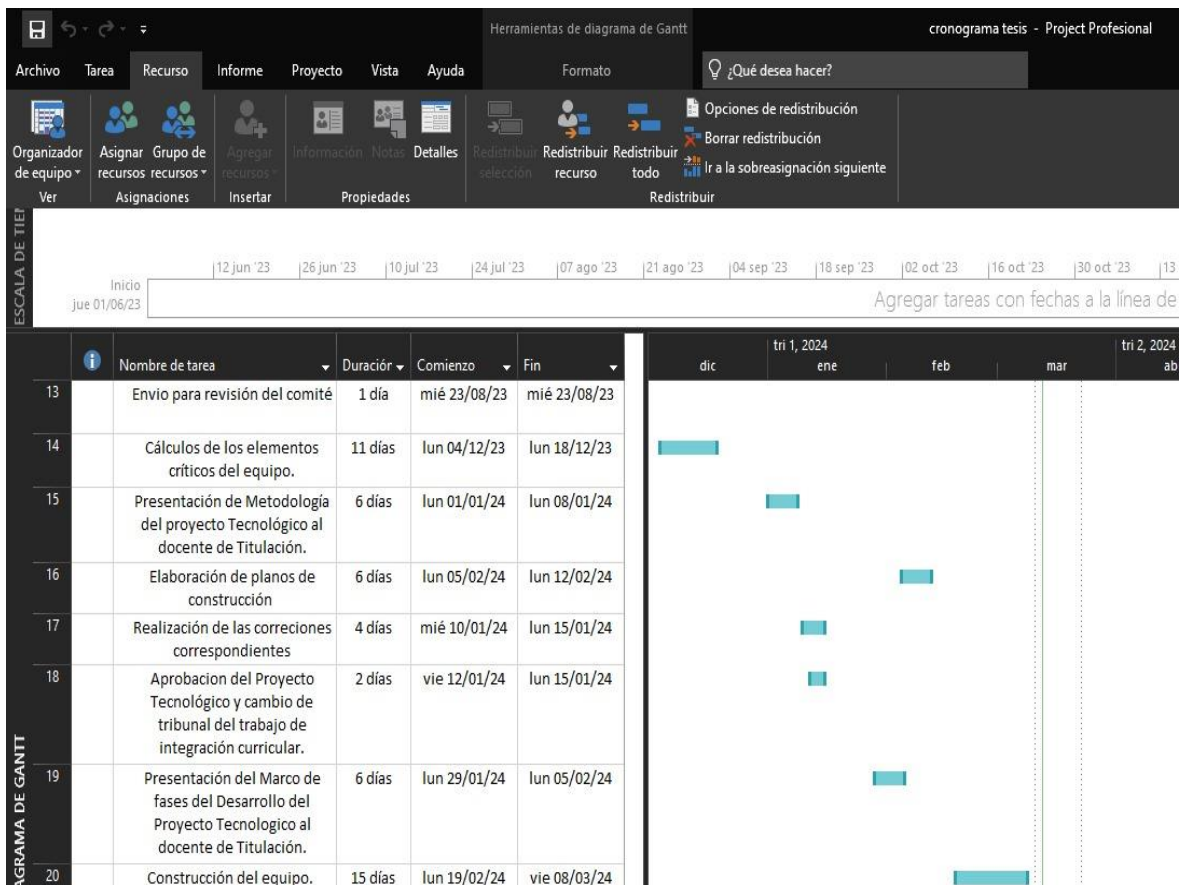
#### 3.4.1. Software de Gestión de Proyectos

##### 3.4.1.1. Microsoft Project.

Es una herramienta de gestión de proyectos que permite a los usuarios planificar, organizar y controlar proyectos de manera eficiente. Nos permite los crear cronogramas detallados, asignar recursos, realizar un seguimiento del progreso del proyecto y gestionar presupuestos.

**Figura 30**

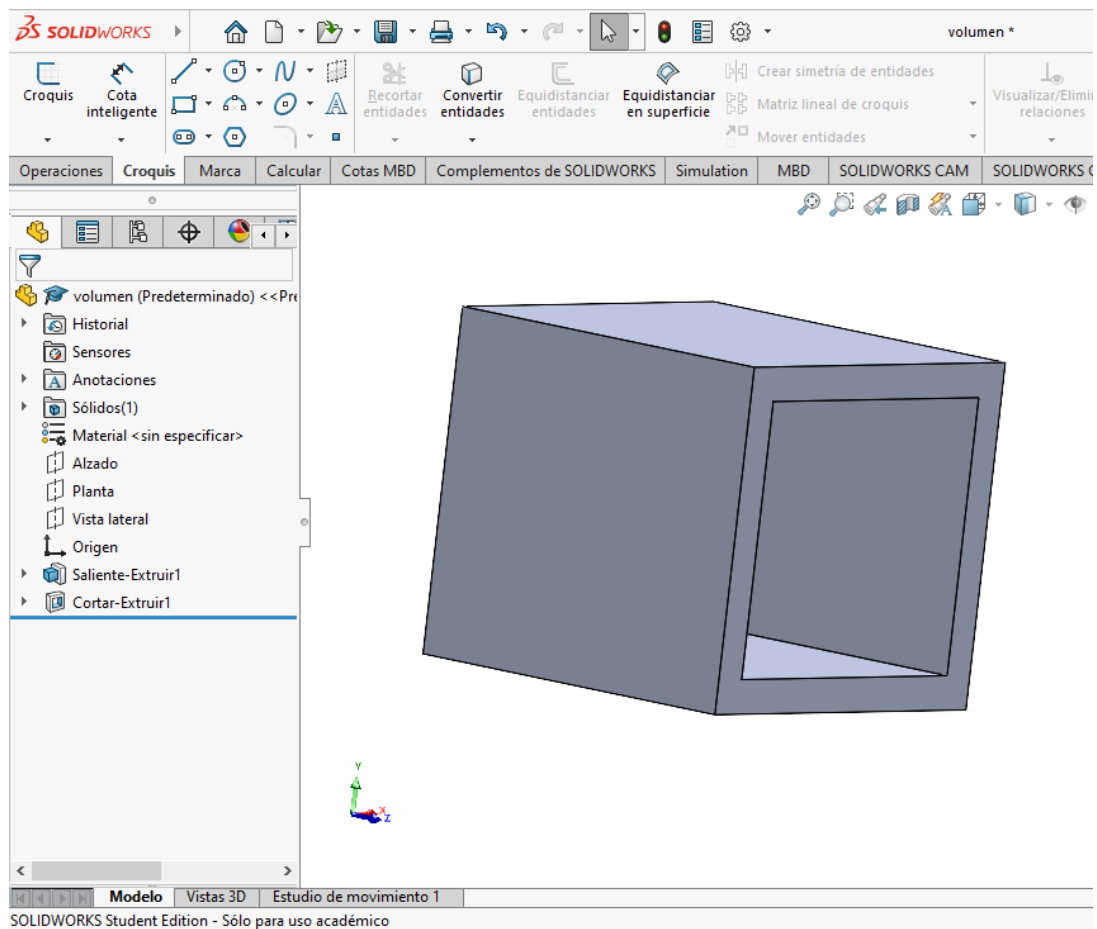
*Ventana de trabajo de Microsoft Project*





**Figura 32**

*Ventana de trabajo de SolidWorks Student Edition*



### 3.5. Indicadores de evaluación

#### 3.5.1. Cronograma y Plazos

- **Indicador:** Cumplimiento de plazos establecidos.
- **Evaluación:** Se presentó inconvenientes que concierne a los cálculos de los espesores de la pared aislante así mismo como por temas económicos.

#### 3.5.2. Presupuesto

- **Indicador:** Cumplimiento del presupuesto asignado.
- **Evaluación:** Se asigna un presupuesto inicial para la ejecución del proyecto, una vez que se conoce a detalle todos los gastos, pero es importante tener en cuenta que pueden surgir gastos inesperados, ya sea porque se dañó alguna pieza o material, entonces hay casos en los que se gasta más de lo presupuestado.

### ***3.5.3. Eficiencia operativa***

- **Indicador:** Mejoramiento de eficiencia operativa del horno, tomando en cuenta los más recientes avances tecnológicos.
- **Evaluación:** Se evalúa el impacto de las nuevas tecnologías en reducción del consumo de energía del horno.

### ***3.5.4. Seguridad y Cumplimiento Normativo***

- **Indicador:** Niveles de seguridad y cumplimiento de normas de seguridad.
- **Evaluación:** Se evalúa como los avances tecnológicos contribuyen a mejorar la seguridad del operario al momento de manipular el horno, para así cumplir con las regulaciones de seguridad y ambientales.

### ***3.5.5. Tiempo de Inactividad y Mantenimiento***

- **Indicador:** Tiempo de inactividad del horno y costos de mantenimiento.
- **Evaluación:** Se lleva a cabo un seguimiento detallado del tiempo que pudiese permanecer en inactividad, para luego evaluar los costos de mantenimiento, incluyendo tanto costo directo, mano de obra, materiales y servicios contratados.

**CAPÍTULO IX**  
**RESULTADOS**

#### **4.1. Producto tecnológico desarrollado**

Para llevar a cabo la construcción del horno se requiere tener conocimientos en el área de aislamiento para así colocar el aislante adecuado, además se necesita contar con experiencia en temas de soldadura MIG y bastos conocimientos en sistemas de control mediante controlador de temperatura.

##### ***4.1.1. Diseño y planificación***

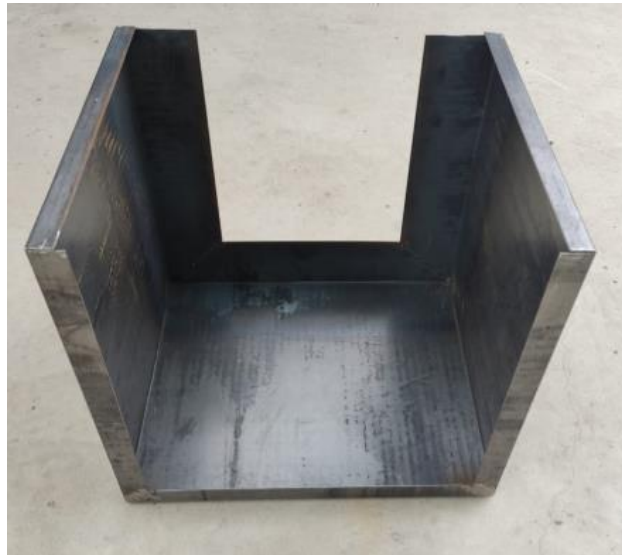
Se requiere conocer las dimensiones de la cámara interna seleccionada para luego obtener mediante cálculo el valor de los espesores de la pared, y así se encuentra el valor de la cámara total de horno tomando en cuenta el factor de la temperatura máxima de 1200 °C y finalmente con los datos que se obtuvieron se hacen los planos para llevar a cabo el proceso de construcción.

##### ***4.1.2. Preparación de los materiales***

Para el caparazón del horno se usa una plancha de acero ASTM A-36 de 2 mm, con ayuda de una amoladora se corta la plancha para formar un cubo que es la parte exterior del horno, internamente van ubicados los ladrillos y la manta cerámica.

#### **Figura 33**

*Caparazón del horno*



- **Colocación de ladrillos refractarios**

Es un proceso en el cual se utiliza el mortero y concreto refractario, para hacer la mezcla y poder pegar los ladrillos, de acuerdo con su disposición de espesor aislante, en la siguiente figura se puede observar cómo queda una vez que se pegan los ladrillos.

**Figura 34**

*Resultado final al pegar los ladrillos refractarios*



Los materiales utilizados para pegar el ladrillo refractario son los siguientes:

**Figura 35**

*Mortero refractario*



**Figura 36**

*Cemento refractario*



- **Colocación de la puerta del horno**

De igual manera para el espesor de la puerta se ocupa el mismo espesor de aislante de la pared, para que exista una relación entre todos los espesores del horno y exista pérdidas de calor hacia el exterior, por lo tanto, queda de la siguiente manera:

**Figura 37**

*Puerta del horno*



### **Figura 38**

*Manta cerámica en la puerta del horno*



- **Conexión de las resistencias**

Es de suma importancia colocar e instalar correctamente las resistencias para poder garantizar un funcionamiento eficiente y seguro. Todo esto para que logre llegar a la temperatura deseada para realizar el tratamiento térmico que requieran.

### **Figura 39**

*Conexión de las resistencias del horno*



## 4.2. Comprobación

Los tratamientos térmicos se los realiza elevando la temperatura y manteniéndola durante un periodo de tiempo, de acuerdo con el tratamiento térmicos que se requiera hacer o al metal a utilizar, con esto se busca alterar las propiedades del material para lograr una mayor dureza en su composición.

### 4.2.1. *Fabricación de las probetas a utilizar*

Las probetas para realizar el tratamiento térmico tienen una forma prismática con unas de dimensiones de 45 x 20 x 10 mm. Una vez obtenida la probeta se realiza la medición de la dureza con ayuda de un durómetro en el que se realizaron 5 mediciones en diferentes probetas y se sacó un promedio de tales medidas. La dureza de la primera probeta fue de 11,80 HRC que corresponde a un acero AISI SAE 1045 laminado en frío y el valor de la segunda probeta fue de 38,30 HRC.

### **Figura 40**

*Probeta utilizada para el tratamiento térmico*



### 4.2.2. *Tratamiento térmico de temple*

Unos de los tratamientos térmicos más utilizados es el temple, cuyo fin tiene aumentar la dureza y la resistencia de los aceros. Para realizar este tratamiento temple se debe calentar el acero a una temperatura ligeramente más alta de la línea  $Ac_3$  (700-950 °C) y se debe enfriar más o menos rápido de acuerdo con las características de la pieza, para ello se puede usar como medio de enfriamiento el agua, aceite o aire. Cabe mencionar que el agua enfría más rápido que el aceite, pero es una desventaja ya que se pueden producir fisuras o distorsiones. En cambio, al enfriar con aceite se reduce el gradiente térmico durante el proceso de enfriamiento y con eso se reduce la aparición de grietas y deformaciones en la pieza. Para el enfriamiento mediante aceite se usa los aceites derivados del petróleo.

#### **4.2.3. Medio de enfriamiento por aceite**

Para este caso se utilizó el aceite mineral SAE 15W40 reciclado, después de ser usado en un motor, se lo hizo con el fin de estudiar su posible uso en los procesos del temple, así que se evitó hacer uso de aceites nuevos, lo que beneficia económicamente.

#### **4.2.4. Pasos para realizar el proceso de temple**

A continuación, se detalla algunos de los pasos para llevar a cabo este tratamiento térmico:

- Se introduce la probeta en la cámara interna del horno.
- Se eleva la temperatura a 950 °C aproximadamente, para calentar la probeta.
- Luego de un determinado tiempo, se retira la probeta del horno.
- Al instante de extraer la probeta del horno, se sumerge en el aceite para su enfriamiento.
- El tiempo de enfriamiento será el suficiente para que la probeta tome la temperatura del medio, que en este caso sería la del aceite.
- Después de transcurrir el tiempo necesario para el enfriamiento, se extrae la probeta del aceite y se realiza nuevamente el ensayo para determinar la nueva dureza.

#### **Figura 41**

*Temperatura para realizar el temple*



#### **Figura 42**

*Probeta dentro de la cámara del horno, mientras se realiza el temple*



**Figura 43**

*Enfriamiento de la probeta*



**Figura 44**

*Resultado final, después de realizar el enfriamiento de la probeta*



#### **4.2.5. Datos obtenidos del tratamiento térmico de temple**

Una vez realizado el temple a la probeta de acero AISI SAE 1045, se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 9**

*Datos obtenidos al realizar el temple*

<b>Tratamiento térmico</b>	<b>Temperatura de calentamiento (°C)</b>	<b>Medio de enfriamiento</b>	<b>Dureza antes del temple (HRC)</b>	<b>Dureza después del temple (HRC)</b>
Temple	950 °C	SAE 15W40	11,80	45,20

#### ***4.2.6. Tratamiento térmico de recocido***

Para realizar este tratamiento se debe calentar hasta la temperatura de austenización que esta entre 750-980 °C, luego se realiza un enfriamiento lento. Con este tratamiento se busca que se aumente su elasticidad, pero se disminuye su dureza. Esto permite que sea de fácil mecanizado ya que modifica su microestructura y ablanda el material, eliminando las tensiones internas.

Este tratamiento fue aplicado en la segunda probeta en la que su dureza inicial es de 38,30 HRC, fue sometida durante 45 minutos a una temperatura de 930 °C aproximadamente, para luego enfriar lentamente en el interior del horno.

#### ***4.2.7. Pasos para realizar el proceso de recocido***

- Se introduce la probeta en la cámara interior del horno.
- Se eleva la temperatura a 930 °C para calentar la probeta.
- Una vez finalizado el proceso de recocido se deja enfriar la probeta dentro del horno, ya que se debe enfriar lentamente, para este caso se dejó la pieza dentro del horno por un lapso de 24 aproximadamente.
- Una vez enfriada la probeta, nuevamente se realiza la prueba de dureza para conocer su nuevo valor.

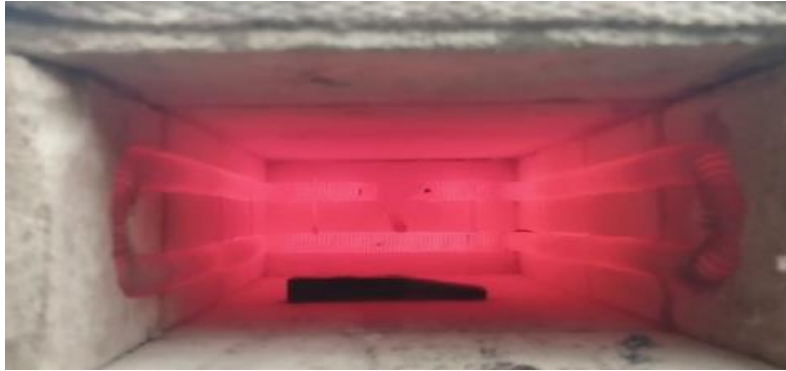
#### **Figura 45**

*Temperatura para realizar el recocido*



## Figura 46

*Probeta dentro de la cámara del horno, mientras se realiza el proceso de recocido*



### 4.2.8. Datos obtenidos del tratamiento térmico de recocido

Una vez realizado el proceso de recocido a la probeta, se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 10**

*Datos obtenidos al realizar el recocido*

<b>Tratamiento térmico</b>	<b>Temperatura de calentamiento (°C)</b>	<b>Medio de enfriamiento</b>	<b>Dureza antes del recocido (HRC)</b>	<b>Dureza después del recocido (HRC)</b>
Recocido	930	Cámara interna del horno	38,30	24,2

### 4.3. Manual de funcionamiento

Este apartado acerca del funcionamiento y mantenimiento se encuentra en la parte anexos.

**CAPÍTULO V**  
**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] C. E. C. Noblecilla, «TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO,» Instituto Superior Tecnológico José Ochoa León, 2021.
- [2] G. D. J. Freddy, J. Sanchez Molina y J. Bautista Ruiz, Aportes a la investigación de materiales refractarios para la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta., Bogotá: Bogotá-Ecoe Ediciones, 2023.
- [3] S. C. A. ABICK, Artist, LADRILLOS REFRACTARIOS DE ALÚMINA A PARTIR DE LODOS RESIDUALES MINERALES EN LA REGIÓN JUNÍN [Tesis de Ingeniero Civil, Universidad Peruana los Andes]. [Art]. Repositorio Institucional, 2019.
- [4] S. M. Gallardo Quilapán, Artist, MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DE UN RECUPERADOR DE CALOR A CONDENSACIÓN PARA COMBUSTIÓN DE BIOMASA A ESCALA DOMICILIARIA. [Art]. UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, 2023.
- [5] S. J. y J. Jaramillo, «INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLE Y TEMPLE -REVENIDO EN LA RESPUESTA MECÁNICA Y MICROESTRUCTURAL DE UN ACERO PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES,» Revista Metalnova, vol. 5, nº 1, 2022.
- [6] M. Z. García, Artist, Diseño de un horno para tratamiento térmico de recocido en aceros SAE 1045. [Art]. Universidad de Antioquia, 2023.
- [7] J. Sánchez, J. Jaramillo, S. Londoño, S. Salinas y A. Vásquez, Artists, INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLE Y TEMPLE -REVENIDO EN LA RESPUESTA MECÁNICA Y MICROESTRUCTURAL DE UN ACERO PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES.. [Art]. METALNNOVA, 2022.
- [8] M. Becerra Rodríguez, V. Aguilar Díaz, J. Bernardino González y F. Santana Ramírez, Artists, Tratamientos térmicos. [Art]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2021.
- [9] Blog, «BLog,» BLOG, 15 Octubre 2017. [En línea]. Available: <http://procesosdefabricacion176501.blogspot.com/2017/10/unidad-2.html>. [Último acceso: 16 Febrero 2024].

- [10] D. R. Masapanta Lasso y A. H. Silva Zamora, Artists, IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PROGRAMABLE PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE METALES EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, 2022.
- [11] I. AVEMPACE, Artist, Tratamientos térmicos y superficiales. [Art]. IES AVEMPACE - DEP. TECNOLOGÍA, 2021.
- [12] E. L. A. MONASTERIOS, Artist, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA LA CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL”. [Art]. Universidad Mayor de San Andrés, 2023.
- [13] Y. A. ÇENGEL y A. J. GHAJAR, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, Mexico: McGraw-Hill, 2011.
- [14] L. C. Pérez, Artist, TRANSFERENCIA DE CALOR EN ESTADO ESTACIONARIO. [Art]. Universidad Nacional Autónoma de México, 2022.
- [15] Y. A. ÇENGEL, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, México, D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, 2007.
- [16] E. P. Medina Guamán y M. H. Vaca Guadalupe, Artists, ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO SOBRE LA MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS ASTM A36 Y ASTM 572 GR. 50 SOLDADOS MEDIANTE PROCESO SMAW. [Art]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2020.
- [17] P. I. Jaramillo Carrasco y P. A. Peralta Rubio, Artists, DISEÑO DE UN HORNO PARA PROCESOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LA EMPRESA FIBROACERO S.A.. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, 2022.
- [18] Morgan Advanced Materials, «Morgan Advanced Materials,» 16 Junio 2023. [En línea]. Available: [https://www.morganthermalceramics.com/media/0wobjak3/k-ifb-series\\_eng.pdf](https://www.morganthermalceramics.com/media/0wobjak3/k-ifb-series_eng.pdf). [Último acceso: 13 Febrero 2024].
- [19] P. V. Bello Rosas, Artist, PROPUESTA DE PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA FÁBRICA “TERELY REPOSTERIA CREATIVA” PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PONQUÉS. [Art]. Universidad Santo Tomás, 2022.

- [20] Morgan Advanced Materials, «Morgan Advanced Materials,» 26 Abril 2022. [En línea]. Available: [https://www.morganthermalceramics.com/media/152g3r3j/superwool-plus-blankets\\_eng.pdf](https://www.morganthermalceramics.com/media/152g3r3j/superwool-plus-blankets_eng.pdf). [Último acceso: 17 Febrero 2024].
- [21] J. G. ZAFRA, Artist, ESTRATEGIA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIAS INCLUYENDO RESTRICCIONES DE CALIDAD DE SUMINISTRO [Tesis de Master en Energías Renovables Distribuidas, Universidad de Cordoba]. [Art]. Repositorio Institucional, 2018.
- [22] R. M. Yuquilema, C. F. Aguagallo Coello, J. A. Chamba Aguilar y D. R. Ñacato Estrella, «DISEÑO DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA EL MEMORIZADO DE PIEZAS SMA MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO,» TECH, vol. 03, 2023.
- [23] C. R. Yoner y L. Ocaña Muñoz, Artists, Diseño de un sistema de control de temperatura para mejorar el proceso de cocción en una empresa de ladrillos de Lambayeque [Tesis de Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. [Art]. Repositorio Institucional, 2022.
- [24] C. J. D. VALLE, Artist, DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO ELÉCTRICO EMPLEANDO RESISTENCIAS – CONTROL ELECTRÓNICO AL LADO AC [Tesis de Ingeniero, Escuela Politécnica Nacional]. [Art]. Biblioteca Digital, 2022.
- [25] R. E. I. Toapanta, Artist, Diseño, Simulación y Control en lazo cerrado de temperatura de un horno eléctrico cuyo principio de funcionamiento es el de inducción [Tesis de Ingeniero en Electrónica y Automatización, Escuela politecnica Nacional]. [Art]. Biblioteca Digital, 2022.
- [26] G. L. A. Sebastián y C. A. Riofrío Morales, Artists, REPOTENCIACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO CONTROLADO POR TOUCH PANEL PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Cotopaxi]. [Art]. Repositorio Institucional, 2019.
- [27] A. F. P. Restrepo, «Mejoras tecnológicas en horno de tratamientos térmicos,» Universidad de Antioquia, 2022.

- [28] J. N. F. Neto, Artist, Evaluación del efecto de los tratamientos térmicos de temple, revenido y criogenización en la microestructura y dureza del acero Hadfield [Tesis de Ingeniería, Universidad de Moa]. [Art]. Repositorio Institucional, 2019.
- [29] A. A. R. J. MORENO, Artist, METODOLOGÍA DE DISEÑO DE HORNOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO DE DISTENSIONADO DE GRANDES PIEZAS FERROSAS DE MINERÍA. [Art]. Repositorio Institucional, 2020.
- [30] S. I. E. Jhoanna, Artist, Diseño de un horno de inducción para fundición de aluminio. [Art]. Repositorio Institucional, 2019.
- [31] C. Ferrer Campos, Artist, PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE PLCs SCHNEIDER Y COMUNICACIÓN OPC-UA.. [Art]. Repositorio Institucional, 2021.
- [32] M. B. Elizalde, Artist, Fabricación y caracterización de nuevos quemadores de gas de alta porosidad basados en fibras cerámicas.. [Art]. 2021.
- [33] C. R. B. DOMÍNGUEZ, Artist, Dosificación de materias primas locales para la elaboración de ladrillos refractarios [Tesis de Ingeniero en Mina, Universidad del Azuay]. [Art]. Repositorio Institucional, 2021.
- [34] G. S. R. Curiel, «Ladrillo aislante (refractario de baja densidad -0.55),» Universidad EIA, 2022.
- [35] . A. P. CUMBAJIN ARGUERO y J. C. ANDRANGO ARIAS, Artists, ANÁLISIS DE LA DUREZA SUPERFICIAL DEL ACERO AISI 01 (K460) SOMETIDO A TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLADO Y REVENIDO UTILIZANDO COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO ACEITES AUTOMOTRICES DE DIFERENTES VISCOSIDADES. [Art]. Repositorio Institucional, 2022.
- [36] S. B. M. Cristian, Artist, Diseño de un sistema de control de temperatura de un horno, utilizado para el secado de barniz aislante [Tesis de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Perú]. [Art]. Repositorio Institucional, 2019.
- [37] F. S. L. Chichande, «Comparación de los tratamientos térmicos en los aceros más utilizados en el Ecuador,» EPN, 2022.
- [38] L. R. C. CENTENO y G. F. MORILLO ORTEGA, Artists, ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS (RECOCIDO Y

REVENIDO), EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075-T651 MEDIANTE ENSAYOS DE TRACCIÓN [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]. [Art]. Repositorio Institucional, 2019.

- [39] L. Castro, A. Noguera, J. Yancha y J. Troya, «Efectos del carbonato y bicarbonato en la resistencia a la corrosión en aceros API 5L con tratamientos térmicos de recocido, normalizado y bonificado,» Digital Publisher CEIT, 2021.
- [40] R. J. C. Acosta, Artist, Evaluación de la arena sílice de Casilda, Trinidad, como material refractario monolítico para un horno de inducción. [Art]. Repositorio Institucional, 2019.
- [41] Universidad Tecnológica Nacional, «Repositorio UTN,» 13 Febrero 2022. [En línea]. Available:  
[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5\\_ano/metalografia/10-Temple\\_y\\_Revenido\\_v2.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_ano/metalografia/10-Temple_y_Revenido_v2.pdf). [Último acceso: 16 Diciembre 2023].
- [42] Google Maps, «Google Maps,» Google Maps, 17 Febrero 2024. [En línea]. Available:  
<https://www.google.com/maps/dir//WF9X%2BVCF,+Mocache/@-1.0803151,-79.5838562,12z/data=!4m8!4m7!1m0!1m5!1m1!1s0x902b51084d7ab623:0x6bc71baac287771!2m2!1d-79.5014542!2d-1.0803162?entry=ttu>. [Último acceso: 28 Diciembre 2023].
- [43] DIPAC, «DIPAC,» 23 Julio 2023. [En línea]. Available:  
<https://dipacmanta.com/producto/planchas/planchas-acero-negro/planchas-laminadas-en-caliente/>. [Último acceso: 18 Febrero 2024].
- [44] Murcal, «Murcal,» Murcal.com, 1 Septiembre 2022. [En línea]. Available:  
<https://www.murcal.com/Thermocouple-Grounded-Type-K>. [Último acceso: 23 Noviembre 2023].
- [45] Drive Motion Control S.A, «Drive Motion Control S.A,» Drive Motion Control S.A, 14 Diciembre 2023. [En línea]. Available:  
<https://drivemotionandcontrol.com/producto/control-de-temperatura-pirometro-termoregulador-2/>. [Último acceso: 23 Febrero 2024].
- [46] ANPER CERAMICS, «ANPER CERAMICS,» ANPER CERAMICS, 18 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://anper.net/productos/1089/construccion-de-hornos/resistencias-electricas-consultar>. [Último acceso: 1 Febrero 2024].

- [47] D. A. Ávila Alfonso y G. d. J. Camargo Vargas, Artists, Control de perfiles de temperatura de un horno tipo mufla, para procesos de Pirólisis. [Art]. Universidad Libre, Bogotá D.C., 2023.
- [48] E. D. Sánchez Núñez y E. S. Jijón Cunalata, Artists, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTENEDOR CON ATMÓSFERA CONTROLADA PARA LA FABRICACIÓN DE ESPUMA DE ALUMINIO PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA. [Art]. Universidad Técnica de Ambato, 2021.
- [49] E. A. Robalino Romero y K. M. Romero Reyes, Artists, Ingeniería inversa y optimización de un horno de vacío para los laboratorios de Ciencia de los Materiales y Procesos de Manufactura del DCEM. [Art]. Universidad de las Fuerzas Armadas, 2022.
- [50] J. A. Bucarey Borquez y R. A. Cortés Codoceo, Artists, ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN TEMPLE POR INDUCCIÓN Y UN TEMPLE CONVENCIONAL. [Art]. Universidad de Tarapacá, 2020.
- [51] Grupo Infra, «Grupo Infra,» 02 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://grupoinfra.com/files/libreria-de-descargas/recocido.pdf>. [Último acceso: 15 Enero 2024].

**CAPÍTULO VI**  
**ANEXOS**

## Anexo 1

Características técnicas del ladrillo refractario [18].

# K™ Insulating Firebrick Series

Product Data Sheet



Properties	K23 IFB	K25 IFB	K26 IFB	Insalcor
ISO 2245 Classification	-	-	-	180 1.3L
Classification Temperature, °C (°F)	1315 (2400)	1370 (2500)	1430 (2600)	1790 (3250)
Brick markings	23	25	26	-
Density, kg/m <sup>3</sup> (pcf), ASTM C134	513 (32.0)	617 (38.5)	657 (41)	1314 (82)
Modulus of rupture, MPa (psi), ASTM C133	0.79 (114.5)	0.95 (137.7)	0.9 (130.5)	2.4 (350)
Cold Crushing strength, MPa (psi), ASTM C133	1 (145)	1.3 (188.5)	1.3 (188.5)	6.9 (1000)
Reversible Linear Thermal Expansion, max. %	0.7	0.8	0.8	1.2
<b>Linear Shrinkage, % after 24 hours soaking, ASTM C210</b>				
1230°C (2246°F)	-0.1	-	-	-
1350°C (2462°F)	-	-0.3	-	-
1400°C (2552°F)	-	-	-1.00	-
5 hours, 1730°C (3146°F)	-	-	-	0.4
<b>Chemical Analysis, %</b>				
Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38.3	47	51	77
Silica, SiO <sub>2</sub>	44.3	38	35	21
Iron Oxide, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	0.2	0.4	0.4
Titania, TiO <sub>2</sub>	1.6	1.4	1.4	0.6
Lime, CaO	15	13.5	11.0	0.1
MgO + Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0.5	0.5	0.4	0.4
<b>Thermal Conductivity, W/m•K, ASTM C-182</b>				
260°C	0.13	0.15	0.2	0.79
540°C	0.17	0.18	0.23	0.8
815°C	0.2	0.2	0.26	0.91
1100°C	0.24	0.22	0.29	1.09
1370°C	-	-	0.31	1.33
<b>Thermal Conductivity, BTU•in/hr•ft<sup>2</sup>•°F, ASTM C-182</b>				
500°F	0.90	1.04	1.39	5.48
1004°F	1.18	1.25	1.60	5.55
1499°F	1.39	1.39	1.80	6.31
2012°F	1.67	1.53	2.01	7.56
2498°F	-	-	2.15	9.23

Whilst the values and application information in this datasheet are typical, they are given for guidance only. The values and the information given are subject to normal manufacturing variation and may be subject to change without notice. Morgan Advanced Materials – Thermal Ceramics makes no guarantees and gives no warranties about the suitability of a product and you should seek advice to confirm the product's suitability for use with Morgan Advanced Materials - Thermal Ceramics.

Publication Date: 16 June 2023  
Code: BR.02  
2 of 2

www.morganthermalceramics.com  
Email: marketing.tc@morganplc.com  
Thermal Ceramics is a business of Morgan Advanced Materials

## Anexo 2

Características técnicas de la manta cerámica [20].

# Superwool<sup>®</sup> Plus Blanket

## Product Data Sheet



Properties		Superwool Plus Blanket	
Colour		White	
Classification Temperature, °C (°F)		1200 (2190)	
Continuous Use Temperature, °C (°F)		1050 (1920)	
Melting Temperature, °C (°F)		1325 (2400)	
Density, kg/m <sup>3</sup> (pcf)		64, 80, 96, 128, 160 (4, 5, 6, 8, 10)	
<b>Tensile Strength, average, kPa (psi), EN 1094-1</b>			
Measured blanket density, kg/m <sup>3</sup> (pcf), 64 (4)		30 (4.35)	
80 (5)		45 (6.53)	
96 (6)		50 (7.25)	
128 (8)		75 (10.88)	
160 (10)		90 (13.05)	
<b>Chemical Analysis, %</b>			
Silica, SiO <sub>2</sub>		62 - 68	
Calcium oxide, CaO		26 - 32	
Magnesium oxide, MgO		3 - 7	
Other		<1	

Thermal Conductivity, W/m•K, per ASTM C201				
Density, kg/m <sup>3</sup> (pcf)	Superwool Plus Blanket			
	64 (4)	96 (6)	128 (8)	160 (10)
200°C	0.06	0.05	0.05	0.04
400°C	0.11	0.09	0.08	0.07
600°C	0.15	0.14	0.12	0.11
800°C	0.24	0.21	0.18	0.16
1000°C	0.36	0.29	0.25	0.23
Thermal Conductivity, BTU•in/hr•ft <sup>2</sup> , per ASTM C201				
500°F	0.50	0.42	0.40	0.33
1000°F	0.94	0.86	0.74	0.66
1500°F	1.74	1.49	1.28	1.16
1832°F	2.49	2.01	1.73	1.60
2000°F	2.91	2.31	2.00	1.83

### Product Availability

Superwool Plus Blankets are manufactured and available globally, but packaging, density and thickness vary by region. Please contact your regional Morgan Advanced Materials - Thermal Ceramics representative to support providing specific packaging availability for your local business needs.

Whilst the values and application information in this datasheet are typical, they are given for guidance only. The values and the information given are subject to normal manufacturing variation and may be subject to change without notice. Morgan Advanced Materials – Thermal Ceramics makes no guarantees and gives no warranties about the suitability of a product and you should seek advice to confirm the product's suitability for use with Morgan Advanced Materials - Thermal Ceramics.

Publication Date: April 26 2022  
Code: BU.05  
2 of 2

www.morganthermalceramics.com  
Email: marketing.tc@morganplc.com  
Thermal Ceramics is a business of Morgan Advanced Materials

### Anexo 3

#### *Data Sheet de las placas, donde van alojadas las resistencias*

Properties		Brand	REFRACTORY CONCRETE
最高使温度 Application Limit Temp. (°C)			1680
体积密度 Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )			2.00
热导率(w/m.k) Thermal Conductivity			0.60(400°C) 0.71(1000°C)
化学成分(%) Chemical Composition	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		67
	SiO <sub>2</sub>		19

### Anexo 4

#### *Data Sheet del mortero refractario*

Properties		Brand	REFRACTORY MORTAR
最高使温度 Application Limit Temp. (°C)			1430
体积密度 Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )			1.70
抗折强度(Mpa) Modulus of Rupture			12
化学成分(%) Chemical Composition	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		33.4
	SiO <sub>2</sub>		60.7
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.3

## Anexo 5

### Data Sheet de la plancha cerámica

指标Properties	Brand 牌号	CERAMIC FIBER BOARD
分类温度 Specification Temp. (°C)		1260
工作温度 Working Temp. (°C)		1100
体积密度 Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )		300
加热线收缩率(%) @24HLinear Shrinkage after Heating		-3(1100°C)
热导率(w/m.k) Thermal Conductivity		0.085(400°C) 0.132(800°C) 0.190(1000°C)
抗拉强度 Tensile strength (MPa)		0.2
化学成分(%) Chemical Composition	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub>	98
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> + ZrO <sub>2</sub>	-
	ZrO <sub>2</sub>	-
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5
	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0.3

## Anexo 6

### Planchas cerámicas



## **Anexo 7**

### *Manta cerámica*



## **Anexo 8**

### *Colocación de la manta y plancha cerámica en el interior del horno*



## **Anexo 9**

*Colocación de ladrillos refractarios*



## **Anexo 10**

*Colocación de ladrillos refractarios en la cámara interna del horno*



## **Anexo 11**

*Colocación de la manta cerámica en la puerta del horno*



## **Anexo 12**

*Corte de materiales*



# Manual de operación

Y Mantenimiento.



## CONTENIDO

<b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS .....</b>	<b>2</b>
1. Antecedentes.....	2
2. Descripción de los sistemas que comprenden el horno eléctrico para tratamientos térmicos .....	2
3. Descripción del tablero de control.....	3
3.1. Descripción de la parte externa del tablero de control.....	3
3.2. Descripción de la parte interna del tablero de control .....	3
4. Pasos para iniciar el funcionamiento del horno.....	4
4.1. Abrir la puerta del horno.....	4
4.2. Habilitar el sistema eléctrico del horno .....	4
5. Pasos para parar el funcionamiento del horno.....	4
<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL HORNO ELÉCTRICO PARA TRAMIENTOS TÉRMICOS.....</b>	<b>5</b>
6. Antecedentes.....	5
7. Alcance .....	5
8. Glosario .....	5
9. Descripción de actividades .....	6
9.1. Instrucciones de actividades antes de realizar el mantenimiento.....	6
9.2. Mantenimiento de las resistencias .....	6
9.3. Mantenimiento de la cámara interna del horno.....	7
9.4. Mantenimiento de la estructura del horno .....	7
9.5. Mantenimiento del tablero de control.....	7

## MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS

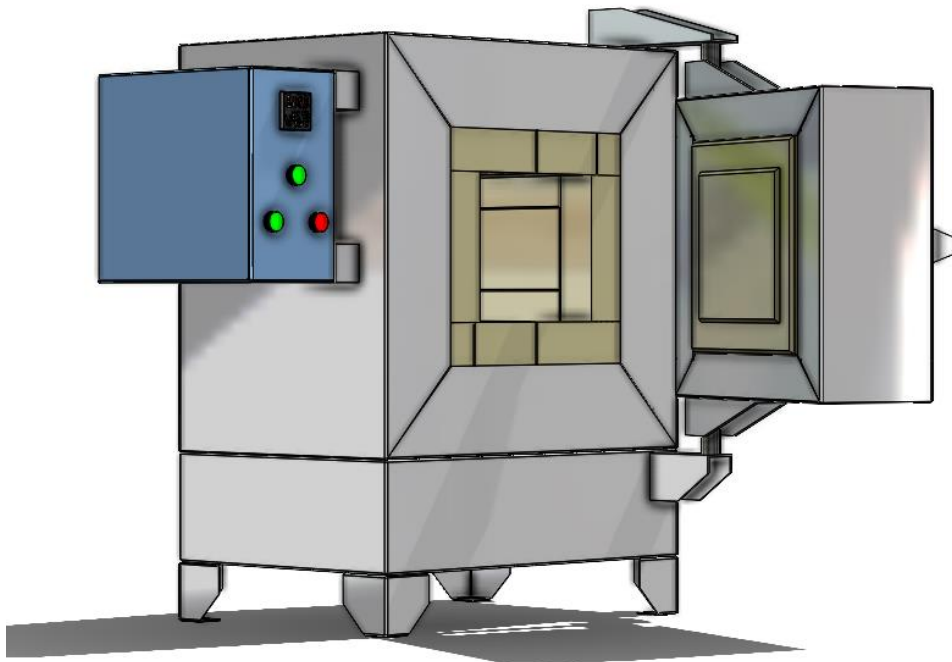
### 1. Antecedentes

Se ha realizado la fabricación de un HORNO ELÉCTRICO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

### 2. Descripción de los sistemas que comprenden el horno eléctrico para tratamientos térmicos

Antes de iniciar el proceso de encendido se deben conocer cada una de las partes que conforman el horno eléctrico para tratamientos térmicos.

**Figura 1** *Horno para tratamientos térmicos*



- A. Cuerpo del horno eléctrico para tratamientos térmicos:** Fabricado de acero al carbono ASTM 136, con aislamiento interno de fibra cerámica.
- B. Tablero eléctrico de control:** Mediante los selectores ON/OFF se puede controlar el encendido del circuito de control y potencia. Cuenta con un pirómetro que permite el control de la temperatura.

- C. Termocupla tipo K:** Mediante el pirómetro permite el control de temperatura de la cámara interna del horno.
- D. Cámara interna:** Fabricada con material aislante tipo placa de fibra cerámica y placas refractarias ranuradas donde se introducen las resistencias.
- E. Puerta frontal de carga:** Permite el ingreso de las piezas que se van a tratar térmicamente.
- F. Área posterior de terminales de resistencias eléctricas:** Cuenta con los terminales de las resistencias, las cuales se controlan mediante el tablero de control.

### 3. Descripción del tablero de control

#### 3.1. Descripción de la parte externa del tablero de control

- A. PIRÓMETRO:** Para el control de parámetros de temperatura para el funcionamiento del horno.
- B. PARO DE EMERGENCIA:** En caso de que ocurra algún incidente o accidente, este pulsador tipo hongo permite detener todo el sistema. Debe ser desactivado una vez que haya pasado la emergencia.
- C. SELECTOR ON/OFF DE CONTROL:** Mediante este selector se puede encender el pirómetro y el circuito de control del horno.
- D. SELECTOR ON/OFF DE POTENCIA:** Funciona como un contacto abierto y permite al usuario desactivar las resistencias sin que el circuito de control se desactive.
- E. PILOTOS ON/OFF:** Permite conocer si el circuito de potencia está encendido o apagado.

#### 3.2. Descripción de la parte interna del tablero de control



- A. Breaker principal:** Energiza todo el sistema de control y potencia. Se debe activar moviendo la palanca hacia arriba.
- B. Contactador:** Permite activar el circuito de potencia del horno.
- C. Portafusibles:** Protección de sobre corriente para el circuito de control.
- D. Fusibles:** En caso de sobrecargas o sobrevoltajes la parte de control será protegida por los fusibles, permitiendo que no sufran ningún desperfecto o daño.

### **4. Pasos para iniciar el funcionamiento del horno**

#### **4.1. Abrir la puerta del horno**

- a) Girar hacia arriba la manija frontal del horno para permitir la apertura de la puerta.
- b) Deslizar la puerta hacia la derecha para acceder a la cámara.
- c) Introducir las piezas para ser tratadas térmicamente.

#### **4.2. Habilitar el sistema eléctrico del horno**

- a) Dirigirse al tablero de control y comprobar que el breaker interno se encuentre activado.
- b) Girar el selector de control en sentido horario para encender el pirómetro.
- c) Ingresar parámetros de temperatura de acuerdo con el tratamiento térmico a realizarse.
- d) Con los parámetros de temperatura seteados, se debe girar el selector de potencia en sentido horario para activar el contactor que controla las resistencias.
- e) Si el piloto de color verde se encuentra encendido, eso significa que las resistencias del horno están trabajando, adicional la temperatura de la cámara interna comenzará a subir y se refleja en el display del pirómetro.

### **5. Pasos para parar el funcionamiento del horno**

- 1. Girar el selector de potencia en sentido antihorario para desactivar las resistencias.
- 2. Esperar a que el horno se enfríe o en caso de que el tratamiento térmico requiera abrir la puerta, es necesario que la persona que realice este trabajo use la ropa adecuada para el manejo de la temperatura, con el fin de cuidar de posibles accidentes al usuario.
- 3. Abrir la puerta y retirar las piezas.
- 4. Cerrar la puerta completamente.
- 5. Girar el selector de control en sentido antihorario para desactivar el pirómetro.
- 6. El horno se encuentra apagado.

## MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL HORNO ELÉCTRICO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS

### 6. Antecedentes

Se pone a disposición el manual de mantenimiento con el fin de describir los componentes y procedimientos de cada equipo para realizar un mantenimiento oportuno y eficaz, para prevenir daños en sus componentes y evitar caer en averías no planificadas.

Para el adecuado mantenimiento del horno eléctrico para tratamientos térmicos, con la finalidad de mantenerlo en óptimas condiciones se deben seguir las instrucciones dadas en este manual, en el cual se especifica el correcto mantenimiento de cada componente, así como la estructura interna y externa del horno para evitar cualquier contratiempo o falla.

El sistema se divide en dos partes que son:

- **Horno eléctrico para tratamientos térmicos**

En este equipo se debe realizar los mantenimientos estructurales, puerta y el aislamiento para garantizar su durabilidad teniendo en cuenta el factor de temperatura de funcionamiento.

- **Sistema eléctrico y electrónico**

Se debe realizar el mantenimiento preventivo para los componentes externos e internos del tablero de control, termocupla y resistencias para garantizar su durabilidad.

### 7. Alcance

Este manual tiene como finalidad ser una guía para que el personal operativo del horno pueda realizar los procedimientos de mantenimiento de los diversos componentes para evitar un daño grave en el equipo.

### 8. Glosario

- **Manual de mantenimiento:** Procedimientos que se utilizan con el fin de llevar adelante la función de mantenimiento.
- **Acción preventiva:** Medida tomada para eliminar las causas de un defecto o cualquier situación indeseable, con el fin de evitar que se produzca.

- **Acción correctiva:** Medida adoptada con el fin de eliminar un daño o defecto, con el objetivo de prevenir su recurrencia.
- **Ciclo de vida:** Es el tiempo en el que el equipo conserva su utilidad, que comprende desde su adquisición hasta su sustitución o restauración

### **9. Descripción de actividades**

En este documento se dará a conocer cómo se debe proceder para un correcto mantenimiento y evitar paros inesperados o mantenimientos correctivos no programados, el personal que desarrolle estas actividades deberá garantizar que al finalizar el mantenimiento no se dejará residuos contaminantes de dicho proceso que puedan afectar al proceso.

Todos los procedimientos de mantenimiento deben ser realizados por personal con capacidades y conocimientos de los componentes que conforman el horno.

#### **9.1. Instrucciones de actividades antes de realizar el mantenimiento**

1. Enfriar el horno
2. Desenergizar el panel de control, antes de cualquier intervención se debe desenergizar el equipo mediante el tablero de control, apagando mediante el selector todo el sistema de control. Se debe abrir el panel de control y deshabilitar el breaker interno.

#### **9.2. Mantenimiento de las resistencias**

El mantenimiento de las resistencias debe ser realizado por personal capacitado.

1. Para el mantenimiento es necesario aflojar los pernos de la tapa posterior del horno.
2. Realizar la limpieza general interna de la cámara y del área de terminales posterior del horno para comprobar el estado de las resistencias.
3. Revisar el estado de los terminales de las resistencias, revisar que se encuentren en buen estado, que no se encuentren sulfatados o que no tengan roturas.
4. En caso de que el horno no suba la temperatura de la cámara puede ser ocasionado por rotura de alguna resistencia. En este caso se debe reemplazar la resistencia por una nueva.
5. Una vez realizada la limpieza se debe colocar la tapa posterior y ajustar los pernos.

### **9.3.Mantenimiento de la cámara interna del horno**

1. Realizar la limpieza general interna de la cámara y del área externa de acuerdo con el cronograma de mantenimiento.
2. Comprobar el estado de las placas, ladrillos refractarios y la fibra cerámica se encuentren en buen estado y exista un aislamiento adecuado de temperatura al exterior
3. En caso de que se presente roturas en las placas o ladrillos, estos deberán ser reemplazados
4. En caso de que exista exceso de temperatura en las paredes metálicas del horno, esto indica que la fibra cerámica debe ser reemplazada.

### **9.4.Mantenimiento de la estructura del horno**

Tomando en cuenta las condiciones de temperatura del equipo se debe mantener en buen estado la pintura, si existiera un deterioro se debe lijar la parte afectada, limpiar polvos, grasa u otras sustancias que dañen la estructura, una vez hecho esto se debe fondear y cubrir con una pintura para alta temperatura.

#### **1. Mantenimiento semanal**

- Limpieza exterior del área de trabajo con la finalidad de que no se peguen impurezas en el exterior del horno que puedan dañar la pintura.
- Limpieza de la cámara interna del horno.

#### **2. Mantenimiento semestral**

- Verificación del estado interno del horno, es necesario comprobar que el aislamiento interno del horno no presente desprendimientos. Asimismo, se debe comprobar que la estructura del piso y paredes del refractario y aislante no presenten daños producto de caídas o golpes de piezas en la cámara interna. En caso de existir daños en la estructura interna es necesario que se comunique con el proveedor para realizar la evaluación y si es el caso el reemplazo del aislamiento afectado.

### **9.5.Mantenimiento del tablero de control**

El tablero de control debe estar en perfecto estado al igual que todos sus componentes para

lograr que el horno funcione correctamente por lo que se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Es necesario que el tablero de control no supere temperaturas altas ya que podría provocar el mal funcionamiento de los componentes, motivo el que se recomienda poner una pantalla que permita visualizar la temperatura de salida de la cámara interna.

### **1. Mantenimiento semanal**

- Limpieza externa del área exterior del tablero de control.

### **2. Mantenimiento mensual**

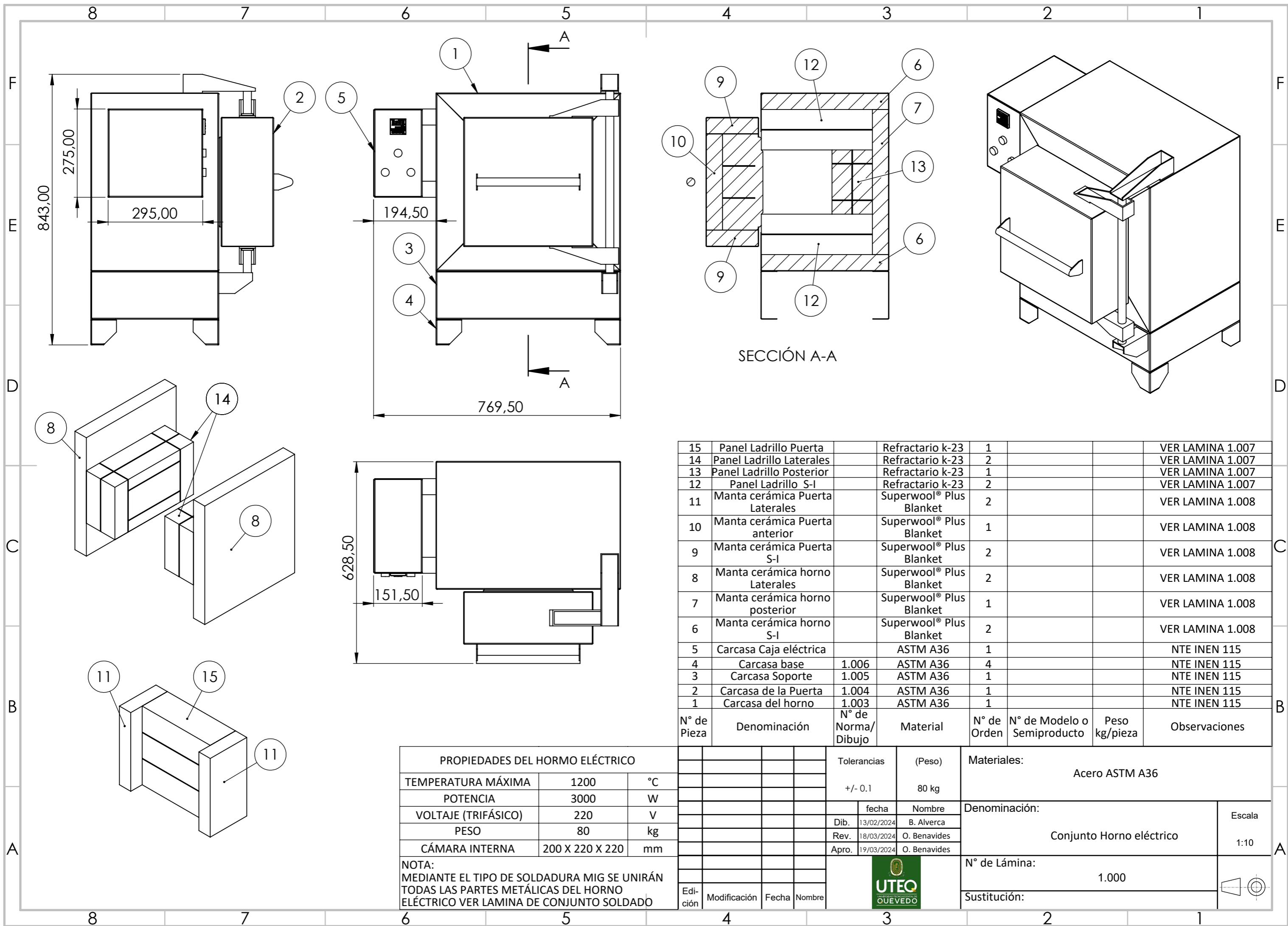
- Comprobar que los elementos del sistema funcionen correctamente.

### **3. Mantenimiento anual**

- Comprobar el estado físico de los elementos de control y potencia.

En caso de existir algún daño en los elementos se control se recomienda lo siguiente:

1. En caso de que existiera algún daño de un fusible puede ser reemplazado halando el portafusibles hacia abajo, deber ser reemplazado por uno de igual capacidad.
2. En caso de daños en el contactor que controlan las resistencias, deberá ser reemplazado.
3. El cableado debe ser reemplazado únicamente si presenta algún tipo de daño o quemadura o si se encuentran comprometidos sus terminales.
4. Se debe comprobar las borneras de control y potencia se encuentren en buen estado, no deben estar sulfatadas, caso contrario deberán ser reemplazadas.
5. En caso de sobrevoltajes o altas corrientes que comprometan la integridad de los breakers, por seguridad del resto del sistema estos deberán ser reemplazados por uno de igual o mayor capacidad de amperaje. Para esto se deberán aflojar los terminales conectados y desprender el breaker afectado sacando el seguro inferior que tiene contacto con el riel DIN. Una vez reemplazado se debe conectar los terminales tal cual se encontraban en el anterior breaker.



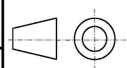
15	Panel Ladrillo Puerta		Refractario k-23	1			VER LAMINA 1.007
14	Panel Ladrillo Laterales		Refractario k-23	2			VER LAMINA 1.007
13	Panel Ladrillo Posterior		Refractario k-23	1			VER LAMINA 1.007
12	Panel Ladrillo S-I		Refractario k-23	2			VER LAMINA 1.007
11	Manta cerámica Puerta Laterales		Superwool® Plus Blanket	2			VER LAMINA 1.008
10	Manta cerámica Puerta anterior		Superwool® Plus Blanket	1			VER LAMINA 1.008
9	Manta cerámica Puerta S-I		Superwool® Plus Blanket	2			VER LAMINA 1.008
8	Manta cerámica horno Laterales		Superwool® Plus Blanket	2			VER LAMINA 1.008
7	Manta cerámica horno posterior		Superwool® Plus Blanket	1			VER LAMINA 1.008
6	Manta cerámica horno S-I		Superwool® Plus Blanket	2			VER LAMINA 1.008
5	Carcasa Caja eléctrica		ASTM A36	1			NTE INEN 115
4	Carcasa base	1.006	ASTM A36	4			NTE INEN 115
3	Carcasa Soporte	1.005	ASTM A36	1			NTE INEN 115
2	Carcasa de la Puerta	1.004	ASTM A36	1			NTE INEN 115
1	Carcasa del horno	1.003	ASTM A36	1			NTE INEN 115
N° de Pieza	Denominación	N° de Norma/ Dibujo	Material	N° de Orden	N° de Modelo o Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

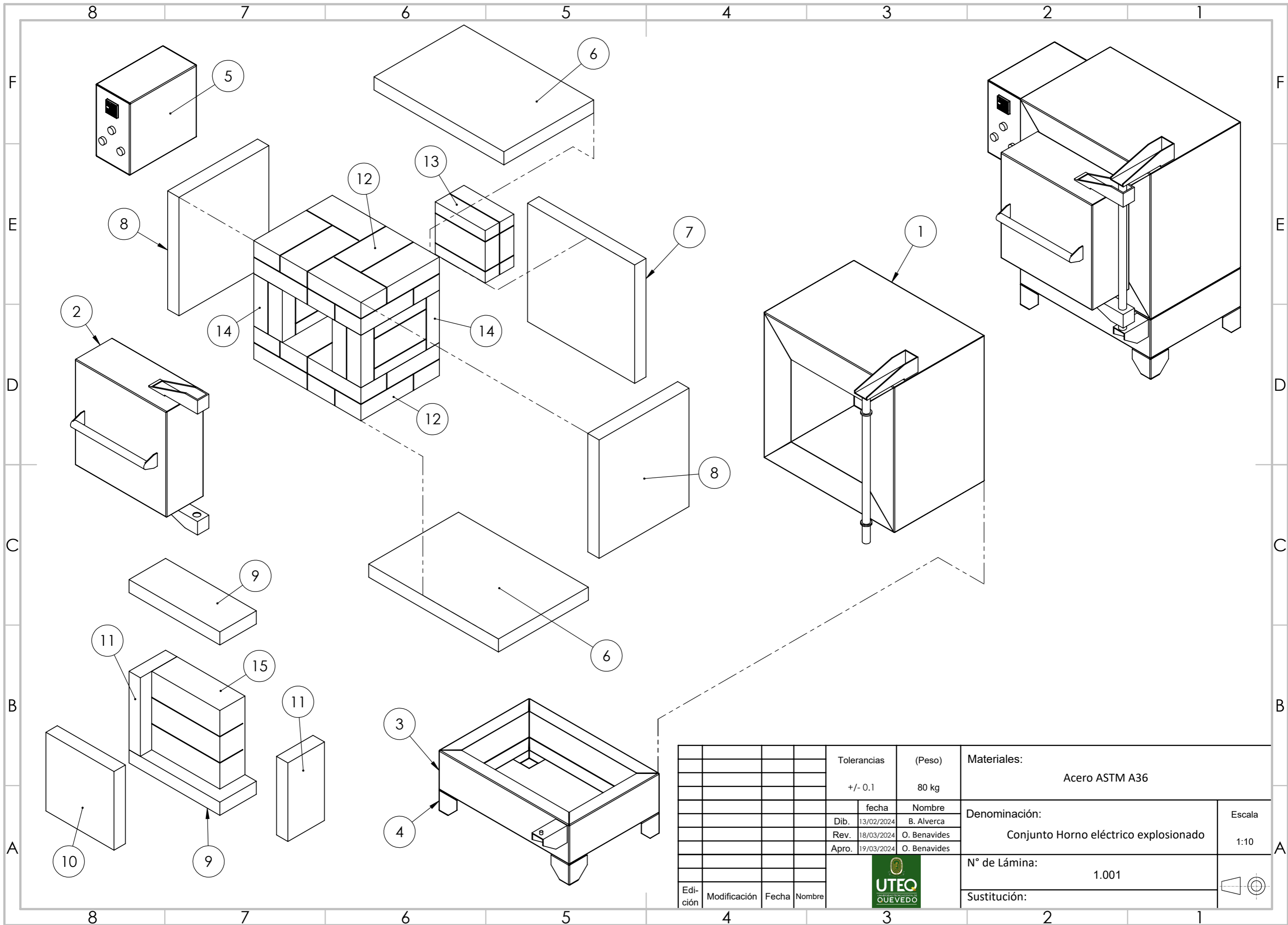
PROPIEDADES DEL HORNO ELÉCTRICO		
TEMPERATURA MÁXIMA	1200	°C
POTENCIA	3000	W
VOLTAJE (TRIFÁSICO)	220	V
PESO	80	kg
CÁMARA INTERNA	200 X 220 X 220	mm


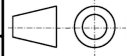
Tolerancias		(Peso)	Materiales:	
+/- 0.1		80 kg	Acero ASTM A36	
fecha		Nombre	Denominación:	
Dib.	13/02/2024	B. Alverca		
Rev.	18/03/2024	O. Benavides		
Apro.		O. Benavides	Conjunto Horno eléctrico	
Escala		N° de Lámina:		Escala
1:10		1.000		
Sustitución:				

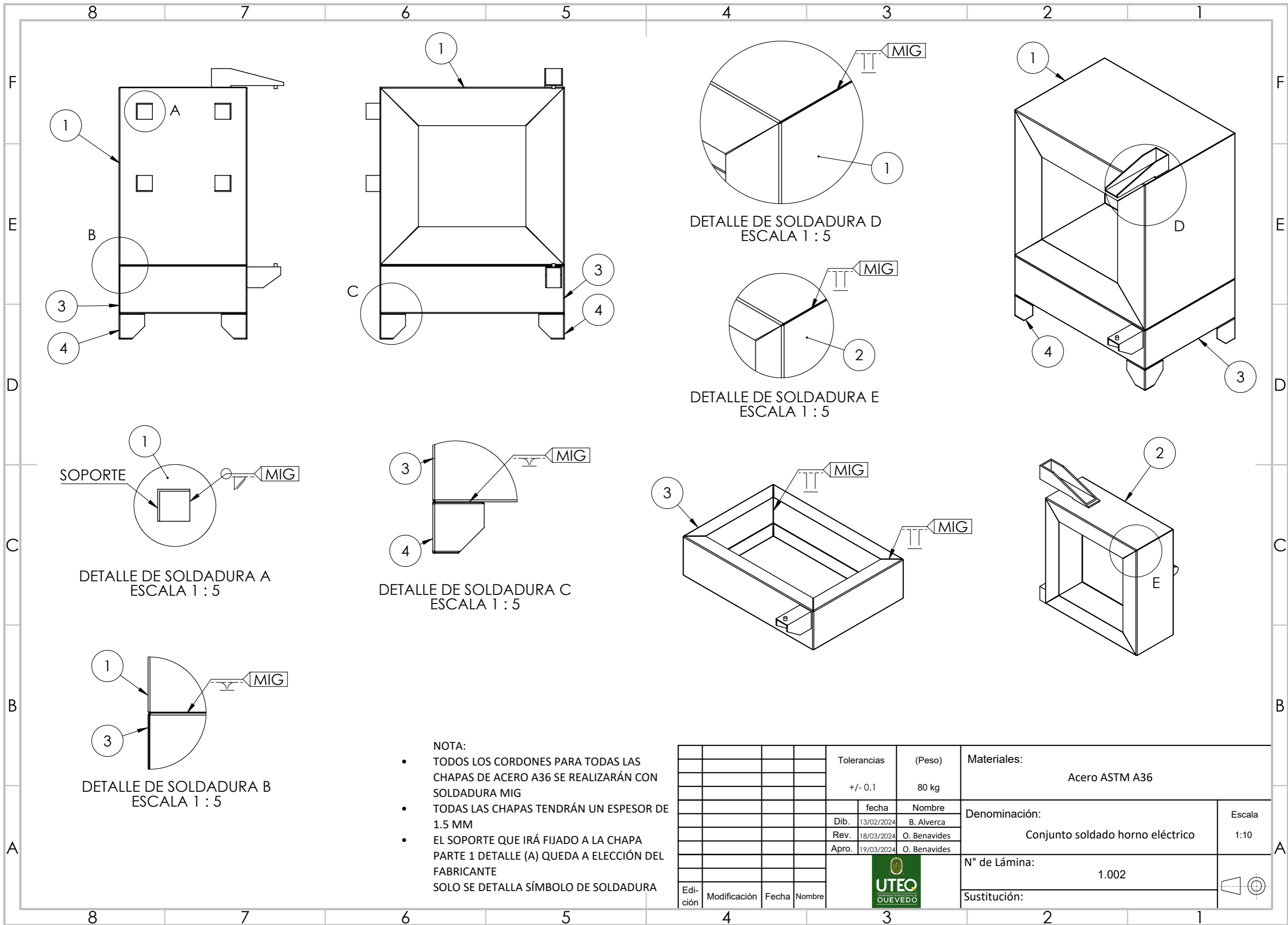
NOTA:  
 MEDIANTE EL TIPO DE SOLDADURA MIG SE UNIRÁN  
 TODAS LAS PARTES METÁLICAS DEL HORNO  
 ELÉCTRICO VER LAMINA DE CONJUNTO SOLDADO

Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre





				Tolerancias	(Peso)	Materiales:	
				+/- 0.1	80 kg	Acero ASTM A36	
					fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	13/02/2024	B. Alverca	
				Rev.	18/03/2024	O. Benavides	
				Apro.	19/03/2024	O. Benavides	Conjunto Horno eléctrico explosionado
							N° de Lámina:
							1.001
							Sustitución:
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Escala 1:10 	



DETALLE DE SOLDADURA D  
ESCALA 1 : 5

DETALLE DE SOLDADURA E  
ESCALA 1 : 5

DETALLE DE SOLDADURA A  
ESCALA 1 : 5

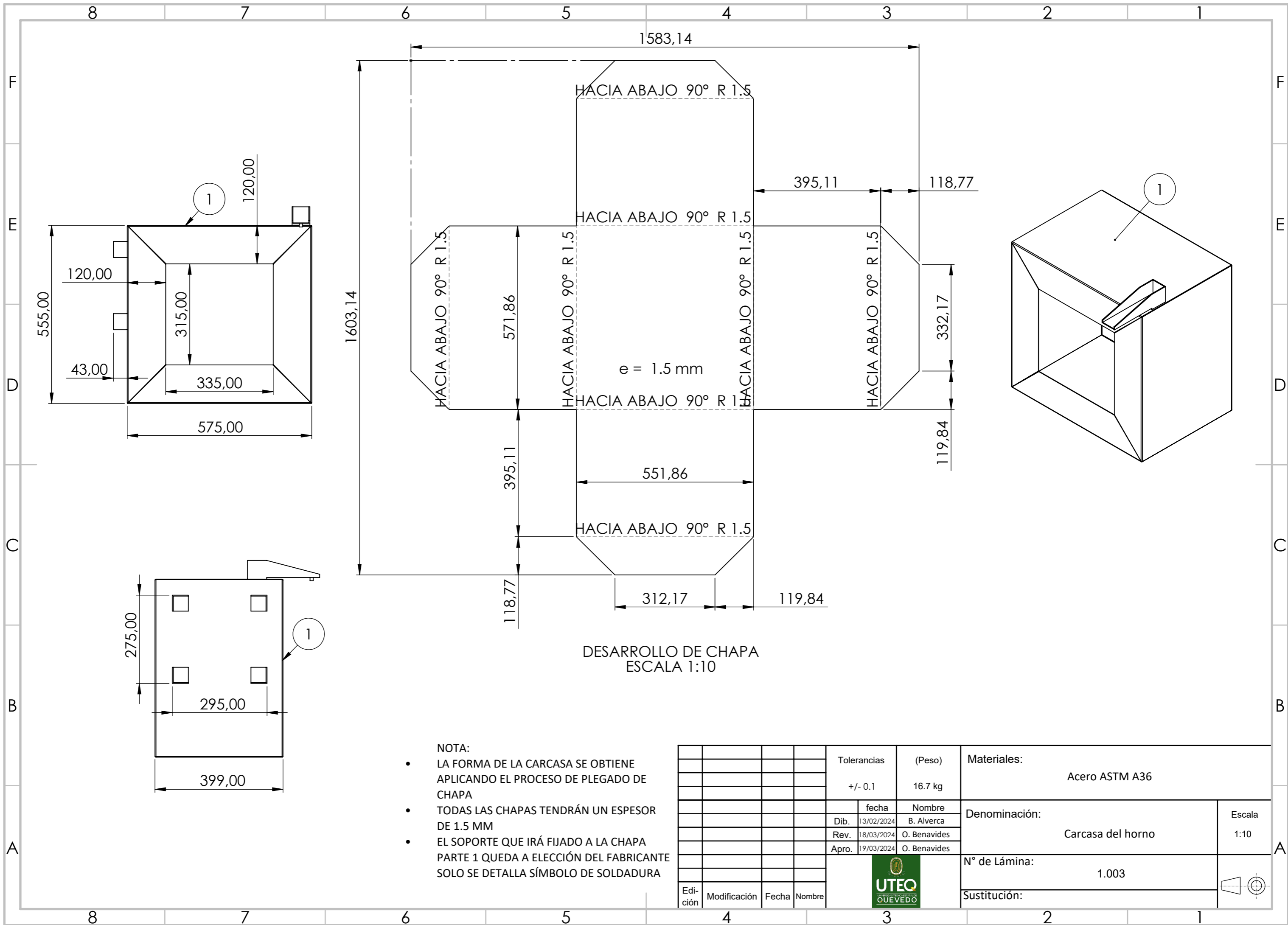
DETALLE DE SOLDADURA B  
ESCALA 1 : 5

DETALLE DE SOLDADURA C  
ESCALA 1 : 5

- NOTA:
- TODOS LOS CORDONES PARA TODAS LAS CHAPAS DE ACERO A36 SE REALIZARÁN CON SOLDADURA MIG
  - TODAS LAS CHAPAS TENDRÁN UN ESPESOR DE 1.5 MM
  - EL SOPORTE QUE IRÁ FIJADO A LA CHAPA PARTE 1 DETALLE (A) QUEDA A ELECCIÓN DEL FABRICANTE SOLO SE DETALLA SÍMBOLO DE SOLDADURA

				Tolerancias	(Peso)	Materiales:			
				+/- 0.1	80 kg	Acero ASTM A36			
				fecha	Nombre	Denominación:	Escala		
			Dib.	13/02/2024	B. Alverca			Conjunto soldado horno eléctrico	1:10
			Rev.	18/03/2024	O. Benavides				
				Apro.	19/03/2024	O. Benavides	N° de Lámina:		
							1.002		
							Sustitución:		



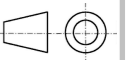


DESARROLLO DE CHAPA  
ESCALA 1:10

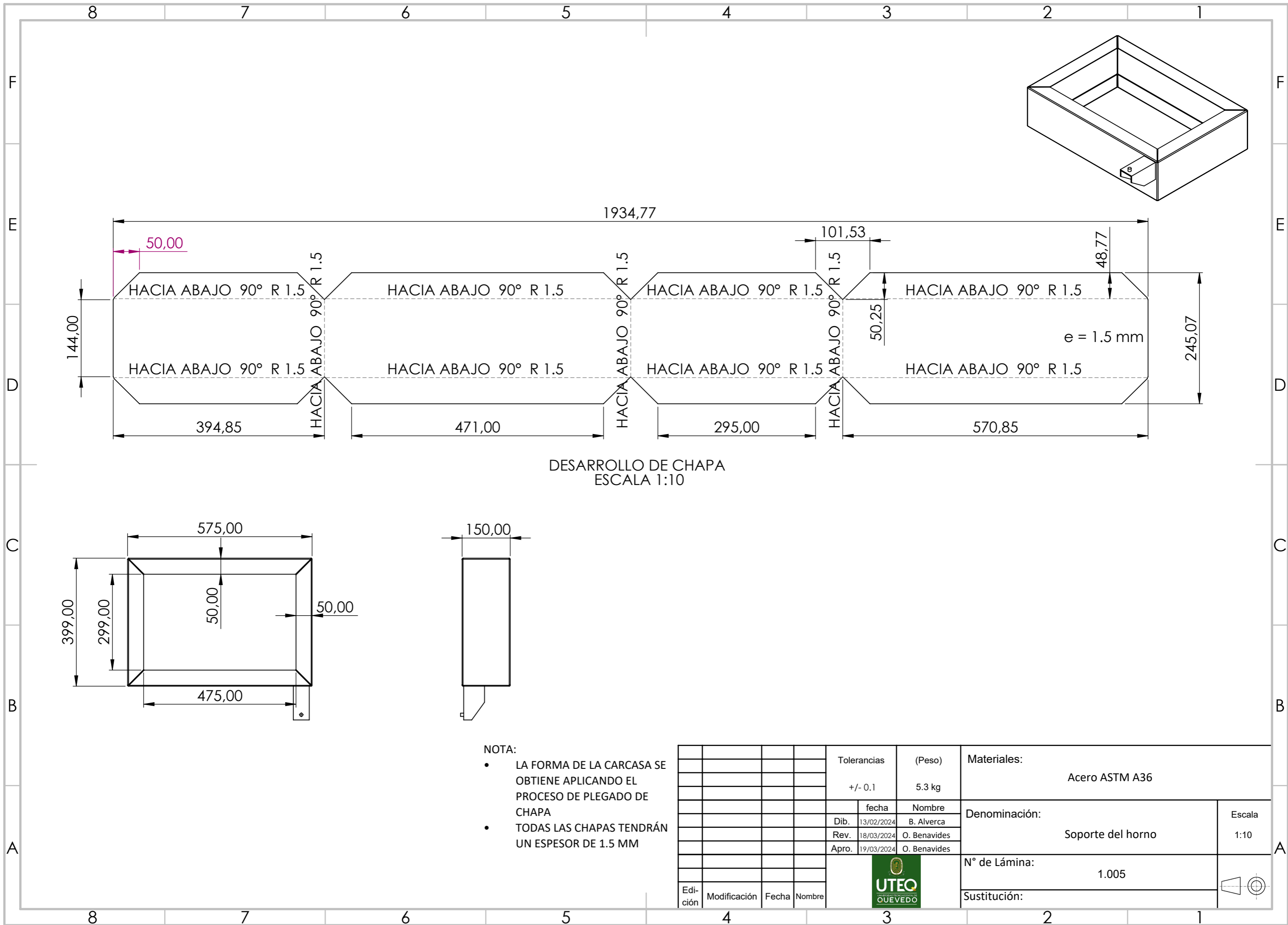
NOTA:

- LA FORMA DE LA CARCASA SE OBTIENE APLICANDO EL PROCESO DE PLEGADO DE CHAPA
- TODAS LAS CHAPAS TENDRÁN UN ESPESOR DE 1.5 MM
- EL SOPORTE QUE IRÁ FIJADO A LA CHAPA PARTE 1 QUEDA A ELECCIÓN DEL FABRICANTE SOLO SE DETALLA SÍMBOLO DE SOLDADURA

				Tolerancias	(Peso)	Materiales:			
				+/- 0.1	16.7 kg	Acero ASTM A36			
				fecha	Nombre	Denominación:	Escala		
			Dib.	13/02/2024	B. Alverca			Carcasa del horno	1:10
			Rev.	18/03/2024	O. Benavides				
				Apro.	19/03/2024	O. Benavides			
						N° de Lámina:			
						1.003			
						Sustitución:			


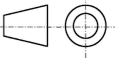


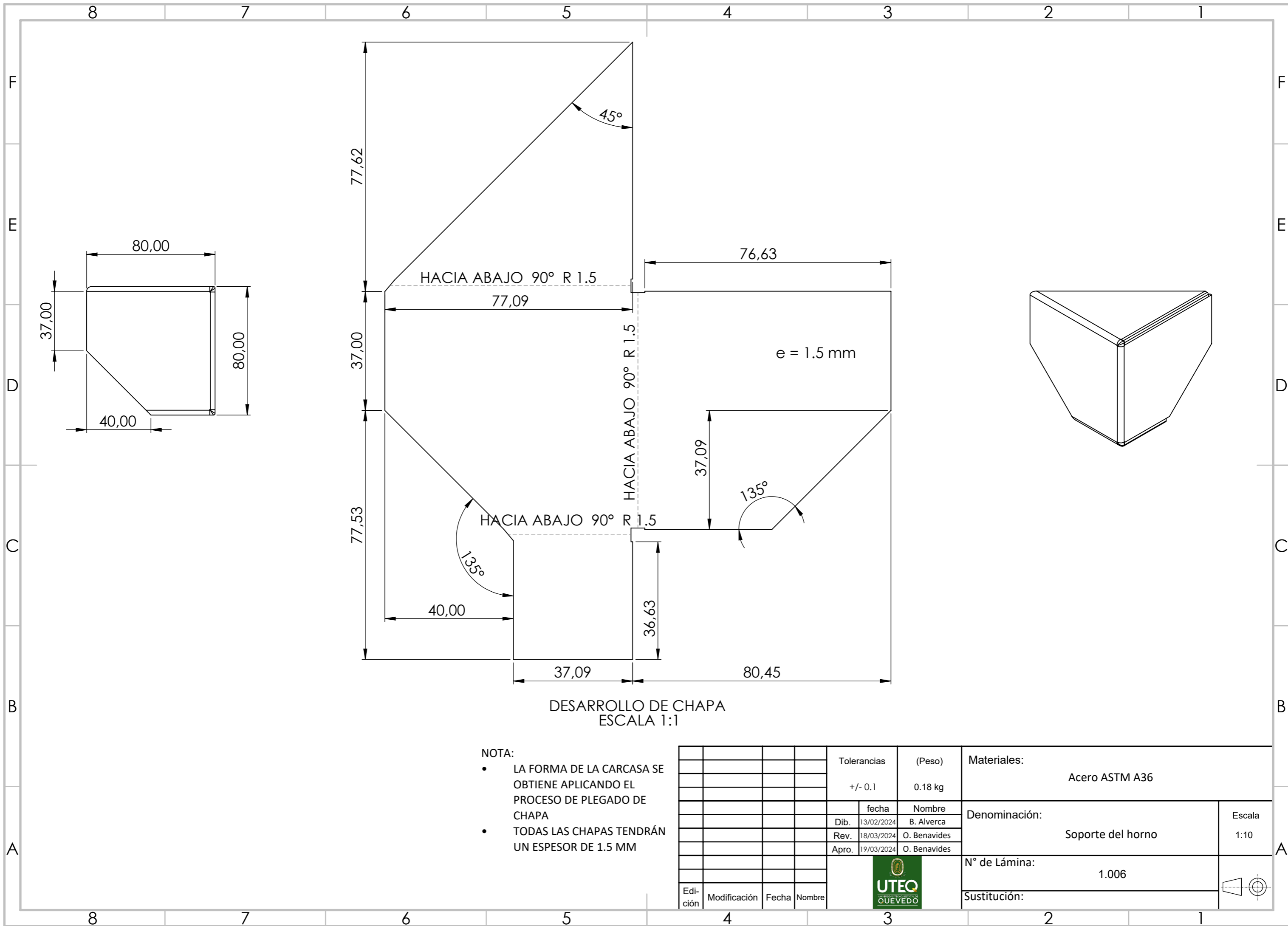




DESARROLLO DE CHAPA  
ESCALA 1:10

- NOTA:
- LA FORMA DE LA CARCASA SE OBTIENE APLICANDO EL PROCESO DE PLEGADO DE CHAPA
  - TODAS LAS CHAPAS TENDRÁN UN ESPESOR DE 1.5 MM

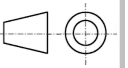
				Tolerancias	(Peso)	Materiales:			
				+/- 0.1	5.3 kg	Acero ASTM A36			
				fecha	Nombre	Denominación:	Escala		
			Dib.	13/02/2024	B. Alverca			Soporte del horno	1:10
			Rev.	18/03/2024	O. Benavides				
				Apro.	19/03/2024	O. Benavides	N° de Lámina:		
							1.005		
						Sustitución:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

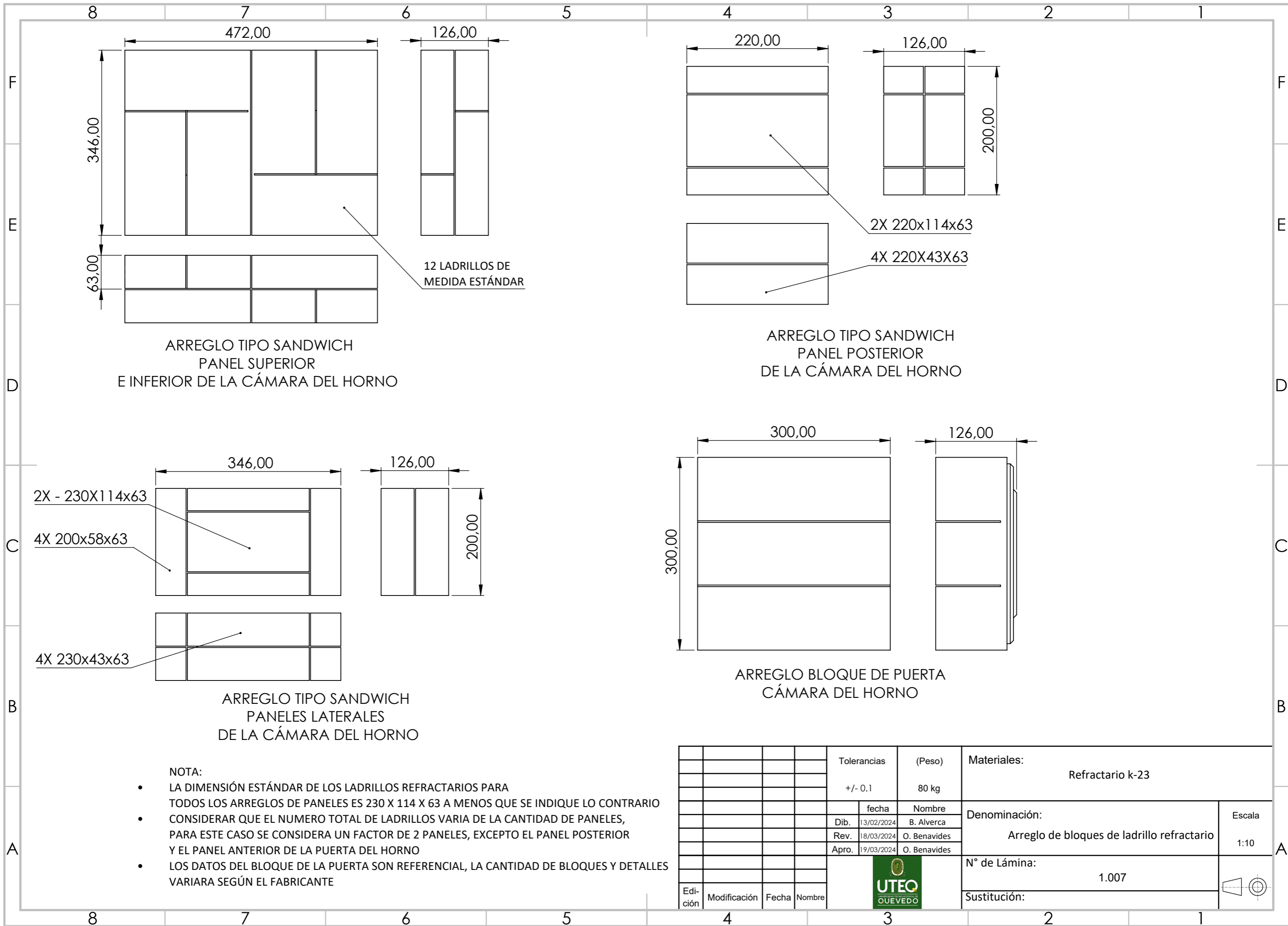


DESARROLLO DE CHAPA  
ESCALA 1:1

- NOTA:
- LA FORMA DE LA CARCASA SE OBTIENE APLICANDO EL PROCESO DE PLEGADO DE CHAPA
  - TODAS LAS CHAPAS TENDRÁN UN ESPESOR DE 1.5 MM

				Tolerancias	(Peso)	Materiales:			
				+/- 0.1	0.18 kg	Acero ASTM A36			
				fecha	Nombre	Denominación:	Escala		
			Dib.	13/02/2024	B. Alverca			Soporte del horno	1:10
			Rev.	18/03/2024	O. Benavides				
				Apro.	19/03/2024	O. Benavides			
						N° de Lámina:			
						1.006			
						Sustitución:			





ARREGLO TIPO SANDWICH  
PANEL SUPERIOR  
E INFERIOR DE LA CÁMARA DEL HORNO

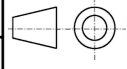
ARREGLO TIPO SANDWICH  
PANEL POSTERIOR  
DE LA CÁMARA DEL HORNO

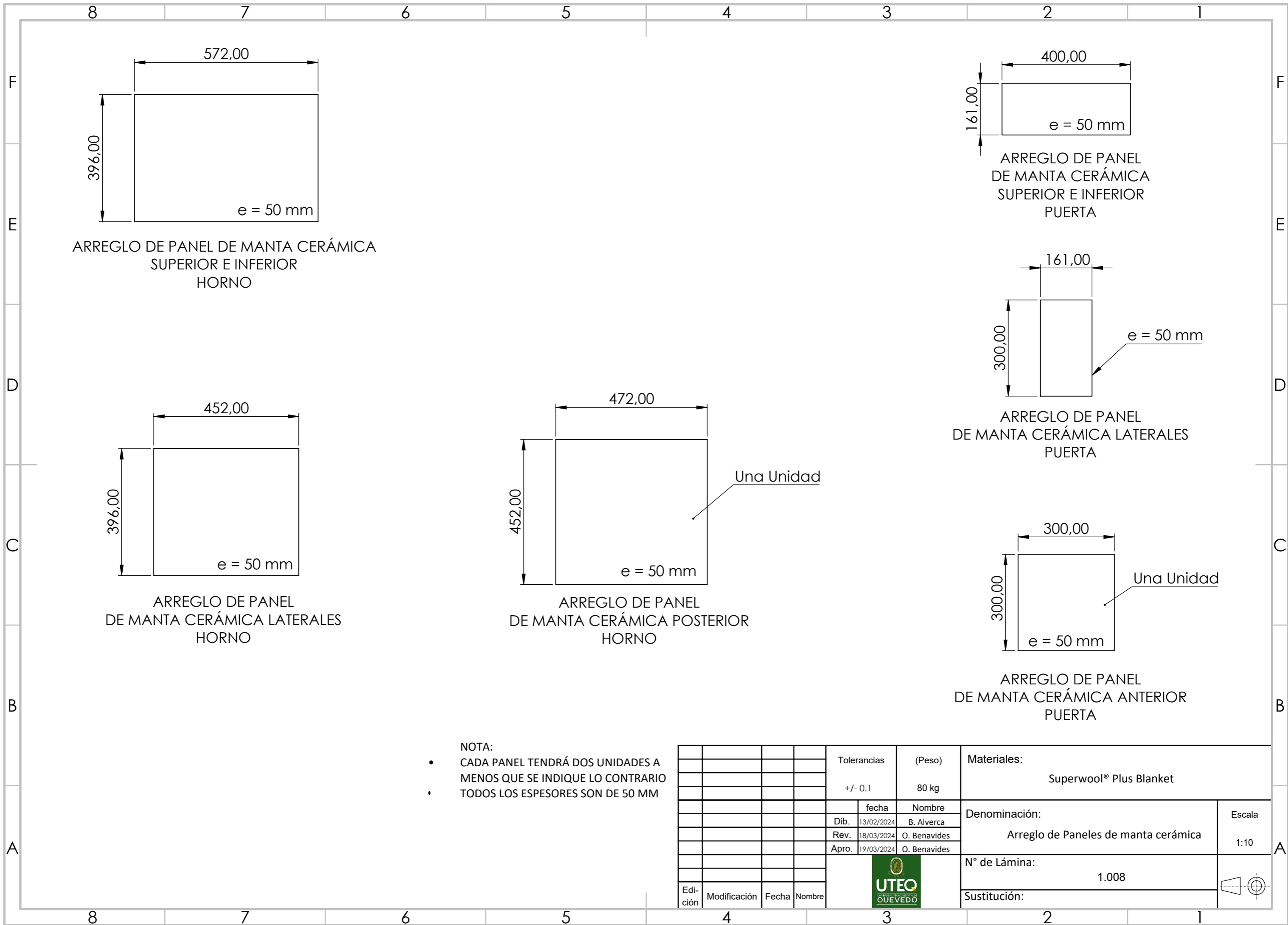
ARREGLO TIPO SANDWICH  
PANELES LATERALES  
DE LA CÁMARA DEL HORNO

ARREGLO BLOQUE DE PUERTA  
CÁMARA DEL HORNO

- NOTA:
- LA DIMENSIÓN ESTÁNDAR DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS PARA TODOS LOS ARREGLOS DE PANELES ES 230 X 114 X 63 A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO
  - CONSIDERAR QUE EL NUMERO TOTAL DE LADRILLOS VARIA DE LA CANTIDAD DE PANELES, PARA ESTE CASO SE CONSIDERA UN FACTOR DE 2 PANELES, EXCEPTO EL PANEL POSTERIOR Y EL PANEL ANTERIOR DE LA PUERTA DEL HORNO
  - LOS DATOS DEL BLOQUE DE LA PUERTA SON REFERENCIAL, LA CANTIDAD DE BLOQUES Y DETALLES VARIARA SEGÚN EL FABRICANTE

				Tolerancias	(Peso)	Materiales:			
				+/- 0.1	80 kg	Refractario k-23			
				fecha	Nombre	Denominación:	Escala		
			Dib.	13/02/2024	B. Alverca			Arreglo de bloques de ladrillo refractario	1:10
			Rev.	18/03/2024	O. Benavides				
				Apro.	19/03/2024	O. Benavides			
						N° de Lámina:			
						1.007			
						Sustitución:			





ARREGLO DE PANEL DE MANTA CERÁMICA SUPERIOR E INFERIOR HORNO

ARREGLO DE PANEL DE MANTA CERÁMICA SUPERIOR E INFERIOR PUERTA

ARREGLO DE PANEL DE MANTA CERÁMICA LATERALES HORNO

ARREGLO DE PANEL DE MANTA CERÁMICA LATERALES PUERTA

ARREGLO DE PANEL DE MANTA CERÁMICA POSTERIOR HORNO

ARREGLO DE PANEL DE MANTA CERÁMICA ANTERIOR PUERTA

- NOTA:
- CADA PANEL TENDRÁ DOS UNIDADES A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO
  - TODOS LOS ESPESORES SON DE 50 MM

				Tolerancias	(Peso)	Materiales:			
				+/- 0.1	80 kg	Superwool® Plus Blanket			
				fecha	Nombre	Denominación:	Escala		
				Dib. 13/02/2024	B. Alverca			Arreglo de Paneles de manta cerámica	1:10
				Rev. 18/03/2024	O. Benavides				
				Apro. 19/03/2024	O. Benavides	N° de Lámina:			
						1.008			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:			