



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA
REALIZAR TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE
TENSIÓN A LA SECCIÓN ROSCADA DE TUBOS GRADO L80 DE
3½ PULGADAS DE DIÁMETRO EN LA EMPRESA SERTECPET”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

PARRA BRONCANO CRISTIAN ARIEL

ZÚÑIGA MACANILLA RUSSY MICHELLE

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA
REALIZAR TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE
TENSIÓN A LA SECCIÓN ROSCADA DE TUBOS GRADO L80 DE
3½ PULGADAS DE DIÁMETRO EN LA EMPRESA SERTECPET”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: PARRA BRONCANO CRISTIAN ARIEL

ZÚÑIGA MACANILLA RUSSY MICHELLE

DIRECTOR: ING. FAUSTO ULPIANO CAICEDO BENAVIDES

Riobamba – Ecuador

2024

©2024, Cristian Ariel Parra Broncano & Russy Michelle Zúñiga Macanilla

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

Nosotros, Cristian Ariel Parra Broncano y Russy Michelle Zúñiga Macanilla, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de estos son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 23 de mayo 2024

	
Cristian Ariel Parra Broncano	Russy Michelle Zúñiga Macanilla
CI:0605392307	CI: 2200136469

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo Proyecto Técnico, **CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA REALIZAR TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSION A LA SECCIÓN ROSCADA DE TUBOS GRADO L80 DE 3½ PULGADAS DE DIÁMETRO EN LA EMPRESA SERTECPET**, realizado por: **CRISTIAN ARIEL PARRA BRONCANO Y RUSSY MICHELLE ZÚÑIGA MACANILLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en la virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-23
Ing. Fausto Ulpiano Caicedo Benavides DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-23
Ing. Jácome Domínguez Edwin Ángel ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-23

DEDICATORIAS

El presente trabajo es dedicado a Dios por acompañarme en toda mi vida universitaria, brindándome de su sabiduría amor y protección. A mi papá Gabriel que con mucho esfuerzo, apoyo y amor me deja esta gran herencia que son mis estudios. A mi mamá Lidia que nunca permitió que me dé por vencido, regalándome su ejemplo de lucha y amor hacia sus seres queridos. A mi hermano Ángel que con su ejemplo de perseverancia y sus consejos fortalecieron mi vida. A mi hermano Cristofer quien siempre ha estado preocupado por mí y me ha brindado de su amor. A Mishell que estuvo en los malos y buenos momentos, brindándome su amor, su guía y apoyo incondicional. A mi familia espiritual, que supieron guiarme con sus consejos y sus oraciones siempre.

Cristian

Dedico este trabajo con eterno agradecimiento al Señor, mi salvador, quien por su infinita misericordia me ha permitido tener una familia que me ha apoyado en este camino de obtener un título profesional. Familia a la cual amo de manera inmensa por ser mi más grande regalo. A mi madre Fanny, mi papá Antonio y mis hermanos Paúl, Bryan, Israel, Alejandro y Arelys. Gracias por ser quienes me sostenían en todo tiempo, en los buenos y malos ustedes han sido todo.

Russy

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a Dios porque sin su ayuda se hubiese hecho esto posible. A mis padres que con mucho esfuerzo han priorizado siempre a sus hijos antes que a ellos. Luego agradezco a mi director el Ing. Fausto Caicedo que supo guiarme para cumplir correctamente este proyecto, quiero también agradecer a mi querida ESPOCH en especial a la carrera de Mantenimiento Industrial en donde compartí muchas experiencias, a todos los ingenieros que supieron formarme profesionalmente, y por último, un agradecimiento muy grande aquellas personas que conocí en la realización de este proyecto Jamil, Ronald y Benjamín, que sin su apoyo incondicional no se hubiese hecho material lo que estaba solo en escritos.

Cristian

Al término de esta etapa maravillosa de mi vida quiero extender un enorme y profundo agradecimiento a nuestro Señor, quien fue mi dador de vida, quien me permitió necesidad para ser agradecida y abundancia para ver su misericordia. Gracias a quienes hicieron posible esta meta, a todos aquellos seres que estuvieron junto a mí en todo el camino y que, a más de ser mi soporte, fueron mi más grande inspiración y fortaleza. Mi eterno amor y mención para mis padres Fanny y Antonio que cada día dieron hasta lo que no tenían para regalarme la herencia de la educación y profesión, mis hermanos que me exigían valentía, mis preciosos abuelitos que son mi ejemplo de bondad y perseverancia, y a mi mejor amiga Daisy que me supo acompañar en los días difíciles de enfermedad y los días alegres durante la vida estudiantil. Gracias a mi dupla y soporte, Cristian Parra, no pude tener mejor compañero que aquel que se esforzó el doble por nuestro sueño.

Russy

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Justificación.....	4
1.4.	Objetivos.....	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	6
2.1.	Bases teóricas	6
2.1.1.	<i>Tubería de producción en los pozos petroleros según API 5CT</i>	6
2.1.2.	<i>Código de colores para grados API 5CT</i>	6
2.1.2.1.	<i>Tipos de conexiones</i>	8
2.1.2.2.	<i>Conexiones TenarisHydril</i>	8
2.1.2.3.	<i>Conexiones API</i>	9
2.1.3.	<i>Fuerzas residuales en materiales sometidos a tensiones</i>	10
2.1.4.	<i>Tratamientos térmicos</i>	10
2.1.4.1.	<i>Tipos de tratamientos térmicos</i>	11
2.1.5.	<i>Proceso de alivio de tensiones</i>	12
2.1.5.1.	<i>Equipo de alivio de tensiones</i>	13
2.1.5.2.	<i>Control de variables de proceso</i>	13
2.1.5.3.	<i>Procedimiento para el cálculo del rango de temperatura de alivio de tensión o necesidad de calificación</i>	15

2.1.6.	<i>Materiales refractarios</i>	15
2.1.7.	<i>Aislantes térmicos</i>	16
2.1.8.	<i>Controladores de temperatura</i>	18
2.1.8.1.	<i>Tipos de controladores de temperatura</i>	20
2.1.9.	<i>Resistencias eléctricas (calentadores)</i>	20
2.1.9.1.	<i>Procedimiento para el cálculo de la potencia de las resistencias</i>	20
2.1.9.2.	<i>Tipos de controladores de resistencias eléctricas</i>	21
2.1.10.	<i>Relés de estado sólido</i>	21
2.1.10.1.	<i>Principio de funcionamiento del relé de estado sólido</i>	22
2.1.11.	<i>Termocuplas</i>	24
2.1.12.	<i>Pérdidas de calor</i>	24
2.1.12.1.	<i>Cargas térmicas</i>	24
2.1.12.2.	<i>Resistencia térmica por convección natural</i>	25
2.1.12.3.	<i>Resistencia térmica en paredes planas</i>	31

CAPÍTULO III

3.	CONSTRUCCIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO PARA REALIZAR TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSIÓN	37
3.1.	Requerimientos necesarios para la construcción del horno eléctrico	37
3.1.1.	<i>Facilidad de mantenimiento</i>	37
3.1.2.	<i>Capacidad</i>	38
3.1.3.	<i>Ergonomía</i>	39
3.1.4.	<i>Cálculo del rango de temperatura de alivio de tensión</i>	39
3.1.5.	<i>Determinación de la variable tiempo de exposición de los tubos en la cámara de calor</i> 40	
3.2.	Estudio térmico del horno	40
3.2.1.	<i>Cálculo de cargas térmicas</i>	40
3.2.1.1.	<i>Carga térmica de la tubería que ingresa a reparación</i>	40
3.2.1.2.	<i>Carga térmica del aire</i>	42
3.2.1.3.	<i>Cargas térmicas por pérdidas en las paredes</i>	43
3.2.1.3.1.	<i>Resistencia térmica por convección natural del aire</i>	45
3.2.1.3.2.	<i>Resistencia térmica en las paredes laterales</i>	49
3.2.1.3.3.	<i>Resistencia térmica en las paredes superior e inferior</i>	51
3.2.1.3.4	<i>Resistencia térmica en la pared posterior</i>	54
3.2.1.3.5	<i>Resistencia térmica en la puerta</i>	56
3.2.1.4.	<i>Carga térmica por infiltración del aire</i>	58

3.2.1.5.	<i>Carga térmica total</i>	59
3.3.	Diseño eléctrico del horno	60
3.3.1.	<i>Disposición y selección de los calentadores eléctricos</i>	60
3.3.2.	<i>Potencia del horno</i>	64
3.3.3.	<i>Sistema de control del horno</i>	61
3.3.4.	<i>Elementos principales para el sistema eléctrico</i>	62
3.3.4.1.	<i>Controlador de temperatura Honeywell DC1010</i>	62
3.3.4.2.	<i>Relé de estado sólido (SSR)</i>	63
3.3.4.3.	<i>Termocupla tipo K</i>	63
3.3.5.	<i>Circuito eléctrico del horno</i>	64
3.4.	Diseño estructural y modelado 3D	66
3.4.1.	<i>Diseño de la estructura</i>	66
3.4.2.	<i>Diseño de la cámara de calor</i>	68
3.4.3.	<i>Modelado del ensamble del horno</i>	69
3.4.4.	<i>Simulaciones</i>	70
3.4.4.1.	<i>Simulación estática de la estructura</i>	70
3.4.4.2.	<i>Simulación térmica de la cámara de calor</i>	73
3.5.	Construcción del horno	74
3.5.1.	<i>Estructura</i>	74
3.5.1.1.	<i>Bases metálicas</i>	74
3.5.1.2.	<i>Cajas para las cámaras de calor y puertas</i>	75
3.5.1.3.	<i>Parantes y bisagras</i>	78
3.5.1.4.	<i>Proceso de pintura</i>	80
3.5.2.	<i>Sistema refractario</i>	81
3.5.2.1.	<i>Cámaras de calor</i>	81
3.5.2.2.	<i>Puertas del horno</i>	84
3.5.2.3.	<i>Placas porta resistencias</i>	85
3.5.3.	<i>Sistema eléctrico</i>	85
3.5.3.1.	<i>Tablero de control</i>	85
3.5.3.2.	<i>Tablero de potencia</i>	87
3.5.4.	<i>Montaje y conexiones eléctricas</i>	88
3.6.	Manual de usuario	91
3.6.1.	<i>Seguridad</i>	91
3.6.2.	<i>Componentes y códigos</i>	93
3.6.3.	<i>Ficha técnica</i>	94
3.6.4.	<i>Instalación</i>	95
3.6.4.1.	<i>Instalación eléctrica</i>	95

3.6.4.2.	<i>Ubicación y manipulación</i>	96
3.6.5.	<i>Instrucciones de uso</i>	97
3.6.5.1.	<i>Manejo del controlador</i>	97
3.6.5.2.	<i>Programación del controlador para un control ON/OFF</i>	99
3.6.6.	<i>Mantenimiento</i>	100
3.6.6.1.	<i>Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)</i>	100

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E ITERPRETACIÓN DE RESULTADOS	103
4.1.	Resultados de la construcción del horno (diseño vs real)	103
4.2.	Prueba de funcionamiento	106
4.3.	Curación del horno	108
4.4.	Análisis de la temperatura de las cámaras de calor	109
4.5.	Análisis del aislamiento térmico del horno	111
4.5.1.	<i>Termografía en las paredes laterales</i>	112
4.5.2.	<i>Termografía en la pared posterior</i>	113
4.5.2.1.	<i>Paredes posteriores con las tapas puestas</i>	113
4.5.2.2.	<i>Paredes posteriores sin las tapas puestas</i>	115
4.5.3.	<i>Termografía en la pared superior</i>	118
4.5.4.	<i>Termografía en la pared frontal</i>	119
4.5.5.	<i>Termografía en los tableros eléctricos</i>	120
4.5.5.1.	<i>Tablero de potencia con el ventilador apagado</i>	120
4.5.5.2.	<i>Tablero de potencia con el ventilador encendido</i>	121
4.5.5.3.	<i>Tablero de control</i>	122
4.6.	Pruebas con las probetas	122

CAPÍTULO IV

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
5.1.	Conclusiones	124
5.2.	Recomendaciones	125

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Código de colores	7
Tabla 2-2: Tipos de conexiones	8
Tabla 2-3: Relación de grados para tubería.....	10
Tabla 3-1: Cargas térmicas presentes en la cámara de calor del horno.....	59
Tabla 3-2: Riesgos y acciones de seguridad	92
Tabla 3-3: Componentes del horno.....	93
Tabla 3-4: Ficha técnica de horno.....	94
Tabla 3-5: Pantallas, LEDs y teclas	98
Tabla 3-6: Análisis del modo y efecto de fallas del horno.....	101
Tabla 4-1: Corrientes de las cámaras de calor	108
Tabla 4-2: Datos obtenidos en las pruebas con las probetas.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Pirómetro laser	14
Ilustración 2-2: Radio y distancia final del tubo recomendadas con respecto a las resistencias.	14
Ilustración 2-3: Lazo de control cerrado.	19
Ilustración 2-4: Circuito interno de relé de estado sólido.....	22
Ilustración 2-5: Representación de convección forzada y natural.....	26
Ilustración 2-6: Representación de β para diferentes sustancias.	28
Ilustración 2-7: Representación del número de Grashof	29
Ilustración 2-8: Regímenes de transferencia	30
Ilustración 2-9: Correlaciones Empíricas	31
Ilustración 2-10: Transferencia de calor a través de una pared	32
Ilustración 2-11: Condiciones Estacionarias	33
Ilustración 2-12: Esquema de resistencia	34
Ilustración 2-13: Red de resistencia térmica para transferencia de calor	36
Ilustración 3-1: Medidas de la cámara de calor.....	38
Ilustración 3-2: Cámara de calor del horno eléctrico	44
Ilustración 3-3: Cámaras montadas en la estructura metálica	44
Ilustración 3-4: Resistencia térmica en las paredes laterales.....	49
Ilustración 3-5: Resistencias eléctricas (calentadores) de la empresa	60
Ilustración 3-6: Conexión de resistencias eléctricas en paralelo	61
Ilustración 3-7: Diagrama P&ID del funcionamiento del horno	62
Ilustración 3-8: Controlador Honeywell DC1010	63
Ilustración 3-9: Clasificación de termocuplas	64
Ilustración 3-10: Circuito de control y de potencia del horno.....	65
Ilustración 3-11: Estructura base para las cámaras de calor.....	67
Ilustración 3-12: Base de la estructura	67
Ilustración 3-13: Parante con regulación manual (Tuerca, Tubo guía base)	68
Ilustración 3-14: Parante con regulación manual (Eje, Manivela)	68
Ilustración 3-15: Ensamble de la estructura del horno.	68
Ilustración 3-16: Ensamble de la cámara de calor.....	69
Ilustración 3-17: Vistas del horno en modelado 3D.....	70
Ilustración 3-18: Peso de cada cámara de calor.....	71
Ilustración 3-19: Análisis de la deformación unitaria de la estructura del horno.....	71
Ilustración 3-20: Análisis de la tensión axial y de flexión en el límite superior del horno	72

Ilustración 3-21: Factor de seguridad para la estructura del horno	72
Ilustración 3-22: Simulación térmica de la cámara de calor del horno	73
Ilustración 3-23: Estructura de las cámaras antes del proceso de pintura	75
Ilustración 3-24: Base del horno antes del proceso de pintura	75
Ilustración 3-25: Distribución de los cortes en la plancha de acero inoxidable	76
Ilustración 3-26: Realización de cortes de las placas	76
Ilustración 3-27: Construcción de las cajas de las cámaras de calor	77
Ilustración 3-28: Perspectiva del montaje de las cámaras en la estructura.....	77
Ilustración 3-29: Construcción de las tapas para el horno.....	77
Ilustración 3-30: Proceso de torneado de las piezas para los parantes y bisagras	78
Ilustración 3-31: Parantes y bisagras del horno luego del mecanizado.....	78
Ilustración 3-32: Colocación de los parantes en la base de la estructura	79
Ilustración 3-33: Ensamble de la estructura del horno	79
Ilustración 3-34: Presentación general de la estructura del horno.....	80
Ilustración 3-35: Granallado y aplicación de pintura base a la estructura del horno.....	80
Ilustración 3-36: Aplicación de la pintura final a la estructura	81
Ilustración 3-37: Fosfatizado de las piezas de los parantes.....	81
Ilustración 3-38: Señalado y corte de los ladrillos refractarios	82
Ilustración 3-39: Colocación de la fibra y construcción de las paredes.....	82
Ilustración 3-40: Preparación del concreto y fundición de las paredes de la cámara de calor ..	83
Ilustración 3-41: Cámara de calor sin las placas porta resistencias.....	83
Ilustración 3-42: Corte y armado de las puertas de las cámaras de calor.....	84
Ilustración 3-43: Puerta de la cámara de calor sin la placa de concreto.....	84
Ilustración 3-44: Placas porta resistencias.....	85
Ilustración 3-45: Corte y montaje de la plantilla en el tablero de control	86
Ilustración 3-46: Montaje de los elementos y el cableado en el tablero de control.....	86
Ilustración 3-47: Construcción del tablero de potencia.....	87
Ilustración 3-48: Montaje de las cámaras de calor en la estructura.....	88
Ilustración 3-49: Montaje de las puertas de la cámara de calor en la estructura	89
Ilustración 3-50: Colocación del aislante de fibra cerámica.....	89
Ilustración 3-51: Colocación de las planchas de acero galvanizado y puertas traseras.....	90
Ilustración 3-52: Montaje de los tableros eléctricos de control y potencia	90
Ilustración 3-53: Conexiones de los tableros eléctricos	91
Ilustración 3-54: Conexiones de las resistencias eléctricas	91
Ilustración 3-55: Etiquetas de seguridad del horno	92
Ilustración 3-56: Seguro y manivela para estabilizar el horno	95
Ilustración 3-57: Ubicación del horno con respecto a una pared	96

Ilustración 3-58: Disposición de las resistencias en la cámara de calor	97
Ilustración 3-59: Interfaz del operador del controlador de temperatura.....	97
Ilustración 3-60: Diagrama de flujo para la programación general.....	98
Ilustración 3-61: Modo de configuración 1	99
Ilustración 3-62: Selección del tipo de entrada	100
Ilustración 4-1: Comparación de la estructura del horno, diseño vs real	103
Ilustración 4-2: Comparación de la cámara de calor, diseño vs real	104
Ilustración 4-3: Cámaras de calor montadas en la estructura con las placas porta resistencias	104
Ilustración 4-4: Puertas de la cámara de calor, diseño vs real.....	105
Ilustración 4-5: Tableros eléctricos, diseño vs real	105
Ilustración 4-6: Horno para tratamiento térmico de alivio de tensión, diseño vs real	106
Ilustración 4-7: Comprobación del funcionamiento del tablero de control.....	106
Ilustración 4-8: Comprobación del funcionamiento del tablero de potencia.....	107
Ilustración 4-9: Toma de datos reales de corriente.....	107
Ilustración 4-10: Funcionamiento de las cámaras de calor	108
Ilustración 4-11: Curva de calentamiento para curación del horno.....	108
Ilustración 4-12: Curva de calentamiento para curación del horno.....	109
Ilustración 4-13: Termograma de la cámara de calor 1	109
Ilustración 4-14: Termograma de la cámara de calor 2.....	110
Ilustración 4-15: Termograma de la cámara de calor 3.....	111
Ilustración 4-16: Termograma de las paredes laterales del horno	112
Ilustración 4-17: Termograma de la pared posterior de la cámara 3 con tapa puesta	113
Ilustración 4-18: Termograma de la pared posterior de la cámara 2 con tapa puesta	114
Ilustración 4-19: Termograma de la pared posterior de la cámara 1 con tapa puesta	114
Ilustración 4-20: Termograma de la pared posterior de la cámara 3 sin la tapa puesta.....	115
Ilustración 4-21: Termograma de la pared posterior de la cámara 2 sin la tapa puesta.....	116
Ilustración 4-22: Termograma de la pared posterior de la cámara 1 sin la tapa puesta.....	117
Ilustración 4-23: Termograma de la pared superior del horno	118
Ilustración 4-24: Termograma de la pared frontal del horno	119
Ilustración 4-25: Termograma del tablero de potencia con el ventilador apagado.....	120
Ilustración 4-26: Termograma del tablero de potencia con el ventilador encendido	121
Ilustración 4-27: Termograma del tablero de control.....	122
Ilustración 4-28: Realización de pruebas a las probetas.....	123

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. TABLA A3 – CENGEL

ANEXO B. TABLA A15 – CENGEL

ANEXO C. CIRCUITO ELÉCTRICO DEL HORNO

ANEXO D. LÁMINA DE LA BASE DE LAS CÁMARAS DE CALOR

ANEXO E. LÁMINA DE LA BASE DEL HORNO

ANEXO F. LÁMINAS DE LOS PARANTES

ANEXO G. LÁMINA DE LAS BISAGRAS

ANEXO H. ENTRADA DE TERMOCUPLAS

ANEXO I. TABLA DE EMISIVIDADES DE INFRARROJOS

ANEXO J. LÁMINA DE LA VISTA GENERAL DEL HORNO

ANEXO K. LÁMINAS DEL DESPIECE DEL HORNO Y MATERIALES

RESUMEN

La presente tesis aborda la construcción de un horno eléctrico diseñado para llevar a cabo el tratamiento térmico de alivio de tensión en la sección roscada de tubos grado L80 de 3½ pulgadas de diámetro en la empresa SERTECPET. Este proyecto surge de la necesidad de optimizar los procesos de fabricación y mejorar la calidad de los productos, por lo cual, el objetivo se centra en construir un horno eléctrico para el tratamiento térmico de alivio de tensiones a la sección roscada de tubos grado L80 de 3½ pulgadas de diámetro en la planta de producción de la empresa SERTECPET. En el desarrollo de la investigación se procedió a diagnosticar el problema, lo que permitió comprender que los hornos eléctricos de la marca SAMO THERMAL que se utilizan en la empresa SERTECPET para realizar tratamiento térmico de alivio de tensiones a la sección roscada de tubos grado L80 no satisfacen la necesidad de producción de la planta de rectificación debido al diseño y la capacidad de tubos por recámara. Esta realidad se pretende mejorar con bases sustentadas en la teoría, para lo cual se acudió a diversas investigaciones, como artículos, libros o tesis de estudio. Una vez ampliada la información se procedió a desarrollar la construcción del horno eléctrico para realizar tratamiento térmico de alivio de tensión, para lo cual se procedió a realizar el estudio térmico del horno, con los cálculos de cargas térmicas del airea, de la tubería, y se evaluó la resistencia térmica en las paredes o puertas. Además, se presentó el diseño del horno eléctrico con los respectivos planos y diseños. En conclusión, se establecieron los requisitos específicos y las variables que afectan directamente al alivio de tensiones, proporcionando una base sólida para el desarrollo del horno.

Palabras clave: <HORNO ELÉCTRICO> <TRATAMIENTO TÉRMICO > <ALIVIO DE TENSIONES> < RESISTENCIA TÉRMICA >

0882-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

This thesis deals with the construction of an electric furnace designed to carry out the tension relief heat treatment in the threaded section of 1.80 grade pipes of 3½ inches of diameter in SERTECPET Company. This project comes from the need to optimize the manufacturing processes and improve the quality of the products, therefore, the objective is focused on building an electric furnace for the tension relief heat treatment of the threaded section of 1.80 grade pipes of 3½ inches of diameter in the production plant of SERTECPET company. During the progress of the research, it was diagnosed the problem, which allowed to understand that SAMO THERMAL electric furnaces applied in SERTECPET company to perform tension relief heat treatment to the threaded section of 1.80 grade pipes do not cover the production needs of the rectification plant due to the design and the capacity of pipes per chamber. This situation is pretended to be improved with bases supported in the theory, for which several researches, such as articles, books or study thesis, were analyzed. Once the information was expanded, it was necessary to develop the construction of the electric furnace for heat treatment of tension relief. for which it was perform the thermal analysis of the furnace, with the calculations of thermal loads of the air, of the piping, and the thermal resistance of the walls or doors was evaluated. In addition, the design of the electric furnace was shown with its plans and designs. Summarizing, the specific requirements and variables that impact directly on tension relief were established, supplying a solid basis for the development of the furnace.

Keywords: <ELECTRIC FURNACE> <HEAT TREATMENT > <TENSION RELIEF>
<THERMAL STRENGTH>



Mgs. Mónica Paulina Castillo Niama
C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

La presente tesis aborda la construcción de un horno eléctrico diseñado para llevar a cabo el tratamiento térmico de alivio de tensión en la sección roscada de tubos grado L80 de 3½ pulgadas de diámetro en la empresa SERTECPET. Este proyecto surge de la necesidad de optimizar los procesos de fabricación y mejorar la calidad de los productos. El horno eléctrico propuesto ofrecerá una solución eficiente y controlada, permitiendo realizar tratamientos térmicos precisos que garanticen la integridad estructural y la durabilidad de los componentes utilizados en la industria petrolera.

CAPÍTULO I. El Diagnóstico del problema, se efectuó el planteamiento del problema el cual permitió detallar el tema de estudio, de forma idéntica se plasmó la justificación y se establecieron el objetivo general, así como los específicos, elementos que fueron cumplidos durante el desarrollo de la tesis.

CAPÍTULO II. El Marco teórico y conceptual, estuvo constituido por los antecedentes investigativos, los cuales se realizaron en función a una recopilación teórica de profesionales, investigadores contemporáneos quienes han desarrollado temas similares, por otra parte, las referencias teóricas se establecieron en base del tema propuesto, definiciones que han sido obtenidas de trabajos y estudios de relevancia científica.

CAPÍTULO III. La construcción del horno eléctrico para realizar tratamiento térmico de alivio de tensión permitió establecer los requerimientos, realizar un estudio y diseño para la construcción del horno, previamente se elaboraron los planos para realización del proyecto terminando en un modelado en 3D.

Para finalizar se redactaron las conclusiones y recomendaciones en base de los objetivos específicos planteados inicialmente en el estudio técnico.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El principio de funcionamiento del horno eléctrico se basa en la ley de conservación de la energía, que transforma la energía eléctrica en energía térmica para lograr el calentamiento de los materiales. (Espinoza, 2023 pág. 32). Es decir, cuando el horno eléctrico funciona normalmente, se aplica voltaje y corriente al elemento calefactor (resistencia). La resistencia genera una gran cantidad de calor en la sala de trabajo y forma convección y radiación térmica. (Vaca, 2020 pág. 10). El material de aislamiento en la sala de trabajo absorbe y emite una pequeña cantidad de calor, el cual es aislado en una mayor parte, por lo que la temperatura en la sala de trabajo aumenta gradualmente y alcanza la temperatura preestablecida del material de calefacción. (Mora, 2020 pág. 31)

En el caso del proceso de tratamiento termo mecánico de aceros, la forma y estructura de los componentes de acero también se modifica. Por otro lado, el proceso termoquímico de los aceros, la química de la superficie y la estructura del acero se modifican. (Avella, 2015 pág. 40) Los procesos de tratamiento térmico requieren un estrecho control sobre todos los factores que afectan al calentamiento y enfriamiento del acero.

La atmósfera del horno de calentamiento también afecta la condición del acero que se está tratando térmicamente. Todos los procesos de tratamiento térmico consisten en someter el acero a un ciclo definido de tiempo-temperatura. (Toledo, 2020 pág. 12). Este ciclo de tiempo y temperatura tiene tres componentes:

- Calentamiento
- Mantenimiento en un rango de temperatura particular (remojo)
- Enfriamiento

Los tratamientos térmicos son procesos comúnmente aplicados para mejorar las propiedades mecánicas en el procesamiento de los aceros para uso industrial. Su principio se basa en someter el material a ciclos de calentamiento, sostenimiento y enfriamiento que puede variar de acuerdo con las propiedades deseadas en el material (Palaguachi, 2022 pág. 22).

Una gran parte de procesos industriales requieren manejar la temperatura y la aplicación de calor controlado sobre un material, con el objetivo de cambiar o alterar las propiedades de este (Guncay, 2019 pág. 45). Para llevar a cabo el proceso se utilizan hornos industriales capaces de calentar por encima de la temperatura ambiente un material. Los hornos eléctricos más empleados son los de resistencias eléctricas (Vaca, 2020, pág. 15). El calor se transfiere fundamentalmente a través de una resistencia por la que circula la corriente eléctrica. Estos hornos son menos contaminantes que los de llama, su funcionamiento es silencioso y el control del proceso es preciso (Zapata, 2023, pág.18).

Las tensiones residuales juegan un papel importante en los materiales ya que pueden dar lugar a deformaciones no uniformes, lo que puede llevarnos a fenómenos de rotura frágil, corrosión bajo tensión y fatiga (Sierra, 2021 pág. 12). El tiempo y la temperatura son siempre factores principales de un tratamiento térmico.

SERTECPET es una empresa multinacional fundada en 1990 con visión y liderazgo internacional, siendo la ética uno de sus principales pilares desde su fundación, especialista en proveer soluciones integrales energéticas con tecnología de punta a nivel mundial para el sector energético, petrolero y minas, brinda servicios de campo para petróleo y gas, dentro de los cuales mantiene servicios integrales de evaluación y producción de pozos, parámetros de operación y recomendar las mejores estrategias para la optimización de producción de pozos.

En la actualidad la empresa SERTECPET cuenta con dos hornos para el alivio de tensión residual mediante un proceso térmico para la recuperación de tuberías, que tienen por objetivo mejorar las propiedades y características de los tubos que pasan por el proceso de *swaging*, y consiste en calentarlos hasta que alcancen una temperatura aproximada de 600 °C, luego se enfrían a temperatura ambiente, para así finalizar con el tratamiento térmico de alivio de tensión. Este proceso dura alrededor de 20 a 30 minutos, todo depende de la velocidad en que se calientan los hornos, luego son llevados para la realización de la rosca en los tornos CNC.

1.2. Planteamiento del problema

Los hornos de tratamiento térmico son equipos en los que se realizan tratamientos de metales a altas temperaturas bajo una atmósfera específica.

Actualmente, los hornos eléctricos de la marca SAMO THERMAL que se utilizan para realizar tratamiento térmico de alivio de tensiones a la sección roscada de tubos grado L80 de 3½ pulgadas de diámetro procedentes del campo petrolero en la empresa SERTECPET no satisfacen la necesidad de producción de la planta de rectificación debido al diseño y la capacidad de tubos por

recámara. Ante esta situación se levanta la interrogante de: ¿Cómo optimizar los tiempos de tratamientos térmicos de alivio en tensiones a la sección roscada de tubos grado L180 de 3½ pulgadas de diámetro en la planta de producción de la empresa SERTECPET?

La intención del presente proyecto técnico es incorporar a la Planta de Producción de la empresa SERTECPET un horno para realizar tratamiento térmico de alivio de tensiones a la sección roscada de tuberías grado L80 de 31/2 pulgadas de diámetro, que reduzca los tiempos del proceso, mediante un diseño enfocado en la calidad de los materiales de construcción, aislamiento térmico, control industrial y mantenibilidad.

1.3. Justificación

El presente proyecto está enfocado en el diseño y construcción de un horno eléctrico para el alivio de tensiones en la sección roscada en tubos de grado L80 de 3½ de diámetro. SERTECPET cuenta con dos hornos para tratamiento térmico, los cuales tienen deficiencias en el proceso de reparación de tuberías, que provoca tiempos elevados de trabajo, de donde surge la necesidad de la construcción de un nuevo horno que permita que el tratamiento térmico a mayor escala y a un menor tiempo, logrando satisfacer la demanda de tuberías que entran a reparación en la Planta de Producción.

El objetivo principal de este proyecto es proponer un diseño de un horno para tratamiento térmico que funcione con energía eléctrica de 220V a dos fases y tenga una capacidad mayor a los hornos existentes, se espera que con el diseño propuesto se logre alcanzar las condiciones requeridas para el tratamiento térmico en la sección roscada de las tuberías.

Este proyecto técnico se orienta acorde a la misión y visión de la CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, innovará y complementará el desarrollo profesional de los estudiantes, mejorando su preparación y experiencia en el campo de Ingeniería de Materiales, Termodinámica y Control Industrial, colaborando así con el compromiso de entregar profesionales de calidad al país que cumplan con los requerimientos y sean el futuro cambio que necesitan las industrias.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Construir un horno eléctrico para el tratamiento térmico de alivio de tensiones a la sección roscada

de tubos grado L180 de 3½ pulgadas de diámetro en la planta de producción de la empresa SERTECPET.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar los requerimientos y variables que intervienen en el proceso de alivio de tensiones.

Realizar el estudio del diseño térmico en base a la temperatura y el funcionamiento del horno.

Desarrollar los planos estructurales del horno eléctrico mediante un programa de modelado mecánico (CAD).

Ejecutar ensayos y pruebas de funcionamiento del equipo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

2.1.1. *Tubería de producción en los pozos petroleros según API 5CT*

Una de las instituciones con mayor reconocimiento a nivel internacional que ha trabajado para la industria petrolera desde inicios del siglo pasado, es el American Petroleum Institute (API). En dicha institución se han realizado algunos estudios que dieron lugar a lo que actualmente se conoce como las normas API. Los estudios sobre tuberías y conexiones que el API ha realizado generaron una cantidad de referencias, que, en muchos de los casos, son aplicadas en cada una de las etapas para la fabricación de las tuberías. Es decir, que las empresas para la producción de tuberías procuran como punto de referencia las normas API. (Díaz, 2019 pág. 17)

La tubería de producción usualmente es utilizada para producir los fluidos de yacimientos de petróleo, además tiene la particularidad de ensamblado con otros componentes de la terminación para conformar la línea de producción. Toda la serie de tuberías y revestimientos API indican que los tubos de acero producidos deben cumplir la especificación API 5CT, que se utilizan para explotar recursos como el petróleo y el gas natural, etc., la carcasa se usa como pared de pozos de petróleo y gas.

2.1.2. *Código de colores para grados API 5CT*

Las tuberías conductoras de líquidos se rigen por una serie de normas de seguridad y prevención que se basa en el uso de un código de colores de tuberías para poder asociarlos e identificarlos.

De acuerdo con las normas API 5CT, las tuberías y los acoplamientos de tubería deben pintarse uno por uno para distinguir diferentes calidades de acero. La etiqueta de color de la carcasa de tubería debe rociarse en cualquier extremo mayor o igual a 600 mm, y el color debe pintarse en toda la superficie exterior, y luego se debe rociar el anillo de color.

Según (Palaguachi, 2022 pág. 20) de acuerdo con la API SPEC 5CT el grado de la tubería se puede identificar por código de colores J-55 verde, K-55 dos bandas verdes, C-75 azul, N-80 rojo, C-95 marrón, P-105 blanco, también según su calidad y su uso se definen tres niveles de especificación:

PSL-1, PSL-2, PSL-3, donde indica las exigencias de composición químicas; inspección con ensayos destructivos y no destructivos, propiedades mecánicas, ensayos de tracción, dureza, dimensionales e hidrostáticos, espesor de pared, desviación, peso, longitud y además inspección visual de las roscas y el cuerpo de la tubería (Tenaris, 2007 pág. 28).

A continuación, se presenta el código de color, grado de acoplamiento de tubería y carcasa:

Tabla 2-1: Código de colores

Código de colores para grados API 5CT					
Grado	Tipo de grado	Color (es) para acoplamiento		Número y- color de bandas por producto	Imagen
		Todo acoplamiento	Alzacuello		
H40		Ninguna	Igual que para la pipa	Ninguna / banda negra a elección del fabricante	
Tubería J55		Verde brillante	Ninguna	Un verde brillante	
Carcasa J55		Verde brillante	Un blanco	Un verde brillante	
K55		Verde brillante	Ninguna	Dos de color verde brillante	
M65		M65Pipe utiliza L80Type 1 Acoplamiento		Un verde brillante, Un azul	
N80	1	Rojo	Ninguna	Un Rojo	
N80	Q	Rojo	Un verde	Rojo, Un verde brillante	
R95		Marrón	Ninguna	Un marrón	
L80	1	Rojo	Un marrón	Un rojo, Un marrón	
L80	9CR	Ninguna	Dos amarillas	Uno rojo, Un marrón, Dos amarillas	
L80	13CR	Ninguna	Un amarillo	Un rojo, Un marrón, Un amarillo	
C90	1	Purpura	Ninguna	Un morado	
T95	1	Plata	Ninguna	Una palta	
C110		Blanco	Dos marrones	Un blanco, dos marrones	
P110		Blanco	Ninguna	Un blanco	
P125		Naranja	Ninguna	Una naranja	

Fuente: (Vigorpetroleum, 2018)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Los colores y las bandas pintadas en cada una de las tuberías permiten minimizar los errores que puedan cometerse en la identificación del tipo de elemento que va a circular, temperatura, tipo de grado, entre otras características.

2.1.2.1. Tipos de conexiones

En la construcción del pozo, es importante señalar que los tubos deben estar roscados de extremo a extremo y unidos por un acoplamiento regular internamente roscado, denominado *couplings*.

Según (Palaguachi, 2022 pág. 18) quien cita a (Davalos, 2023) afirma que la tubería con roscas premium patentada por la empresa (Tenaris, 2007) dentro del grupo de las roscas para unir las tuberías se definen de acuerdo con el mecanizado de los extremos de la tubería como:

Tabla 2-2: Tipos de conexiones

Tipo de conexión	Característica	Resistencia a la tensión
Recalcadas	Se incrementa el espesor y diámetro exterior de la tubería en uno o en ambos extremos en un proceso de conformado en caliente, posteriormente se aplica un alivio de esfuerzos.	100%
Semilisas o formadas (Semiflush)	El extremo pin es cerrado y el extremo caja es expandido en frío, aplicando un alivio de esfuerzos posterior.	70- 85%
Lisas o integrales (Flush)	Se une un extremo roscado de la tubería exterior como pin y se conecta en el otro extremo roscado internamente como caja. Se mecaniza las roscas directamente sobre la tubería sin aumentar el diámetro exterior del mismo.	55-65%
Acopladas	Integran un tercer elemento denominado cupla el cual une dos tramos de tubería roscados exteriormente en sus extremos.	Menos 55%

Fuente: (Palaguachi, 2022)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

2.1.2.2. Conexiones TenarisHydril

TenarisHydril es una empresa metalúrgica dedicada a la producción de tubos de acero la cual

consta de su propia normativa para construcción, reparación, conexión, etc., tanto de roscas como productos patentados por ellos. Las conexiones TenarisHydril guardan un revestimiento especial de cobre electrodepositado uniforme, el cual, se usa típicamente para proporcionar una superficie antiadherente, aunque el revestimiento de cobre no está diseñado para usarse en conexiones de pasador. (Casadiego 2020)

2.1.2.3. Conexiones API

En los tubos, los tipos de extremos, y los diseños de las conexiones, son considerados atributos de alta criticidad, a la hora de conformar la perforación de un pozo petrolero, o los tendidos de conducción, puesto que de ellos depende la integridad del conjunto conformado, y la seguridad para evitar accidentes de gravedad, por fugas o rupturas, en dichas uniones. (Tenempaguay, 2023, pág. 12)

Los extremos en los tubos pueden ser “Lisos” (Plain end) o “Roscados” (Threaded). La especificación API 5CT, para tubería de revestimiento y producción (Casing y Tubing), clasifica las conexiones según su diseño, de la siguiente manera:

- Casing Rosca Redonda Corta (SC)
- Casing Rosca Redonda Larga (LC)
- Casing Rosca Buttress (BC)
- Tubing No recalado (NU)
- Tubing Con recalque externo (EU)
- Tubing Integral (IJ)

Sin embargo, dada las exigencias en resistencia, cada día más demandantes para los proyectos modernos, estas no son las únicas conexiones roscadas para uso petrolero. Existen diseños patentados no contemplados en esta especificación, que son aceptados por la misma, por haberse comprobado su aplicabilidad en campo.

Por ello es importante considerar a la hora de seleccionar un diseño de conexión roscada, no solo los costos implícitos del proceso de conformación del resultado, sino también factores claves, como el tipo de pozo, los esfuerzos mecánicos, el ambiente corrosivo al que está expuesto, las condiciones dinámicas de los fluidos, entre otros, ya que algunos diseños garantizan una mejor resistencia a determinados esfuerzos y entornos.

2.1.3. Fuerzas residuales en materiales sometidos a tensiones

Las tensiones residuales son aquellas tensiones que quedan o permanecen en el material en ausencia de cargas externas (Bravo et al., 2020 pág. 20). El origen de las tensiones residuales está en los procesos de fabricación de los materiales y en las condiciones de servicio que dan lugar a deformaciones no uniformes. Los esfuerzos residuales de la estructura de un material o componente son aquellos esfuerzos que permanecen en él sin que exista carga externa. La principal causa de estos esfuerzos son los procesos de conformado y fabricación como; soldadura, fundición, maquinado, entre otros.

Se establece que la cedencia del material es el esfuerzo de tensión aplicado cuando alcanza el 0.5% de deformación. Para tuberías de revestimiento, perforación y producción, el API considera una deformación del 0.65% para establecer la cedencia de estos materiales. La cedencia se mide en unidades de fuerza por unidad de área (psi), que significa la fuerza aplicada en el área de exposición del material para hacer ceder al mismo.

Es decir, aquel esfuerzo aplicado para alcanzar la deformación establecida. La nomenclatura recomendada por el API para identificar los diferentes tipos de acero se define por una letra seguida por un número. La letra simboliza el tipo de acero, y el número y la magnitud de la cedencia del material expresada en miles de libras por pulgada cuadrada (psi). Ejemplificado: un acero denominado N-80 tiene una cedencia de 80000 psi mínima y una máxima de 95000 psi.

Tabla 2-3: Relación de grados para tubería

Grado	Cedencia mínima	Cedencia máxima	Grado	Cedencia máxima
H-40	40000	60000	C-95	105000
J-55	55000	60000	Q-125	145000
K-55	55000	65000	E-75	95000
N-80	80000	95000	X95	115000
L-80	80000	90000	S-135	155000
P-110	110000	125000	C-95	105000
C-75	75000	95000	P-105	120000

Fuente: (Bravo et al., 2020 pág. 20).

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

2.1.4. Tratamientos térmicos

Son aquellos procesos que buscan mejorar la ductilidad, dureza, resistencia, y otras características de los metales mediante la manipulación de la temperatura. En otras palabras, se trata de calentar

o enfriar un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones específicas con el fin de optimizar sus propiedades mecánicas. La generación de condiciones particulares durante el calentamiento, la permanencia o el enfriamiento de los materiales tratados es clave para inducir estos cambios. El propósito fundamental de los tratamientos térmicos es asegurar que los cambios estructurales ocurran según las condiciones deseadas. Para llevar a cabo un tratamiento térmico con éxito, es necesario comprender las propiedades del metal en sus distintos estados estructurales. (Becerra-Rodríguez, 2021 pág. 42)

2.1.4.1. Tipos de tratamientos térmicos

Templado

Este proceso se realiza a temperaturas elevadas, comprendidas entre 300°C hasta 500°C, con el propósito de endurecer el acero. En este procedimiento, la duración del calentamiento y enfriamiento es crucial para alcanzar la dureza deseada. La transferencia de temperatura ocurre desde la superficie hacia el interior del acero a una velocidad específica, la cual también está influenciada por las dimensiones del material.

El tiempo de calentamiento es mayor en comparación con el tratamiento normalizado, permitiendo así un endurecimiento uniforme. Los aceros se someten a la carbonización, y algunas aleaciones con un contenido de carbono del 0.35% posibilitan que el material pueda resistir cargas dinámicas sin fracturarse. Para llevar a cabo el enfriamiento, en algunos aceros de bajo y medio contenido de carbono se utiliza agua, mientras que en aquellos con alto contenido de carbono generalmente se emplea aceite. (Becerra-Rodríguez, 2021 pág. 42)

Normalizado

Este procedimiento guarda similitudes con el tratamiento de templado, pero se distingue por emplear temperaturas superiores a 37,77°C durante el revenido final, siendo uno de los procesos de ejecución más directa.

Como su nombre indica, se aplica a los aceros para conferirles las propiedades necesarias que los califican como "normales". Este método se utiliza en piezas mecanizadas, fundidas o forjadas, con el propósito de refinar su estructura, mejorar su maquinabilidad y eliminar tensiones generadas durante la solidificación. La ejecución de este tratamiento implica el calentamiento a una temperatura elevada (anteriormente mencionada), seguido de un enfriamiento con aire inmóvil hasta alcanzar la temperatura ambiente. El objetivo principal de este tipo de tratamiento

es incrementar la dureza del material con el que se está trabajando. (Becerra-Rodríguez, 2021 pág. 42)

Revenido

El término "revenido" se refiere a un procedimiento industrial en el cual se utilizan temperaturas bajas, como se detalla más adelante, seguido de un enfriamiento controlado. La temperatura de revenido varía entre 160 y 500 °C o más, dependiendo del tipo de material sometido a estos procesos. Este tratamiento se lleva a cabo típicamente después del temple, con el propósito de lograr la combinación deseada de dureza y resistencia.

Por lo general, se realiza en hornos de revenido, los cuales pueden estar equipados con gas protector opcional para prevenir la oxidación de la superficie del material durante el proceso. En el caso de ciertos tipos de acero, el tiempo de permanencia a la temperatura de revenido es crucial, ya que, en determinados intervalos de temperatura, como entre 250 y 400 °C, puede producirse un fenómeno irreversible conocido como fragilización por revenido, a menudo denominado "fragilidad azul". (Becerra-Rodríguez, 2021 pág. 41)

Recocido

Este procedimiento tiene como objetivo que los materiales sometidos a tratamiento reduzcan su dureza y adquieran flexibilidad, eliminando las tensiones generadas durante el temple. El recocido puede emplearse para eliminar por completo el endurecimiento causado por la deformación durante el trabajo en frío, resultando en un producto final suave y maleable.

El proceso implica calentar el material a temperaturas elevadas hasta alcanzar el punto de austenización (entre 800°C y 950°C, en base al material), seguido de un enfriamiento más gradual. La ejecución puede llevarse a cabo en un entorno al vacío o en una atmósfera reductora para obtener un acabado brillante, al aire para elementos que requieran maquinado adicional, o en una atmósfera neutra para evitar la descarburación, aunque en este caso el acabado no será brillante. (Becerra-Rodríguez, 2021 pág. 42)

2.1.5. *Proceso de alivio de tensiones*

Las acciones como el prensado (*swaging*) y la expansión, realizadas para conferir la forma necesaria a los extremos de los tubos con el fin de enroscar conexiones Premium, pueden inducir tensiones residuales o modificar la estructura del material.

Después de llevar a cabo el *swaging* y la expansión, se realiza la operación de alivio de tensión

por dos motivos:

- Eliminar las tensiones residuales que podrían afectar las operaciones de enroscado
- Restaurar las propiedades y el rendimiento del material después de una operación de deformación, generalmente en frío.

Es importante señalar que el proceso de alivio de tensiones no debe aplicarse a materiales cuyas propiedades mecánicas finales se logren mediante endurecimiento en frío (sin templear ni revenir) o a materiales CRA del grupo 2, 3 y 4 según API 5CRA.

La planta de producción sigue el procedimiento Tenaris Hydril, TSH-PP-00.0012, para llevar a cabo el proceso de alivio de tensiones.

2.1.5.1. Equipo de alivio de tensiones

Los sistemas aceptables para el proceso de alivio de tensiones son:

- Sistema de calentamiento por inducción
- Sistema de calentamiento resistencias eléctricas
- Otros sistemas, aprobados por Tenaris

El sistema de calentamiento que dispone Sertecpet S.A. para el proceso de alivio de tensiones es por resistencias eléctricas y por sistema de inducción.

2.1.5.2. Control de variables de proceso

Las variables del proceso de alivio de tensión son:

- a) Temperatura:** Durante el proceso de alivio de tensión, que incluye tanto el calentamiento como el remojo, se llevará a cabo una supervisión rigurosa de la temperatura. Se asegurará de que la temperatura se mantenga dentro de los límites predefinidos para el producto en cuestión.

La temperatura exacta en el extremo de la tubería será evaluada mediante un dispositivo de medición debidamente calibrado, como, por ejemplo, pirómetros ópticos, pirómetros de contacto o termopares.



Ilustración 2-1: Pirómetro laser

Fuente: (SERTECPET, 2022).

Siempre que sea posible, estos dispositivos se colocarán a medida de acuerdo con la ilustración 2-2, que se muestra a continuación:

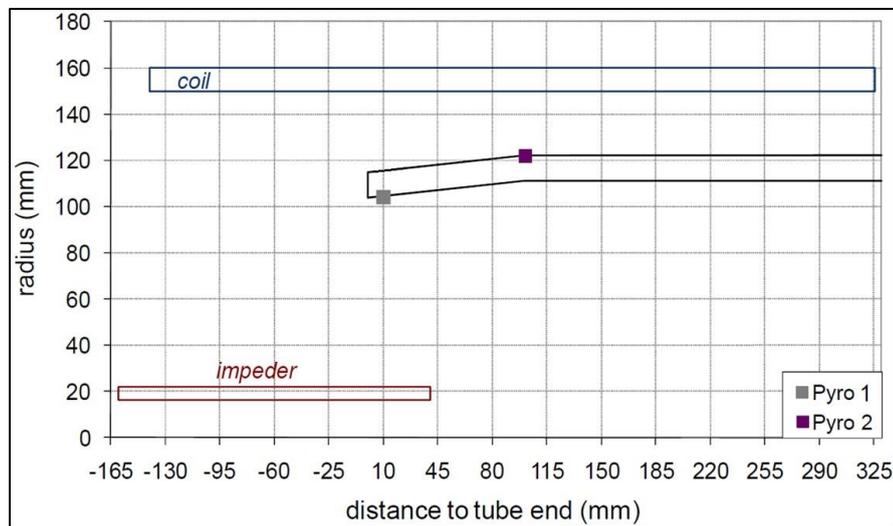


Ilustración 2-2: Radio y distancia final del tubo recomendadas con respecto a las resistencias.

Fuente: (SERTECPET, 2022.)

- En la superficie interior, entre 5 y 10 mm de la cara del tubo (P1, recomendado)
 - En la superficie exterior, en el área de transición de extremo liso formado en frío. (P2, obligatorio)
- b) Tiempo de exposición:** La cantidad de tiempo que un extremo deformado permanece a la temperatura designada se regula de la siguiente manera:
- No debe exceder los 10 minutos para grados de acero destinados a servicio agrío (se recomienda un período de 8 a 10 minutos), y
 - No debe exceder los 20 minutos para todos los demás grados de servicio no ácido (se

recomienda un período de 12 a 20 minutos).

- c) **Velocidad de enfriamiento:** Una vez que se haya alcanzado la temperatura y se haya cumplido con el tiempo de permanencia, el extremo aliviado será devuelto a la temperatura ambiente para su proceso de enfriamiento. Si se requiere un enfriamiento más rápido, se puede emplear cualquier método siempre que la temperatura esté por debajo de los 350 °C en la superficie interna.

2.1.5.3. *Procedimiento para el cálculo del rango de temperatura de alivio de tensión o necesidad de calificación*

Para reparar o manipular cualquier material, el licenciario debe solicitar al cliente o fabricante el MTC correspondiente relacionado con el extremo liso a procesar. El MTC deberá incluir la especificación del material, PSL cuando corresponda, y preferiblemente el LTT aplicado por el fabricante.

Cuando se conoce el LTT se utiliza las siguientes secciones 8.3.1 y 8.3.2 del procedimiento TSH-PP-00.0012. (tsh) Si se desconoce el LTT y el material no cumple completamente con la definición de material calificado caso b), se debe realizar una calificación de acuerdo con la sección 8.4.1.3 del procedimiento TSH-PP-00.0012.

Para poder calcular la temperatura máxima de alivio de tensiones (SRT_{max}) y la temperatura mínima de alivio de tensiones (SRT_{min}) se debe acudir al anexo A de la norma TSH-PP-00.0012 presentada por Tenarys, que presenta las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación} \quad \text{SRT}_{\text{max}} = \text{LTT} - 55^{\circ}\text{C} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2-1)$$

$$\text{Ecuación} \quad \text{SRT}_{\text{min}} = \text{la mayor temperatura entre SRT}_{\text{min}1} \text{ y SRT}_{\text{min}2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2-2)$$

$$\text{Ecuación} \quad \text{SRT}_{\text{min}1} = \text{LTT} - 105^{\circ}\text{C} \text{ (Anexo A - TSH-PP-00.0012)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2-3)$$

$$\text{Ecuación} \quad \text{SRT}_{\text{min}2} = 550^{\circ}\text{C} \text{ (Anexo A - TSH-PP-00.0012)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2-4)$$

2.1.6. *Materiales refractarios*

Los tipos de materiales refractarios son:

- Ladrillo

- Mortero
- Cemento refractario
- Ladrillos refractarios para hornos

Se utilizan para revestir hornos industriales, hornos rotatorios para cementeras, estufas, calderas, cámaras de combustión entre otros equipos. También se usan en recipientes de materiales refractarios para fundir metales. (Guevara, y otros, 2019 pág. 24). Tipos de ladrillos refractarios: No solo son de uso industrial, muchas personas colocan estufas con ladrillos o placas refractarios en chimeneas.

Ladrillos de sílice: su compuesto es dióxido de silicio SiO_2 , el cuarzo es el material más usado para la fabricación de estos ladrillos. La temperatura de aguante es de 1700°C

Ladrillos de chamota: contiene dióxido de aluminio y de sílice, es el material refractario para horno más utilizado.

Ladrillos de andalucita: contienen una gran cantidad de alúmina, por ello se adaptan excelentemente a las variaciones de calor y frío, es una de las mejores opciones para hornos industriales.

Ladrillos de mullita: además de mullita contiene un 80% de alúmina, la mullita refractaria se emplea en los hornos para vidrio y de silicato.

Ladrillos de corindón: es el ladrillo que tiene más alúmina, es el ladrillo refractario más costoso, ideales para hornos de gran potencia.

Piedra y manta refractaria para horno industrial

Las piedras refractarias son comunes en la industria de la comida, principalmente para hornos industriales de hostelería o en los hornos para pan y pizza.

Existen piedras refractarias lisas, estriadas, perforadas y de carga. Están hechas de cordierita y mullita, el ancho, largo y sobre todo espesor determinan la máxima temperatura que alcanzan.

Las piedras pueden soportar entre los 1150°C hasta 1320°C .

2.1.7. Aislantes térmicos

Según (Gómez, 2021) los aislamientos térmicos son materiales o combinaciones de materiales con baja conductividad térmica que se usan principalmente para suministrar resistencia al flujo de calor.

Tabla 2-4: Tabla de aislantes térmicos

	Tipo	Intervalo de temperatura °C	Conductividad térmica W/m. °C	Densidad 3 kg/m	Aplicaciones
1	Superaislante Superaislante linde evacuado	-240 a 1100	0.0014 -0.72	Variable	Muchas
2	Espuma de poliuretano	-180 a 150	16 - 20	25 - 48	Tubería caliente y fría
3	Espuma de poliuretano	-170 a 110	16 - 20	32	Tanques
4	Bloques de vidrio celular	-200 a 200	29 - 108	110 - 150	Tanques y tuberías
5	Hojas de fibra de vidrio para envolver	-80 a 290	22 - 78	10 - 50	Tuberías y accesorios
6	Hojas de fibra de vidrio	-170 a 230	25 - 86	10 - 50	Tanques y equipos
7	Fibra de vidrio premoldeada	-50 a 230	32 - 55	10 - 50	Tuberías
8	Hojas elastoméricas	-40 a 100	36 - 39	70 - 100	Tanques
9	Paneles de fibra de vidrio	60 a 370	30 - 55	10 - 50	Tuberías y accesorios
10	Elastómero premoldeado	-40 a 100	36 - 39	70 - 100	Tuberías y accesorios
11	Fibra de vidrio con revestimiento de barrera de vapor	-5 a 70	29 - 45	10 - 32	Líneas de refrigeración
12	Fibra de vidrio sin chaqueta de barrera de vapor	0 a 250	29 - 45	24 - 48	Tuberías calientes
13	Bloques y tableros de vidrio celular	200 a 500	29 - 108	110 - 150	Tubería caliente
14	Bloques y tableros de espuma de poliuretano	100 a 150	16 - 20	24 - 65	Tuberías
15	Fibra mineral premoldeada	0 a 650	35 - 91	125 - 160	Tubería caliente
16	Hoja de fibra mineral	0 a 800	37 - 81	125	Tubería caliente
17	Bloques de lana mineral	450 a 1000	52 - 130	175 - 290	Tubería caliente
18	Bloques, tableros de silicato de calcio	230 a 1000	32 - 85	100 - 160	revestimientos de chimenea
19	Bloques de fibra mineral	0 a 1100	52 a 130	210	Calderas y tanques.

Fuente: (Gómez, 2023)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Tabla 2-5: Clasificación de materiales de aislamiento térmico

Material	Concepto
Fibrosos	Estos materiales fibrosos consisten en partículas de filamentos de baja densidad de pequeño diámetro que se pueden verter en un espacio libre como “relleno suelto” o formados en tableros, bloques o mantas. La lana mineral es un material fibroso común para aplicaciones a temperaturas menores a 700 °C y con frecuencia se utiliza fibra de vidrio para temperaturas menores a 200 °C.
Celular	Los aislantes celulares son materiales de celdas cerradas o abiertas que suelen tener la forma de tableros extendidos flexibles o rígidos. Sin embargo, también se les puede dar forma o rociar en el lugar para lograr las formas geométricas deseadas. El aislamiento celular tiene la ventaja de tener una baja densidad, capacidad térmica baja y resistencia a la compresión relativamente buena. Algunos ejemplos son el poliuretano y la espuma de poliestireno expandido.
Granular	El aislamiento granular consiste en hojuelas o partículas pequeñas de materiales inorgánicos aglomerados en formas prefabricadas o utilizadas como polvos. Algunos ejemplos son polvo de perlita, sílice diatomáceo y vermiculita.

Fuente: (Gómez, 2023)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

2.1.8. Controladores de temperatura

Un controlador de temperatura es un instrumento utilizado para controlar la temperatura a través de un sensor de temperatura, el cual se comunica con un sistema de refrescamiento para equilibrar el nivel de calentamiento dentro del horno. Los controladores de temperatura trabajan bajo un sistema programado en el cual se establecen los valores deseados en el horno. (Pérez, 2023, pág.29)

Generalmente en un control de emboscada cerrada la señal de salida influye sobre la señal de entrada, a través de la medición del valor existente y la comparación del valor deseado, utilizando la diferencia entre ambos para ejecutar una acción que indague reducir la diferencia. El control automático entonces requiere de un lazo cerrado de interacciones sin que una persona intervenga.

El control de temperatura se realiza en tratamientos térmicos para medir y/o controlar el promedio de temperatura que se requiere, dependiendo del material, existen varios métodos, pero dentro de los más usados se tienen los lápices y pinturas de temperatura, termocuplas (Alvares, 2023, pág. 49). Este sistema se utiliza especialmente en los hornos eléctricos, siendo las termocuplas una medición precisa de la temperatura, por su alta resistencia al choque térmico y altas temperaturas,

además se utilizan por su bajo costo, calidad y versatilidad.

Los elementos que componen un lazo de control son:

- Elemento de medición
- Controlador
- Actuador o elemento final de control

En la Ilustración 2-3 se presenta el esquema de un lazo de control cerrado.

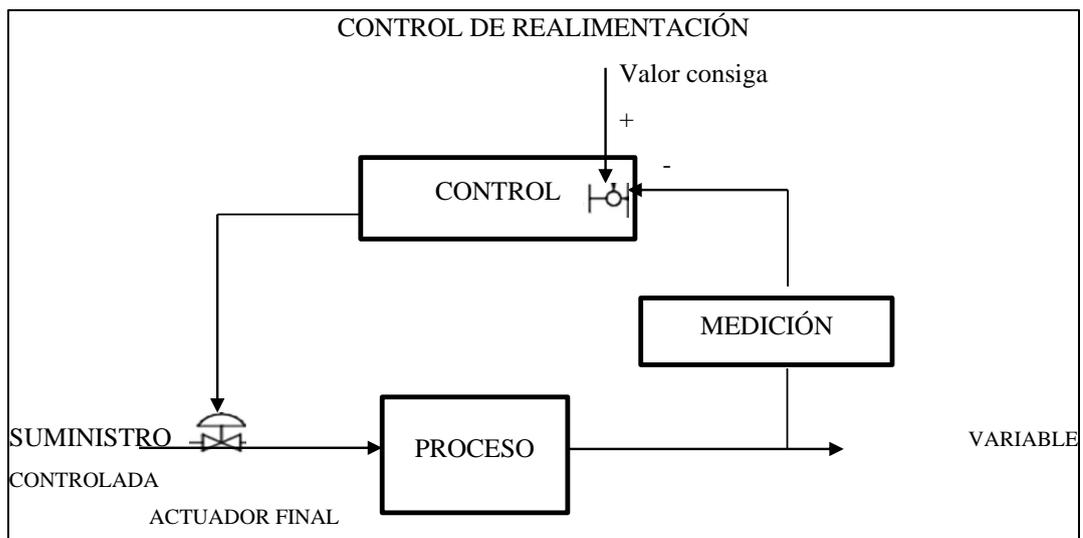


Ilustración 2-3: Lazo de control cerrado.

Fuente: (Pérez, 2023)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Es deseable que el sistema de control sea de fácil acceso para que el personal encargado de la programación del horno pueda seleccionar una curva de tratamiento térmico adecuada según la carga que se vaya a procesar, buscando que se obtengan los resultados esperados al momento de realizar los tratamientos térmicos al acero. Actualmente existen múltiples opciones que permiten implementar el control automático de la temperatura en procesos industriales. Se describen algunas de ellas.

Actualmente existen múltiples opciones que permiten implementar el control automático de la temperatura en procesos industriales. Se describen las siguientes:

- Controladores lógicos programables
- Microcontroladores
- Computadores industriales

2.1.8.1. Tipos de controladores de temperatura

- Control On/Off
- Control PID
- Control difuso

2.1.9. Resistencias eléctricas (calentadores)

Las resistencias instaladas en un horno se comportan como una carga eléctrica puramente resistiva. Las relaciones entre la tensión V, la intensidad I, la potencia P y la resistencia eléctrica a temperatura RT se deducen de la ley de Ohm. Permite determinar fácilmente las relaciones existentes entre dichas magnitudes. La potencia máxima que puede disponerse en el interior de un horno con resistencias metálicas depende de la temperatura máxima y de la disposición que se adopten a las mismas (Guevara et al., 2019 pág. 24).

El calentamiento por resistencia eléctrica puede ser directo cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o combinación de ambas. En la industria es más frecuente el calentamiento indirecto por resistencias eléctricas.

Las resistencias eléctricas se hacen de aleaciones de composición muy variadas, estas aleaciones son: carbono, cobre, hierro, manganeso, níquel, silicio, zinc y aluminio. Las aleaciones de níquel-cromo son utilizadas para alcanzar temperaturas de 1100°C, las de carburo de silicio trabajan hasta temperaturas de 1500°C, aleación de molibdeno soportan temperaturas de 1650°C, la aleación de tungsteno ya es utilizadas para mayores temperaturas que sobrepasan de los 2000°C, las de grafito se utilizan en temperaturas bajas como es los 600°C y las resistencias hechas de hilo Kanthal trabajan temperaturas de los 1200°C cuyas aleaciones son aluminio, cromo, hierro (Martínez, 2022).

2.1.9.1. Procedimiento para el cálculo de la potencia de las resistencias

Para poder obtener la potencia que va a utilizar cada resistencia se utilizará la ley de Watt que dice que la potencia de un elemento de un circuito es directamente proporcional al producto entre la tensión de la alimentación del circuito y la intensidad de corriente que circula por el mismo, expresado de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación} \quad P=V \cdot I \quad [\text{W}] \quad (2-5)$$

2.1.9.2. Tipos de controladores de resistencias eléctricas

El control del calor es esencial para una correcta marcha, la calidad, la frecuencia, y la mejora de la productividad en instalaciones de transformación. Esta función se garantiza mediante módulos especializados conocidos como controladores de potencia. A continuación, se exponen algunos tipos de controladores declarados en (Martínez, 2022, pág.42).

- Contactor
- Breaker Bifásico
- Lana de vidrio

2.1.10. Relés de estado sólido

Un relé de estado sólido (SSR) es un dispositivo que permite controlar el paso de la corriente eléctrica entre dos circuitos mediante una señal de entrada de bajo voltaje, normalmente 12VDC, o un voltaje mayor, que puede ser de 110 o 220 VCA. A diferencia de los relés electromecánicos, los SSR no tienen partes móviles ni contactos que se desgasten o generen chispas. Esto los hace más rápidos, silenciosos, duraderos y eficientes.

Los relés de estado sólido se utilizan en diversas aplicaciones industriales y domésticas, como el control de motores, luces, calefacción, refrigeración, etc. Su principal ventaja es que pueden conmutar altas potencias con una señal de control muy pequeña de 12VDC o similar, lo que reduce el consumo y el calentamiento. Además, son más resistentes a las interferencias electromagnéticas y a las vibraciones. Se componen de un sensor que detecta la señal de control (por ejemplo, un transistor o un optoacoplador), un interruptor electrónico de estado sólido que abre o cierra el circuito de potencia (por ejemplo, un tiristor o un triac) y un circuito de protección que evita sobrecargas o cortocircuitos.

Los relés de estado sólido se clasifican según el tipo de señal de control (AC o DC) y el tipo de carga (AC o DC). Estos dispositivos son una alternativa moderna y eficiente a los relés electromecánicos tradicionales. Por lo general, consisten en un interruptor de activación, que se activa mediante la aplicación de voltaje (CA o CC), y el interruptor principal, que controla la corriente de carga.

A diferencia de los relés electromecánicos convencionales, los SSR no tienen partes móviles y, por lo tanto, no generan arcos y son más confiables. También cambian más rápido y pueden conectarse a circuitos lógicos, entre otros beneficios.

Un relé de estado sólido puede usar un optoacoplador para el aislamiento y puede usar un transformador. Algunos usan una combinación de ambos y se conocen como SSR híbridos.

Los relés de estado sólido funcionan de la siguiente manera:

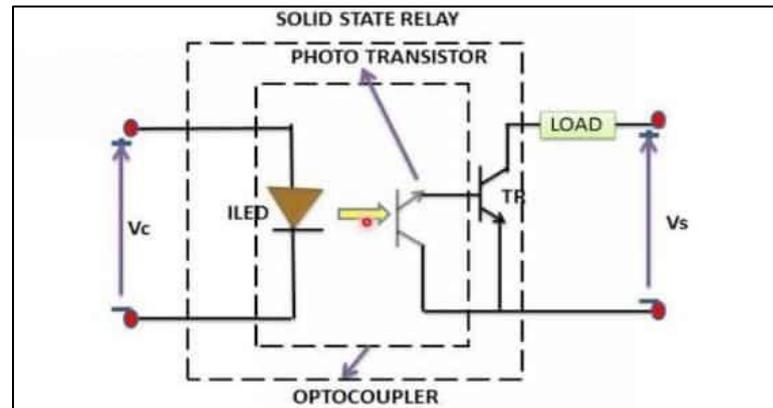


Ilustración 2-4: Circuito interno de relé de estado sólido

Fuente: (Geya, 2022)

2.1.10.1. Principio de funcionamiento del relé de estado sólido

El circuito de relé de estado sólido se compone de un circuito de entrada o control, un circuito de excitación y un circuito de salida o interruptor. A continuación, se expone el tipo de relé basado en optoacoplador por ser el más común:

Circuito de entrada de relé de estado sólido: También se le llama circuito de control. El voltaje puede ser CA, CC o una combinación de ambos (CA/CC). En algunos tipos de SSR, la entrada está diseñada con entradas lógicas +ve y -ve, lo que significa que puede aceptar TTL o CMOS conexiones Así es como funciona un relé de estado sólido en el lado de entrada. (Geya, 2022 pág. 15)

Cuando no se aplica voltaje, el LED se apaga y no fluye corriente a través de él. Esto significa que el transistor en el circuito de salida también está apagado y no fluye corriente a través de la carga. Cuando se aplica el voltaje de control, el LED se enciende, permitiendo que la corriente fluya a través de él. Esto, a su vez, activa el fototransistor en el lado de salida del circuito de relé.

El voltaje de control de un relé de estado sólido puede ser CA o CC, pero debe estar dentro del rango operativo especificado del SSR. Esto suele estar en el rango de 3V a 32V. Si el voltaje es demasiado alto o bajo, el SSR no funcionará correctamente.

Circuito de accionamiento de relé de estado sólido

El circuito de excitación es lo que activa el optoacoplador, que a su vez enciende el transistor en el circuito de salida. El transistor luego controla la corriente de carga. Aquí se explica el funcionamiento del relé de estado sólido en esta etapa. (Geya, 2022 pág. 15)

El accionamiento SSR normalmente consta de los siguientes mini circuitos: el circuito de aislamiento o acoplamiento, el circuito de función y, finalmente, el circuito de disparo.

El circuito de acoplamiento de aislamiento se usa para aislar eléctricamente el lado de control y de carga del SSR. Esto es importante porque evita que fluya voltaje o corriente entre los dos lados, lo que podría dañar el SSR.

El aislamiento galvánico del relé de estado sólido, como también se llama el circuito de aislamiento, utiliza principalmente un LED o infrarrojo para acoplar o disparar el transistor en el lado de la carga.

El circuito de función puede comprender rectificadores, protección, detección y varios otros circuitos. El circuito de activación, como su nombre indica, se utiliza para activar el circuito de salida. La salida con entonces, utilizando dispositivos semiconductores, controla la función de encendido/apagado de la carga.

Circuito de salida de relé de estado sólido

El circuito de salida del relé de estado sólido es la parte que se ocupa de encender/apagar las fuentes de alimentación de la carga. Consiste principalmente en un transistor o chip de salida, un voltaje transitorio supresor, y también puede incorporar un circuito de retroalimentación. Funciona de la siguiente manera. (Geya, 2022, pág. 15)

Al recibir la señal de disparo del circuito de excitación, el transistor de alta potencia de salida se enciende, lo que permite que la corriente fluya a través de la carga. Este circuito, por lo tanto, generalmente está conectado directamente a la fuente de alimentación de la carga especificada.

Los componentes utilizados son principalmente MOSFET, IGBTy tiristores (SCR o Triacs). Además, la salida del relé de estado sólido puede ser de tipo CC, tipo CA o ambos tipos, CA y CC.

La salida de relé de estado sólido (cuando se clasifica como CA) puede ser de tipo monofásico o trifásico. Estos también pueden ser tipos de cruce por cero o de encendido aleatorio.

2.1.11. Termocuplas

Es un sensor de temperatura más común utilizado industrialmente, se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo por lo general soldados al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño efecto Seebeck del orden de los milivolts el cual aumenta la temperatura. Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina) en un extremo. Este sensor nos permite controlar la temperatura a la cual se van a secar los rebobinados de acuerdo con las kVA que se ingrese en el horno. (Martínez, 2022, pág.33)

En el proyecto de (Martínez, 2022), se utilizó la Termocupla tipo K ya que son las que usualmente se utilizan en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, la fundición de cobre y en hornos de tratamientos térmicos. Es la unión de cromel y alumel, se recurre a ella para la fundición y 40 en hornos con temperaturas menores a la indicada por ejemplo para la cocción de cobre, así como en hornos de tratamiento térmico.

2.1.12. Pérdidas de calor

La pérdida de calor es el movimiento intencionado o no intencionado del calor de un material a otro. Esto puede ocurrir a través de la conducción, la convección y la radiación. La conducción a menudo ocurre cuando un componente aislado o no aislado está en contacto directo con otro componente. La convección se produce cuando la tubería, el calentador eléctrico u otro componente tienen una barrera de aire alrededor. La radiación se produce cuando no hay contacto y el calor se mueve como olas.

2.1.12.1. Cargas térmicas

La energía se puede transferir hacia o desde una masa determinada mediante dos mecanismos: calor Q y trabajo W . Si la fuerza impulsora detrás de la interacción de energía es una diferencia de temperatura, entonces la interacción de energía es transferencia de calor. De lo contrario, es sólo trabajo. Los pistones ascendentes, los ejes giratorios y los cables que cruzan los límites del sistema están relacionados con las interacciones laborales. El trabajo realizado por unidad de tiempo se llama potencia y se expresa en W . La unidad de potencia es W o HP ($1 HP = 746 W$). Los motores de automóvil y las turbinas hidráulicas, de vapor y de gas producen trabajo; lo consumen compresores, bombas y mezcladores. Tenga en cuenta que la energía de un sistema disminuye cuando se realiza trabajo y aumenta cuando se realiza trabajo.

El flujo de calor se entiende como la transferencia de energía térmica más que como el flujo de una sustancia similar a un fluido llamada calor, aunque el origen de esta frase es esta última interpretación errónea basada en la teoría calórica. De manera similar, el calor transferido hacia un sistema a menudo se denomina entrada de calor, mientras que el calor transferido fuera del sistema se llama rechazo de calor. Para ser coherentes con la práctica actual, nos referimos a la energía térmica como calor y a la transferencia de energía térmica como transferencia de calor. El calor transferido en el proceso está representado por Q . El calor transferido por unidad de tiempo se denomina tasa de transferencia de calor y se expresa en Q -promedio. El promedio representa la derivada con respecto al tiempo o "por unidad de tiempo". La unidad de tasa de transferencia de calor Q es J/s , que equivale a W .

Una vez establecida la razón de transferencia de calor, Q , se logra determinar la cuantía total de transferencia de calor Q , durante un intervalo de tiempo Δt a partir de:

$$\text{Ecuación} \quad Q = \int_0^{\Delta t} Q_{\text{prom}} dt \quad [J] \quad (2-6)$$

Al conocer la variación de Q_{prom} con el tiempo. Para el caso especial de $Q_{\text{prom}} = \text{constante}$, la ecuación anterior se reduce a:

$$\text{Ecuación} \quad Q = Q_{\text{prom}} * \Delta t \quad [J] \quad (2-7)$$

La transferencia de calor también puede denominarse calor sensible y puede expresarse como la transferencia de energía al sistema o igual al aumento de energía del sistema, el cual se expresa mediante la ecuación:

$$\text{Ecuación} \quad Q = m * C_p * \Delta T \quad [J] \quad (2-8)$$

En donde m es la masa del sistema, C_p corresponde al calor específico del material y ΔT es la variación de temperatura, expresado como $(T_2 - T_1)$.

2.1.12.2. Resistencia térmica por convección natural

Esta convección se denomina convección natural (o libre) cuando el movimiento del fluido es provocado por la presión provocada por diferencias de densidad provocadas por cambios en la temperatura del fluido (Ilustración 2-5).

Por ejemplo, sin un ventilador, la transferencia de calor desde el termo-bloque se produciría por convección natural, ya que en este caso cualquier movimiento en el aire estaría asociado con el

aire más caliente que asciende (por lo que los más ligeros) permanecen más cerca de la superficie, mientras que los más fríos (y por tanto los más pesados) caen para ocupar sus lugares (Cengel y Ghajar 2011).

Si la diferencia de temperatura entre el aire y el bloque no es suficiente para superar la resistencia al movimiento del aire, provocando convección natural, la transferencia de calor entre el bloque y el aire circundante será por conducción.

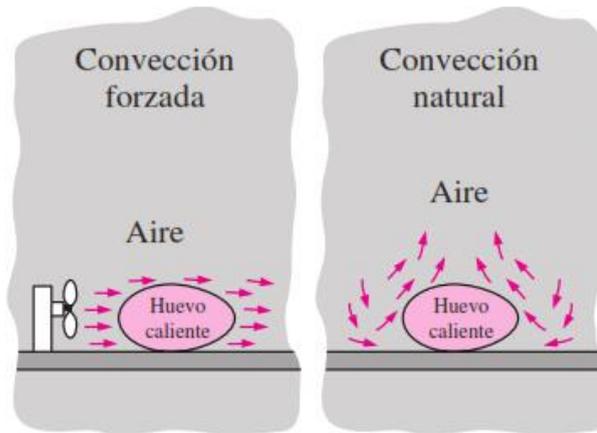


Ilustración 2-5: Representación de convección forzada y natural.

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

Aunque la convección es compleja, se ha observado que la tasa de transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se puede expresar convenientemente utilizando la ley de enfriamiento de Newton:

Ecuación
$$Q_{\text{conv}} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad [\text{W}] \quad (2-9)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, la unidad es $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ o $\text{Btu}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$, al igual que el área de superficie donde se produce la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie, T_∞ es la temperatura. líquido lo suficientemente lejos de la superficie. Es importante el tener en cuenta que la temperatura del líquido en la superficie es la misma que la temperatura del sólido, es decir, que en el momento de la práctica esos valores van a influir mucho en la ejecución en el campo.

- Número de Nusselt

En los estudios de convección, es una práctica común reducir el número total de variables

eliminando dimensiones de las ecuaciones gobernantes y combinando las variables en números adimensionales. Un enfoque común es dividir el tamaño del coeficiente de transferencia de calor h por el número de Nusselt, definido como:

$$\text{Ecuación} \quad \text{Nu} = h * \frac{L_c}{k} \quad (2-10)$$

Donde k es la conductividad térmica del fluido y L_c es la longitud característica.

El número de Nusselt representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa. Entre mayor sea el número de Nusselt, más eficaz es la convección. Un número de Nusselt de $\text{Nu}=1$ para una capa de fluido representa transferencia de calor a través de ésta por conducción pura.

- Número de Prandtl

La mejor manera de describir el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica es por medio del parámetro número de Prandtl adimensional, definido como

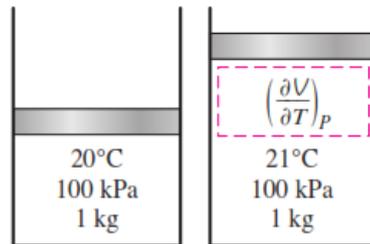
$$\text{Ecuación} \quad \text{Pr} = \frac{\text{Difusividad molecular de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad molecular del calor}} = \frac{\nu}{\alpha} = \mu * \frac{C_p}{k} \quad (2-11)$$

- Coeficiente de expansión volumétrica

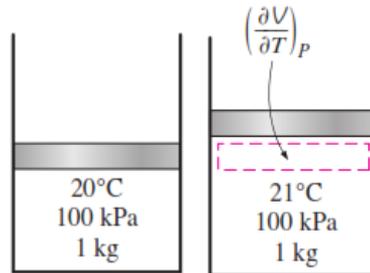
El efecto de flotabilidad tiene implicaciones de largo alcance en la vida. Por una parte, sin la flotación, la transferencia de calor entre una superficie caliente (o fría) y el fluido circundante sería por conducción, en lugar de por convección natural. Las corrientes de convección natural que se encuentran en los océanos, los lagos y la atmósfera deben su existencia a la flotabilidad. Asimismo, los botes ligeros, así como los pesados barcos de guerra hechos de acero se mantienen en la superficie del agua debido a la flotabilidad.

En los estudios de transferencia de calor la variable principal es la temperatura y resulta conveniente expresar la fuerza neta de flotabilidad en términos de las diferencias de temperatura. Pero esto requiere que se exprese la diferencia de densidades en términos de diferencias de temperatura, lo cual requiere el conocimiento de una propiedad que represente la variación de la densidad de un fluido con la temperatura a presión constante. La propiedad que proporciona esa información es el coeficiente de expansión volumétrica β .

El coeficiente de expansión volumétrica es una medida del cambio en el volumen de una sustancia con la temperatura, a presión constante.



a) Sustancia con β grande



b) Sustancia con β pequeño

Ilustración 2-6:

Representación de β para diferentes sustancias.

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

Podemos demostrar con facilidad que el coeficiente de expansión volumétrica β de un gas ideal ($P=\rho RT$) a una temperatura T es equivalente a la inversa de la temperatura:

Ecuación
$$\beta_{\text{gas ideal}} = \frac{1}{T} \quad \left[\frac{1}{\text{K}} \right] \quad (2-12)$$

En donde T es la temperatura termodinámica, es decir, expresada en la escala absoluta. Note que un valor alto de β para un fluido significa un cambio grande en la densidad con la temperatura y que el producto $\beta\Delta T$ representa la fracción del cambio de volumen de un fluido que corresponde a un cambio de temperatura ΔT a presión constante.

- Número de Reynolds

La transición de flujo laminar a flujo turbulento depende de la geometría de la superficie, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido. Después de extensos experimentos en la década de 1880, Osborne Reynolds descubrió que las

condiciones de flujo dependen principalmente de la relación entre la inercia y las fuerzas viscosas en un fluido, esta relación se llama Renault lo que corresponde o entiende en un contorno infinito. Es importante señalar que este tipo relaciones o interpretaciones permite comprender mejor los experimentos que se realizan para la realización del horno eléctrico.

Ecuación
$$Re = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} \quad (2-13)$$

$$Re = \frac{V * L_c}{\nu} = \frac{\rho * V * L_c}{\mu}$$

Donde V es la velocidad corriente superior (equivalente a la velocidad de la corriente libre para una placa plana), L_c es la longitud característica de la configuración geométrica y $\nu = \mu/\rho$ es la viscosidad cinemática del fluido.

- Número de Grashof

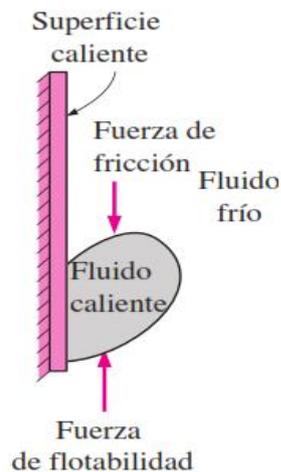


Ilustración 2-7: Representación del número de Grashof

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

El número adimensional, número de Grashof, que representa la razón de las fuerzas de flotabilidad con respecto a las fuerzas viscosas, en oposición que actúan sobre el fluido. Como tal, este número proporciona el criterio principal en la determinación de si el flujo del fluido es laminar o turbulento en la convección natural. Por ejemplo, para las placas verticales se observa que el número crítico de Grashof es alrededor de 10^9 . Por lo tanto, el régimen del flujo sobre una placa vertical se vuelve turbulento a números de Grashof mayores que 10^9 .

A este número se lo puede definir como

Ecuación
$$Gr_L = (g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty)) \cdot \frac{L_c^3}{\nu^2} \quad (2-14)$$

En donde:

g =aceleración gravitacional, [m/s²]

β =coeficiente de expansión volumétrica, [1/K($\beta=1/T$ para los gases ideales)]

T_s =temperatura de la superficie, [°C]

T_∞ =temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, [°C]

L_c =longitud característica de la configuración geométrica, [m]

ν =viscosidad cinemática del fluido, [m²/s]

El número de Reynolds, el cual es adimensional y representa la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido, rige el régimen de flujo en la convección forzada. El número de Grashof, el cual también es adimensional y representa la razón entre la fuerza de flotabilidad y la fuerza viscosa que actúan sobre el fluido, rige el régimen de flujo en la convección natural. El papel que desempeña el número de Reynolds en la convección forzada es realizado por el número de Grashof en la convección natural.

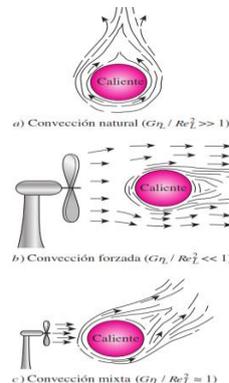


Ilustración 2-8: Regímenes de transferencia

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

- Número de Rayleigh

Es el producto de los números de Grashof y de Prandtl; que es el producto del número de Grashof, que describe la relación entre flotabilidad y viscosidad dentro del fluido, y el número de Prandtl, que describe la relación entre la difusividad de la cantidad de movimiento y la difusividad térmica. Por lo tanto, el número de Rayleigh por sí mismo puede considerarse como la razón de las fuerzas de flotabilidad y (los productos de) las difusividades térmicas y de cantidad de movimiento.

Ecuación
$$Ra_L = Gr_L * Pr = \left(\frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{\nu^2} \right) * Pr = g * \beta * (T_s - T_\infty) * \frac{L_c^3}{\nu} * \alpha \quad (2-15)$$

Los valores de las constantes C y n dependen de la configuración geométrica de la superficie y del régimen de flujo, el cual se caracteriza por el rango del número de Rayleigh. El valor de n suele ser 1/4 para el flujo laminar y 1/3 para el turbulento. El valor de la constante C normalmente es menor que 1. En la Ilustración 2-9 se exponen relaciones simples para el número promedio de Nusselt para varias configuraciones geométricas, junto con esquemas de estas últimas. En esta tabla también se dan las longitudes características de las configuraciones y los intervalos del número de Rayleigh en los cuales la relación es aplicable. Todas las propiedades del fluido deben evaluarse a la temperatura de película de la siguiente manera.

Ecuación
$$T_f = \frac{1}{2} * (T_s - T_\infty) \quad (2-16)$$

El fenómeno de convección natural existente en un recinto cerrado contiene diversos parámetros de funcionamiento como es la longitud característica del recinto, esta longitud representa a la distancia que circula cierta partícula en el interior del volumen de un fluido con respecto a la capa límite utilizada con su respectiva área superficial. Descrita por la Ecuación 2-17:

Ecuación
$$L_c = \frac{V}{A} \quad (2-17)$$

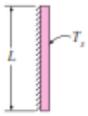
Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	L	$10^4 - 10^9$	$Nu = 0.59 Ra_L^{1/4}$ (9-19)
		$10^{10} - 10^{13}$	$Nu = 0.1 Ra_L^{1/3}$ (9-20)
		Todo el intervalo	$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{3/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)

Ilustración 2-9: Correlaciones Empíricas

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

2.1.12.3. Resistencia térmica en paredes planas

Considere la conducción estática del calor a través de las paredes de la casa en invierno. Como todos sabemos, el calor se pierde constantemente a través de las paredes hacia el exterior. Intuitivamente, la transferencia de calor a través de la pared es en dirección perpendicular a la pared y no hay transferencia de calor obvia en la pared en otras direcciones (Ilustración 2-10).

Recuerde que la transferencia de calor en una dirección determinada está determinada por el gradiente de temperatura en esa dirección. No habrá transferencia de calor en una dirección donde

la temperatura no cambie. Las mediciones de temperatura tomadas en varios lugares de la superficie interior o exterior de la pared confirmarán que la superficie de la pared es realmente isotérmica. Es decir, las partes superior e inferior de la superficie de la pared, así como los bordes izquierdo y derecho, tienen temperaturas similares. Por lo tanto, no hay transferencia de calor de arriba a abajo o de izquierda a derecha a través de la pared, pero hay una diferencia de temperatura significativa entre la superficie interior y exterior de la pared, por lo que una cantidad significativa está de arriba a abajo. dirección. desde la superficie interior a la superficie exterior.

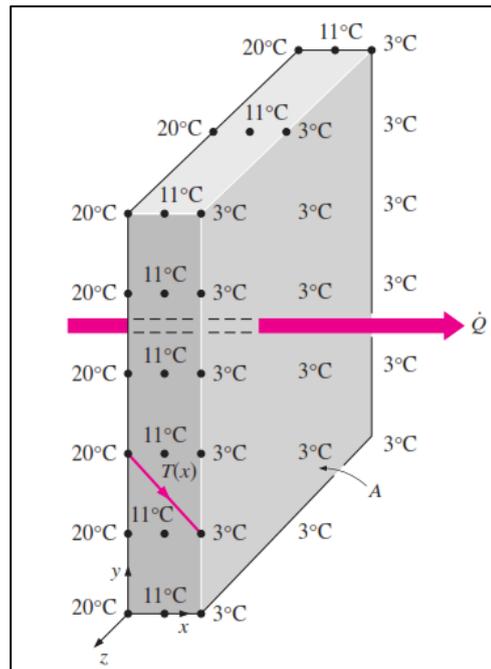


Ilustración 2-10: Transferencia de calor a través de una pared

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

Considere una pared plana con espesor L y conductividad térmica promedio k . Ambas paredes se mantienen a temperatura constante T_1 y T_2 . Para la conducción de calor unidimensional en estado estacionario a través de la pared, tenemos $T(x)$. Entonces, la ley de Fourier de conducción de calor en las paredes se puede expresar como:

$$\text{Ecuación} \quad Q_{\text{cond,pared}} = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad (2-18)$$

Donde la tasa de transferencia de calor conductivo $Q_{\text{cond,pared}}$ y el área de la pared A serán constantes. Por lo tanto, $dT/dx = \text{constante}$, lo que significa que la temperatura de la pared varía linealmente con x . Esto significa que, en condiciones estables, la distribución de temperatura en la pared es recta (Ilustración 2-11).

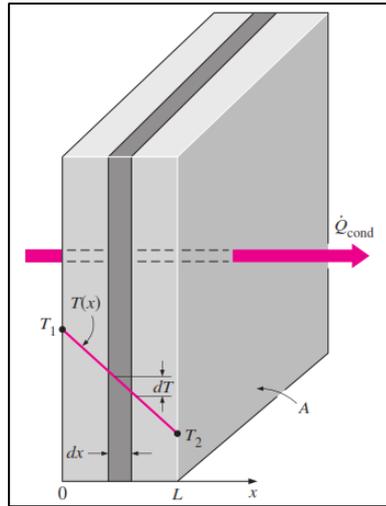


Ilustración 2-11: Condiciones Estacionarias

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

Al ejecutar las integraciones y reacomodar, queda de la siguiente manera:

Ecuación
$$Q_{cond,pared} = -k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (W) \quad (2-19)$$

Para la conducción de calor a través de una pared plana se puede reacomodar y obtener:

Ecuación
$$Q_{cond,pared} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} \quad (W) \quad (2-20)$$

Donde

Ecuación
$$R_{pared} = \frac{L}{k \cdot A} \quad \left(\frac{^\circ C}{W} \right) \quad (2-21)$$

Es la resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la pared.

Considere la transferencia de calor por convección de una superficie sólida de área \$A_s\$ y temperatura \$T_s\$ hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie es \$T_\infty\$, con un coeficiente de transferencia de calor por convección \$h\$. La ley de Newton del enfriamiento para la razón de transferencia de calor por convección, \$Q_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty)\$, se puede reacomodar para obtener

Ecuación
$$Q_{\text{conv}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{conv}}} \quad [\text{W}] \quad (2-22)$$

Donde

Ecuación
$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{h} * A_s \quad \left[\left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right) \right] \quad (2-23)$$

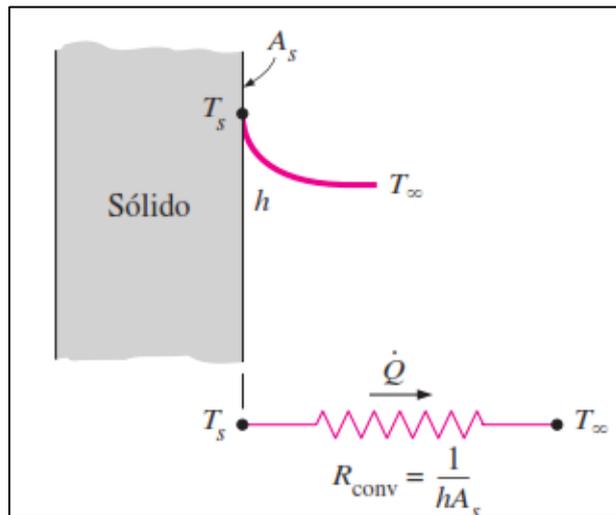


Ilustración 2-12: Esquema de resistencia

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

Ésta es la resistencia térmica de la superficie a la convección del calor, o simplemente la resistencia de la superficie a la convección (Ilustración 2-12). Tenga en cuenta que si el coeficiente de transferencia de calor por convección es muy grande ($h \rightarrow \infty$), la resistencia convectiva se vuelve cero, $T_s = T_\infty$. Esto significa que la superficie no resiste la convección y, por tanto, no ralentiza el proceso de transferencia de calor. Esta situación ocurre a menudo en la práctica en superficies donde se produce ebullición y condensación.

En condiciones estacionarias se tiene que la razón de la convección de calor hacia la pared es igual a la razón de la conducción de calor a través de la pared y a su vez igual a la razón de la convección de calor desde la pared, es decir:

Ecuación
$$Q = h_1 * A * (T_{\infty 1} - T_1) = k * A * (T_1 - T_2) / L = h_2 * A * (T_2 - T_{\infty 2}) \quad (2-24)$$

La cual se puede reacomodar como

Ecuación
$$Q = (T_{\infty 1} - T_1) / (1/h_1 * A) = (T_1 - T_2) / (L/k * A) = (T_2 - T_{\infty 2}) / (1/h_2 * A) = (T_{\infty 1} - T_1) / R_{\text{conv},1} \quad (2-25)$$

$$=(T_1-T_2)/R_{\text{pared}}=(T_2-T_{\infty 2})/R_{\text{conv},2}$$

Una vez que se calcula la tasa de transferencia de calor, también se puede usar la ecuación (2-16) para determinar las temperaturas intermedias T_1 o T_2 . Al sumar los numeradores y los denominadores, da

$$\text{Ecuación} \quad Q=(T_{\infty 1}-T_{\infty 2})/R_{\text{total}} \quad (\text{W}) \quad (2-26)$$

Donde

$$\text{Ecuación} \quad R_{\text{total}}=R_{\text{conv},1}+R_{\text{pared}}+R_{\text{conv},2}=1/(h_1 * A)+L/(k * A)+1/(h_2 * A) \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad (2-27)$$

En la práctica, a menudo se encuentran paredes planas compuestas por varias capas de diferentes materiales. Además, el concepto de resistencia térmica se puede utilizar para determinar el coeficiente de transferencia de calor en estado estacionario a través de estas paredes compuestas. Como el lector ya habrá adivinado, esto se hace simplemente reconociendo que la resistencia de línea de cada pared es $L/k * A$ en serie y aplicando una analogía eléctrica. Es decir, se calcula dividiendo la diferencia de temperatura que existe entre dos superficies a una temperatura conocida entre la resistencia térmica total de ambas superficies. Imagine una pared plana formada por dos capas (por ejemplo, una pared de ladrillos con una capa de aislamiento). El coeficiente de transferencia de calor en estado estacionario a través de esta pared compuesta de dos capas se puede expresar como (Ilustración 2-13).

$$\text{Ecuación} \quad Q=(T_{\infty 1}-T_{\infty 2})/R_{\text{total}} \quad [\text{W}] \quad (2-28)$$

Donde R_{total} es la resistencia térmica total, expresada como

$$\text{Ecuación} \quad R_{\text{total}}=R_{\text{conv},1}+R_{\text{pared},1}+R_{\text{pared},2}+R_{\text{conv},2} \\ =1/(h_1 * A)+L_1/(k_1 * A)+L_2/(k_2 * A)+1/(h_2 * A) \quad [^\circ\text{C}/\text{W}] \quad (2-29)$$

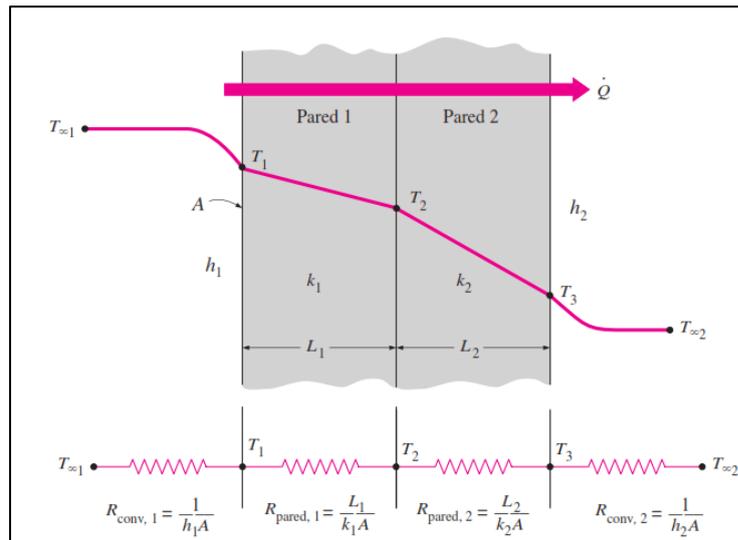


Ilustración 2-13: Red de resistencia térmica para transferencia de calor

Fuente: (Cengel y Ghajar 2011)

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO PARA REALIZAR TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSIÓN

3.1. Requerimientos necesarios para la construcción del horno eléctrico

Teniendo en cuenta el procedimiento que se realiza para la reparación de tuberías dentro de la Planta de Producción de la empresa SERTECPET, mencionado en el capítulo anterior se presentan los siguientes requerimientos que se necesitan para construir un horno eléctrico para el tratamiento térmico de alivio de tensiones.

3.1.1. *Facilidad de mantenimiento*

La facilidad a la hora de realizar un mantenimiento es un elemento clave que beneficia al necesitar reemplazar una pieza, el cambio de niquelinas o resistencias eléctricas de las cámaras de calor las cuales se suelen fracturar por el constante movimiento, limpieza de las cámaras, el reemplazo de componentes eléctricos tanto el relé de estado sólido, como el controlador de temperatura que regularmente son afectados por el calor que emite el horno.

Estas y otras actividades se realizan mensualmente, pero cuando el horno trabaja por periodos muy largos las fallas suelen aumentar, para poder solucionarlas se emplea un tiempo aproximado de 2 a 3 horas, siempre y cuando el horno esté frío. Identificando los problemas que tienen los hornos actuales, se presenta un diseño que pretende resolver todos estos inconvenientes, así como acortar el tiempo entre el reemplazo de elementos, para lo cual se enlista las siguientes consideraciones a tomar en la fabricación del nuevo horno.

- Se utilizará planchas de concreto refractario de 3 cm de espesor con ranuras hechas a la medida de las resistencias eléctricas, para que puedan retirarse fácilmente cuando las resistencias se rompan. Al implementar esto, ayudará a que las resistencias se cambien más rápido y, sobre todo, al estar fijas tendrán una vida útil mucho más larga que las actuales.
- Las puertas de las cámaras de calor serán móviles, permitiendo que puedan abrirse y cerrarse fácilmente utilizando dos bisagras que estarán sujetas al chasis del horno, y una abrazadera ajustable de palanca como seguro. Con esto se solucionará el inconveniente de que las compuertas se caigan por el aislamiento de los pernos que las sujetan, y

también reducirá el tiempo en abrir y cerrar las mismas para realizar la limpieza de los hornos.

- Se realizará un tablero eléctrico a la medida de los componentes para que los mismos puedan estar aislados del calor que emite el horno, sobre todo los relés de estado sólido que se encuentran detrás de las cámaras de calor siendo una posición crítica, además dentro del tablero eléctrico se implementará un ventilador y un aislamiento para poder refrigerar a los relés de estado sólido y evitar que interfieran con los demás elementos del tablero.

3.1.2. Capacidad

Actualmente, cada horno eléctrico tiene una capacidad de dar tratamiento térmico a 3 tubos, es decir, un tubo por cámara de calor. Se requiere construir un horno eléctrico con capacidad para dar tratamiento térmico a 6 tubos, es decir, 2 por cámara de calor, esto ayudará a minimizar el espacio y la probabilidad de implementar otro horno a futuro.

En un área de 1.080 cm^2 se pueden instalar 2 tubos de $3 \frac{1}{2}$ de pulgadas de diámetro por cámara, por otro lado, la longitud roscada varía de acuerdo con el estado de la tubería que ingresa a reparación, se tiene un promedio de 30 cm, considerando también que la termocupla debe guardar la respectiva distancia con la tubería se consideran las siguientes medidas expresadas en la Ilustración 3-1 para el área y volumen de la cámara de calor.

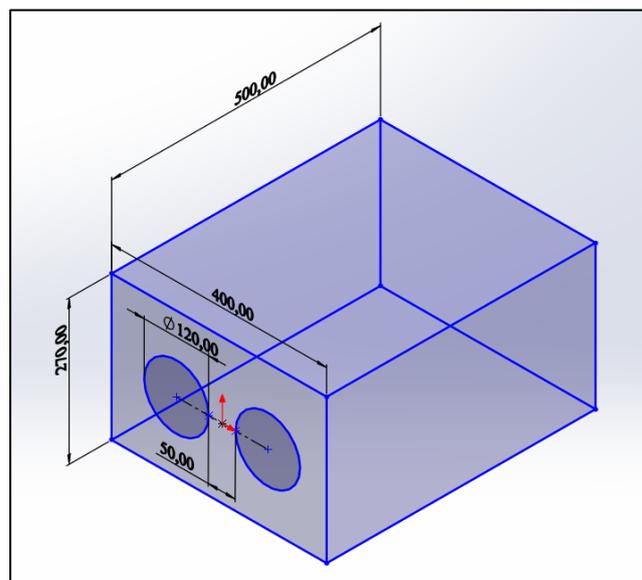


Ilustración 3-1: Medidas de la cámara de calor

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Una base de 400 mm, una altura de 270 mm y una profundidad de 500 mm, considerando que exista un juego entre el tubo y la pared, se toma un diámetro de 120mm y la separación entre cada tubería de 50 mm. Calculando el área se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Área} = 400\text{mm} \times 270\text{mm} = 108.000 \text{ mm}^2 \text{ o que es igual a } 1.080 \text{ cm}^2$$

Calculando el volumen queda:

$$\text{Volumen} = 400\text{mm} \times 270\text{mm} \times 500\text{mm} = 54000000 \text{ mm}^3 \text{ o que es igual a } 54000 \text{ cm}^3 = 0,054 \text{ m}^3$$

Estas medidas garantizarán que se puedan trabajar tranquilamente dos tuberías por cámara de calor

3.1.3. Ergonomía

Se considera la ergonomía al evaluar cómo el operador interactúa con el equipo. El horno eléctrico actual requiere de herramientas manuales para ajustar sus cuatro parantes roscados, lo cual dificulta su manipulación debido a la finura de la rosca y el reducido paso. Para abordar este problema, se diseñará un sistema de elevación manual con rosca ACME de doble entrada y mayor diámetro, utilizando cinco parantes. Esto facilitará el manejo del equipo sin la necesidad de herramientas adicionales. Además, se instalarán garruchas giratorias con capacidad para 250 kg para facilitar el transporte del horno cuando no esté en uso.

3.1.4. Cálculo del rango de temperatura de alivio de tensión

Según lo estudiado en el capítulo II en base con el procedimiento para evaluar el rango de temperatura de alivio de tensión, se procede a calcular la temperatura máxima y mínima, teniendo en cuenta los siguientes datos obtenidos por el fabricante para la tubería grado L180 Cr1.

- Material: L80 Cr1
- Tipo de conexión: TSH BLUE con deformación del 2%
- Última temperatura de revenido (LTT) de acuerdo a MTC: 715°C

Reemplazando en la Ecuación 2-1 se tiene que:

$$\text{SRT}_{\text{max}} = 715^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C} = 660^\circ\text{C}$$

Reemplazado en la Ecuación 2-3 se tiene que:

$$SRT_{min1}=715^{\circ}C-105^{\circ}C=610^{\circ}C$$

De acuerdo con la ecuación 2-4, que nos dice que la $SRT_{min2}=550^{\circ}C$, y aplicando la ecuación 2-2, dice que se debe seleccionar la temperatura mayor entre SRT_{min1} y la SRT_{min2} , se deduce que la $SRT_{min}=610^{\circ}C$.

De esta manera el rango de temperatura para las tuberías grado L80 Cr1 de 3½ de pulgada de diámetro van desde $610^{\circ}C$ a $660^{\circ}C$, cabe recalcar que son las temperaturas a las que debe alcanzar el tubo, mas no el horno.

3.1.5. Determinación de la variable tiempo de exposición de los tubos en la cámara de calor

Según el procedimiento de Tenaris Hydril la cantidad de tiempo que un extremo deformado permanece a la temperatura designada se regula de la siguiente manera:

- No debe exceder los 10 minutos para grados de acero destinados a servicio agrio (se recomienda un período de 8 a 10 minutos).
- No debe exceder los 20 minutos para todos los demás grados de servicio no ácido (se recomienda un período de 12 a 20 minutos).

En base a lo expuesto, para garantizar cubrir la capacidad y la demanda que tiene la Planta de Producción en lo referente a reparación de tubería, se pretende que el horno trabaje en un tiempo de 10 minutos, por cada par de tubos, este tiempo servirá para posterior calcular las resistencias térmicas y perdidas de calor en el estudio térmico del proyecto.

3.2. Estudio térmico del horno

En esta parte del proyecto se va a calcular la razón promedio de transferencia de calor que necesita el horno para poder calentar los tubos que ingresan a reparación en la planta de producción, para lo cual se deben calcular las cargas térmicas en la tubería, en el aire de la cámara de calor, la carga por resistencia térmica en las paredes y por infiltración del aire.

3.2.1. Cálculo de cargas térmicas

3.2.1.1. Carga térmica de la tubería que ingresa a reparación

Para poder determinar que potencia calorífica se necesita para que los tubos puedan alcanzar la

temperatura de tratamiento térmico que va desde los 610 °C a 660 °C se procede a calcular la carga térmica con la Ecuación (2-7), y los datos obtenidos en los anexos.

Promedio del rango de temperaturas para alivio de tensiones

$$T_2 = \frac{(660 + 610) \text{ °C}}{2}$$
$$T_2 = 635 \text{ °C} = 908,15 \text{ K}$$

Los datos para el acero de la tubería API grado L80 según el fabricante y el Anexo A son:

- $C_p = 434 \text{ J/kg K}$
- $D = 88,9 \text{ mm} = 0,0889 \text{ m}$
- $d = 75,9968 \text{ mm} = 0,0759968 \text{ m}$
- $L_{\text{rosca}} = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$
- $T_1 = 300 \text{ K}$ temperatura ambiente en al que se encuentra la tubería.
- $\rho_{\text{tubo}} = 8131 \text{ kg/m}^3$

Volumen de la sección roscada del tubo

$$V_{\text{cilindro1}} = \pi(0,04445\text{m})^2(0,2\text{m})$$
$$V_{\text{cilindro1}} = 0,00124\text{m}^3$$

$$V_{\text{cilindro2}} = \pi(0,0379984\text{m})^2(0,2\text{m})$$
$$V_{\text{cilindro2}} = 0,00091\text{m}^3$$

$$V_{\text{Tubo}} = 0,00124\text{m}^3 - 0,00091\text{m}^3$$
$$V_{\text{Tubo}} = 0,00033\text{m}^3$$

Masa de la sección roscada del tubo

$$m = 8131 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00033\text{m}^3$$
$$m = 2,683\text{kg}$$

Aplicando la ecuación (2-8) se tiene que:

$$Q=2,683 \text{ kg} * 434 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} * (908,15 - 308,15) \text{K}$$

$$Q=698653,2 \text{ J}=698,653 \text{ kJ}$$

Para saber la razón promedio de transferencia de calor se divide la cantidad total que resultó, para el tiempo máximo que debe durar el tratamiento, que según el procedimiento detallado en el Capítulo II es de 15 minutos promedio, pero se desea mejorar ese tiempo a 10 minutos, utilizando la Ecuación (2-7) para hallar el resultado:

$$Q_{\text{prom}}=698,653 \frac{\text{kJ}}{600\text{s}}=1,1644 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}=1164,422 \text{ W}$$

$$Q_{\text{prom}}=1164,422 \text{ W}$$

Como van a ingresar dos tuberías por cámara, se multiplica para dos, el resultado obtenido:

$$Q_{\text{prom}}=1164,422 \text{ W} * 2=2328,844 \text{ W}$$

Es el promedio de transferencia de calor, o mejor dicho la potencia que se necesita para calentar a las dos secciones roscadas que van a ingresar a la cámara de calor.

3.2.1.2. Carga térmica del aire

Se procede a calcular la carga térmica del aire que se encuentra en la cámara de calor en función de su volumen, es decir, la razón promedio de la transferencia de calor del aire; utilizando la Ecuación (2-7) y los datos del apéndice 1 y 2.

- $\rho_{\text{aire}}=1,164 \text{ kg/m}^3 \text{ a } 30 \text{ }^\circ\text{C}$
- $V_{\text{cámara}}=0,054 \text{ m}^3$
- $T_2=635 \text{ }^\circ\text{C}=908,15 \text{ K}$
- $T_1=30 \text{ }^\circ\text{C}=303,15 \text{ K}$
- $C_p=1007 \text{ J/kg K}$

Primero se debe calcular el volumen real que será del aire, para eso se restará al volumen de la cámara, el volumen de los tubos multiplicado por dos, que es la cantidad de tubos que van a ingresar por cámara de calor.

$$V_{\text{aire}}=0,054 \text{ m}^3 - 0,00066 \text{ m}^3 = 0,053 \text{ m}^3$$

Masa del aire que se encuentra en la cámara de calor:

$$m = 1,164 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,053 \text{m}^3$$
$$m = 0,062 \text{ kg}$$

Aplicando la Ecuación (2-7) se tiene que:

$$Q = 0,062 \text{ kg} * 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} * (908,15 - 303,15) \text{K}$$
$$Q = 37772,57 \text{ J} = 37,773 \text{ kJ}$$

Para saber el promedio de transferencia de calor, se dividió la cantidad total del resultado para el tiempo máximo que debe durar el tratamiento, que según el procedimiento detallado en el capítulo II es de 10 minutos promedio, sin embargo, se mejoró a 10 minutos, para lo cual se utilizó la ecuación (2-7) para hallar el resultado:

$$Q_{\text{prom}} = 37,773 \frac{\text{kJ}}{600\text{s}} = 0,06295 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 62,95 \text{ W}$$
$$Q_{\text{prom}} \cong 63 \text{ W}$$

3.2.1.3. Cargas térmicas por pérdidas en las paredes

La carga térmica por pérdidas en las paredes hace referencia a la resistencia al flujo de calor a través de ellas, es decir, que cantidad de calor se pierde al cruzar de una pared a otra, estas cargas térmicas dependerán del material que están compuestas las paredes, a su geometría y al medio circundante. Este cálculo servirá para determinar qué tipo de aislante se puede colocar en las paredes, así como su espesor, en función de la temperatura que se encuentra la pared exterior del horno.

Para poder iniciar con estos cálculos, primero se debió dar un boceto del diseño que se quiere implementar, para saber si está correcto o no. Se parte del diseño de la cámara de calor y luego de la estructura que va a sostener a todas las cámaras. Para las paredes de la cámara se propone utilizar de adentro hacia afuera los siguientes materiales, Ilustración (3-2):

- Concreto refractario, (base de las resistencias), con un espesor (L) de 30 mm.
- Ladrillo refractario, con un espesor (L) de 50 mm.

- Colcha de fibra cerámica, con un espesor (L) de 25,4 mm aproximadamente.
- Acero inoxidable AISI 304, espesor (L) de 3 mm

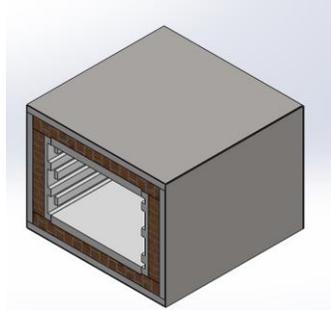


Ilustración 3-2: Cámara de calor del
horno eléctrico

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Las cámaras de calor se van a colocar dentro de una estructura metálica, en donde existirán dos paredes más a considerar para el diseño, como se muestra en la Ilustración (3-3).

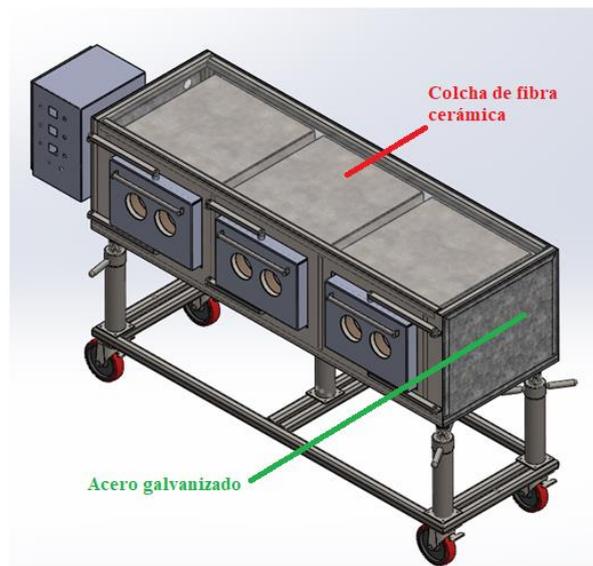


Ilustración 3-3: Cámaras montadas en la
estructura metálica

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

- Colcha de fibra cerámica, con un espesor (L) de 50,8 mm aproximadamente.
- Acero galvanizado, espesor (L) de 1,25 mm

En total suman seis paredes que se van a considerar para el análisis térmico por pérdidas en las paredes, hay que tener en cuenta también que el aire que se encuentra adentro de la cámara, como el que se encuentra afuera de la última pared (acero galvanizado) también se tomarán en cuenta

como una pared como tal. Una vez dicho esto se procede con el análisis.

3.2.1.3.1. Resistencia térmica por convección natural del aire

Como se mencionó anteriormente, la primera pared que se puede evidenciar en la propuesta de diseño es la del aire, por lo tanto, se procede a calcular la razón promedio de transferencia de calor que se libera mediante convección natural en el mismo. Cabe mencionar que también la última pared será la del aire, por ende, existe dos resistencias por convección natural del aire tanto adentro de la cámara como por fuera. En el cálculo de la resistencia térmica por convección natural del aire se utiliza la Ecuación (2-9).

Para poder obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección (h) del aire, se necesita calcular antes tres números muy importantes, el coeficiente de expansión térmica (β), el número de Grashof, el número de Raleigh y el número de Nusselt.

Cabe mencionar que existen dos coeficientes de transferencia de calor, una en el interior de la cámara de calor que se la denominará h_{int} y otra en el exterior que se llamará h_{ext} .

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección en la pared externa (h_{ext})

- *Coeficiente de expansión térmica (β)*

Para hallar el valor de (β) se utiliza la Ecuación (2-12) en donde la temperatura termodinámica será el promedio de la temperatura ambiente, más la temperatura promedio que deben alcanzar los tubos, estos valores se calcularon con anterioridad.

- $T_2=635\text{ }^\circ\text{C}=908,15\text{ K}$
- $T_1=30\text{ }^\circ\text{C}=303,15\text{ K}$

$$T_{prom} = \frac{(908,15+303,15)\text{K}}{2}$$

$$T_{prom}=605,65\text{ K}$$

$$\beta_{gas\ ideal} = \frac{1}{605,15} = 0,00165\text{ K}^{-1}$$

- *Número de Grashof*

Para obtener este valor se utiliza la Ecuación (2-14). En donde L_c corresponde a la altura de la pared del horno siendo 320 mm o 0,32 m, y v $5,475 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ de acuerdo con $T_{\text{prom}}=330^\circ\text{C}$ y el Anexo B.

$$Gr_L = \frac{\left(\frac{9,81\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0,00165 \text{ K}^{-1}) * (908,15 - 303,15)\text{K} * (0,32\text{m})^3}{\left(5,475 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)^2}$$

$$Gr_L = 1,071 \times 10^8$$

- *Número de Rayleigh*

Para obtener este valor se utiliza la Ecuación (2-15) y el valor de Prandtl que es 0,6937, obtenido del Anexo B, para una temperatura de 350°C que es el promedio aproximado de las temperaturas T_1 y T_2 .

$$Ra_L = 1,071 \times 10^8 * 0,6937$$

$$Ra_L = 7,431 \times 10^7$$

- *Número de Nusselt*

Para calcular este valor se utiliza la ecuación presentada en la Ilustración 2-9, para todo el intervalo debido a que se desea un resultado más exacto.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (Ra_L)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (7,431 \times 10^7)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,6937}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = 55,7321$$

Para finalizar se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección en la

pared externa (h_{ext}) con la Ecuación (2-10), sabiendo que la conductividad térmica k para el aire a 350 °C es de 0,04721 W/m K.

$$h_{ext}=55,7321*0,04721 \frac{W}{m K} * \frac{1}{0,32m}$$

$$h_{ext}=8,222 \frac{W}{m^2 K}$$

Una vez obtenido este valor se calcula la resistencia térmica con la Ecuación (2-9).

$$Q_{conv,ext}=8,222 \frac{W}{m^2 K} * 0,16 m^2 * (908,15-303,15)K$$

$$Q_{conv,ext}=795,911 W$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección en la pared interna (h_{int})

- *Coeficiente de expansión térmica (β)*

Para hallar el valor de (β) se utiliza la Ecuación (2-12) en donde la temperatura termodinámica será el promedio de la temperatura ambiente, más la temperatura promedio que deben alcanzar los tubos, estos valores se calcularon con anterioridad.

- $T_2=660 \text{ °C}=923,15 \text{ K}$
- $T_1=610 \text{ °C}=883,15 \text{ K}$

$$T_{prom} = \frac{(923,15+883,15)K}{2}$$

$$T_{prom}=903,15 \text{ K}$$

$$\beta_{gas \text{ ideal}} = \frac{1}{903,15 \text{ K}} = 0,0011 \text{ K}^{-1}$$

- *Número de Grashof*

Para el valor se utiliza la Ecuación (2-14). En donde L_c se calcula con la Ecuación (2-17).

$$L_c = \frac{0,053 m^3}{0,16m^2}$$

$$L_c=0,33125 m$$

Se procede a calcular el número de Grashof con la viscosidad cinemática $\nu=1,133 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$, para una temperatura promedio de 700 °C.

$$Gr_L = \frac{\left(\frac{9,81\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0,0011 \text{ K}^{-1}) * (923,15 - 883,15)\text{K} * (0,33125\text{m})^3}{\left(1,133 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)^2}$$

$$Gr_L = 1,230 \times 10^6$$

- *Número de Rayleigh*

Para obtener este valor se utiliza la Ecuación (2-15) y el valor de Prandtl que es 0,7092, obtenido en la tabla A15 de (Cengel y Ghajar 2011) para una temperatura de 700 °C que es el promedio aproximado de las temperaturas T_1 y T_2 .

$$Ra_L = 1,230 \times 10^6 * 0,7092$$

$$Ra_L = 8,725 \times 10^5$$

- *Número de Nusselt*

Para calcular este valor se utiliza la ecuación presentada en la Ilustración 2-9 para todo el intervalo debido a que se desea un resultado más exacto.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (Ra_L)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (8,725 \times 10^5)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7092}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = 15,9680$$

Para finalizar se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección en la pared externa (h_{int}) con la Ecuación (2-10), sabiendo que la conductividad térmica k para el aire a

700 °C es de 0,06581 W/m K.

$$h_{int}=15,9680*0,06581 \frac{W}{m K} *0,33125 m$$

$$h_{int}=3,172 \frac{W}{m^2 K}$$

Una vez obtenido este valor se calcula la resistencia térmica por convección natural del aire con la Ecuación (2-9).

$$Q_{conv,int}=3,172 \frac{W}{m^2 K} *0,33125 m^2 *(923,15-883,15)K$$

$$Q_{conv,int}=20,303 W$$

3.2.1.3.2. Resistencia térmica en las paredes laterales

Para poder calcular las resistencias térmicas presentes en las paredes laterales del horno se debe utilizar la Ecuación (2-29), la Ilustración 3-4, muestra la representación de las paredes que tiene la cámara de calor y cada uno de sus componentes.

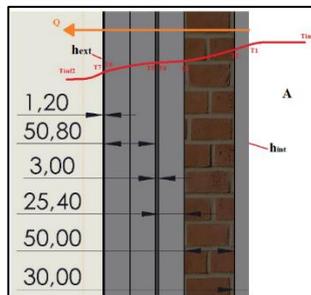


Ilustración 3-4: Resistencia térmica en las paredes laterales

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Se calcula $R_{conv,1}$ con el área antes delimitada $A=0,16 m^2$

$$R_{conv,1} = \frac{1}{3,172 \frac{W}{m^2 K} *0,16 m^2}$$

$$R_{conv,1} = 1,970 \frac{K}{W}$$

Se calcula $R_{pared,1}$ para un espesor de 30 mm y una conductividad térmica de 0,18 W/m² K del

concreto refractario.

$$R_{\text{pared},1} = \frac{0,03 \text{ mm}}{0,18 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,16 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},1} = 1,042 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},2}$ para un espesor de 50 mm y una conductividad térmica de 0,41 W/m K del ladrillo refractario.

$$R_{\text{pared},2} = \frac{0,050 \text{ mm}}{0,41 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,16 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},2} = 0,762 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},3}$ para un espesor de 25,4 mm y una conductividad térmica de 0,19 W/m K de la colcha de fibra cerámica.

$$R_{\text{pared},3} = \frac{0,050 \text{ mm}}{0,41 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,16 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},3} = 0,836 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},4}$ para un espesor de 0,003 mm y una conductividad térmica de 14,9 W/m K del acero inoxidable.

$$R_{\text{pared},4} = \frac{0,003 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,16 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},4} = 0,00126 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},5}$ para un espesor de 50,8 mm y una conductividad térmica de 0,19 W/m K de la colcha de fibra cerámica.

$$R_{\text{pared},5} = \frac{0,0508 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,16 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},5} = 1,671 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},6}$ para un espesor de 1,20 mm y una conductividad térmica de 37,7 W/m K del acero galvanizado.

$$R_{\text{pared},6} = \frac{0,0012 \text{ mm}}{37,7 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,16 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},6} = 0,000199 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{conv},2}$ con el $h_{\text{ext}}=8,222 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$$R_{\text{conv},2} = \frac{1}{8,222 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} * 0,16 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv},2} = 0,760 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Sumando todas las resistencias queda

$$R_{\text{total}} = (1,970 + 1,042 + 0,762 + 0,836 + 0,00126 + 1,671 + 0,000199 + 0,760) \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{total}} = 5,072 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula la resistencia térmica en las paredes laterales con la ecuación (2-28)

$$Q_{\text{paredes,L}} = \frac{(908,15 - 303,15) \text{ K}}{5,072 \frac{\text{K}}{\text{W}}}$$

$$Q_{\text{paredes,L}} = 119,282 \text{ W}$$

Como son dos paredes en la cámara el resultado es:

$$Q_{\text{paredes,L}} = 119,282 \text{ W} * 2 = 238,563 \text{ W}$$

3.2.1.3.3. Resistencia térmica en las paredes superior e inferior

Para poder calcular las resistencias térmicas presentes en las paredes laterales del horno se debe utilizar la Ecuación (2-29), la Ilustración 3-4, muestra la representación de las paredes que tiene la cámara de calor y cada uno de sus componentes.

El área de estas paredes se calcula a continuación

$$A=500\text{mm}\cdot 400\text{mm}=200000\text{mm}^2=0,2\text{m}^2$$

Se calcula $R_{\text{conv},1}$ con el área antes calculada $A=0,2\text{ m}^2$

$$R_{\text{conv},1} = \frac{1}{3,172 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{conv},1} = 1,576 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},1}$ para un espesor de 30 mm y una conductividad térmica de 0,18 W/m K del concreto refractario.

$$R_{\text{pared},1} = \frac{0,03 \text{ mm}}{0,18 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},1} = 0,833 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},2}$ para un espesor de 50 mm y una conductividad térmica de 0,41 W/m K del ladrillo refractario.

$$R_{\text{pared},2} = \frac{0,050 \text{ mm}}{0,41 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},2} = 0,609 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},3}$ para un espesor de 25,4 mm y una conductividad térmica de 0,19 W/m K de la colcha de fibra cerámica.

$$R_{\text{pared},3} = \frac{0,050 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$
$$R_{\text{pared},3} = 0,668 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},4}$ para un espesor de 0,003 mm y una conductividad térmica de 14,9 W/m K del acero inoxidable.

$$R_{\text{pared},4} = \frac{0,003 \text{ mm}}{14,9 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},4} = 0,001 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},5}$ para un espesor de 50,8 mm y una conductividad térmica de 0,19 W/m K de la colcha de fibra cerámica.

$$R_{\text{pared},5} = \frac{0,0508 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},5} = 1,336 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},6}$ para un espesor de 1,20 mm y una conductividad térmica de 37,7 W/m K del acero galvanizado.

$$R_{\text{pared},6} = \frac{0,0012 \text{ mm}}{37,7 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},6} = 0,00016 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{conv},2}$ con el $h_{\text{ext}}=8,222 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$$R_{\text{conv},2} = \frac{1}{8,222 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} * 0,2 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv},2} = 0,608 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Sumando todas las resistencias queda

$$R_{\text{total}} = (1,576+0,833+0,609+0,668+0,001+1,336+0,0001+0,608) \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{total}}=4,057 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula la resistencia térmica en las paredes superior e inferior con la Ecuación (2-28)

$$Q_{\text{paredes,SI}} = \frac{(908,15 - 303,15)K}{4,057 \frac{K}{W}}$$

$$Q_{\text{paredes,SI}} = 149,102 \text{ W}$$

Como son dos paredes en la cámara el resultado es

$$Q_{\text{paredes,SI}} = 149,102 \text{ W} * 2 = 298,204 \text{ W}$$

3.2.1.3.4 Resistencia térmica en la pared posterior

Para poder calcular las resistencias térmicas presentes en las paredes laterales del horno se debe utilizar la Ecuación (2-29), la Ilustración 3-4, muestra la representación de las paredes que tiene la cámara de calor y cada uno de sus componentes.

El área de esta pared se calcula a continuación

$$A = 460\text{mm} * 320\text{mm} = 147200\text{mm}^2 = 0,1472 \text{ m}^2$$

Se calcula $R_{\text{conv},1}$ con el área antes calculada $A=0,1472 \text{ m}^2$

$$R_{\text{conv},1} = \frac{1}{3,172 \frac{W}{m^2} K * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv},1} = 2,142 \frac{K}{W}$$

Se calcula $R_{\text{pared},1}$ para un espesor de 30 mm y una conductividad térmica de 0,18 W/m K del concreto refractario.

$$R_{\text{pared},1} = \frac{0,03 \text{ mm}}{0,18 \frac{W}{m K} * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},1} = 1,041 \frac{K}{W}$$

Se calcula $R_{\text{pared},2}$ para un espesor de 50 mm y una conductividad térmica de 0,41 W/m K del ladrillo refractario.

$$R_{\text{pared},2} = \frac{0,050 \text{ mm}}{0,41 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},2} = 0,762 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},3}$ para un espesor de 25,4 mm y una conductividad térmica de 0,19 W/m K de la colcha de fibra cerámica.

$$R_{\text{pared},3} = \frac{0,0254 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},3} = 0,836 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},4}$ para un espesor de 0,003 mm y una conductividad térmica de 14,9 W/m K del acero inoxidable.

$$R_{\text{pared},4} = \frac{0,003 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},4} = 0,001 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},5}$ para un espesor de 50,8 mm y una conductividad térmica de 0,19 W/m K de la colcha de fibra cerámica.

$$R_{\text{pared},5} = \frac{0,0508 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},5} = 1,671 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},6}$ para un espesor de 1,20 mm y una conductividad térmica de 37,7 W/m K del acero galvanizado.

$$R_{\text{pared},6} = \frac{0,00120 \text{ mm}}{37,7 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},6} = 0,0002 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{conv},2}$ con el $h_{\text{ext}}=8,222 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$$R_{\text{conv},2} = \frac{1}{8,222 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} * 0,1472 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv},2} = 0,826 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Sumando todas las resistencias queda

$$R_{\text{total}} = (2,141 + 1,042 + 0,762 + 0,836 + 0,001 + 1,671 + 0,002 + 0,826) \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{total}} = 5,138 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula la resistencia térmica en la pared posterior con la ecuación (2-28)

$$Q_{\text{paredes,P}} = \frac{(908,15 - 303,15) \text{ K}}{5,138 \frac{\text{K}}{\text{W}}}$$

$$Q_{\text{paredes,P}} = 117,747 \text{ W}$$

3.2.1.3.5 Resistencia térmica en la puerta

Para poder calcular las resistencias térmicas presentes en las paredes laterales del horno se debe utilizar la Ecuación (2-29), la Ilustración (3-4) muestra la representación de las paredes que tiene la cámara de calor y cada uno de sus componentes.

El área real de esta pared se calcula primero obteniendo el área superficial de la puerta y restando el área de los dos tubos que ingresan a la cámara, resultando:

$$A_{\text{puerta}} = 500 \text{ mm} * 350 \text{ mm} = 175000 \text{ mm}^2 = 0,175 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tubos}} = 3,1314 * 0,044 \text{ m}^2 = 0,012 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{puerta}} = 0,175 \text{ m}^2 - 0,012 \text{ m}^2 = 0,1626 \text{ m}^2$$

Se calcula $R_{\text{conv},1}$ con el área antes calculada $A=0,1626 \text{ m}^2$

$$R_{\text{conv},1} = \frac{1}{3,172 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} * 0,1626 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv},1} = 1,939 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},1}$ para un espesor de 30 mm y una conductividad térmica de 0,18 W/m K del concreto refractario.

$$R_{\text{pared},1} = \frac{0,03 \text{ mm}}{0,18 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1626 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},1} = 1,042 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},2}$ para un espesor de 50 mm y una conductividad térmica de 0,41 W/m K del ladrillo refractario.

$$R_{\text{pared},2} = \frac{0,050 \text{ mm}}{0,41 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1626 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},2} = 0,762 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},3}$ para un espesor de 25,4 mm y una conductividad térmica de 0,19 W/m K de la colcha de fibra cerámica.

$$R_{\text{pared},3} = \frac{0,0254 \text{ mm}}{0,41 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1672 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},3} = 0,836 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{pared},4}$ para un espesor de 0,003 mm y una conductividad térmica de 14,9 W/m K del acero inoxidable.

$$R_{\text{pared},4} = \frac{0,003 \text{ mm}}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}} * 0,1672 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{pared},4} = 0,001 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula $R_{\text{conv},2}$ con el $h_{\text{ext}} = 8,222 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$$R_{\text{conv},2} = \frac{1}{8,222 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * 0,1672 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv},2} = 0,748 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Sumando todas las resistencias queda

$$R_{\text{total}} = (1,939 + 1,042 + 0,762 + 0,836 + 0,001 + 0,748) \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{total}} = 3,388 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se calcula la resistencia térmica en la puerta con la Ecuación (2-28)

$$Q_{\text{paredes,PU}} = \frac{(908,15 - 303,15) \text{K}}{3,388 \frac{\text{K}}{\text{W}}}$$

$$Q_{\text{paredes,PU}} = 178,535 \text{ W}$$

3.2.1.4. Carga térmica por infiltración del aire

En esta parte se va a calcular la cantidad de calor que se libera en el aire que ingresa por los ductos abiertos de la tubería de la cámara de calor, se utiliza la Ecuación (2-29).

Área de los tubos = 0,0124 m²

Porcentaje de apertura = 100%

Temperatura promedio = 30 °C = 303,15 K

Densidad del aire (ρ) = 1,164 kg/m³

Velocidad del aire = 0,1 m/s

C_p = 1007 J/kg K

$$\dot{m} = 1,164 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0124 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 0,00072 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Como las compuertas del horno siempre van a tener esas aberturas el porcentaje de apertura es del 100% por lo tanto el resultado seguirá siendo el mismo.

Se calcula la carga térmica por infiltración

$$Q = 0,00072 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} * (908,15-303,15)\text{K}$$
$$Q = 438,65 \text{ W}$$

3.2.1.5. Carga térmica total

La carga térmica total se refiere a la cantidad total de calor que debe ser añadida o removida de un espacio para mantener una temperatura deseada. Se calcula considerando varios factores, como la temperatura exterior, la ganancia de calor a través de las paredes, techos y ventanas, la ocupación humana, la iluminación, los equipos eléctricos y otros dispositivos que generan calor dentro del espacio. Esta carga térmica es crucial para diseñar sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) eficientes y adecuados para el espacio en cuestión.

Una vez que se obtiene todas las cargas térmicas presentes en la cámara de calor del horno se realizará la sumatoria con el objetivo de saber la capacidad que deberá tener el horno para poder solventar la demanda.

Tabla 3-1: Cargas térmicas presentes en la cámara de calor del horno

CARGA TÉRMICA	VALOR [W]
Carga térmica de la tubería	2328,844
Carga térmica del aire	63
Carga térmica por convección natural del aire	816,214
Carga térmica en las paredes	833,049
Carga térmica por infiltración de aire	438,65
TOTAL	4479,757

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

Como se puede evidenciar el horno debe tener una potencia mayor a 4921,469 W o 4,921 kW para que pueda cumplir el objetivo de calentar los tubos a una temperatura promedio de 635 °C o 908,15 K.

Hay que centrarse en la cantidad de calor que se libera en las paredes, como es evidente el valor 833,049 W se lo puede considerar bajo, por lo tanto, el comportamiento del aislamiento del horno está bien. Cabe mencionar que las tolerancias tomadas en la construcción de la estructura del horno permitirán que el espesor de las paredes pueda aumentar, debido a esto el aislamiento

mejorará considerablemente.

3.3. Diseño eléctrico del horno

En esta parte del proyecto se va a determinar el circuito eléctrico que se va a utilizar en el horno, además la potencia que se va a manejar en base a las características de los calentadores eléctricos, como son la longitud, la resistencia eléctrica y el diámetro. Se especificará los materiales que se van a utilizar en base a sus características y a la existencia en la bodega de la empresa, es decir, se tratará de utilizar materiales con los que la empresa maneja en la bodega.

3.3.1. Disposición y selección de los calentadores eléctricos

La empresa maneja resistencias eléctricas (calentadores) tipo alambre que trabajan a un voltaje de 220 V y a 30 A, con un diámetro de 14 mm, una longitud de 2,5 m y una resistencia total de 16 Ω aproximadamente, como se muestra en la ilustración (3-5).



Ilustración 3-5: Resistencias eléctricas (calentadores) de la empresa

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Para aprovechar la capacidad máxima de los calentadores se realizará una conexión de dos resistencias eléctricas en paralelo, que se colocarán en las paredes laterales de la cámara de calor, como se puede apreciar en la ilustración (3-6).

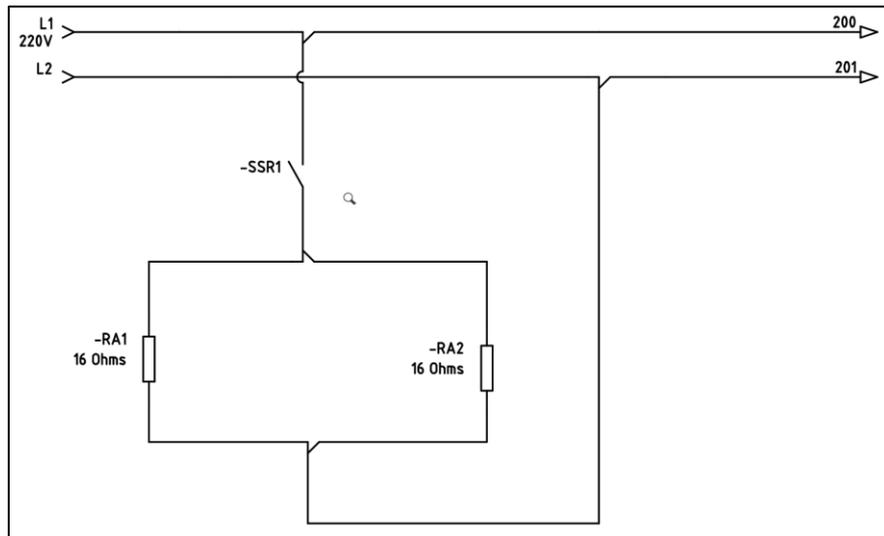


Ilustración 3-6: Conexión de resistencias eléctricas en paralelo

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

A continuación, se realiza el cálculo de la resistencia equivalente para los calentadores en paralelo, esto servirá para calcular la potencia disipada por cada resistencia, y a su vez determinar la potencia total que tendrá el horno.

$$R_e = \frac{RA1 * RA2}{RA1 + RA2}$$

$$R_e = \frac{16\Omega * 16\Omega}{16\Omega + 16\Omega}$$

$$R_e = 8\Omega$$

3.3.2. Sistema de control del horno

Un diagrama P&ID ayudará a un instrumentista a poder identificar el principio de funcionamiento del horno, además permite conocer la distribución de los componentes relacionados al proceso de calentamiento. En la Ilustración (3-7) se puede apreciar el diagrama P&ID del horno.

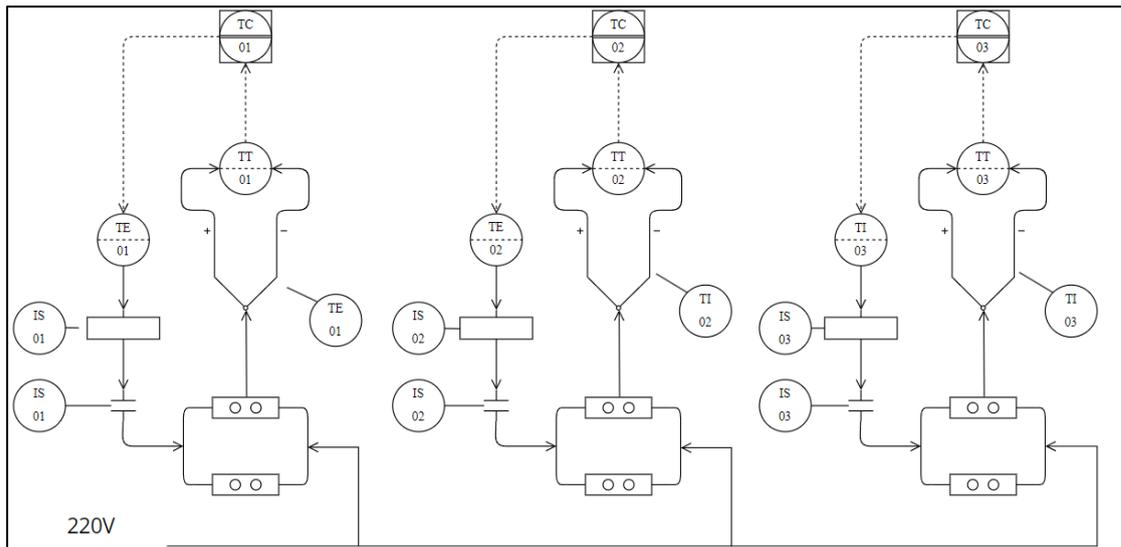


Ilustración 3-7: Diagrama P&ID del funcionamiento del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

El diagrama P&ID para el presente proyecto está estructurado a partir de un controlador de temperatura que recibe una señal analógica por parte de la termocupla tipo K, la misma que sensa la temperatura presente en la cámara de calor; luego que el controlador reciba la información compara si esta es menor o igual que la medida programada, el dispositivo encargado de abrir o cerrar el paso de la corriente es un relé de estado sólido (SSR), tras recibir la señal emitida por el controlador de temperatura abre o cierra el contacto para que la corriente continúe su camino hasta atravesar las resistencias en espiral, permitiendo así el calentamiento de la cámara de calor del horno. El circuito consta de tres lazos cerrados independientes, la termocupla deberá enviar información constantemente al controlador para que lo procese y tome una decisión.

3.3.3. Elementos principales para el sistema eléctrico

3.3.3.1. Controlador de temperatura Honeywell DC1010

Este controlador se ha seleccionado para manejar la temperatura de las cámaras de calor del horno por su eficiencia y sencillez, al manejar una precisión típica de $\pm 0,5\%$ de amplitud y a su vez solo tener dos niveles de configuración diferentes. Este tipo de controlador también es de fácil instalación y sobre todo tiene una amplia compatibilidad de termocuplas, como también salidas de control de diferentes tipos.

Dentro de la familia de controladores de temperatura Honeywell DC1000, el DC1010 se destaca por las siguientes características; por su precio, debido a que no tiene muchas entradas y salidas de control, es más económico, por sus dimensiones, el tablero de control para el horno será de 400x300x200mm, por lo tanto, se necesita que los controladores sean pequeños para poder

distribuirlos de la mejor manera.



Ilustración 3-8: Controlador Honeywell DC1010

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.3.3.2. *Relé de estado sólido (SSR)*

En base al controlador de temperatura seleccionado, se dispone a utilizar los dispositivos que se puede conectar a las salidas de control, como pueden ser contactores, relés de estado sólido o SPDT, se recomienda utilizar SSR debido a que soporta el cierre y corte de la circulación de la corriente repetitivamente, en comparación con los anteriores dispositivos mencionados.

3.3.3.3. *Termocupla tipo K*

Para poder seleccionar la termocupla se debe considerar el rango de temperatura al que va a trabajar las cámaras del horno, en este caso, será de 600 a 700 °C, pero como se desea que el horno posteriormente se pueda utilizar para otros procesos, se estima una temperatura de 900 a 1000 °C, además de la temperatura de trabajo se debe considerar también el ambiente en el que va a trabajar, en este caso como el clima de la región Amazónica es húmedo tendrá un ambiente corrosivo. En la ilustración (3-9) se puede evidenciar la clasificación de las termocuplas según la composición de los materiales, el rango de temperatura de trabajo y la aplicación que se le dé.

TYPE		TEMPERATURE RANGE	APPLICATION INFORMATION
J E230	Iron (+) Copper - 45% Nickel (Constantan) (-)	(0 to 760) °C [32 to 1400] °F	Suitable for vacuum, reducing, or inert atmospheres, oxidizing atmosphere with reduced life. Iron oxidizes rapidly above 538 °C [1000 °F] so only heavy gauge wire is recommended for high temperature. Bare elements should not be exposed to sulphurous atmospheres above 538 °C [1000 °F].
K E230	Nickel - 10% Chromium (+) Nickel - 2% Aluminum, 2% Manganese, 1% Silicon (-)	(0 to 1260) °C [32 to 2300] °F	Recommended for continuous oxidizing or neutral atmospheres. Mostly used above 538 °C [1000 °F]. Subject to failure if exposed to sulphur. Preferential oxidation of chromium in positive leg at certain low oxygen concentrations causes 'green rot' and large negative calibration drifts most serious in the (816 to 1038) °C [1500 to 1900] °F range. Ventilation or inert-sealing of the protection tube can prevent this.
N E230	Nickel - 14% Chromium, 1 1/2% Silicon (+) Nickel - 4 1/2% Silicon - 1/10% Magnesium (-)	(0 to 1260) °C [32 to 2300] °F	Can be used in applications where Type K elements have shorter life and stability problems due to oxidation and the development of 'green rot'.
T E230	Copper (+) Copper - 45% Nickel (Constantan) (-)	(-200 to 370) °C [-328 to 700] °F	Useable in oxidizing, reducing, or inert atmospheres as well as vacuum. Not subject to corrosion in moist atmospheres. Limits of error published for sub-zero temperature ranges.
E E230	Nickel - 10% Chromium (+) Copper - 45% Nickel (Constantan) (-)	(0 to 870) °C [32 to 1600] °F	Recommended for continuously oxidizing or inert atmospheres. Sub-zero limits of error not established. Highest thermoelectric output of common calibrations.
R E230	Platinum - 13% Rhodium (+) Platinum (-)	(538 to 1482) °C [1000 to 2700] °F	Recommended for high temperature. Must be protected with non-metallic protection tube and ceramic insulators. Continued high temperature usage causes grain growth which can lead to mechanical failure. Negative calibration drift caused by Rhodium diffusion to pure leg as well as from Rhodium volatilization. Type R is used in industry; Type S in the laboratory.
S E230	Platinum - 10% Rhodium (+) Platinum (-)		
B E230	Platinum - 30% Rhodium (+) Platinum - 6% Rhodium (-)	(871 to 1704) °C [1600 to 3100] °F	Same as R & S but output is lower. Also less susceptible to grain growth and drift.
C E230	95% Tungsten - 5% Rhenium (+) 74% Tungsten - 26% Rhenium (-)	(0 to 2315) °C [32 to 4200] °F	Very high temperature applications in inert or vacuum. Preferred over Tungsten/Tungsten-26% Rhenium because it is less brittle at low temperatures.

Ilustración 3-9: Clasificación de termocoplas

Fuente: Piromation, 2023.

3.3.4. Potencia del horno

Para calcular la potencia del horno se debe considerar tres aspectos muy importantes, el voltaje de entrada, la resistencia del calentador, y la corriente eléctrica que manejará el circuito.

El voltaje de entrada es de 220 V a dos fases, y la resistencia con la que se trabajará es la equivalente que se calculó anteriormente. Se determina la corriente que consumirán las resistencias en paralelo y la potencia disipada, con la ley de Ohm.

$$P_{\text{calentador}} = \frac{(220\text{V})^2}{16\Omega} = 3025 \text{ W} = 3,025 \text{ kW}$$

Como las resistencias de los calentadores son iguales el valor de la potencia será el mismo para ambas. De esta forma la potencia de una sola cámara de calor es de.

$$P_{\text{cámara}} = 3025 \text{ W} * 2 = 6050 \text{ W} = 6,05 \text{ kW}$$

La corriente que consume cada cámara de calor es de.

$$A_{\text{cámara}} = \frac{220\text{V}}{8 \Omega} = 27,5 \text{ A}$$

La corriente para cada calentador es de.

$$A_{\text{calentador}} = \frac{220\text{V}}{16\Omega} = 13,75 \text{ A}$$

Con estos valores se determina los valores generales del horno que son.

$$P_{\text{Horno}} = 6,05 \text{ kW} * 3 = 18,15 \text{ kW}$$

$$A_{\text{Horno}} = 27,5 \text{ A} * 3 = 82,5 \text{ A}$$

$$A_{\text{Seguro}} = 82,5 \text{ A} * 1,25 = 103,125 \text{ A}$$

3.3.5. Circuito eléctrico del horno

Para el funcionamiento eléctrico del horno se contará con dos circuitos, el de control y el de potencia, cada circuito se tendrá su propio tablero. El mismo circuito se aplicará para todas las cámaras, como se lo puede apreciar en el anexo C.

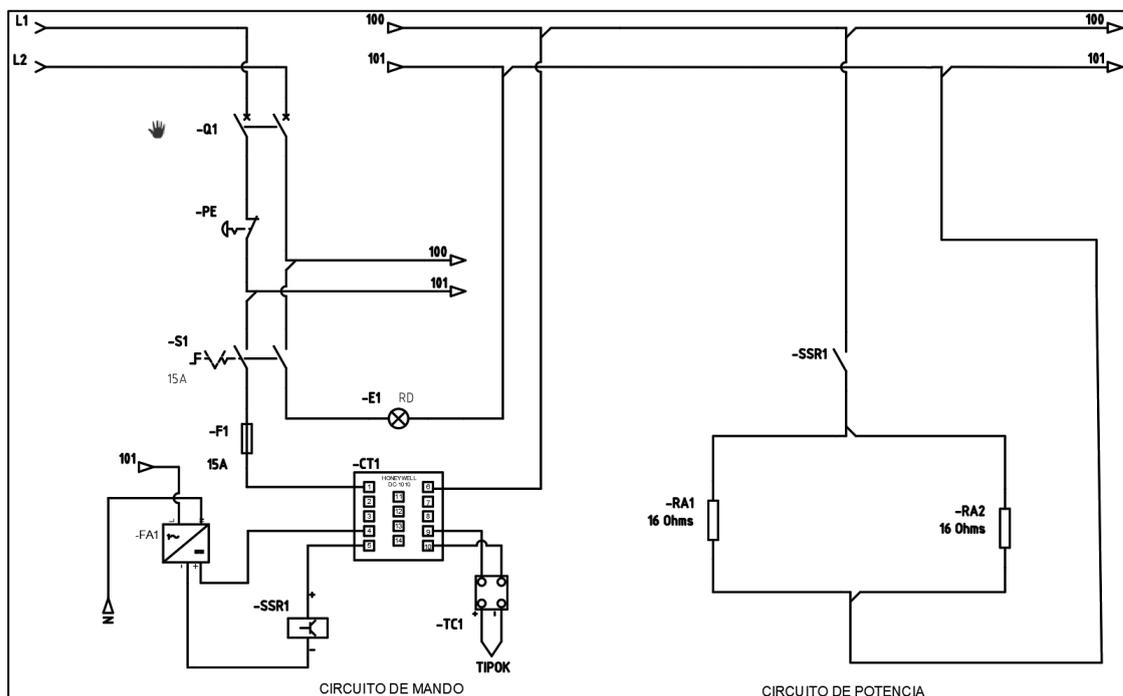


Ilustración 3-10: Circuito de control y de potencia del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

El funcionamiento del circuito es simple, se parte de un disyuntor que protege a todo el circuito tanto de mando, como de control, luego un botón de paro de emergencia que para a todo el sistema, a continuación se deriva a cada interruptor que accionará el circuito de control, que está protegido

por un fusible, luego pasa a alimentar a los controladores de temperatura, como dice el manual del fabricante, se debe conectar la alimentación en la entrada 1 y 6, en las entradas 9 y 10 ingresa la información de la termocupla tipo K que sensa la temperatura de la cámara de calor, el controlador procesa esa información y la compara con el punto de SET que fue asignado, para luego abrir o cerrar el contacto interno que tiene en los terminales 4 y 5, a estos se conecta una línea de alimentación; que para accionar a los relés de estado sólido, debe ser de corriente continua de hasta 32 VCC, los SSR permiten cerrar el circuito de las resistencias que se encuentran conectadas en paralelo que calentarán a su vez las cámaras de calor. El circuito se convierte en un lazo cerrado, en donde existe una retroalimentación entre la termocupla y el controlador de temperatura.

3.4. Diseño estructural y modelado 3D

3.4.1. *Diseño de la estructura*

Una vez revisado las consideraciones pertinentes en cuanto a los materiales a utilizar, de acuerdo con las especificaciones de seguridad y técnicas, se procede con la realización de los planos. Se utilizó un programa de modelado mecánico (CAD) para facilitar el diseño el trabajo. Cabe mencionar que se utilizará el sistema métrico inglés para la acotación de todos los planos del proyecto.

Como material de la estructura se utilizará tubos cuadrados estructurales de 2"x 2" x 1/8", teniendo en cuenta las características técnicas mencionadas en el capítulo II.

Se realizará una estructura en forma de caja rectangular, que tendrán soportes del mismo tubo, que servirán para que las cámaras de calor se asienten en ellos, con el propósito de que las cámaras de calor no estén en contacto directo con la estructura. En la ilustración 3-11 se muestra el modelado 3D de la estructura para las cámaras y en el anexo D se muestran los planos junto con las medidas. Dentro del diseño estructural también se implementará una base que soportará toda la caja por medio de los parantes y en donde se colocarán las ruedas, como se lo puede evidenciar en la ilustración 3-12, de la misma forma, los planos se aprecian en el anexo E. La estructura junto con las cámaras de calor, tendrán una regulación que permitirá subir y bajar según sea la disposición del terreno, se utilizará para eso parantes regulados manualmente; para el diseño de los parantes se tomó como guía el de los Racks de elevación de tuberías que se utilizan en la Planta de Producción de la empresa, que consta de un tubo guía roscado, una tuerca de regulación y un tubo base, el modelado de los parantes se lo puede apreciar en la ilustración 3-13, juntamente los planos se encuentran en el anexo F.

Para las puertas de las cámaras de calor se utilizará un sistema de doble bisagra, sujetados por dos ejes de 3 cm de espesor para cada una, los mismos sostendrán desde la mitad de la tapa para que evitando que por el peso las tapas tiendan a inclinarse, en la ilustración 3-14 se puede apreciar el modelado 3D del sistema de sujeción de las puertas y en el anexo G se encuentran los planos.

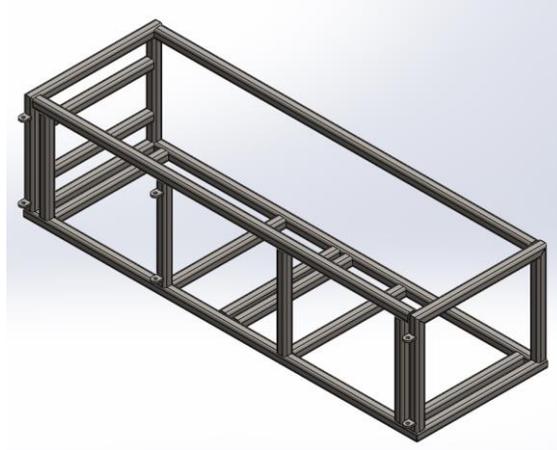


Ilustración 3-11: Estructura base para las cámaras de calor

Fuente: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

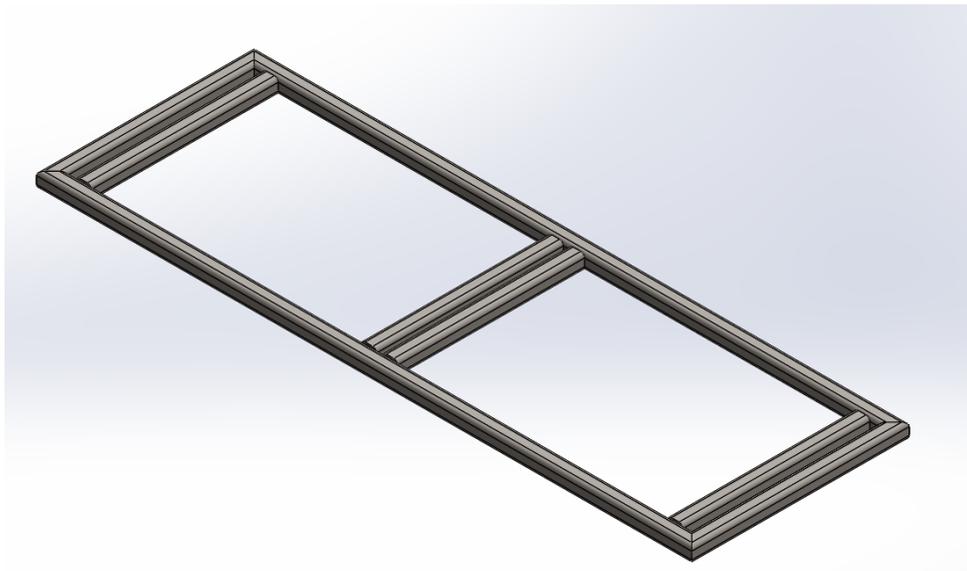


Ilustración 3-12: Base de la estructura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-13: Parante con regulación manual (Tuerca, Tubo guía base)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

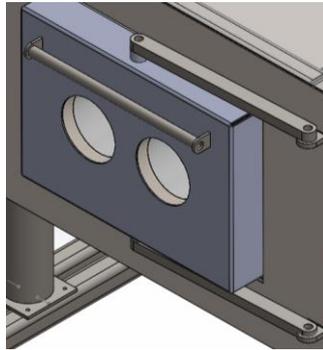


Ilustración 3-14: Parante con regulación manual (Eje, Manivela)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

El modelado del ensamble de toda la estructura se lo puede apreciar en la Ilustración 3-15, juntamente con las llantas.

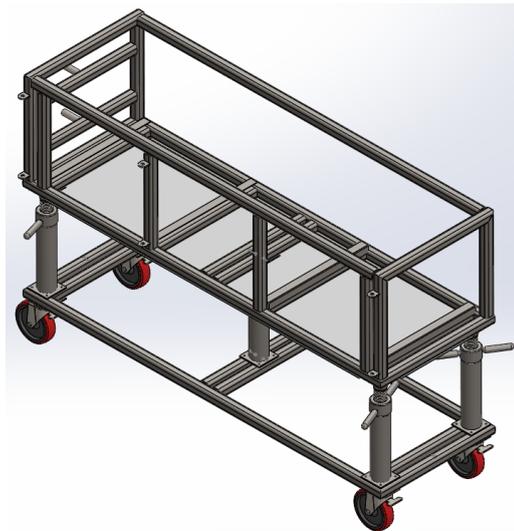


Ilustración 3-15: Ensamble de la estructura del horno.

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.4.2. Diseño de la cámara de calor

Una vez revisadas las características de los materiales que se van a utilizar para la cámara de calor, tanto para el ladrillo refractario, el concreto refractario, el mortero refractario y la colcha de fibra de cerámica, se procede a trazar los planos de la cámara de calor.

En la ilustración 3-16, se observa el ensamble de la cámara de calor, consta de tres capas, una placa de concreto refractario que será hecho a la medida de las resistencias eléctricas, ladrillo

refractario unido con mortero refractario, y una placa de aislante cerámico que garantizará que el calor no se libere al ambiente, estas 3 capas serán ensambladas dentro de una placa de acero inoxidable AISI 304 con 3 mm de espesor, que servirá como chasis protector de la cámara de calor.

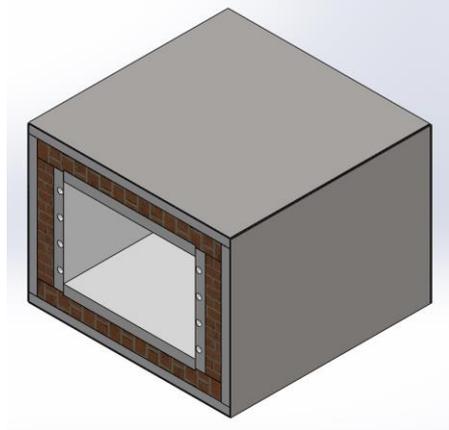


Ilustración 3-16: Ensamble de la cámara de calor

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

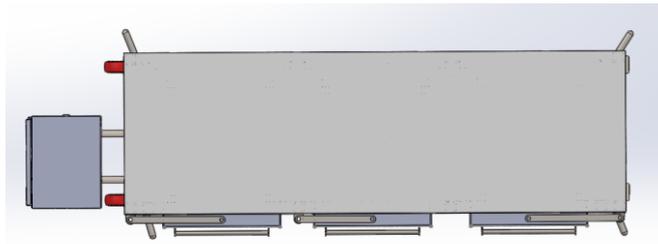
3.4.3. *Modelado del ensamble del horno*

Con los planos realizados se procede a construir el modelado en 3D del ensamble de todo el horno con ayuda de un software de dibujo mecánico (CAD), a toda la estructura se la cubrirá con planchas de acero galvanizado, en la Ilustración 3-17. Se puede evidenciar el ensamble completo del horno. Es importante tomar en cuenta que, debido al ambiente corrosivo de la región, es importante garantizar la durabilidad de la estructura, por lo cual se le aplicará un proceso de granallado conjuntamente con un proceso de pintura, que consta de una base mate y la aplicación de pintura automotriz.



a) Vista frontal

b) Vista lateral



c) Vista superior



d) Vista isométrica

Ilustración 3-17: Vistas del horno en modelado 3D

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.4.4. Simulaciones

Para realizar las simulaciones se ocupa un software para modelado mecánico, en donde se considerará un análisis estático para la estructura, sabiendo que según el programa cada cámara de calor pesa aproximadamente 318 kg, y una simulación térmica para la cámara de calor.

Es importante considerar las propiedades intrínsecas de cada material, como son la conductividad térmica, dureza, ductilidad etc., cuando se realiza un análisis, porque hay programas que necesitan datos para garantizar que la simulación sea lo más precisa posible.

3.4.4.1. Simulación estática de la estructura

Cuando se realiza una simulación estática primero se debe asegurar que el ensamble de todo el equipo este correcto, que no existan intersecciones entre elementos, ni falsos contactos, luego se realiza la malla para todo el conjunto, se coloca los puntos fijos, se asigna la carga respectiva y se procede con la ejecución.

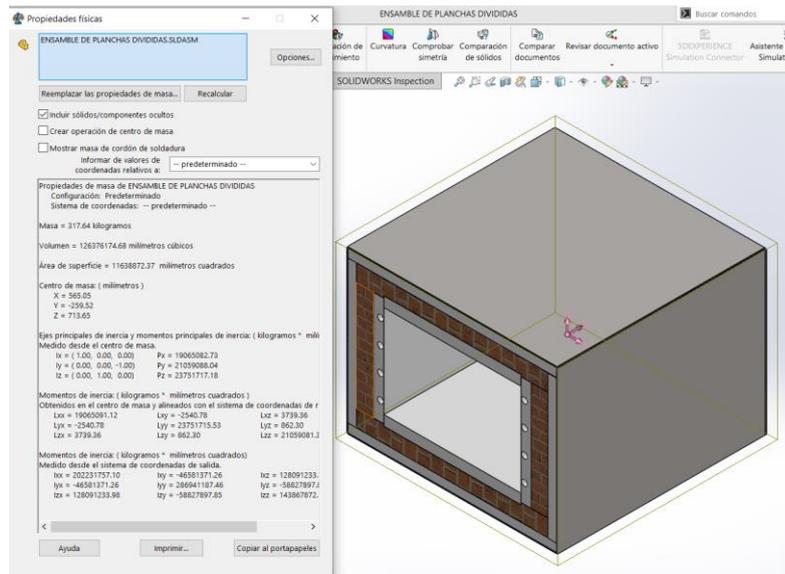


Ilustración 3-18: Peso de la cámara de calor

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Deformación unitaria

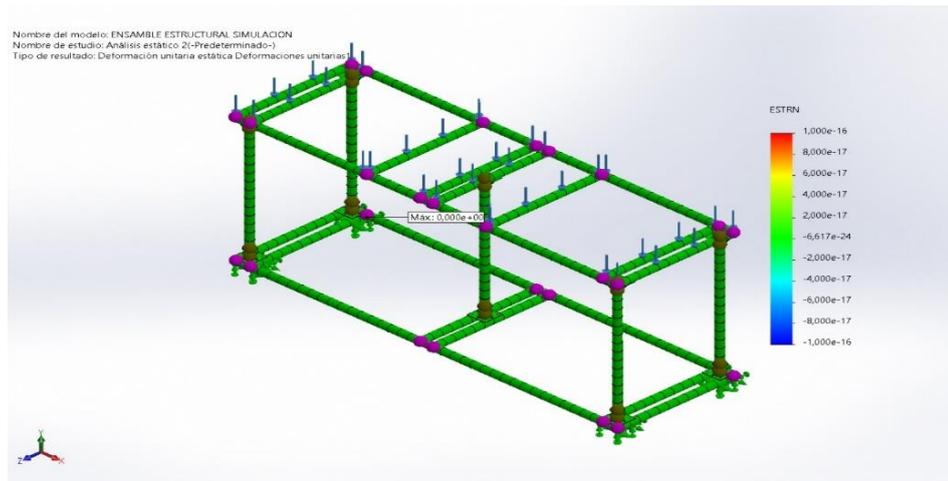


Ilustración 3-19: Análisis de la deformación unitaria de la estructura del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Como se puede apreciar en la ilustración (3-19) en una de las de los parantes es donde existirá una mayor deformación unitaria, en el margen de $1,000e^{-16}$ ESTRN, siendo un valor mínimo, con esto se puede asegurar que la estructura no sufrirá una deformación unitaria elevada.

Tensión axial y de flexión en el límite superior

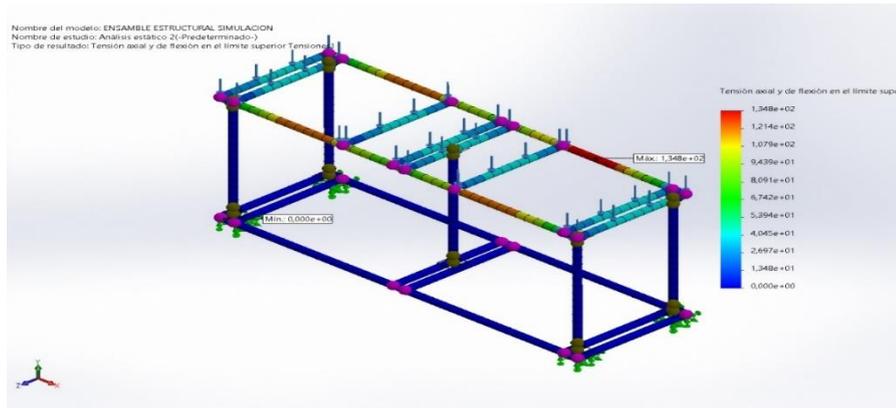


Ilustración 3-20: Análisis de la tensión axial y de flexión en el límite superior de la estructura del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Según la simulación realizada en donde se ubica la mayor tensión axial es en la base de la cámara de calor 2, y tiene sentido ya que se encuentra en la mitad de la estructura, aun así, el valor máximo es de $1,348e^{+2}$.

Factor de seguridad

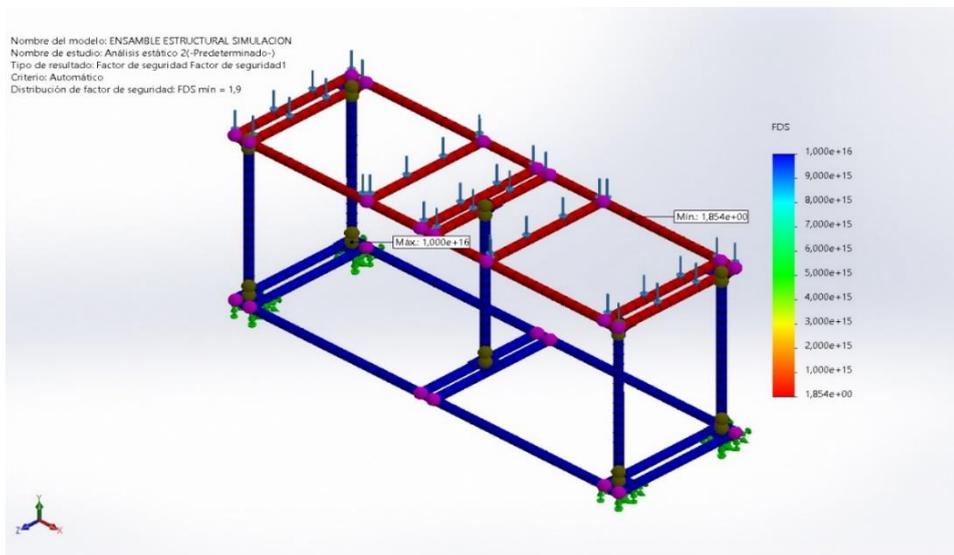


Ilustración 3-21: Factor de seguridad de la estructura del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Este valor es muy importante cuando se realiza el diseño de una estructura metálica, ya que indica la resistencia a las cargas máximas que se le aplique, como ejemplo puede ser el 3, que quiere decir que el sistema soportará tres veces la carga que se asigne, por lo tanto, este valor debe ser a 1.

Para el presente diseño se observa que el factor de seguridad mínimo es de 1,9, que está por arriba

de 1, lo que garantiza que la estructura soportara casi el doble de la carga total que se le va a asignar.

3.4.4.2. Simulación térmica de la cámara de calor

Para poder realizar la simulación térmica de la cámara de calor es muy importante contar con cada especificación de los materiales, en especial se necesita el coeficiente de Poisson y la conductividad térmica, una vez seleccionado el tipo de material e insertado sus propiedades se realiza la simulación, se le asignó una carga térmica de 750 °C, y se consideró la convección del aire calculados anteriormente.

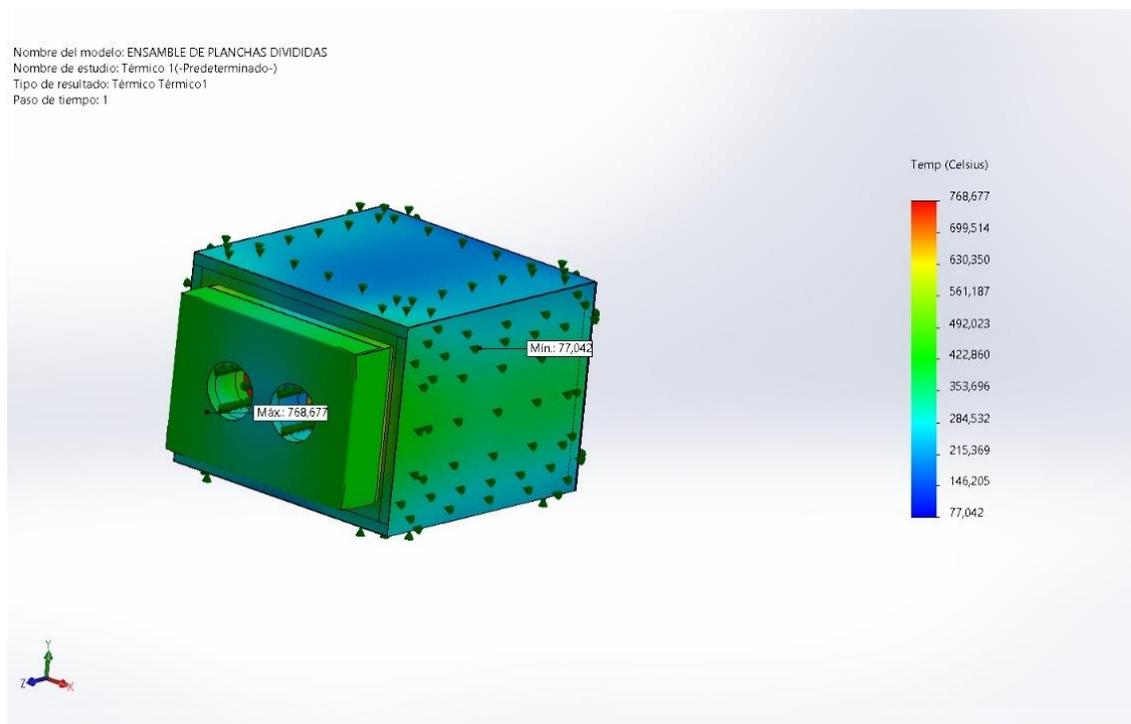


Ilustración 3-22: Simulación térmica de la cámara de calor del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

En la simulación realizada se puede mostrar que la temperatura más alta se concentra en la puerta del horno con temperaturas de entre 400 a 500 °C, como era de esperarse, debido a que cuenta con dos agujeros en donde ingresan los tubos el calor saldrá constantemente, también se puede observar que toda la caja de acero inoxidable ASISI 304 también se calienta bastante, por lo tanto, es muy importante cubrir a todas las cámaras de calor con una capa extra de aislante de fibra cerámica.

NOTA: En vista de que existe aún una temperatura moderada en la estructura de las cámaras de

calor se colocará una doble capa de aislante de fibra cerámica quedando de 2 pulgadas de espesor.

3.5. Construcción del horno

Una vez que se tiene los planos, los modelados 3D, las simulaciones y los materiales que se van a utilizar en cada parte del horno se procede con la construcción.

Es importante mencionar que el avance de la construcción del horno es de acuerdo a la disposición de los materiales, es decir, según lleguen los materiales solicitados se empieza a construir, se parte por la estructura metálica, luego por todo lo refractario, y se termina con los tableros eléctricos.

3.5.1. Estructura

En el tema de la estructura se considera a toda la perfilería, que incluye la estructura para las cámaras de calor, así como la base en donde se colocarán los parantes y las ruedas, en esta parte también incluye las cajas de acero inoxidable AISI 304 en donde se armarán las cámaras de calor, y las bases de las tapas, de la misma forma, interviene la fabricación de los parantes y de las bisagras.

3.5.1.1. Bases metálicas

En primer lugar, se fabrica la estructura en donde se van a colocar las cajas de las cámaras de calor, se corta el tubo cuadrado de acuerdo con las medidas especificadas en los planos, de modo que debe tener 2,17 m de largo por 0,55 m de alto y 0,73 m de ancho. Una vez teniendo los tubos cortados se procede a soldar con un proceso FCAW y electrodos 6018.

Se coloca las bases que con pedazos de tubo de 11 cm de largo que servirán como apoyo para las cámaras de calor evitando el contacto directo con la estructura, estos soportes tienen una soldadura reforzada con electrodo E7018 debido a que van a soportar el peso de las cámaras de calor.



Ilustración 3-23: Estructura de las cámaras antes del proceso de pintura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

De la misma forma se construye la base de todo el horno, quedando de 2,17 m de largo y 0,73 m de ancho, con las bases en donde se colocarán los parantes. Cabe mencionar que todos los cortes se realizaron con una sierra de banco para garantizar una buena unión entre cada tubo.



Ilustración 3-24: Base del horno antes del proceso de pintura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.5.1.2. Cajas para las cámaras de calor y puertas

Para realizar las cajas tanto para las cámaras de calor, como para las puertas, se procede a cortar primero las planchas de acero inoxidable de 3 mm de espesor, para esto se utilizó la mesa de corte de plasma de la planta ASME. Para realizar cortes en esta máquina, se deben realizar los planos en 2D de cada plancha que se va a cortar, y especificar en una matriz de Excel la cantidad y nombre de cada plancha según sus medidas, para que mediante el software que manejan en planta puedan distribuir uniformemente los cortes en la plancha de acero inoxidable de 1220 x 2440 mm. Para soldar las cajas se utilizó electrodos para acero inoxidable E308L-16, que brindarán una unión eficaz, para las puertas se utilizó un proceso de soldadura GTAW, no se aplicó el mismo proceso para las cajas debido a la cantidad de soldadura y la disponibilidad del quipo para dicho proceso.

Un dato importante para considerar dentro de la construcción de las cajas para las cámaras de calor es que no se realizaron mediante chapas metálicas, utilizando solo dobleces en vez de soldadura, debido a que no se dispone del equipo para doblar láminas de ese calibre y porque se ocuparía más material, involucrando un mayor gasto para el proyecto.



Ilustración 3-25: Distribución de los cortes en la plancha de acero inoxidable

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-26: Realización de cortes de las placas

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-27: Construcción de las cajas de las cámaras de calor

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-28: Perspectiva del montaje de las cámaras en la estructura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-29: Construcción de las tapas para el horno.

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.5.1.3. Parantes y bisagras

Para realizar los parantes se necesita la ayuda del torno convencional y de la fresadora CNC, en el primero se realiza el cilindrado las tuercas, las manivelas, de las bisagras, los bujes y el bisel del tubo base, mientras que en la segunda se realizan las roscas y las perforaciones, de forma que para las tuercas y los tornillos de los parantes debe quedar una rosca cuadrada ACME de 2mm de paso y para las roscas de los bujes de las bisagras, debe quedar una rosca M16 con paso de 2 mm.



Ilustración 3-30: Proceso de torneado de las piezas para los parantes y bisagras

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-31: Parantes y bisagras del horno luego del mecanizado

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

A todas las piezas se le aplicará un proceso de fosfatizado para quitar las impurezas, esto se explicará más adelante.

Una vez que se tiene las piezas para los parantes se procede a ensamblar toda la estructura del horno, por lo cual, se sueldan los tubos guías a la base de este, de igual manera se necesita garantizar una soldadura resistente, para ello se utilizan electrodos E7018.



Ilustración 3-32: Colocación de los parantes en la base de la estructura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Para armar la estructura se colocó boca abajo para poder alinear correctamente la base con los parantes y posterior a esto, se colocaron las ruedas, para poder mover la estructura de un lado a otro.



Ilustración 3-33: Ensamble de la estructura del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Luego de alinear correctamente los parantes se hace una presentación de la estructura junto con las cajas y las tapas de las cámaras de calor, para verificar que todo este correctamente soldado y que no exista problemas. Las bisagras junto con las puertas se fijarán a la estructura cuando las cámaras de calor estén terminadas. Luego de la construcción de la estructura se procederá con el proceso de pintura.



Ilustración 3-34: Presentación general de la estructura del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.5.1.4. *Proceso de pintura*

Para garantizar que la estructura sea duradera y que no se deteriore por la corrosión provocada por la humedad del ambiente, se aplica a toda la perfilería un proceso de pintura, que empieza primero por el granallado, esta fase consiste en quitar todas las impurezas que se encuentran en la capa externa de los tubos, como son el óxido, grasa, limallas, polvo etc. Para posteriormente aplicar una base de pintura mate, que este caso será de color gris, esto capa ayuda a que la pintura se adhiera con facilidad a los tubos. Este proceso se lo realizó en la cámara de granallado y pintura de la planta ASME, para finalizar se coloca una capa de pintura negra automotriz, la misma que es resistente a los ambientes extremos.



Ilustración 3-35: Granallado y aplicación de pintura base a la estructura del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-36: Aplicación de la pintura final a la estructura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

A las piezas tanto de los parantes como de las bisagras se le aplicó un proceso de fosfatizado, que consiste en aplicar productos químicos a la superficie del metal para que reaccionen y produzcan una fina capa que protegerá al elemento de la corrosión.



Ilustración 3-37: Fosfatizado de las piezas de los parantes.

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.5.2. *Sistema refractario*

Para realizar el sistema refractario se utilizó ladrillo recto de 9"x 4 1/2"x 2 1/2" de alta densidad y alto contenido de alúmina, mortero húmedo de fraguado al aire SUPERAEROFRAX con 44,7% de Al_2O_3 y 49,1% de SiO_2 , también se utilizó concreto refractario CONCRAX 1300 y como aislante se utilizó la colcha de fibra cerámica UNIFRAX de 96 kg/m^3 de $4,65 \text{ m}^2$.

Para realizar los cortes del ladrillo se utiliza la sierra CNC debido a la dureza del ladrillo y para garantizar cortes rectos.

3.5.2.1. *Cámaras de calor*

Se parte con el corte del ladrillo, para lo cual hay que tomar en cuenta las dimensiones de cada pared, para que exista una buena sujeción de los ladrillos se los debe traslapar, de esta forma, se coloca los ladrillos en una mesa y se mide las distancias, se marca y luego se corta cada uno, para luego dar paso a la unión con mortero húmedo, según el fabricante existe dos formas para pegar el ladrillo, por inmersión o con palustre, en este caso, se utiliza por palustre, debemos verificar que la separación entre cada ladrillo debe ser de hasta 2 mm para que exista una buena adherencia, no se necesita agregar agua al mortero, además se debe dejar secar por lo menos 24 horas.

Como ya se tiene listas las cajas en donde se va a armar las cámaras de calor, se procede a colocar la fibra cerámica y a armar en el interior de esta cada pared. Es importante recordar que a la hora de manipular la fibra cerámica se debe utilizar guantes para que no exista molestias luego de manejar el material.



Ilustración 3-38: Señalado y corte de los ladrillos refractarios

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-39: Colocación de la fibra y construcción de las paredes.

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Luego de armar las paredes se realiza dos moldes de acero galvanizado con las medidas de las paredes internas que deben ir hechas de concreto refractario, siendo para las paredes posterior, superior e inferior, estas deben quedar con un espesor de 3 cm, se coloca los moldes en las paredes y se vierte la mezcla de concreto.

Una bolsa y media de concreto (37,5 kg) alcanza para realizar las 3 paredes de la cámara de calor y una placa de la puerta de esta. Se debe colocar por cada medio saco (12,5kg) un litro de agua es importante guardar la dosificación para que la mezcla sea optima, se debe batir bien para que se humedezca.



Ilustración 3-40: Preparación del concreto y fundición de las paredes de la cámara de calor
Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-41: Cámara de calor sin las placas porta resistencias.
Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Se enlucen los bordes externos y las paredes en donde se van a colocar las placas que tendrán las resistencias, se utiliza el mortero húmedo para realizarlo. El tiempo de fraguado del concreto depende mucho de la temperatura ambiente y del clima, en este caso al ser un clima húmedo se demoró 24 horas en endurecerse.

3.5.2.2. Puertas del horno

Para construir las puertas del horno se parte por el mismo principio de las cámaras de calor, se tiene la caja y se procede a colocar el aislante de fibra cerámica, seguido a esto se pega el ladrillo previamente cortado con mortero húmedo, para este caso se utilizó una amoladora con un disco de corte adiamantado para cortar los ladrillos, se debe colocar agua para enfriar el disco y evitar el sobrecalentamiento.

Se deja espacios vacíos para colocar pequeñas varillas que servirán como anclas para que no se desarme la pared a la hora de manipular la puerta, y se fundió con concreto refractario los espacio para dar la forma de círculo.



Ilustración 3-42: Corte y armado de las puertas de las cámaras de calor

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-43: Puerta de la cámara de calor sin la placa de concreto

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Con la ayuda de un molde y tubos de acero a la medida, se realizó las placas de concreto que se colocaran en las puertas del horno, con la finalidad de que estas puedan ser extraídas con facilidad cuando se necesite dar tratamiento térmico a tubos con diferente medida

3.5.2.3. Placas porta resistencias

Un requerimiento del horno es que tenga facilidad de mantenimiento por lo cual se diseñó un molde para realizar las placas de concreto con perforaciones para que ingresen las resistencias, con la finalidad de que se puedan retirar las placas cuando se rompa alguna resistencia y necesite ser cambiada. Para realizar los conductos se utilizó tubos PVC de 1/2" de diámetro engrasados y al igual que en las cámaras de calor se debe dejar fraguar durante 24 horas. Al momento de retirar el molde y los tubos se lo debe realizar con mucho para no romper las planchas.



Ilustración 3-44: Placas porta resistencias

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.5.3. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico está compuesto por dos tableros, el de control y el de potencia, ambos conectados entre sí para formar un lazo cerrado en donde existe retroalimentación, por parte de las termocuplas, controladores y relés de estado sólido, con el objetivo de generar la potencia necesaria para cumplir su función, calentar los tubos en el proceso de alivio de tensión.

Todas las conexiones que se van a realizar deben ir correctamente etiquetadas y siguiendo la guía de los esquemas realizados de los circuitos, tanto para tablero de control, como para el de potencia.

3.5.3.1. Tablero de control

Para construir el tablero de control se utilizó los controladores Honeywell DC1010, fusibles, interruptores, focos, botón de paro de emergencia y cable AWG 16. Se parte primero dibujando la distribución de los elementos en tablero para luego realizar los cortes, incluyendo los agujeros por donde pasaran los cables hacia las conexiones con el tablero de potencia y hacia las termocuplas, para realizar más rápido los dibujos se utilizó la mesa de corte a laser de papel, para ello se cargó el dibujo a la computadora que controla la máquina, luego de tener la plantilla se la adhiere al tablero y se remarca por los perfiles, posteriormente se procede con los cortes utilizando

sacabocados y el mototool. Se procede luego a colocar las canaletas por donde ira el cableado y luego se montarán los elementos que constituyen el tablero de control, también se colocan barras que servirán para realizar la conexión en paralelo para las resistencias de cada cámara de calor.

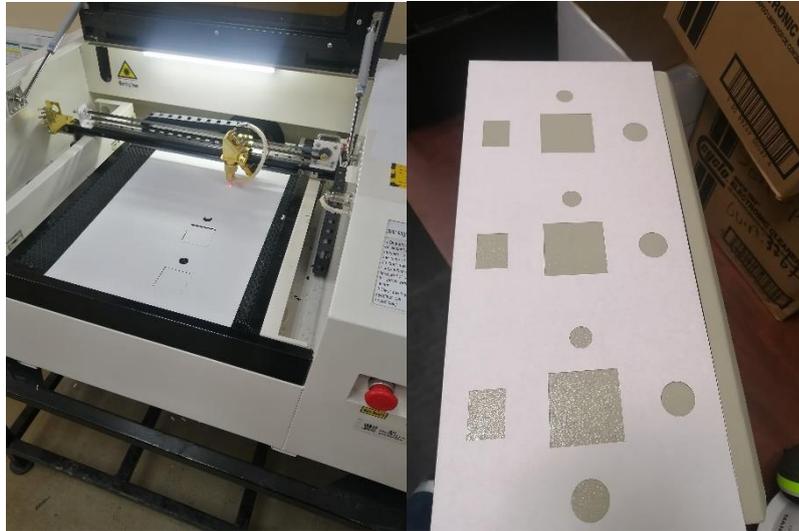


Ilustración 3-45: Corte y montaje de la plantilla en el tablero de control

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-46: Montaje de los elementos y el cableado en el tablero de control

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Cabe recalcar que las conexiones tanto para el tablero de control, como el de potencia van a la par, es decir, el cableado ira de un lado al otro. De la barra de la L1 que conecta directamente al paro de emergencia, se distribuirán los cables para alimentar a cada controlador, que pasan antes por el fusible y el interruptor, se conecta un foco en paralelo con el controlador para que sea un

indicativo de que la cámara está funcionando. De este tablero saldrán las líneas L2 que se encuentran en las barras que realizan la conexión en paralelo de las resistencias, como se mencionó con anterioridad, estos cables se conectan a la salida de cada resistencia, siendo estos la L2 la que va a recibir el control ON/OFF.

Se coloca una fuente de corriente continua de 24 VCC que permita alimentar a cada SSR, el positivo se conecta al terminal 4 del controlador y del terminal 5 se conecta al positivo del relé de estado sólido, se distribuyen cables negativos que salen de la fuente de alimentación con el terminal negativo de cada SSR, esto permite que el controlador de temperatura pueda abrir o cerrar el paso de la corriente hacia las resistencias.

3.5.3.2. *Tablero de potencia*

Para construir el tablero de potencia se necesita de un enchufe industrial de 63 A, cable AWG 6 de 4 hilos con recubrimiento, los relés de estado sólido, que se unirán con sus respectivos disipadores de calor con la pasta térmica, el ventilador, y las barras para energizar los circuitos. Se coloca un interruptor para que el funcionamiento del ventilador sea independiente. Cuando ya se tenga listo los cortes en el tablero de la misma forma en que se hicieron para el tablero de control, se procede a colocar las canaletas por donde pasaran los cables y se fijan los SSR junto con los disipadores uniformemente en el tablero.

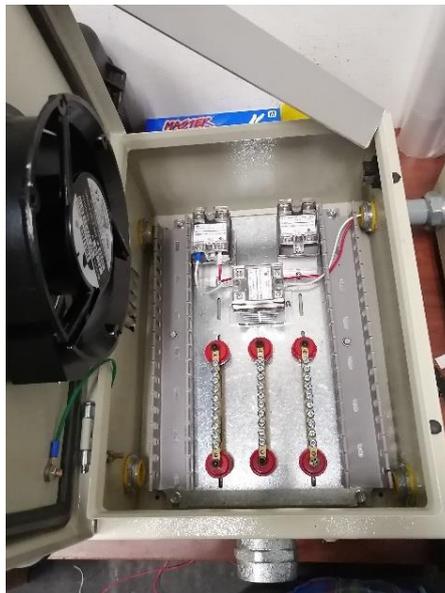


Ilustración 3-47: Construcción del tablero de potencia

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Se colocan cuatro barras con sus respectivos aislantes cerámicos, dos servirán para distribuir la

energía de la primera línea (L1) y del mismo modo será para la línea dos (L2), aparte de las cuatro barras colocadas se montan tres placas más, estas servirán para conectar las líneas que llegan directas del tablero de alimentación de la red, y estas a su vez alimentarán a las cuatro barras antes mencionadas según sea la línea correcta. De las barras de L1 se conectan cables que llegan a la entrada de cada resistencia y de la barra del paro de emergencia irán a alimentar a los componentes del tablero de control. La línea L2 es la que tiene el control ON/OFF por lo tanto, se conectan cables que alimenten al primer pin de la salida de cada SSR y del segundo pin se conectaran a las barras que se colocaron en el tablero de control para realizar la conexión en paralelo de las resistencias.

Por último, se conecta el cable AWG 6 al enchufe industrial y del otro lado a las barras de alimentación principal del tablero de control.

3.5.4. Montaje y conexiones eléctricas

Una vez que se cuenta con cada sistema, se procede a ensamblar el horno, primero se procede con el montaje de las cámaras de calor en la estructura, debido al peso se soldó dos ojos de buey en cada cámara, para que se puedan suspender con grilletes y bandas con el montacargas, antes de colocarlas se pone una capa de aislante de fibra cerámica en la base y en las paredes laterales.



Ilustración 3-48: Montaje de las cámaras de calor en la estructura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Una vez montadas las cámaras de calor y correctamente alineadas se procede a colocar las bisagras para colocar las puertas en su lugar, para ello se suelda cada bisagra y se fija con pernos M16 con paso de 2 mm, para asegurar al dicho perno se utiliza un perno más pequeño de 1/4".



Ilustración 3-49: Montaje de las puertas de la cámara de calor en la estructura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Se termina de colocar el aislamiento en todas las paredes del horno, incluyendo entre las cámaras de calor, de tal manera que quede todo cubierto uniformemente, luego se fijan las placas de acero galvanizado en las paredes externas del horno con remaches, para la parte de posterior se colocan tres placas con bisagras de tal manera que sirvan como puertas para poder acceder a las conexiones de las termocuplas y de las resistencias, estas se aseguran con prisioneros y pernos de tipo mariposa y de la misma forma se colocan los seguros tipo palanca en las puertas, también se montan todas las placas porta resistencias en sus respectivas cámaras.



Ilustración 3-50: Colocación del aislante de fibra cerámica

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-51: Colocación de las planchas de acero galvanizado y puertas traseras

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Los tableros de control y de potencia se encuentran unidos por tubos flexibles (Conduit), por donde pasan los cables que conectan un tablero del otro, los dos tableros se fijan a la estructura mediante puntos fijos de aluminio, que separan los tableros 3 cm de la estructura del horno. También se pinta las bisagras.



Ilustración 3-52: Montaje de los tableros eléctricos de control y potencia

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Con los tableros eléctricos fijados al horno se procede a realizar las conexiones eléctricas de las resistencias hacia el tablero de potencia y las termocuplas al tablero de control, es muy importante poner aislantes cerámicos al conectar las resistencias con los cables de alimentación a la salida de las cámaras de calor, para evitar cortocircuitos por contactos con el chasis de las cajas de acero inoxidable y de la estructura metálica, también se conectan los cables de alimentación de la red a las placas que están fijas en el tablero de potencia, se fijan y ordenan todos los cables con sus respectivas etiquetas y se prepara para la puesta en marcha.



Ilustración 3-53: Conexiones de los tableros eléctricos

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 3-54: Conexiones de las resistencias eléctricas

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.6. Manual de usuario

Un manual de usuario es muy importante a la hora de fabricar un equipo o máquina, en ese documento se encuentran instrucciones, datos técnicos, recomendaciones, mantenimiento y documentación que sirve para que la persona que recibe el equipo pueda tener una idea general de cómo está constituido el producto que adquiere, este es el archivo al cual acude todo técnico cuando se presenta alguna novedad.

3.6.1. Seguridad

Los hornos que se utilizan para tratamientos térmicos manejan altas temperaturas, voltajes y corrientes elevadas, por lo cual, involucra un gran riesgo a la integridad física de las personas que interactúan con estos equipos. Se debe evitar que personas ajenas y no calificadas para manipular este horno, se acerquen al mismo, ya sea que el equipo esté encendido o apagado.

El operador o usuario que maneje el equipo debe tener en cuenta los peligros potenciales que puede suscitarse a la hora de manipular el horno, a continuación, se detallan algunos de ellos y la acción que se debe tomar para evitar los mismos.

Tabla 3-2: Riesgos y acciones de seguridad

RIESGO	ACCIÓN
Quemaduras por el contacto con superficies calientes	Se debe utilizar el EPP adecuado, como guantes que tengan resistencia al calor. Se debe identificar la señalética de seguridad.
Asfixia por inhalación de gases	Muchos de los procesos térmicos despiden gases que pueden ser nocivos para la salud, se recomienda utilizar máscaras antigás.
Electrocución	Se debe respetar las señaléticas de seguridad que se encuentran en los tableros eléctricos, no se las debe retirar, y no se debe abrir las puertas tanto de los tableros, como de las que se encuentran en la parte posterior del horno, cuando se encuentre energizado el equipo.
Golpes y cortaduras	Se debe evitar retirar las rejillas y el contacto con el ventilador que se encuentra en el tablero de potencia. Al abrir las puertas de las cámaras de calor se debe tener cuidado con los golpes y los atrapamientos de dedos, utilice guantes anti-impacto cuando se realice esta actividad.

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

IMPORTANTE: En caso de algún accidente presione inmediatamente el botón de paro de emergencia para desactivar al horno.

El horno ha sido etiquetado con señaléticas de seguridad, se debe respetar y no retirarlas para evitar accidentes, es importante que el operador del equipo tenga conocimiento en temas de seguridad para que no exista problemas.

Utilice el horno solo para los fines que ha sido diseñado, el uso inadecuado del equipo puede provocar el daño de este, y de la persona que lo maneje. Realice siempre una inspección previa en busca de fallas antes de encender el horno.



Ilustración 3-55: Etiquetas de seguridad del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.6.2. Componentes y códigos

A continuación, se detallan todos los componentes tanto eléctricos, mecánicos y refractarios que se utilizó en la fabricación del horno de tratamiento térmico-

Tabla 3-3: Componentes del horno

ÍTEM	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD	CÓDIGO
ESTRUCTURA				
1	Tubo cuadrado estructural 2" x 2" x 1/8" x 20ft long., acero	6	EA	02-2563263
2	Tubería 3" ø NPS, 0.216 WT. 7.576 lb/ft, sch-40, SRL (20ft)	1	EA	67-0422175
3	Plancha de acero inoxidable AISI 304, espesor 3 mm	5	EA	02-1068720
4	Plancha de acero galvanizada 1.20mm espesor x 1.20 x 2.40 mt	4	EA	02-1062375
5	Garrucha giratoria sin freno de 4" x 2" con soporte en lamin	4	EA	42-4652988
ELÉCTRICO				
6	Niquelina 15 amperios 1.5 metros horno c 100	9	EA	32-0898812
7	Termocupla de 6" con revestimiento cerámico / hornos samo thermal.	3	EA	38-2812120
8	Controllor temperature dc1010ct input: t / c output 1: relay, e-m, output 2: relay, e-m, alarm: 1 alarm power supply: 90 a 240 vac, size: 48 x 48 mm	3	EA	38-0424300
9	Relay solid state, 50a, panel mounting, input 3-32 v dc, output 24-280 v ac.	3	EA	32-1663812
10	Metallic enclosure, 400 high x 300 mm width x 260 mm depth, gabinet type	2	EA	32-2342057
11	Cable de temperatura siliconado (10 AWG) para hornos de alivio de tensión.	20	M	38-2812144
12	Cable polarizado para termocupla / hornos samo thermal.	15	M	38-2812134
13	Cable, 3c x 8 awg, 600v tc type, multi-conductor stranded (7x20) bare copper conductors, pvc/nylon insulation, pvc jacket.	10	M	32-0815318
14	Conduit flexible 1" metallic liquid- tight type u.a. pvc coating	3	M	32-0808126
15	HUB 1-1/4", feralloy, with insulated thread for conduit and pipe	1	EA	32-3327128
16	Terminator cable fitting 1-1/4" thread size f/ hazardous locations	1	EA	32-0819231
17	Single push button, red color, (maintained contac) mushroom head push - pull operation (short)	1	EA	32-1656272
18	Ventilador con filtro: ac; axiales; 230vac; 172 x 172 x 51 mm; 289m3/h; 49dba / mesa de corte durma modelo pl-c 30120 / af: (8004)2000118211	1	EA	27-1913868
19	Pasta siliconada para relés estado sólido / hornos samo thermal.	2	EA	38-2812162
20	Connector straight 1" for liquid tight flexible Conduit	6	EA	32-0808749
REFRACTARIO				
21	Fibra ccerámica UNIFRAX 96kg/m ³ 1260°C 6lb/ft ³ - 1" x 24" x 300" (4.65m ²) 400000233	3	RL	49-6459414
22	Ladrillo recto u- 33 9" x 4-1/2" x 2-1/2" ERECOs 6000180	200	EA	49-1204339
23	Mortero húmedo SUPERAEROFRAX ERECOs 6002737 (tambor 25kg)	50	Kg	49-6412336
24	Concreto CONCRAX 1700 sr ERECOs 6002605 (sacos 25 kg)	175	Kg	49-6412143

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

3.6.3. Ficha técnica

Una ficha técnica ayuda a brindar información de primera mano de un equipo, es este documento se evidencia las principales características que tiene el horno y servirá para que el usuario pueda tener en cuenta aspectos durante su uso e instalación.

Tabla 3-4: Ficha técnica de horno

	FICHA TÉCNICA DEL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO	Código: HTT-05
		Versión: 1
		Fecha Elaboración: 09/04/2024
		Fecha Modificación:
Elaboración: Parra Cristian / Zúñiga Russy	Revisa: Ing. Fausto Caicedo / Ing. Ángel Jácome	Aprueba: Ing. Fausto Caicedo / Ing. Ángel Jácome

DATOS TÉCNICOS			
Alimentación	220 VAC	Ubicación	Área de elastómeros
Potencia-horno	18,15 kW	Sección	Planta de producción
Potencia-cámara	6,05 kW	Peso-cámara	340 kg
Corriente-cámara	27,5 A	Peso-horno	1120 kg
Corriente-horno (incluido el factor de seguridad)	103,125 A	Material-estructura	Acero negro estructural / acero inoxidable / acero galvanizado
Ohmiaje calentador	14-16,5Ω	Aislante	Fibra cerámica
Temperatura máxima de trabajo	1100 °C	Material-cámara	Ladrillo refractario alta densidad / mortero húmedo / concreto refractario

FUNCIÓN	EQUIPO
<p>El presente horno tendrá como función dar tratamiento térmico de alivio de tensión a la sección roscada de la tubería procedente del campo petrolero, el procedimiento consiste en llevar a una temperatura entre 610 °C y 660 °C, de esta forma la sección roscada vuelve a sus condiciones normales para proceder con el mecanizado. El tiempo en que la tubería debe permanecer en la cámara de calor será entre 10 a 15 minutos.</p>	

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

3.6.4. *Instalación*

Se recomienda que el horno pueda ser instalado en una superficie uniforme, sin piedras o material pétreo, sobre todo para garantizar la durabilidad de las llantas.

El horno cuenta con parantes que se pueden regular la altura manualmente mediante manivelas, puede alcanzar una altura de hasta 17 pulgadas, existe 5 puntos en donde se puede ajustar la altura de acuerdo con la posición en que se ubiquen las tuberías. Las llantas cuentan con seguros para que se pueda estabilizar el horno y que no exista inconvenientes e incluso accidentes cuando se esté utilizando.

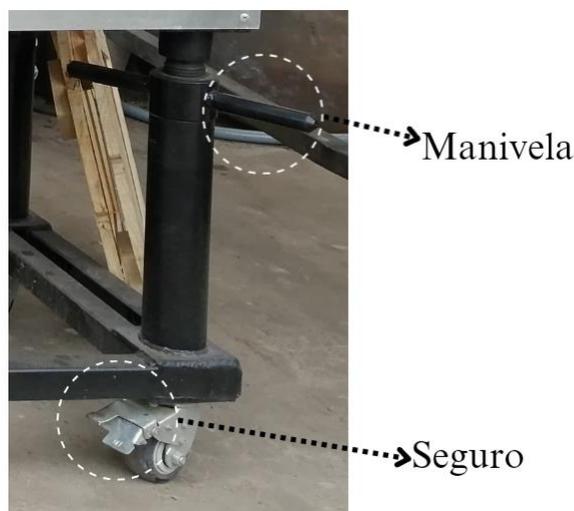


Ilustración 3-56: Seguro y manivela para estabilizar el horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.6.4.1. *Instalación eléctrica*

En base a los resultados que se obtuvo y como se especifica en la ficha técnica del equipo, la potencia del horno es de 18,15 kW por lo tanto consume una corriente de 103,125 A (incluido el factor de protección), se debe dimensionar el calibre del cable, así como los elementos de protección que se van a utilizar para armar la caja de alimentación en donde se va a conectar el horno y que pueda soportar los valores antes mencionados.

NOTA: Se recomienda colocar un disyuntor mayor a 100 A que venga incluido un bimetálico regulable, para que tenga una protección contra cortocircuitos y sobrecalentamientos.

Se debe considerar todas las conexiones a tierra tanto para el tablero de control, como para el de potencia, para que se pueda salvaguardar la integridad de la persona que manipule el equipo, como

también para proteger los circuitos eléctricos ante alguna eventualidad.

Es importante que un técnico calificado se encargue de armar la caja de distribución y realizar todas las puestas a tierra.

3.6.4.2. *Ubicación y manipulación*

El horno al ser un equipo grande se recomienda manipularlo entre dos personas, para moverlo a distancias cortas, si se trata de llevarlo a una distancia considerable, se debe sujetar de la base en donde se encuentran las ruedas, para que no se desmonte la estructura que sostiene a las cámaras de calor. De preferencia se debe mantener las puertas de las cámaras cerradas, para evitar que sufran deformaciones al estar suspendidas al vacío.

El ventilador que sirve para enfriar a los relés de estado sólido no debe estar activo durante periodos considerables, se recomienda encenderlo y apagarlo periódicamente en lapsos de 30 minutos.

Si el horno va a ser ubicado cerca de alguna pared se recomienda guardar una distancia de 1m debido al calor que emite el horno para evitar inconvenientes, y también si se necesita abrir las puertas de la parte posterior, se lo pueda realizar sin ningún problema.

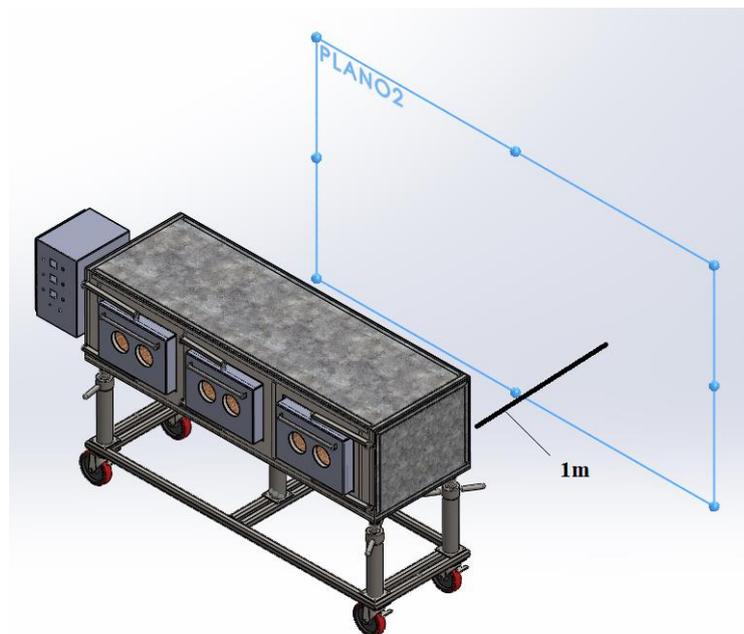


Ilustración 3-57: Ubicación del horno con respecto a una pared

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.6.5. Instrucciones de uso

El horno para tratamiento térmico está constituido por 3 cámaras de calor, que son calentadas por dos resistencias de aleación de cobre y níquel, con un diámetro de 1,63 mm, sumando el Ohmiaje de las dos resistencias tenemos un valor de 16 Ω , el manejo será por medio de controladores de temperatura, uno por cada cámara, y también por termocuplas tipo K que están ubicadas en el interior de estas.

Las resistencias están colocadas sobre dos placas de concreto refractario que tienen perforaciones específicas para las mismas, la temperatura a la que se trabaja es de 700 °C y desde que el horno este frío, hasta llegar a ese punto demora aproximadamente 4 horas.



Ilustración 3-58: Disposición de las resistencias en la cámara de calor

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

3.6.5.1. Manejo del controlador

A continuación, se presenta la interfaz del operador para el controlador de temperatura Honeywell DC1010, para saber que representa cada parte.



Ilustración 3-59: Interfaz del operador del controlador de temperatura

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Tabla 3-5: Pantallas, LEDs y teclas

PANTALLAS	
Pantalla Superior	4 dígitos dedicados a mostrar el PV o valor real. En modo de configuración, esta pantalla indica el nombre de un parámetro.
Pantalla inferior	4 dígitos dedicados a mostrar el SP o valor de referencia. En modo configuración, esta pantalla indica el valor de un parámetro o el estado del parámetro seleccionado.
LEDS	INDICADOR
OUT 1	Estado de la salida 1.
OUT 2	Estado de la salida 2.
AT	Cuando el led está encendido indica que está realizando una sintonización automática.
AL 1	Estado de alarma 1.
AL 2	Estado de alarma 2.
PRO	Cuando se está ejecutando un programa, el LED parpadea. Cuando se suspende un programa, el LED está encendido. Cuando no se está ejecutando ningún programa, el LED está apagado.
TECLA	FUNCIÓN
Desplazar	La tecla DESPLAZAR permite pasar de un parámetro a otro o guardar un nuevo valor de un parámetro o el estado de un parámetro modificado.
Abajo	La tecla ABAJO permite disminuir el valor de un dígito seleccionado o cambiar el estado de un parámetro.
Arriba	La tecla ARRIBA permite aumentar el valor de un dígito seleccionado o cambiar el estado de un parámetro.

Fuente: (Honeywell, 2018)

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Acceso a un modo

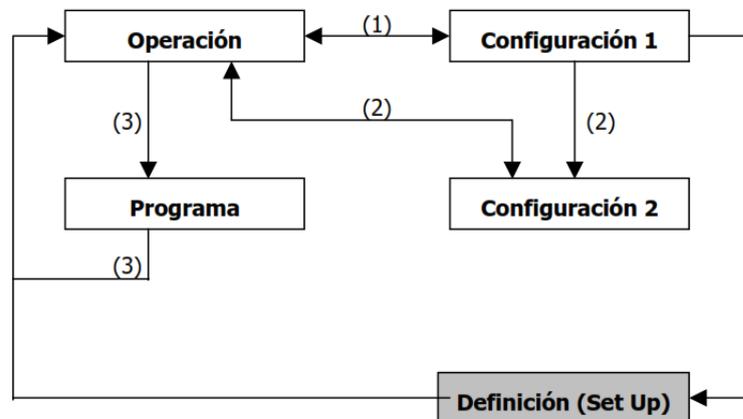


Ilustración 3-60: Diagrama de flujo para la programación general

Fuente: (Honeywell, 2018)

Como ir de un modo hacia otro

- (1) Pulsando la tecla “SET” durante 5 segundos, se accede al modo “Configuración 1” o se vuelve al modo “Operación” desde el modo “Configuración 1”.
- (2) Pulsando la tecla “DESPLAZAR” durante 5 segundos, mientras se pulsa antes la tecla ‘SET’, se accede al modo “Configuración 2” o se vuelve al modo “Operación”.
- (3) Pulsando la tecla “SET” durante 5 segundos, se accede al modo “Configuración 1” o se vuelve al modo “Operación” desde el modo “Configuración 1”.

Cambiar el valor del parámetro (SET POINT)

Cuando se enciende el controlador la pantalla predeterminada es PV (pantalla superior) y punto de ajuste (pantalla inferior). Si activas la opción de DESPLAZAR, el primer número empezará a destellar. Utiliza la tecla ARRIBA o ABAJO para incrementar o reducir el valor de este número y luego pulsa nuevamente DESPLAZAR para pasar al siguiente dígito. Una vez que hayas ingresado todos los números, presiona SET para confirmar el valor.

Cambio de modos

Si se presiona la tecla SET, la pantalla muestra el siguiente MODO. Si no se presiona ninguna tecla durante 1 minuto, la pantalla volverá al modo de operación. Si OUTL está configurado en "0", significa que el controlador no tiene salida.

3.6.5.2. Programación del controlador para un control ON/OFF

El controlador que se utilizó en el horno es de los más sencillos, pero aun así cuenta con dos tipos de programación, ON/OFF y un control PID, para este equipo se utiliza solo un control ON/OFF. Es el tipo de control más sencillo. La salida puede estar ON (100 %) u OFF (0%). La variable de proceso (PV) se compara con el punto de ajuste (SP) para determinar el signo del error ($ERROR = PV - SP$). El algoritmo ON/OFF opera sobre el signo de la señal de error.

Para programar se debe seguir la secuencia que se observa en el diagrama de flujo de la ilustración (3-54), en donde se observa que para iniciar el proceso se debe primero dar los parámetros de la "Configuración 1", luego de la "Configuración 2" y finalmente se coloca el punto de ajuste o SET POINT.

Para la "Configuración 1" se mostrará pulsando la tecla 'SET' durante 5 segundos en el modo 'Operación, en la ilustración (3-55) se observa los valores que aparecen en la pantalla superior y los valores con los que se debe configurar.

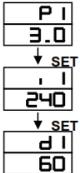
	Parámetro	Descripción
	Control principal (OUT1) Valor P (Banda proporcional)	Rango: 0~200% P1=0, Control ON/OFF
	Control principal (OUT1) Valor I (Tiempo integral)	Rango: 0~3600 segundos I=0, Integral off
	Control principal (OUT1) Valor D (Tiempo derivado)	Rango: 0~900 segundos D=0, Derivado off

Ilustración 3-61: Modo de configuración 1

Fuente: (Honeywell, 2018)

Al acceder al modo de operación encontramos las tres variables para el control PID, pero como se mencionó antes, solo se realiza un control ON/OFF por lo cual, se asigna un valor de 0 para “P1”, “I” y “d1”.

Para acceder al modo “Configuración 2”, presione la tecla DESPLAZAR durante 5 segundos mientras presiona la tecla 'SET' primero cuando esté en el modo “Operación” o “Configuración 1”. En esta configuración solo se cambiará el valor de “INP1” que es para seleccionar el tipo de termocupla que se está utilizando, para este caso, es una termocupla tipo K de 1200 °C, se coloca la “Y6”, se debe guiar en el anexo h que son los tipos de entradas para el controlador según Honeywell.

Displays Default Value shown except for examples	Parameter	Description
	Input 1 (INP1) Selection (Code)	Defines the Input type and Input range * Refer to Table 4-5, Table 4-6, and Table 4-7 for Input Codes

Ilustración 3-62: Selección del tipo de entrada

Fuente: (Honeywell, 2018)

3.6.6. *Mantenimiento*

El mantenimiento es muy importante para poder garantizar que el equipo cumpla con la función requerida, que es calentar la sección roscada de los tubos de 610 a 660 °C, para poder crear actividades de mantenimiento preventivas es importante iniciar por un análisis del modo y efecto de fallas (AMEF).

3.6.6.1. *Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)*

El análisis del modo y efecto de fallas es una herramienta muy importante para el mantenimiento, ya que ayuda al técnico a poder identificar las fallas potenciales que pueden ocurrir al equipo y las acciones que se deben realizar para mitigar las mismas, en la fase de diseño e implementación es importante incorporar esta metodología para que se pueda garantizar la fiabilidad del equipo, en este caso del horno, por esta razón, se realiza una tabla con los principales modos de falla, la causa que lo provoca, el efecto que tiene y las tareas encomendadas para contrarrestar el problema.

Tabla 3-6: Análisis del modo y efecto de fallas del horno

		HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA ALIVIO DE TENSIÓN		Código: HTT-05						
				Versión: 1						
				Fecha Elaboración: 09/04/2024						
				Fecha Modificación:						
Elaboración: Parra Cristian / Zúñiga Russey		Revisa: Ing. Fausto Caicedo / Ing. Ángel Jácome		Aprueba: Ing. Fausto Caicedo / Ing. Ángel Jácome						
ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS										
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (PÉRDIDA DE FUNCIÓN)		MODO DE FALLA/CONSECUENCIA		EFECTO DE LA FALLA		TAREAS RECOMENDADAS		
1	Calentar la sección roscada de los tubos a una temperatura de entre 610 °C a 660 °C		A	No genera calor ninguno o alguna cámara de calor		1	Resistencias fundidas	No se calienta la cámara de calor, puede provocar electrocución al operador.	Cambio de resistencias	
						2	Fuente de alimentación de VCC quemada	No se encienden los SSR, puede provocar electrocución del operador	Comprobar que la fuente entregue el voltaje correcto, reemplazar la fuente de alimentación.	
						3	Relé de estado sólido dañado	No se enclavan o cierran los contactos de la salida, puede provocar un cortocircuito.	Comprobar el voltaje de entrada del SSR, cambiar si recibe el voltaje correcto, pero no se enclava.	
						4	Fusibles quemados	No se activan los elementos del tablero de control.	Comprobar la continuidad en el circuito de control, cambiar los fusibles.	
						5	Cables desconectados	No se activan determinados elementos, puede provocar cortocircuitos, sobrecalentamientos y electrocución al operador.	Verificar las conexiones en las entradas y salidas de las resistencias, de los SSR y de los controladores, apretar bien los contactos.	
						6	Controlador de temperatura dañado	Valores erróneos en las pantallas digitales, no se encienden, puede provocar	Verificar si existe sonidos anormales en el controlador, y si el valor dado es	

1	Calentar la sección roscada de los tubos a una temperatura de entre 610 °C a 660 °C	B	Calienta la sección roscada de la tubería a menos de 610 °C			un sobrecalentamiento y quemaduras al operador.	correcto, reemplazar el controlador.
				1	Una de las dos resistencias rotas	Solo se calienta una resistencia, puede provocar electrocución al operador.	Desmontar la placa porta resistencia y sacar la resistencia y verificar el estado, intercambiarla si está rota.
				2	Excesiva fuga de calor por las paredes	Se calienta mucho la estructura metálica, puede provocar quemaduras al operador.	Verificar el calentamiento de la estructura metálica no exceda los 100 °C, cambiar el aislamiento y tapar grietas.
				3	Termocupla dañada	Código inIE en la pantalla digital superior del controlador, o visualización de valores erróneos.	Comprobar los valores que entrega la termocupla a la entrada del controlador, ver estado de los cables de la termocupla, cambiar termocupla o cables.
				4	Resistencias desconectadas	La resistencia está bien, pero no se activa, puede provocar electrocución al operador.	Verificar si hay contactos flojos en la entrada y salida de la resistencia, comprobar el cableado entre los SSR y las resistencias.
				5	Mal seleccionada la entrada de termocupla del controlador de temperatura	El rango de temperatura del controlador es menor al deseado.	Se debe configurar nuevamente al controlador siguiendo las instrucciones para el control ON/OFF especificadas en este manual.
				6	Set Point desconfigurado	Error en el valor de la pantalla digital inferior del controlador.	Configurar nuevamente el Set Point.

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E ITERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación se obtuvieron mediante la construcción del horno para tratamiento térmico de alivio de tensión, en base a los requerimientos estipulados por la empresa- El equipo se instaló en el área de Vulcanizados de la Planta de Producción en donde se le aplicó las respectivas pruebas de funcionamiento, la curación, el análisis de temperatura como del aislamiento térmico, y los ensayos con las probetas. El horno brinda mayor seguridad al operador y una mayor capacidad de producción.

4.1. Resultados de la construcción del horno (diseño vs real)

Una vez construido el equipo se procede hacer la comparativa de la propuesta de diseño con la real, se parte con la estructura metálica, en la propuesta se debía construir con tubo estructural negro de 2" x 2" x 1/8", que consta de una base para las cámaras de calor que se divide en tres partes, 5 parantes regulables dispuestos en cada esquina y en el centro de la estructura, y una base para soportar a todo el horno.

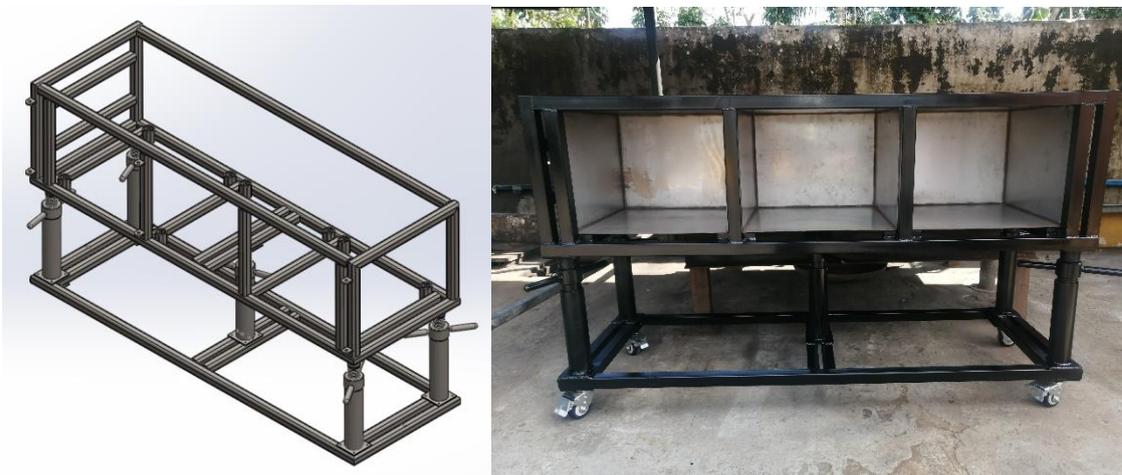


Ilustración 4-1: Comparación de la estructura del horno, diseño vs real

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Como es evidente se pudo lograr construir el mismo diseño propuesto para la estructura del horno. La estructura real cuenta con un proceso de pintura que parte de un granallado, luego se le aplicó una pintura base gris y para finalizar se le colocó una capa de pintura negra automotriz, de esta forma se asegura que la estructura pueda resistir a las condiciones climáticas.

Se procede hacer la comparativa con el diseño para la cámara de calor, se propuso realizar una caja de acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 3 mm, de 612 mm de ancho, por 606 mm de largo y 472 mm de alto, que servirá como chasis en donde se arma una capa de aislante de fibra cerámica, otra de ladrillo refractario y una de concreto refractario, para las paredes laterales se iba a colocar placas del mismo material con perforaciones para montar las resistencias.

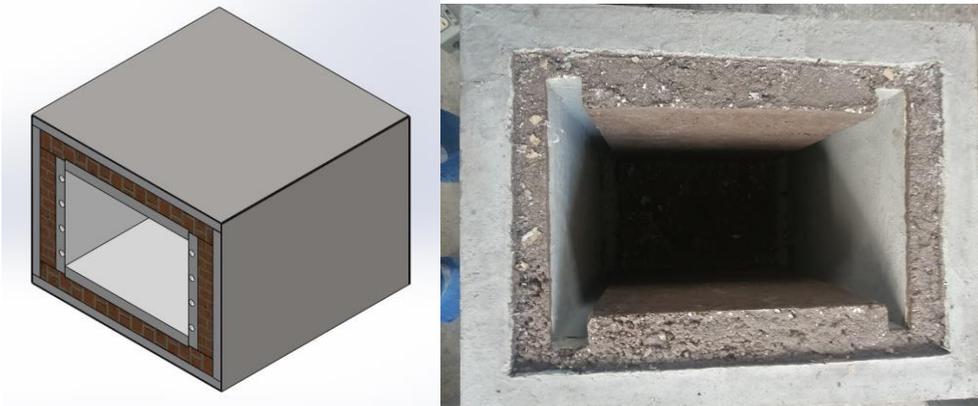


Ilustración 4-2: Comparación de la cámara de calor, diseño vs real

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 4-3: Cámaras de calor montadas en la estructura con las placas porta resistencias

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Para las puertas del horno en el diseño se propuso hacer cajas de acero inoxidable el mismo que se utilizó para las cámaras de calor, seguido de una capa de aislante, luego ladrillo refractario y una plancha de concreto refractario con agujeros hechos a la medida de la tubería de 4 ½ de pulgada.



Ilustración 4-4: Puertas de la cámara de calor, diseño vs real

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Los tableros de control el diseño se propuso que iba haber dos, uno de control y otro de potencia, en el de control se iban a montar 3 controladores, cada uno acompañado de una luz piloto, de un interruptor y un fusible, además de contar con un botón de paro de emergencia, mientras que, en el tablero de potencia se iban a montar los tres relés de estado sólido, el ventilador y las barras de alimentación.



Ilustración 4-5: Tableros eléctricos, diseño vs real

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Como es evidente hay un ligero cambio en la disposición de los elementos debido a que se consideró la mejor ubicación para realizar un correcto cableado.



Ilustración 4-6: Horno para tratamiento térmico de alivio de tensión, diseño vs real

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Como es evidente se pudo construir el horno como se estipuló en la propuesta de diseño, hay ligeros cambios que se realizaron para mejorar el diseño como las puertas traseras y la ubicación de dos tableros en vez de uno solo, pero el funcionamiento sigue siendo el mismo.

4.2. Prueba de funcionamiento

Para realizar la prueba de funcionamiento del horno, primero se tuvo que construir un tablero eléctrico para que alimente al horno, teniendo en cuenta las características previstas en la ficha técnica del equipo. Se inicia con la comprobación de todas las conexiones y del estado de los elementos de los tableros de control y de mando.

Para encender el horno primero se desconectó la parte de potencia para comprobar el funcionamiento del tablero de control, si existe una buena continuidad de la corriente y si llegan los voltajes correctos a los controladores de temperatura.



Ilustración 4-7: Comprobación del funcionamiento del tablero de control

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 4-8: Comprobación del funcionamiento del tablero de potencia

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Luego de comprobar el correcto funcionamiento del tablero de control, se procedió a alimentar el tablero de potencia, para realizar las conexiones se debe desenergizar a todo el horno. Una vez que se hicieron todas las conexiones se procedió a encender el equipo, el proceso se realizó de manera progresiva, con el encendido de la primera cámara de calor, luego la segunda y para finalizar la tercera, se comprobó la corriente real que consume cada cámara de calor y se representa en la tabla 4-1.



Ilustración 4-9: Toma de datos reales de corriente

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.



Ilustración 4-10: Funcionamiento de las cámaras de calor

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Tabla 4-1: Corriente de las cámaras de calor

CÁMARA DE CALOR	CORRIENTE (A)
Número 1	32,2
Número 2	61,6
Número 3	92,5

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

4.3. Curación del horno

Este proceso es muy importante para garantizar el buen funcionamiento del equipo, al referirse con curación del horno, se hace referencia al calentamiento progresivo, según especificaciones del fabricante se debe seguir la guía de la ilustración (4-11), que fue entregado por el personal técnico en donde se compró el material refractario.

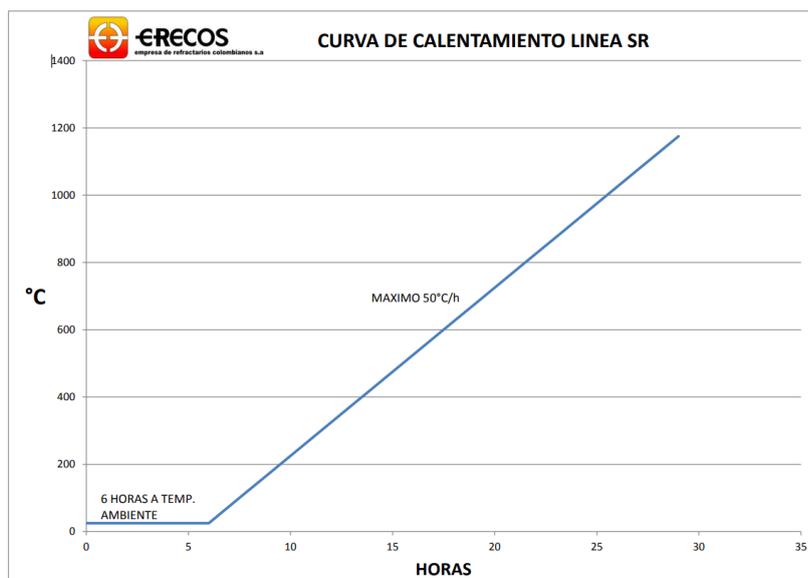


Ilustración 4-11: Curva de calentamiento para curación del horno

Fuente: EREECOS, 2023.

Este gráfico enseña cómo se debe realizar la curación del horno, una vez que se haya realizado la aplicación, en este caso la construcción de las paredes refractarias de concreto se debe dejar a temperatura ambiente durante 6 horas, de ahí en adelante se debe aumentar 50 °C cada hora hasta llegar a la temperatura de trabajo deseada, fue un proceso largo, pero se pudo realizar la curación de las cámaras de calor de la mejor manera.



Ilustración 4-12: Curación del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

4.4. Análisis de la temperatura de las cámaras de calor

Para poder comprobar que la temperatura que marca en la pantalla superior del controlador de temperatura sea la misma a la que se encuentra la cámara de calor, se procede a realizar una inspección termográfica, se calibró la cámara termográfica a una emisividad de 0,94, distancia de 2 m y temperatura ambiente de 27 °C. Las emisividades son tomadas del anexo I.

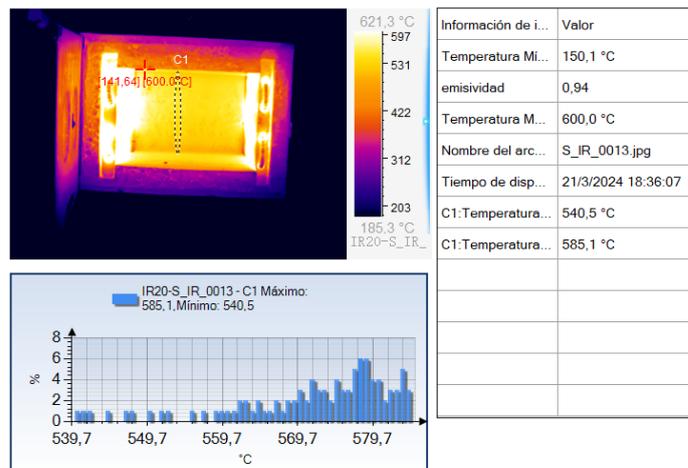


Ilustración 4-13: Termograma de la cámara de calor 1

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

$$\varepsilon_{\text{cámara2}} = \frac{(605 - 598)^{\circ}\text{C}}{605^{\circ}\text{C}} * 100\% = 1,16 \%$$

Existe un error de apenas el 1,16% para la primera cámara de calor, esto quiere decir que está funcionando muy bien y se maneja una correcta temperatura. Se procede con la tercera cámara.

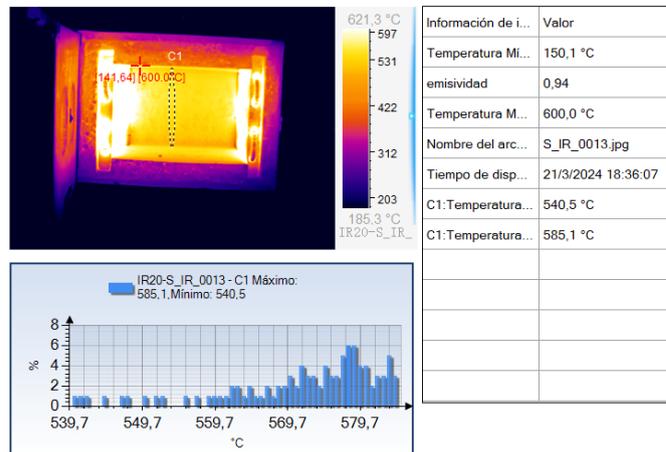


Ilustración 4-15: Termograma de la cámara de calor 3

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Se puede verificar la información con la que fue tomada la termografía, se observa que el valor máximo que mostró fue de 610 °C, el valor mínimo es de 540,6 °C, se bordea temperaturas al fondo de 540 °C a 585,1 °C.

Con estos datos se procede a calcular el error que existe entre la lectura tomada por la cámara termográfica y el que marca el controlador, siendo el valor registrado por el controlador de 602 °C.

$$\varepsilon_{\text{cámara3}} = \frac{(610 - 602)^{\circ}\text{C}}{610^{\circ}\text{C}} * 100\% = 1,31 \%$$

Existe un error de apenas el 1,31% para la primera cámara de calor, esto quiere decir que está funcionando muy bien y se maneja una correcta temperatura.

4.5. Análisis del aislamiento térmico del horno

En este análisis se va a considerar la eficiencia del aislamiento térmico colocado en el horno, para ello se realizó un análisis termográfico a las paredes laterales, a la frontal, a la posterior y a la

superior, hay que tomar en cuenta que al tener dos agujeros en las tapas el calor siempre va a estar despidiéndose por la parte frontal del horno.

La emisividad con la que se configuró la cámara termográfica fue de 0,61 valor para el acero galvanizado obtenido del anexo I, que es la tabla de emisividades para sensores infrarrojos

4.5.1. Termografía en las paredes laterales

En las paredes laterales se aplicó una doble capa de aislante de fibra de cerámica porque había un mayor espacio, se consideró también colocar más aislante en la pared en donde están montados los tableros eléctricos.

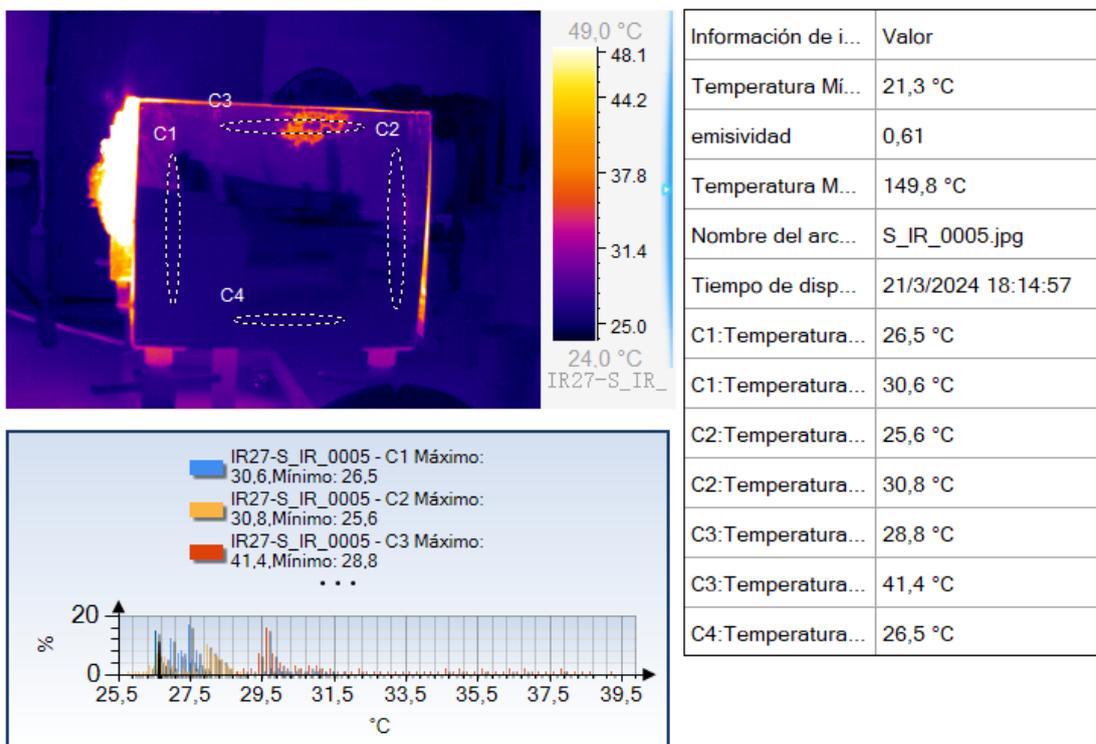


Ilustración 4-16: Termograma de las paredes laterales del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

En esta termografía se puede evidenciar como la temperatura máxima que se registra en la pared lateral es de 149,8 °C que se ubica en la parte superior, en la unión de las dos placas, debido a la razón que se mencionó anteriormente; de que el calor que se escapa por las agujeros de las tapas tiende a subir a la parte superior de todo el horno, por tal razón se pudo ver una pequeña deformación de la plancha de acero galvanizado del techo justamente en la parte de delantera,

mientras que en los demás círculos, 1, 2, 3 y 4 se contempla una temperatura considerablemente baja, siendo un valor pertinente, Con esto se puede decir que el aislamiento térmico cumple su función.

4.5.2. Termografía en la pared posterior

Para realizar la termografía en esta parte del horno se realizó con las puertas cerradas y con las puertas abiertas para ver cuál es el comportamiento, claro está que se tomó en cuenta el valor de la emisividad para cada material.

4.5.2.1. Paredes posteriores con las tapas puestas

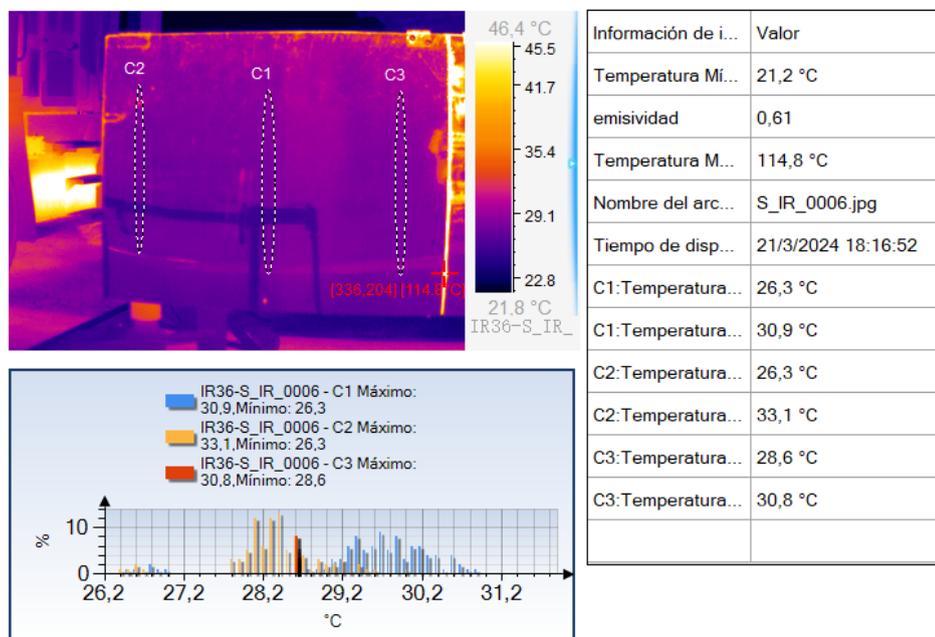


Ilustración 4-17: Termograma de la pared posterior de la cámara 3 con tapa puesta

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Se puede evidenciar que la temperatura máxima para la cámara 3 es de 114,8 °C la misma que es por la abertura que se produce entre tapas, se maneja una temperatura considerablemente baja, siendo el valor mínimo de 21,2 °C, las temperaturas alrededor de la tapa no supera los 35°C, siendo las temperaturas mayores para el círculo 1 de 30,9 °C, para el círculo 2 de 33,1 °C y para el círculo 3 de 30,8 °C.

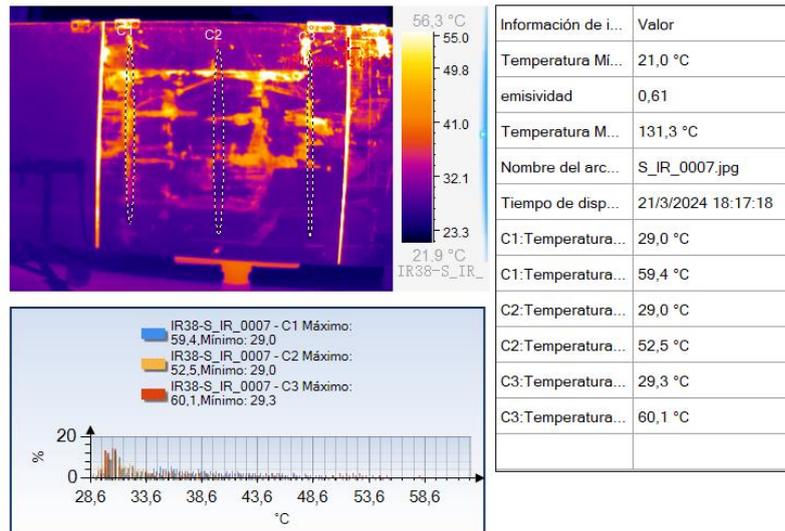


Ilustración 4-18: Termograma de la pared posterior de la cámara 2 con tapa puesta

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Se puede evidenciar que la temperatura máxima para la cámara 2 es de 131,3 °C la misma que es por la abertura que se produce entre las bisagras, se maneja una temperatura moderada, tiene un valor mínimo de 21 °C, pero las temperaturas alrededor de la tapa supera los 50 °C, siendo las temperaturas mayores para el círculo 1 de 59,4 °C, para el círculo 2 de 52,5 °C y para el círculo 3 de 60,1 °C.

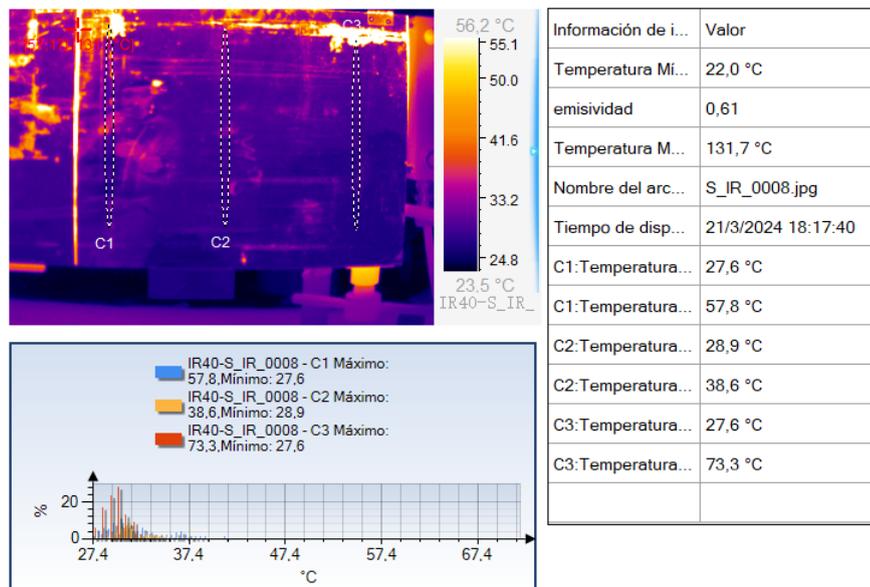


Ilustración 4-19: Termograma de la pared posterior de la cámara 1 con tapa puesta

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Se puede evidenciar que la temperatura máxima para la cámara 2 es de 131,7 °C la misma que es por la abertura que se produce entre las bisagras, se maneja una temperatura moderada en algunos puntos y alta en otros, tiene un valor mínimo de 22 °C, las temperaturas alrededor de la tapa supera los 70 °C, siendo las temperaturas mayores para el círculo 1 de 57,8 °C, para el círculo 2 de 38,6 °C y para el círculo 3 de 73,3 °C.

Es importante destacar que para la parte de atrás del horno se colocó solo una capa de aislante cerámico y además cuenta con los agujeros que salen directamente de las cámaras de calor hacia atrás, que son de las resistencias y de las termocuplas, por esa razón se puede evidenciar que hay más temperatura en las uniones de las tapas, pero conforme se acerca al centro de la tapa este valor disminuye considerablemente. Con esto se puede decir que el operador debe tener mucho cuidado con los bordes de las tapas de las puertas de atrás ya que ahí se concentra el calor, también las tapas cumplen un papel importante para evitar que el calor salga por la parte de atrás, por esta razón cuando el equipo esté en funcionamiento siempre se debe manejar con las tapas puestas.

4.5.2.2. Paredes posteriores sin las tapas puestas

Es importante cambiar la emisividad del material dado a que se va a tomar imágenes del aislante cerámico, para este caso se considera un valor de 0,69 valor obtenido del anexo I.

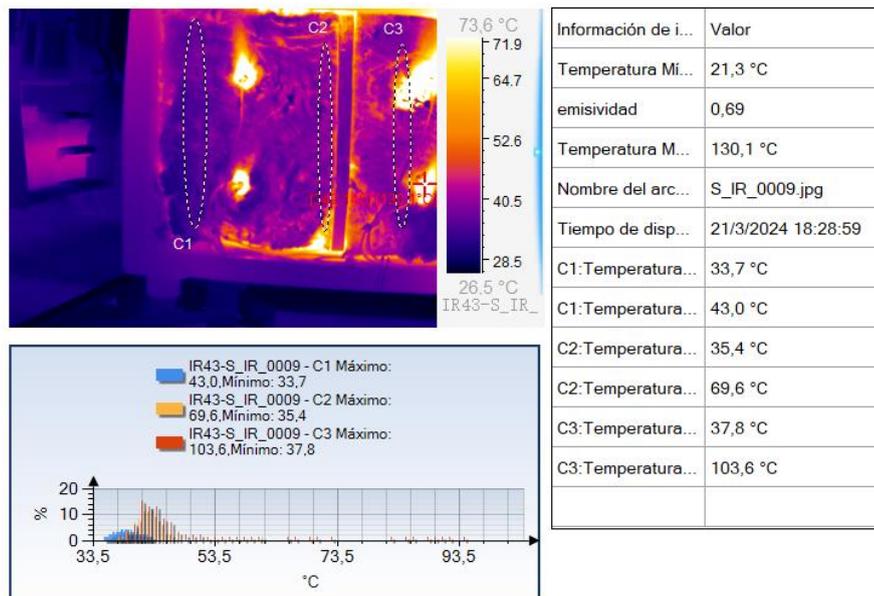


Ilustración 4-20: Termograma de la pared posterior de la cámara 3 sin la tapa puesta

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Se puede evidenciar que la temperatura máxima para la cámara 3 es de 130,1 °C la misma que es por un agujero de la termocupla, es notable que la temperatura alta se concentra en los orificios de las resistencias y de las termocuplas, mientras que, en las zonas alejadas la temperatura es moderada, siendo el valor mínimo de 26,1 °C, las temperaturas mayores para el círculo 1 de 43 °C, para el círculo 2 de 69,6 °C y para el círculo 3 de 103,6 °C. Como se puede notar las temperaturas que se manejan en esta parte del horno son peligrosas para el operador.

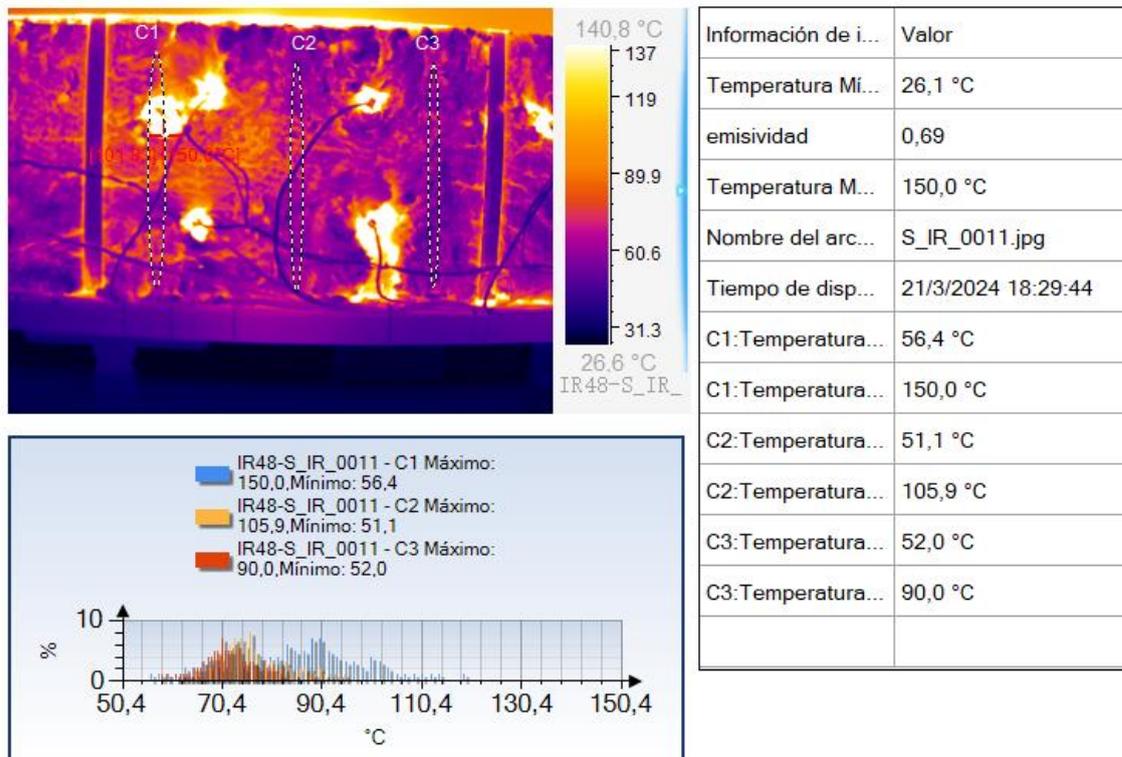


Ilustración 4-21: Termograma de la pared posterior de la cámara 2 sin la tapa puesta

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Se puede evidenciar que la temperatura máxima para la cámara 2 es de 150 °C la misma que es por un agujero de la resistencia, es notable que la temperatura alta se concentra en los orificios de las resistencias y de las termocuplas, mientras que, en las zonas alejadas la temperatura es moderada, siendo el valor mínimo de 26,1 °C, las temperaturas mayores para el círculo 1 de 150°C, para el círculo 2 de 105,9 °C y para el círculo 3 de 90 °C. Como se puede notar las temperaturas que se manejan en esta parte del horno son peligrosas para el operador.

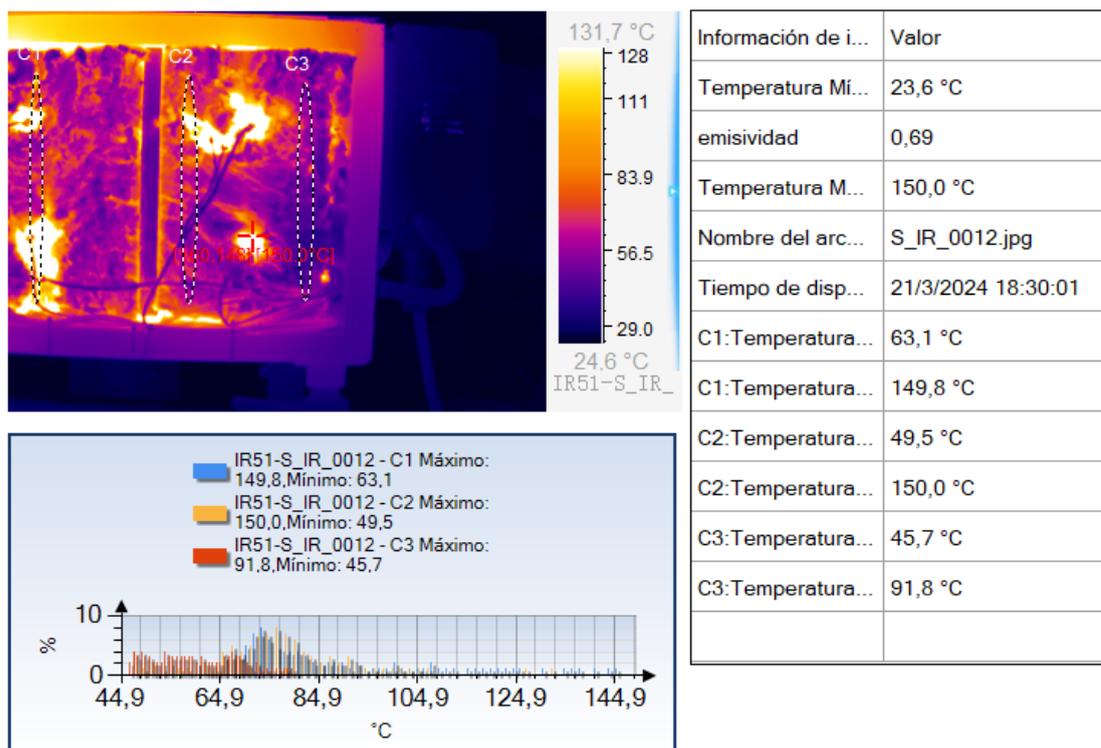


Ilustración 4-22: Termograma de la pared posterior de la cámara 1 sin la tapa puesta

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Se puede evidenciar que la temperatura máxima para la cámara 1 es de 150 °C la misma que es por un agujero de la resistencia, es notable que la temperatura alta se concentra en los orificios de las resistencias, de las termocuplas y en las uniones de la fibra con el techo, mientras que, en las zonas alejadas la temperatura es moderada, siendo el valor mínimo de 23,6 °C, las temperaturas mayores para el círculo 1 de 149,8 °C, para el círculo 2 de 150 °C y para el círculo 3 de 91,8 °C. Como se puede notar las temperaturas que se manejan en esta parte del horno son peligrosas para el operador.

Aunque la fibra cerámica está haciendo un buen trabajo existe mucha fuga de calor por los orificios de las resistencias y las termocuplas, pase a que se colocaron aislantes cerámicos en las uniones de la resistencia para evitar cortocircuitos y que el calor salga excesivamente de la cámara de calor, aun maneja una temperatura elevada, que, si el operador no se encuentra con su equipo de protección personal, puede ser muy peligro. Se recomienda siempre utilizar el EPP adecuado a la persona que vaya a manipular el horno, aunque existen protecciones para aislar el calor aún sigue siendo peligro.

4.5.3. Termografía en la pared superior

En esta termografía se evidencia lo mencionado anteriormente, el calor que sale por los agujeros de las puertas sube hacia el techo, concentrándose el calor en la parte frontal de la plancha de acero galvanizado.

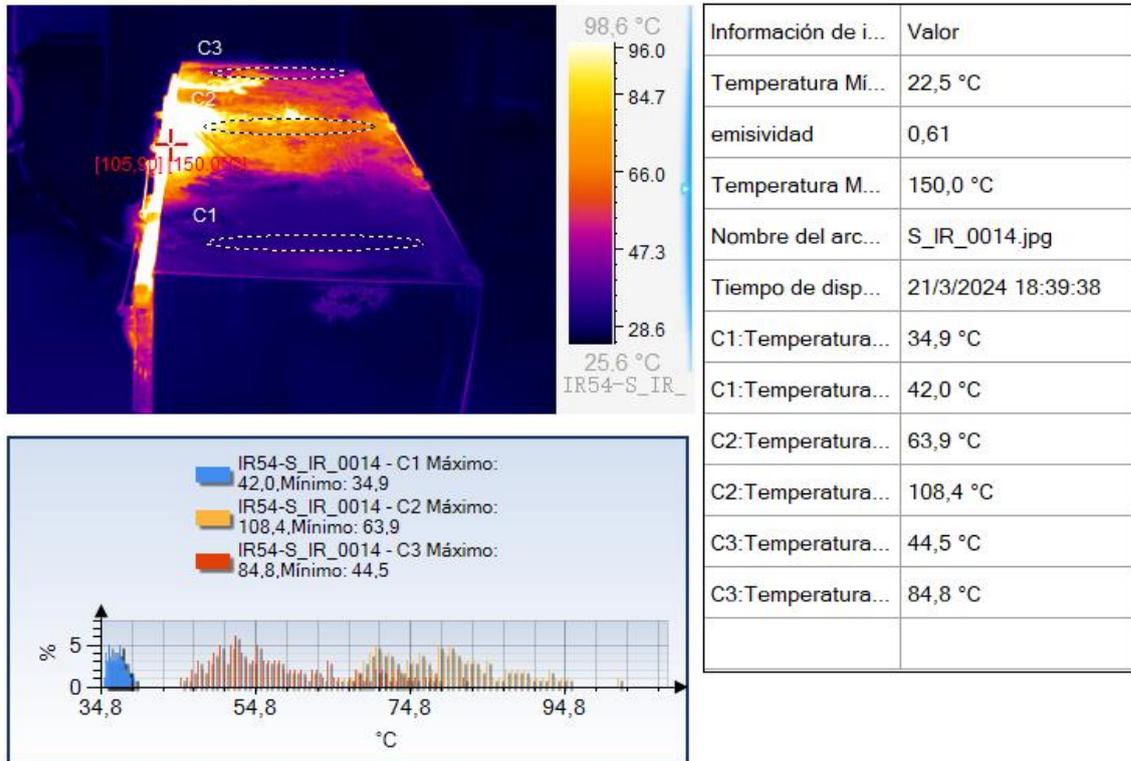


Ilustración 4-23: Termograma de la pared superior del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

La temperatura máxima es de 150 °C la misma que se encuentra en el borde del techo, justo en la salida de la puerta, al tener una sola capa de aislante el calor se lo puede considerar elevado en ciertas zonas, el valor mínimo es de 22,5 °C, las temperaturas mayores para el círculo 1 de 42°C, para el círculo 2 de 108,4 °C y para el círculo 3 de 84,8 °C. Como se puede notar las temperaturas que se manejan en esta parte del horno son peligrosas para el operador y es un lugar muy común en donde las personas pueden colocar las manos, por lo tanto, siempre se debe tener en cuenta la señalética de seguridad que está marcada para superficies calientes y sobre todo solo las personas calificadas pueden manipular el horno.

4.5.4. Termografía en la pared frontal

En la parte frontal del horno no se colocó aislante térmico debido a que las puertas ingresan a juntarse con las paredes, esta es la parte del horno que se debe tener mucho cuidado, al tener zonas abiertas y expuestas directamente al calor, las personas que se encuentren cerca pueden sufrir quemaduras.

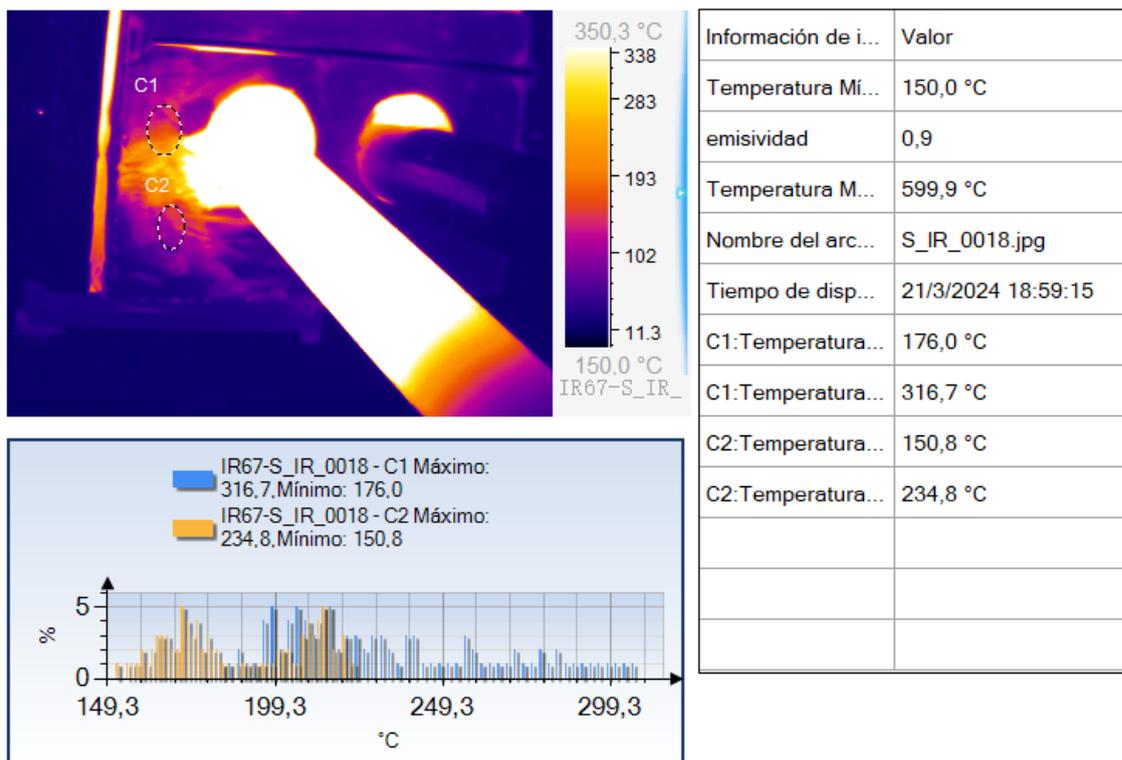


Ilustración 4-24: Termograma de la pared frontal del horno

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Como se puede observar en la termografía la temperatura que se maneja en las puertas y alrededores es muy elevada, la temperatura máxima alcanza hasta los 599 °C, la temperatura máxima del círculo 1 es de 316,7 °C y en el círculo 2 es de 235,8 °C, son temperaturas muy altas que pueden ocasionar graves lesiones al operador, es importante destacar que una buena parte de la sección del tubo también se calienta, por lo tanto, se debe manejar con mucho cuidado el mismo a la hora de sacarlo de las cámara de calor, no se debe confiar en ningún momento de los guantes, debido a que estos pueden sufrir ciertos daños que pueden ser imperceptibles para el ojo humano pero puede generar un accidente.

4.5.5. Termografía en los tableros eléctricos

Hay que considerar que al circular valores altos de corriente a través de los conductores puede generar un sobrecalentamiento, mucho más si los mismos están sub dimensionados, además, dentro del tablero de potencia se encuentran los relés de estado sólido que al ser un interruptor para el paso de la corriente hacia las resistencias tienden a calentarse demasiado, por esta razón, se implementó un ventilador que sirve para enfriar a todo el circuito eléctrico. La emisividad que se considera para analizar circuitos eléctricos es de 0,95.

NOTA: Se utiliza la emisividad de 0,95 de acuerdo con la recomendación del técnico en termografía y también en base al anexo I para componentes eléctricos y electrónicos.

Se han tomado termografías al tablero de potencia con el ventilador encendido y con el ventilador apagado para ver como es el comportamiento.

4.5.5.1. Tablero de potencia con el ventilador apagado

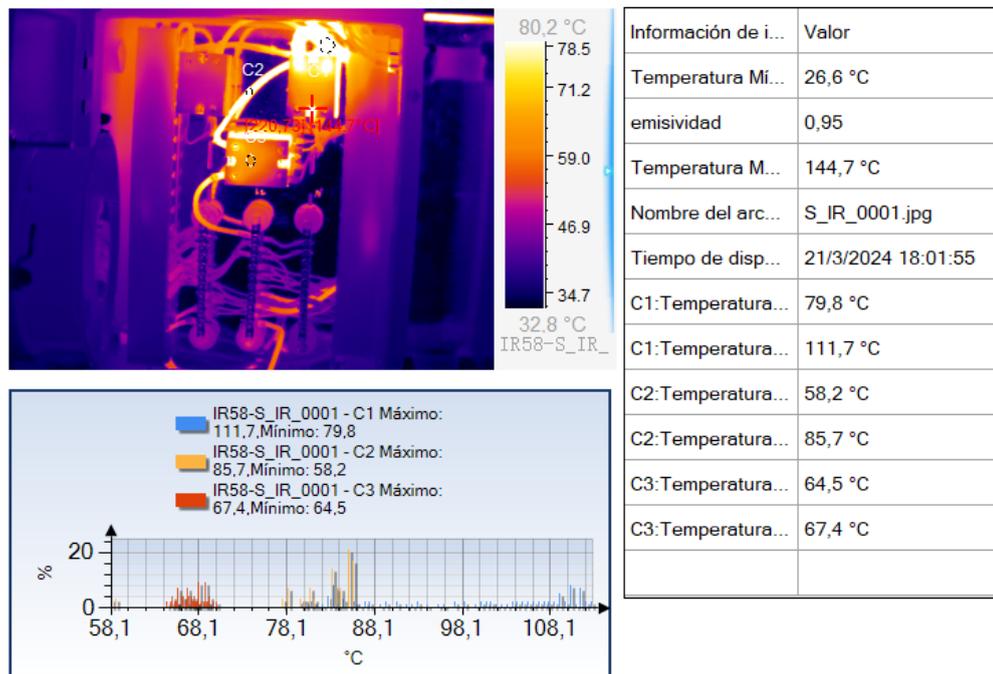


Ilustración 4-25: Termograma del tablero de potencia con el ventilador apagado

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

Es muy evidente destacar que existe un calentamiento excesivo en la salida del relé de estado

sólido 2, alcanzando una temperatura 144,7 °C, este calentamiento no obedece al SSR, más bien se debe al calentamiento del cable, esto se puede deducir por el patrón de calor que se genera en el cable, como es más evidente en el SSR 3, el cable está caliente al acercarse al relé y se enfría conforme se aleja del mismo, por lo tanto, es recomendable cambiar los cables que están sobrecalentados por un calibre más grueso. En el círculo 3 la temperatura máxima es de 67,4 °C esta es la temperatura a la que trabaja normalmente un SSR, se la puede considerar moderada, pero aun así es alta.

4.5.5.2. Tablero de potencia con el ventilador encendido

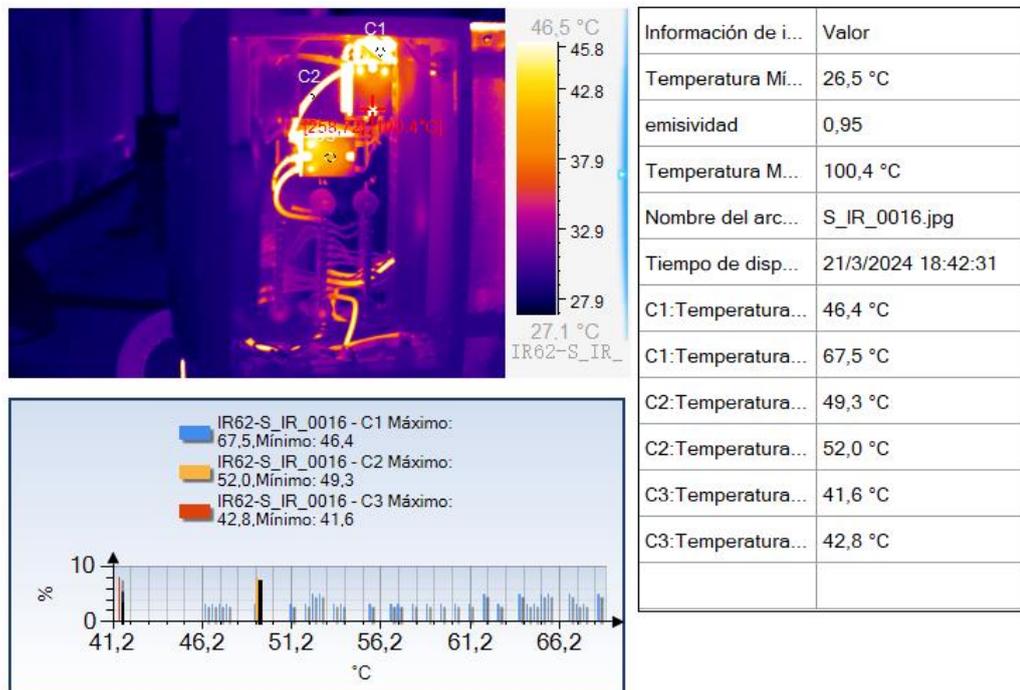


Ilustración 4-26: Termograma del tablero de potencia con el ventilador encendido

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

El ventilador si enfría al circuito y se lo puede notar debido a que la temperatura máxima es de 100,4 °C, eso quiere decir que ha disminuido poco más de 40 °C, comparando la temperatura máxima del círculo 3 que es de 42,8 °C que es netamente la del SSR, con la del anterior termograma ha disminuido más de 20 °C. Las temperaturas son moderadas con el ventilador encendido, pero hay que recordar que, para evitar sobrecalentamientos del ventilador, este no puede pasar todo el tiempo encendido, debe ser periódico cada 30 minutos, por lo tanto, se recomienda cambiar el calibre del conductor.

4.5.5.3. Tablero de control

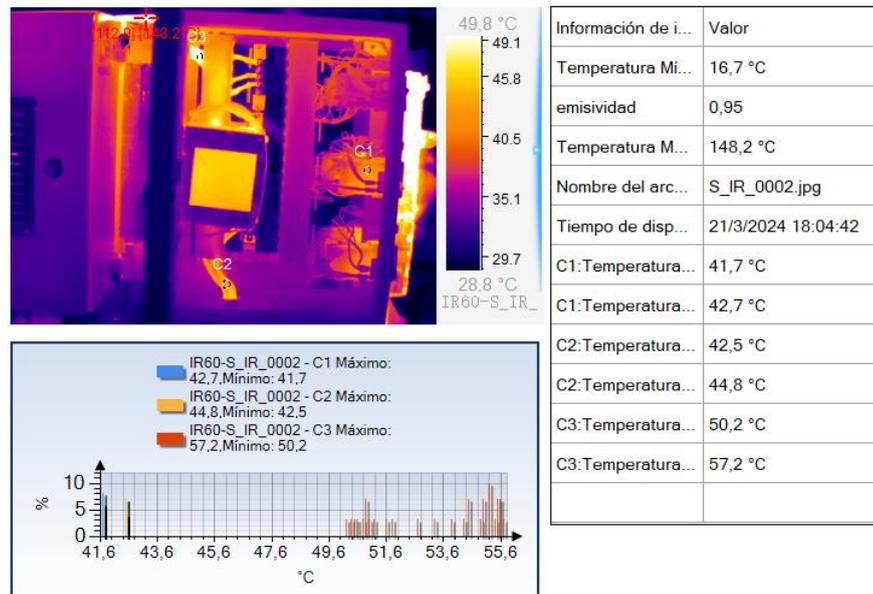


Ilustración 4-27: Termograma del tablero de control

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023.

Interpretación.

En el tablero de control la temperatura más alta que se puede evidenciar es de la pared de afuera del horno, específicamente en la unión entre las placas de acero galvanizado del lateral y del techo, mientras que la temperatura de los componentes del tablero es moderada, el controlador de la cámara 2 tienen un calentamiento de 42,7 °C, mientras que de los cables que salen para las resistencias es de 44,8 °C, los conductores que van a los SSR son los que más calientes están a una temperatura de 57,2 °C, como ya se lo apreció en la ilustración (4-26), por el motivo del calibre, mientras que la fuente también maneja una temperatura moderada de 50,2 °C. Se recomendaría implementar a futuro un ventilador pequeño para que pueda enfriar a los elementos.

4.6. Pruebas con las probetas

Estas pruebas son una de las más importantes, debido a que en base a la temperatura que alcancen las probetas se puede determinar que tan bien está funcionando el horno. El punto de este ensayo es verificar el tiempo que se demora en calentarse la sección roscada de los tubos. Según los cálculos realizados en el estudio térmico del proyecto, se planteó que debería alcanzar la temperatura de 610 °C en un lapso de 10 a 15 minutos, durante las pruebas se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 4-2: Datos obtenidos en las pruebas con las probetas

DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CON LAS PROBETAS					
Nº de Prueba	Nº de cámara	Nº de probeta	Temperatura (°C)	Tiempo	
1	1	1	614,6	00:10:20	
		2	615,2		
	2	1	612,8	00:11:40	
		2	613,3		
	3	1	1	616,5	00:13:10
			2	616,3	
2	1	1	620,2	00:10:18	
		2	621,8		
	2	1	622,4	00:11:00	
		2	622,8		
	3	1	1	623,2	00:12:46
			2	623,7	
3	1	1	625,3	00:10:32	
		2	625,4		
	2	1	626,1	00:10:55	
		2	626,6		
	3	1	1	627,2	00:11:02
			2	627,4	
4	1	1	627,6	00:10:05	
		2	628,2		
	2	1	628,4	00:11:10	
		2	628,5		
	3	1	1	628,8	00:11:40
			2	629,1	

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

Si sacamos la media de los tiempos nos da un valor de 0:11:13 u once minutos con 13 segundos, este será el valor que el operador debe tener en cuenta para retirar las probetas de las cámaras de calor garantizando que la sección roscada de los tubos llegue a una temperatura de 610 °C a 660°C.



Ilustración 4-28: Realización de pruebas a las probetas

Realizado por: Parra, C; Zúñiga, R, 2023

CAPÍTULO IV

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se construyó el horno para tratamiento térmico que servirá para realizar el alivio de tensiones a la sección roscada de tubos API grado L80 que provienen del campo petrolero para su reparación, con el fin de satisfacer la demanda de trabajo que tiene la Planta de Producción de la empresa SERTECPET, siguiendo las guías establecidas y el diseño propuesto.

Se identificaron y analizaron los factores clave que intervienen en el proceso de alivio de tensiones para el diseño del horno, que son: la temperatura, que debe ser entre 610 a 660 °C; el tiempo de exposición de los tubos, que no debe exceder los 20 minutos dentro de las cámaras de calor y la velocidad de enfriamiento, siendo a temperatura ambiente. Además, se establecieron los requerimientos específicos proporcionados por la empresa, que son la facilidad de mantenimiento, la capacidad y la ergonomía, variables que afectan directamente al alivio de tensión, proporcionando una base sólida para el desarrollo del horno.

El estudio térmico realizado al horno determinó que, para calentar la sección roscada de los 6 tubos se necesita una potencia total de 14,703 kW, siendo 4,921 kW por cada cámara, para que el equipo pueda generar esa cantidad, se escogió resistencias de aleación de cromo y níquel (80/20) que se conectan en paralelo para tener 16 Ω y producir una potencia de 6,05 kW cumpliendo de esta manera con la demanda. Todo el horno consume una corriente de 103,125A, a 220V bifásica, y se ocupó materiales refractarios de alta densidad y una estructura sólida.

Se completó con éxito la creación de planos estructurales detallados y simulaciones del horno eléctrico utilizando un programa de modelado mecánico. Los planos proporcionan una representación precisa y completa de la estructura del horno, facilitando la fabricación y la comprensión del diseño.

Se llevaron a cabo ensayos y pruebas exhaustivas para verificar el funcionamiento del horno eléctrico. Los resultados de las pruebas confirmaron la eficacia del diseño, la capacidad de alivio de tensiones y el rendimiento térmico del horno bajo condiciones simuladas, garantizando la fiabilidad operativa.

5.2. Recomendaciones

Es importante calibrar adecuadamente la emisividad del pirómetro laser que se utiliza para el proceso de alivio de tensión, a 0,90, de no hacerlo existirá un margen de error considerable en las mediciones.

Para realizar un plan de mantenimiento completo es importante utilizar las principales actividades previstas en el análisis de los modos y efectos de fallas existentes en el manual de usuario.

Se debe garantizar que el equipo no se exponga a la intemperie, debido a que afectaría a los materiales refractarios y a la parte estructural del horno, al someterse a un choque térmico.

El ventilador del tablero de potencia debe trabajar en lapsos de una hora, para evitar que se dañe por sobrecalentamiento.

Es importante no retirar los aislantes cerámicos que se ubican en las conexiones de las entradas y salidas de las resistencias, podría provocar un cortocircuito que dañe a todo el equipo.

GLOSARIO

MTC: Material Test Certificate; Certificado de Pruebas del Material

Licenciatario: Una instalación que está licenciada, con licencia local o subcontratada (colectivamente referenciada como Licenciada) de acuerdo con Tenaris / Hydril para fabricar o reparar productos TenarisHydril en consideración de regalías / comisiones.

LTT: Última temperatura de revenido o temperatura de revenido final.

SRTmax: Temperatura máxima de alivio de tensiones

SRTmin: Temperatura mínima de alivio de tensiones

SRT: temperatura a la que se realiza el alivio de tensiones.

Swaging (SW): dimensionamiento final del extremo del tubo que conduce a una reducción del diámetro externo de un extremo del tubo para obtener una geometría adecuada para el roscado de conexión.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALVARES MONASTERIOS, Ever; et al.** Diseño y construcción de un horno eléctrico de tratamientos térmicos para la carrera de Mecánica Industrial. [En línea]. (Trabajo de investigación). (Tesis Doctoral). Universidad Mayor de San Andrés. 2023. págs. 142. [Consulta: 2023-12-11]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/31953>
2. **AVELLA MOLANO, Nicolef.** Modelado y diseño de estrategias de control avanzado para hornos eléctricos de tratamientos térmicos. [En línea]. (Trabajo de investigación). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2015. págs. 62. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1725>.
3. **BECERRA-RODRÍGUEZ, Mariana; et al.** “Tratamientos térmicos”. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, [en línea], 2021, vol. 8 (15), págs. 40-44. [Consulta: 2023-10-16]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/6397>
4. **BRAVO, Christian; et al.** Capacidad de resistencia de tuberías petroleras. [En línea]. (Trabajo de investigación). Instituto Politécnico Nacional de México. 2020. págs. 72. [Consulta: 2023-10-18] Disponible en: <http://www.oilproduction.net/files/OilProduction%20-%20capacidad-de-resistencia-de-tuberias.pdf>
5. **CASADIEGO, Jorge.** “Conexiones TenarisHydril Wedge”. *Academia*, [en línea], 2020. vol. 2 (5), págs. 12-23. [Consulta: 2023-10-15]. Disponible en: https://www.academia.edu/37041394/Conexiones_TenarisHydril_Wedge.
6. **CENGEL, Yunus & GHAJAR, Afshin.** *Transferencia de Calor y Masa*. 4 Edición. México. McGRAW-HILL. 2011, págs. 945.
7. **DÁVALOS, Juan.** Estudio de factibilidad para el cambio de tubería de producción con conexiones API por tubería PREMIUM en un campo tipo del Oriente Ecuatoriano. [En línea]. (Trabajo de Titulación). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2018. págs. 37. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1935>
8. **DÍAZ CARRERA, Yenía.** Caracterización metalográfica y mecánica de tuberías de producción [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de Matanzas.

2019. págs. 84. [Consulta: 2023-11-18]. Disponible en:
<https://rein.umcc.cu/handle/123456789/131>

9. **ERECOS**, *Curva de calentamiento línea SR*.
10. **ESPINOZA CÁRDENAS, Renato**. Estudio de soldabilidad aplicado a la recuperación de piezas de hierro fundido nodular y compacto. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. 2023. págs. 120. [Consulta: 2023-10-13] Disponible en:
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/24488>.
11. **GEYA, William**. “Funcionamiento del relé de estado sólido”: ¿Cómo funciona un relé de estado sólido?, [en línea]. 2022. vol. 7 (2), págs. 15-18. [Consulta: 2023-11-22]. Disponible en: <https://www.geya.net/es/solid-state-relay-working-how-does-a-solid-state-relay-work/.G>
12. **GÓMEZ, Andrés**. Reemplazo del sistema de aislamiento térmico y cubierta metálica de las líneas y equipos de procesos en la refinería Conchán–Petroperú SA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional del Callao. 2021. págs. 105. [Consulta: 2023-11-26]. Disponible en:
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6525>
13. **GUEVARA LÓPEZ, Andrés & RIOFRÍO MORALES, Cristian**. Repotenciación del horno eléctrico controlado por touch panel para tratamientos térmicos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). 2019. págs. 95. [Consulta: 2023-11-25]. Disponible en:
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5469>
14. **GUNCAY TACO, Mauricio**. Aplicación de herramientas de calidad basadas en lean manufacturing en el centro productivo de elaboración de roscas para tuberías petroleras. Caso: centro productivo empresa Tenaris SA, periodo 2014-2015. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2018. págs. 203. [Consulta: 2023-10-13]. Disponible en:
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624049/LINARES_C_D.pdf?sequence=4
15. **HONEYWELL**, *DC1000 Series Digital ControllerProduct Manual*.

16. **MARTÍNEZ MOROCHO, Jimena.** Construcción de un horno de secado para el tratamiento de bobinas de motores eléctricos de la empresa SEI (Soluciones Electromecánicas Ipiales). [En línea]. (Trabajo de titulación). Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva. 2022. págs. 108 [Consulta: 2023-12-13]. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/239>
17. **MORA ZAMORA, Marta; et al.** Cálculo, diseño, fabricación y evaluación de la conformidad (marcado CE) de una cisterna GLP (automoción) para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2019). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Cartagena. 2020. págs. 102 [Consulta: 2023-10-13]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/9074/tfg-mor-cal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. **PALAGUACHI CALLE, Holger.** Recuperación de la forma tipo EU para incrementar la resistencia en la tubería de completación petrolera para la empresa Sertecpet SA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo del Ecuador. 2022. págs. 128. [Consulta: 2023-11-03]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18028>.
19. **PÉREZ, Andrés.** Mejoras tecnológicas en horno de tratamientos térmico. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Antioquia. 2023. págs. 72. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/34319>
20. **SERTECPET.** Datos del funcionamiento de la empresa, misión, visión, objetivos empresariales, historia y tipo de servicios. <https://www.sertecpet.com/>
21. **SIERRA GARRIGA, Carlos.** “El impacto ambiental de las instalaciones de alumbrado”. *Luces CEI*, [en línea], 2021, (Barcelona), vol. 2 (71), págs. 8-17. [Consulta: 2023-10-15] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/358428>
22. **TENARIS.** Manual de Uso de Casing y Tubing. Campana, Buenos Aires. Argentina. 2007. Disponible en: http://oilproduction.net/files/Manual_Tenaris_Casing_Tubing.pdf
23. **TENEMPAGUAY LARA, Martha.** Estudio de técnica de perforación con tubería de revestimiento como una alternativa para la perforación de pozos petroleros en el bloque 54 en Ecuador. 2023. [En línea]. (Trabajo de investigación). (Licenciatura). Universidad

Estatad Península de Santa Elena. 2023, págs. [Consulta: 2023-10-11] Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9977>

24. **TOLEDO VALERA, Juan.** Diseño y fabricación de un horno eléctrico para la obtención de silicio metalúrgico. [En línea]. (Trabajo de investigación). Universidad Politécnica de Cartagena. 2020. págs. 276. [Consulta: 2023-10-11] Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8546>.
25. **VACA TIPANTUÑA, David.** 2020. Estudio de soldabilidad de aceros usados en accesorios de completación de pozos petroleros bajo la norma ASME-BPVC SECTION IX. [En línea]. (Trabajo de investigación). Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. 2020. págs. 130. [Consulta: 2023-11-12] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21300>.
26. **ZAPATA GARCÍA, Melissa.** Diseño y fabricación de un horno para tratamiento térmico de recocido en aceros SAE 1045. [En línea]. (Trabajo de investigación). Universidad de Antioquia. 2023. págs. 87. [Consulta: 2023-11-12] Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/36746>

ANEXOS

ANEXO A. TABLA A3 – CENGEL

TABLA A-3											
Propiedades de metales sólidos											
Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ kg/m ³	c _p J/kg · K	k W/m · K	α × 10 ⁶ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186		
						473	787	925	1 042		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2			174	185		
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Blismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
						112	120	127			
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
							785	160	545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
							—	—	—		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
Oro	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
Hierro:											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
						216	384	490	574	680	975
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
Aceros al carbono:											
Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ kg/m ³	c _p J/kg · K	k W/m · K	α × 10 ⁶ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)		8 131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1 090
Aceros al cromo (bajo): ½ Cr-½ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7 822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969
1Cr-½ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7 858	442	42.3	12.2			42.0 492	39.1 575	34.5 688	27.4 969
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7 836	443	48.9	14.1			46.8 492	42.1 575	36.3 688	28.2 969
Aceros Inoxidables:											
AISI 302		8 055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611
AISI 316		8 238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602
AISI 347		7 978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7 118	36.7 125	34.0 132	31.4 142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169 649	159 934	153 1 074	149 1 170	146 1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179 141	143 224	134 261	126 275	118 285	112 295
Niquel:											
Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164 232	107 383	80.2 485	65.6 592	67.6 530	71.8 562
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	1 672	8 400	420	12	3.4			14 480	16 525	21 545	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7 —	10.3 372	13.5 473	17.0 510	20.5 546	24.0 626
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	55.2 188	52.6 249	55.2 274	58.2 283	61.3 292	64.4 301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5 168	71.6 227	73.6 251	79.7 261	86.9 271	94.2 281
Platino:											
Puro	2 045	21 450	133	71.6	25.1	77.5 100	72.6 125	71.8 136	73.2 141	75.6 146	78.7 152
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1 800	16 630	162	47	17.4			52 —	59 —	65 —	69 —
Renio	3 453	21 100	136	47.9	16.7	58.9 97	51.0 127	46.1 139	44.2 145	44.1 151	44.6 156
Rodio	2 236	12 450	243	150	49.6	186 147	154 220	146 253	136 274	127 293	121 311

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (conclusión)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	C_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Silicio	1 685	2 330	712	148	89.2	884	264	98.9	61.9	42.4	31.2
Plata	1 235	10 500	235	429	174	259	556	790	867	913	946
						444	430	425	412	396	379
Tantalo	3 269	16 600	140	57.5	24.7	59.2	57.5	57.8	58.6	59.4	60.2
						110	133	144	146	149	152
Torio	2 023	11 700	118	54.0	39.1	59.8	54.6	54.5	55.8	56.9	56.9
						99	112	124	134	145	156
Estaño	505	7 310	227	66.6	40.1	85.2	73.3	62.2			
						188	215	243			
Titanio	1 953	4 500	522	21.9	9.32	30.5	24.5	20.4	19.4	19.7	20.7
						300	465	551	591	633	675
Tungsteno	3 660	19 300	132	174	68.3	208	186	159	137	125	118
						87	122	137	142	146	148
Uranio	1 406	19 070	116	27.6	12.5	21.7	25.1	29.6	34.0	38.8	43.9
						94	108	125	146	176	180
Vanadio	2 192	6 100	489	30.7	10.3	35.8	31.3	31.3	33.3	35.7	38.2
						258	430	515	540	563	597
Zinc	693	7 140	389	116	41.8	117	118	111	103		
						297	367	402	436		
Zirconio	2 125	6 570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7
						205	264	300	332	342	362

 De Frank P. Incropera y David P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3a. ed., 1990. Este material se utilizó con autorización de John Wiley & Sons, Inc.

ANEXO B. TABLA A15 – CENGEL

TABLA A-15

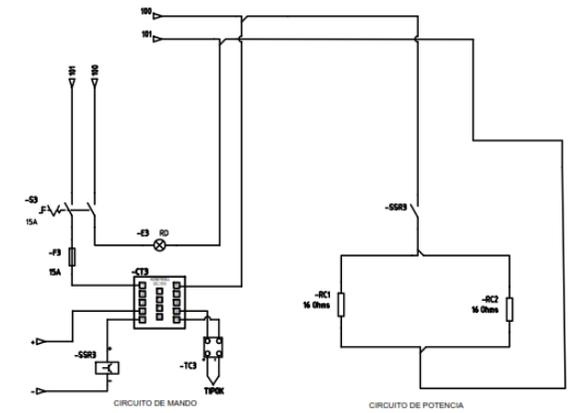
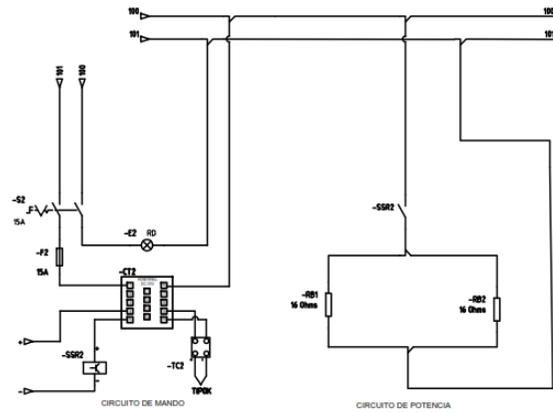
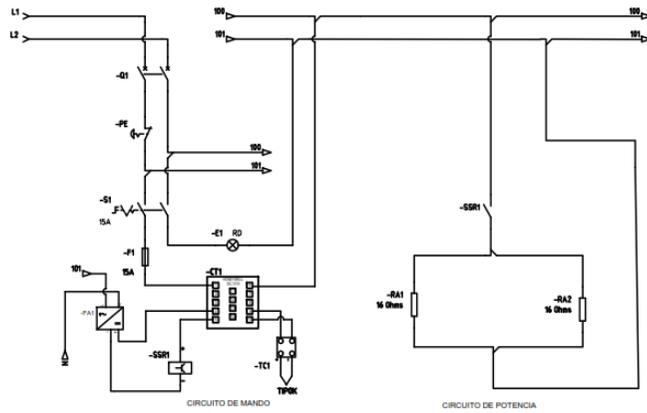
Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 005	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

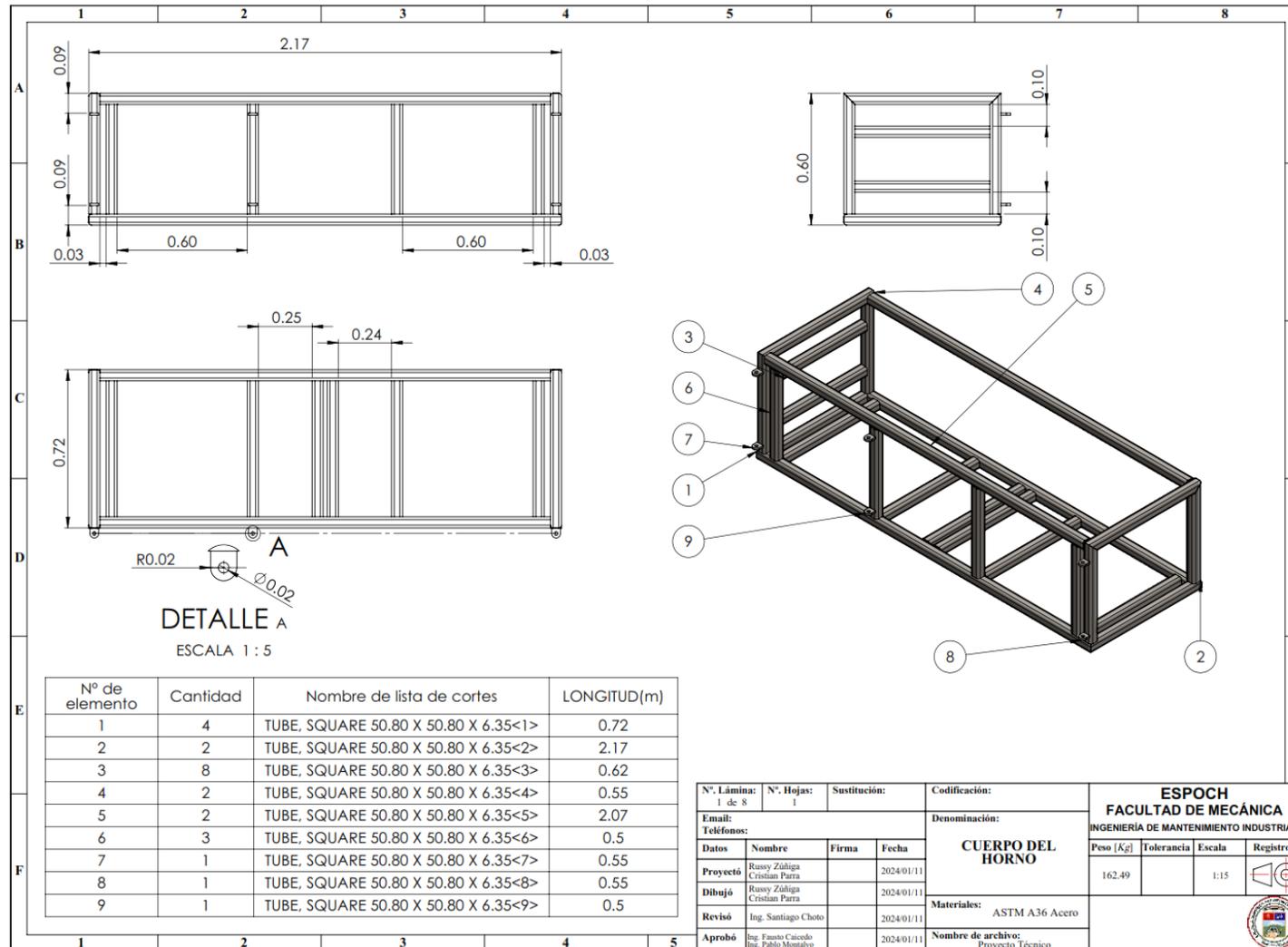
Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermann, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

ANEXO C. CIRCUITO ELÉCTRICO DEL HORNO

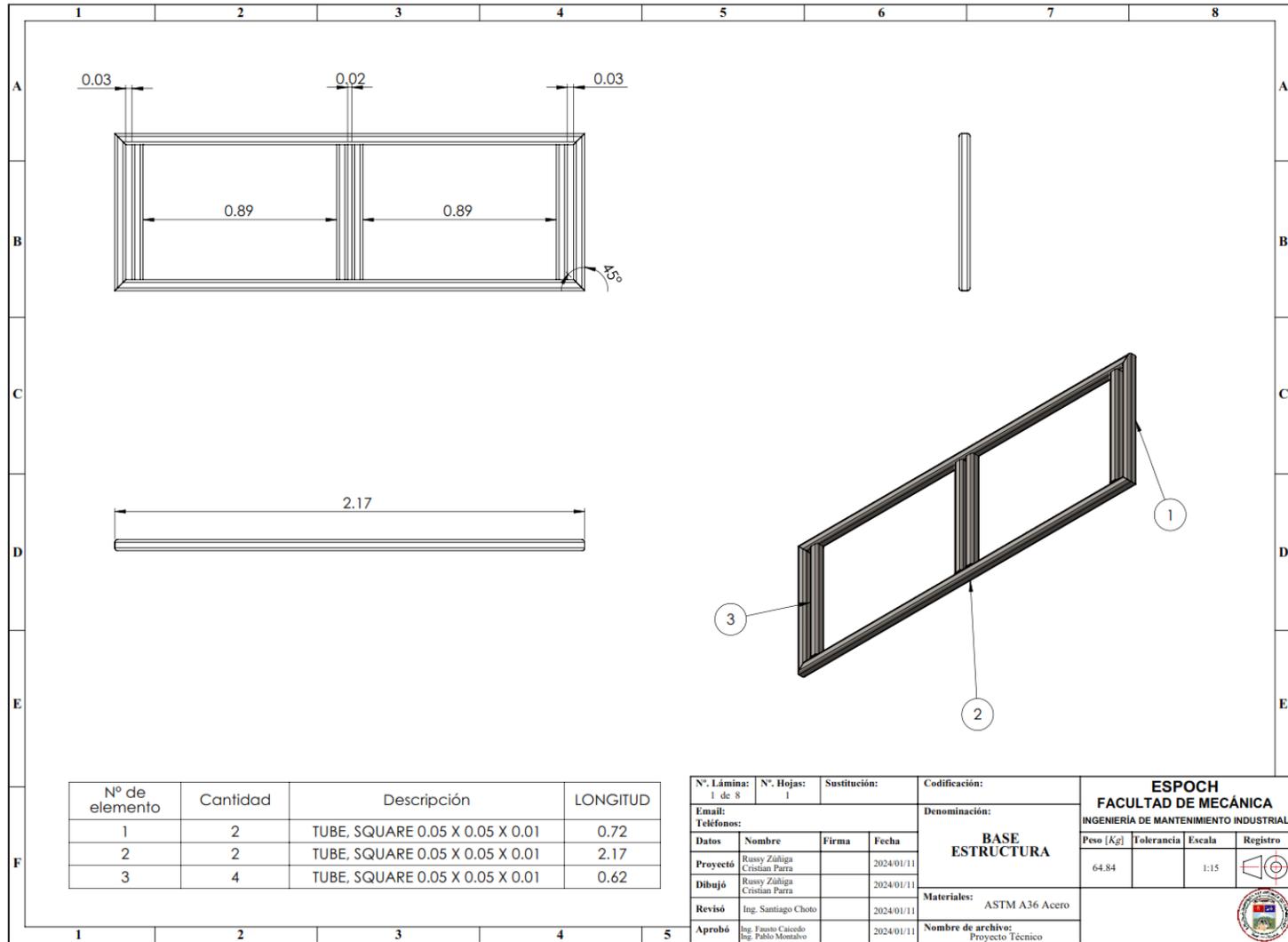


ANEXO D. LÁMINA DE LA BASE DE LAS CÁMARAS DE CALOR



N° Lámina: 1 de 8	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email:			Denominación:					Peso [Kg]	Tolerancia
Teléfonos:			CUERPO DEL HORNO		162.49		1:15		
Datos	Nombre	Firma			Fecha	Materiales: ASTM A36 Acero			
Proyectó	Russy Zúñiga Cristian Parra				2024/01/11	Nombre de archivo: Proyecto Técnico			
Dibujó	Russy Zúñiga Cristian Parra				2024/01/11				
Revisó	Ing. Santiago Choto		2024/01/11						
Aprobó	Ing. Fausto Calcedo Ing. Pablo Montalvo		2024/01/11						

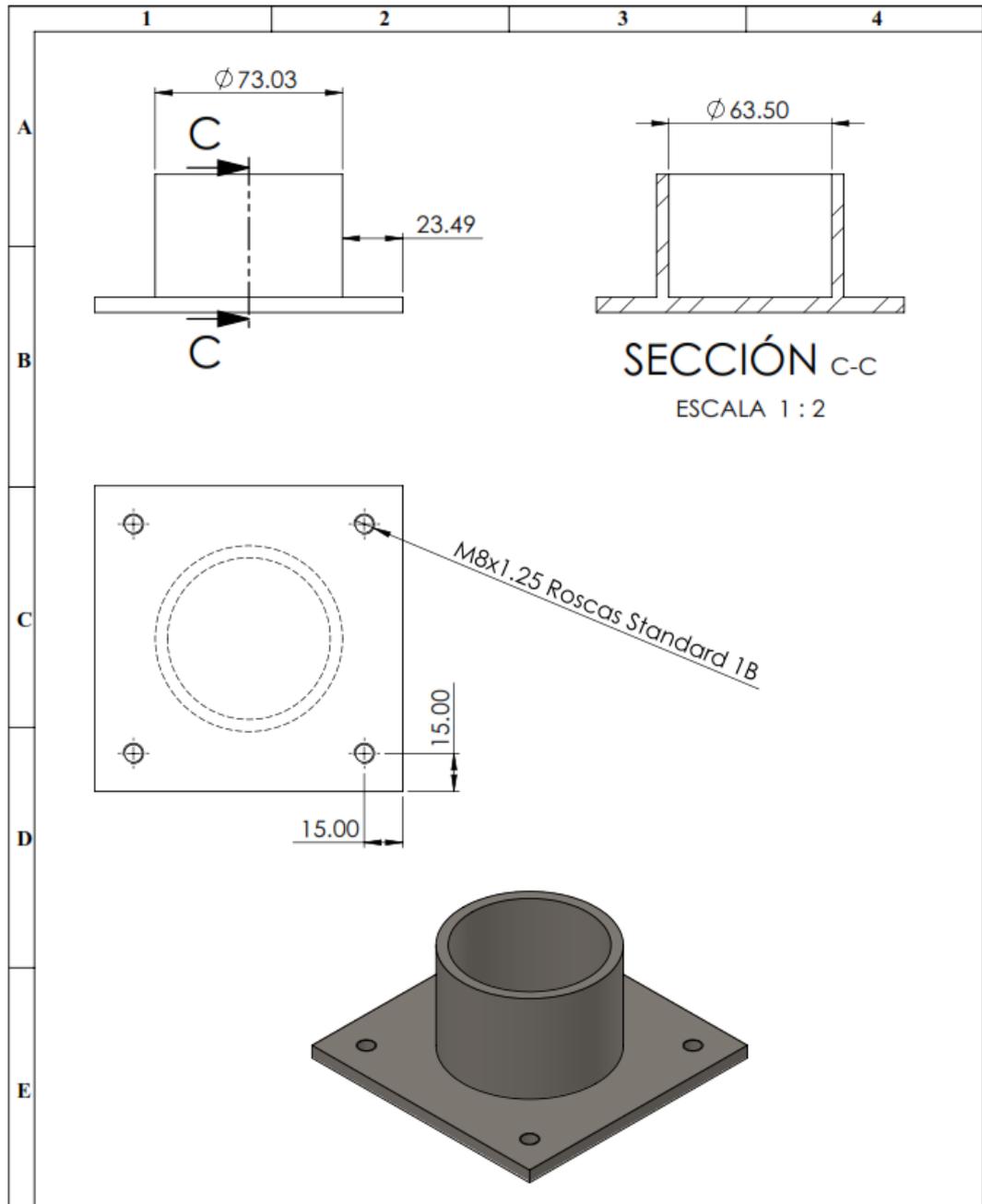
ANEXO E. LÁMINA DE LA BASE DEL HORNO



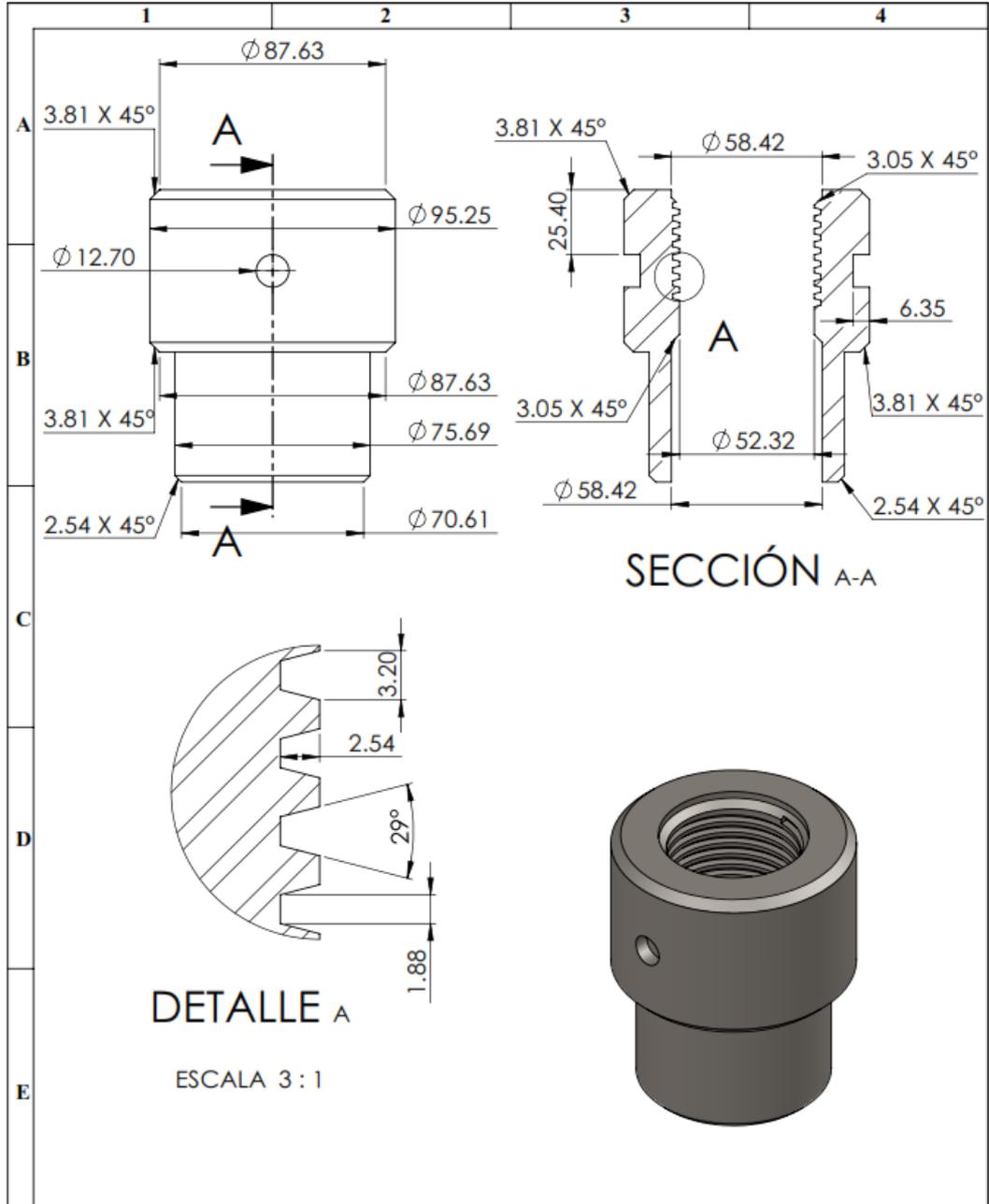
Nº de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	2	TUBE, SQUARE 0.05 X 0.05 X 0.01	0.72
2	2	TUBE, SQUARE 0.05 X 0.05 X 0.01	2.17
3	4	TUBE, SQUARE 0.05 X 0.05 X 0.01	0.62

Nº. Lámina: 1 de 8	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL				
Email:			Denominación:					Peso [Kg]
Teléfonos:		Firma		Fecha		BASE ESTRUCTURA		
Datos	Nombre					64.84	1:15	
Proyectó	Russy Zúñiga Cristian Parra			2024/01/11				
Dibujó	Russy Zúñiga Cristian Parra			2024/01/11				
Revisó	Ing. Santiago Choto			2024/01/11		Materiales: ASTM A36 Acero		
Aprobó	Ing. Fausto Caceres Ing. Pablo Montalvo			2024/01/11		Nombre de archivo: Proyecto Técnico		

ANEXO F. LÁMINAS DE LOS PARANTES

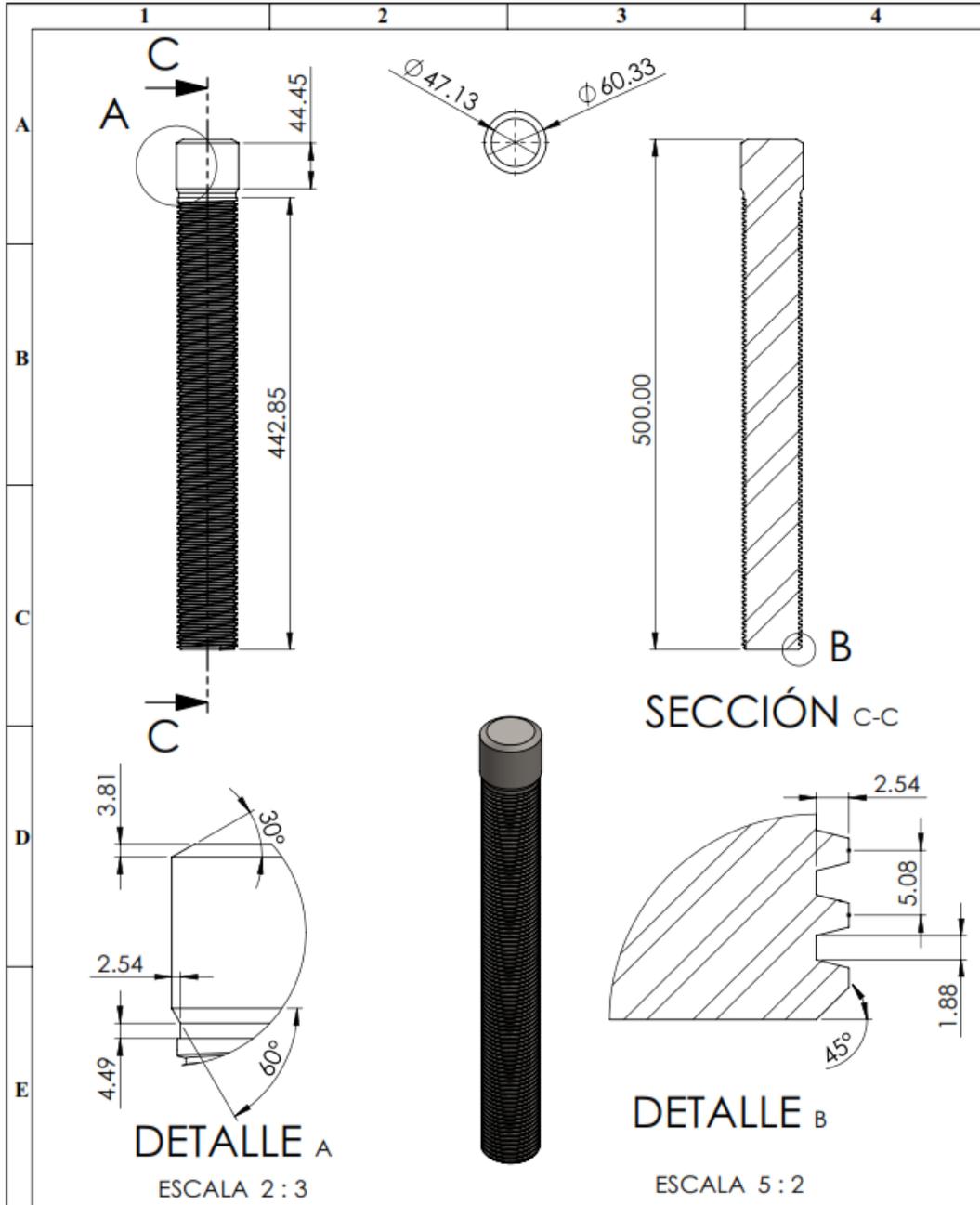


N°. Lámina: 6 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: Teléfonos:				Denominación:							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	BASE BUJE PARANTE				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11					1.05		1:2	
Dibujó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11	Materiales: ASTM A36							
Revisó	Ing. Santiago Choto		2024/01/11	Nombre de archivo: Proyecto Técnico							
Aprobó	Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo		2024/01/11								

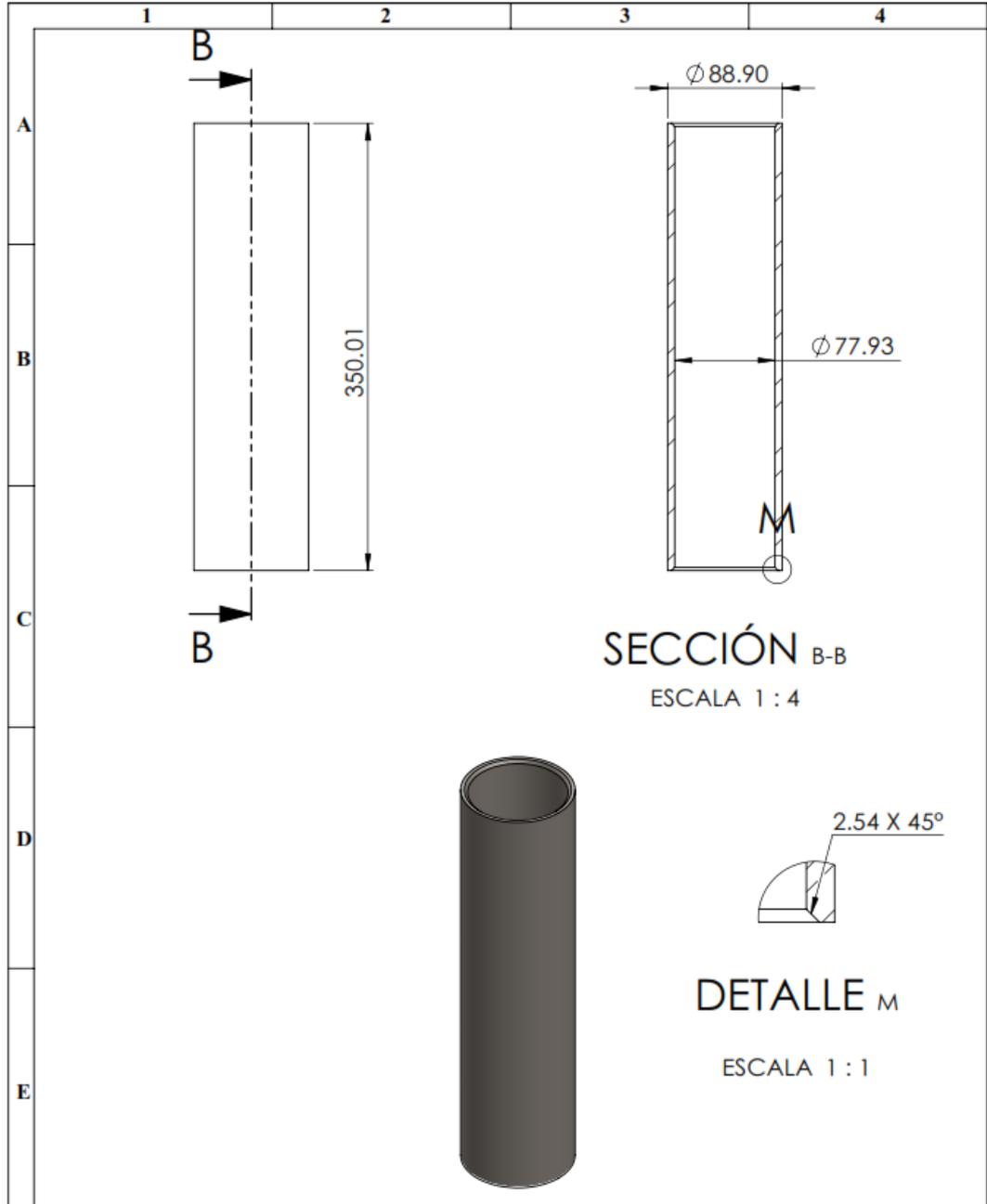


N°. Lámina: 4 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: Teléfonos:				Denominación: TUERCA PARANTE							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36				3.04		1:2	
Proyectó	Russy Zúhiga Cristian Parra		2024/01/11					Nombre de archivo: Proyecto Técnico			
Dibujó	Russy Zúhiga Cristian Parra		2024/01/11								
Revisó	Ing. Santiago Choto		2024/01/11								
Aprobó	Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo		2024/01/11								





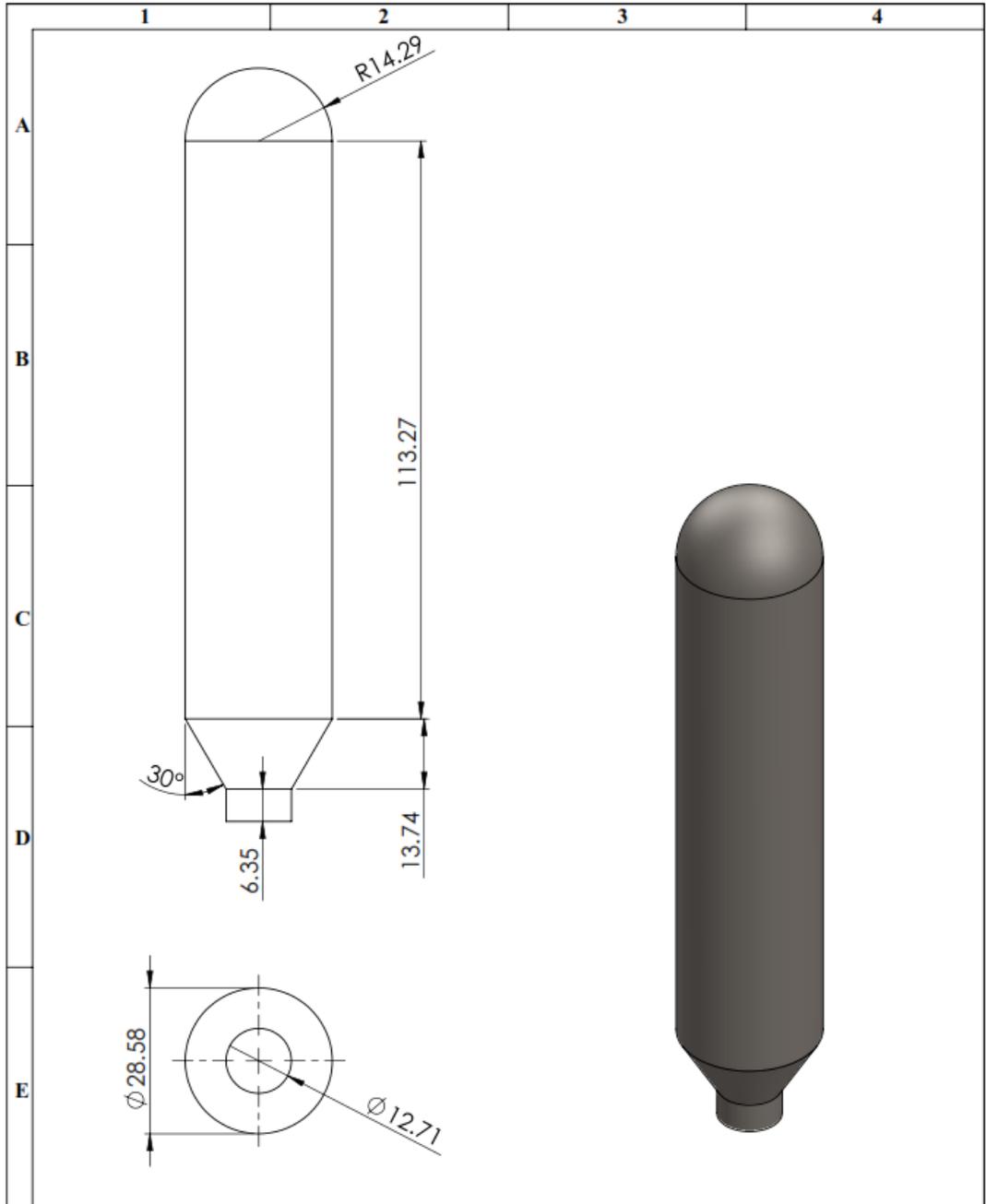
N°. Lámina: 2 de 8	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL				
Email: Teléfonos:			Denominación:					Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	PARANTE	9.39		1:5	
Proyectó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11	Materiales: ASTM A36				
Dibujó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11					
Revisó	Ing. Santiago Choto		2024/01/11					
Aprobó	Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo		2024/01/11	Nombre de archivo: Proyecto Técnico				



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 4

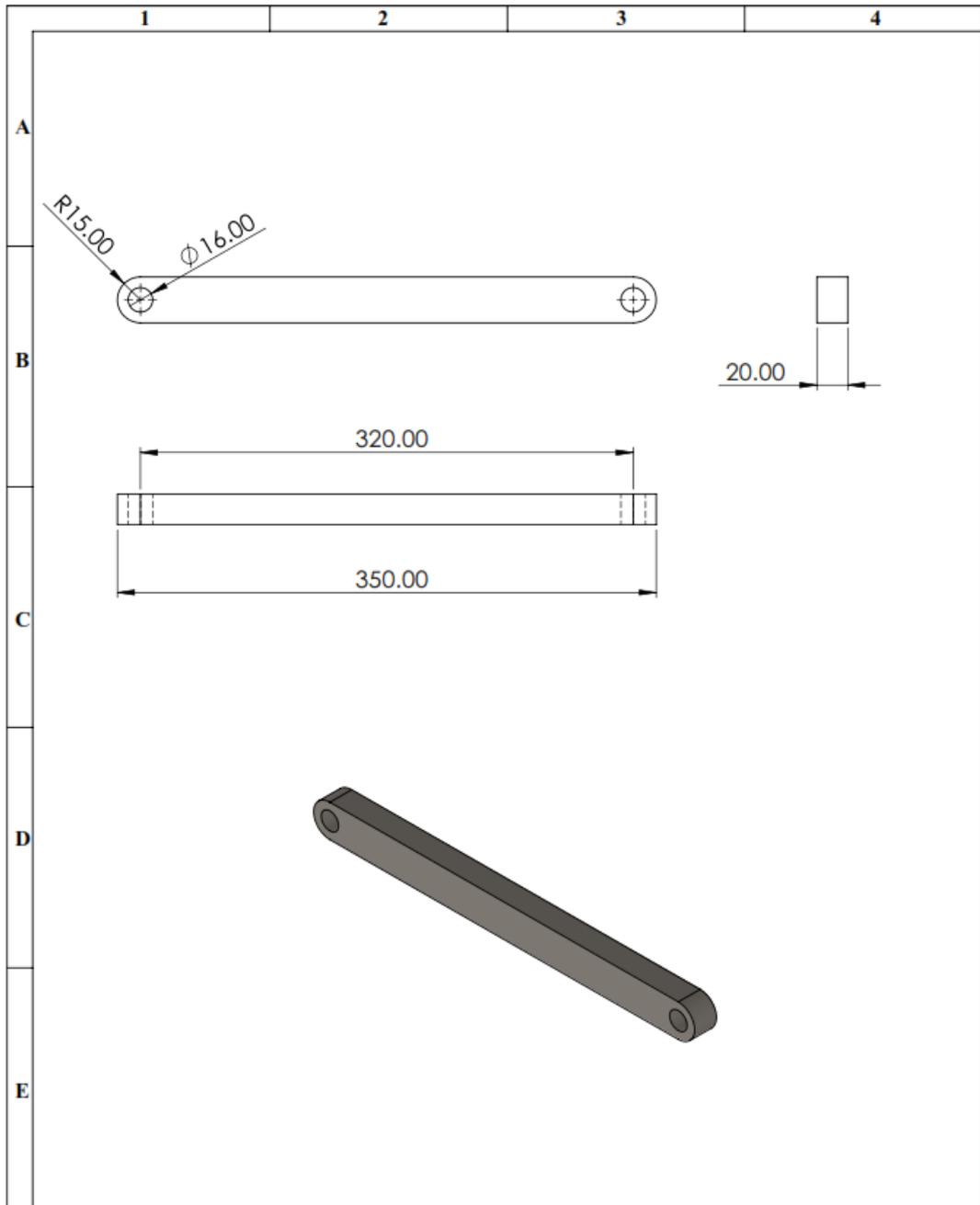
DETALLE M
ESCALA 1 : 1

N°. Lámina: 5 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: Teléfonos:						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		TUBO GUÍA PARANTE							
Proyectó		Russy Zúñiga Cristian Parra				2024/01/11									
Dibujó		Russy Zúñiga Cristian Parra				2024/01/11		Materiales:		ASTM A36					
Revisó		Ing. Santiago Choto				2024/01/11		Nombre de archivo:		Proyecto Técnico					
Aprobó		Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo				2024/01/11									



N°. Lámina: 3 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: Teléfonos:						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		MANIVELA							
Proyectó		Russy Zúñiga Cristian Parra				2024/01/11									
Dibujó		Russy Zúñiga Cristian Parra				2024/01/11		Materiales:		ASTM A36					
Revisó		Ing. Santiago Choto				2024/01/11		Nombre de archivo:		Proyecto Técnico					
Aprobó		Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo				2024/01/11									

ANEXO G. LÁMINA DE LAS BISAGRAS



Nº. Lámina: 6 de 8	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: Teléfonos:			Denominación: BISAGRA 2				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36	1.55		3:10
Proyectó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11				
Dibujó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11				
Revisó	Ing. Santiago Choto		2024/01/11				
Aprobó	Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo		2024/01/11	Nombre de archivo: Proyecto Técnico			

ANEXO H. ENTRADAS DE TERMOCUPLA

TYPE	CODE	RANGE	
K	E1	0.0~200.0°C	0.0~392.0°F
	E2	0.0~400.0°C	0.0~752.0°F
	E3	0~600°C	0~1112°F
	E4	0~800°C	0~1472°F
	E5	0~1000°C	0~1832°F
	E6	0~1200°C	0~2192°F
J	J1	0.0~200.0°C	0.0~392.0°F
	J2	0.0~400.0°C	0.0~752.0°F
	J3	0~600°C	0~1112°F
	J4	0~800°C	0~1472°F
	J5	0~1000°C	0~1832°F
	J6	0~1200°C	0~2192°F
R	r1	0~1600°C	0~2912°F
	r2	0~1796°C	0~3216°F
S	S1	0~1600°C	0~2912°F
	S2	0~1796°C	0~3216°F
B	b1	0~1820°C	0~3308°F
E	E1	0~800°C	0~1472°F
	E2	0~1000°C	0~1832°F
N	n1	0~1200°C	0~2192°F
	n2	0~1300°C	0~2372°F
T	t1	0.0~400.0°C	0.0~752.0°F
	t2	0.0~200.0°C	0.0~392.0°F
	t3	0.0~350.0°C	0.0~662.0°F
W	w1	0~2000°C	0~3632°F
	w2	0~2320°C	0~2372°F
PLII	PL1	0~1300°C	0~2372°F
	PL2	0~1390°C	0~2534°F
U	U1	-199.9~600.0°C	-199.9~999.9°F

ANEXO I. TABLA DE EMISIVIDADES DE INFRARROJOS

Tablas Emisividad para infrarrojos



La comprensión de la emisividad de un objeto , o su característica de "resplandor" o "brillo" es un componente crítico en el manejo apropiado de medición infrarroja. Concisamente, la emisividad es la relación de radiación emitida por una superficie o cuerpo negro. La teoría de la radiación consta desde la ley Planck's. $[W(L,T)=C1/(L^5*(exp(C2/LT)-1))]$ la emisividad de la superficie de un material es medido por la cantidad de energía emitida cuando la superficie se observa directamente. Hay muchas variables que afectan la emisividad de un objeto específico, tal como la longitud de onda, el campo de visión, la forma geométrica y la temperatura. Sin embargo, para los propósitos y aplicaciones del usuario de termómetros infrarrojos, les adjuntamos una tabla que muestra la emisividad a temperaturas correspondientes de diversas superficies y objetos.

Materiales (No-Metálicos)	Temperatura °C	Emisividad
Adobe	20	0.9
Asbestos		
Board	38	0.96
Cemento	0-200	0.96
Cemento, Rojo	1371	0.67
Cemento, Blanco	1371	0.65
Cloth	93	0.9
Papel	38-371	0.93
Slate	20	0.97
Asfalto, pavimento	38	0.93
Asfalto, tar paper	20	0.93
Basalto	20	0.72
Ladrillo		
Rojo, rough	21	0.93
Gault Cream	1371-2760	.26-.30
Fire Clay	1371	0.75
Light Buff	538	0.8
Lime Clay	1371	0.43
Fire Brick	1000	.75-.80
Magnesite, Refractario	1000	0.38
Grey Brick	1100	0.75
Silica, Glazed	1093	0.88
Silica, Unglazed	1093	0.8
Sandlime	1371-2760	.59-.63
Carborundum	1010	0.92
Ceramica		
Alumina on Inconel	427-1093	.69-.45
Earthenware, Glazed	21	0.9
Earthenware, Matte	21	0.93
Greens No. 5210-2C	93-399	.89-.82
Coating No. C 20A	93-399	.73-.67
Porcelana	22	0.92
White Al2O3	93	0.9
Zirconia o Inconel	427-1093	.62-.45
Clay	20	0.39
Fired	70	0.91
Shale	20	0.69
Tiles, Light Red	1371-2760	.32-.34
Tiles, Red	1371-2760	.40-.51
Tiles, Dark Purple	1371-2760	0.78
Concreto (Hormigón)		
Rough	0-1093	0.94
Tiles, Natural	1371-2760	.63-.62
Brown	1371-2760	.87-.83
Black	1371-2760	.94-.91
Cotton Cloth	20	0.77
Dolomite Lime	20	0.41
Emery Corundum	80	0.86

Materiales (Metálicos)	Temperatura °C	Emisividad
Aleaciones		
20-Ni, 24-CR, 35-FE, Oxid.	200	0.9
20-Ni, 24-CR, 35-FE, Oxid.	500	0.97
60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxid.	270	0.89
60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxid.	560	0.82
80-Ni, 20-CR, Oxidised	100	0.87
80-Ni, 20-CR, Oxidised	600	0.87
80-Ni, 20-CR, Oxidised	1300	0.89
Aluminio		
Unoxidised	25	0.02
Unoxidised	100	0.03
Unoxidised	500	0.06
Oxidised	199	0.11
Oxidised	399	0.19
Oxidised at 399degC(1110degF)	199	0.11
Oxidised at 399degC(1110degF)	399	0.19
Heavily Oxidised	93	0.2
Heavily Oxidised	304	0.31
Highly Polished	100	0.09
Roughly Polished	100	0.18
Commercial Sheet	100	0.09
Highly Polished Plate	227	0.04
Highly Polished Plate	577	0.06
Bright Rolled Plate	170	0.04
Bright Rolled Plate	500	0.05
Alloy A3003, Oxidised	316	0.4
Alloy A3003, Oxidised	482	0.4
Alloy 1100-0	93-427	0.05
Alloy 245 T	24	0.09
Alloy 245 T, Polished	24	0.09
Alloy 735 T	24	0.11
Alloy 735 T, Polished	24	0.08
Bismuth, Bright	80	0.34
Bismuth, Unoxidised	25	0.05
Bismuth, Unoxidised	100	0.06
Latón		
73% Cu, 27% Zn, Polished	247	0.03
73% Cu, 27% Zn, Polished	357	0.03
62% Cu, 37% Zn, Polished	257	0.03
62% Cu, 37% Zn, Polished	377	0.04
83% Cu, 17% Zn, Polished	277	0.03
Matte	20	0.07
Burnished to Brown Colour	20	0.4
Cu-Zn, Brass Oxidised	200	0.61
Cu-Zn, Brass Oxidised	400	0.6
Cu-Zn, Brass Oxidised	600	0.61
Unoxidised	25	0.04
Unoxidised	100	0.04
Cadmium	25	0.02

Materiales (No-Metálicos)	Temperatura °C	Emisividad
Vidrio		
Convex D	100	0.8
Convex D	316	0.8
Convex D	500	0.76
Nonex	100	0.82
Nonex	316	0.82
Nonex	500	0.78
Smooth	0-93	.92-.94
Granite	21	0.45
Gravel	38	0.28
Gypsum	20	.80-.90
Ice, Smooth	0	0.97
Ice, Rough	0	0.98
Laca		
Black	93	0.90
Blue, on Al Foil	38	0.78
Clear, on Al Foil (2 coats)	93	.08-.09
Clear, on Bright Cu	93	0.60
Clear, on Tarnished Cu	93	0.64
Red, on Al Foil (2 coats)	38	.60-.74
White	93	0.95
White, on Al Foil (2 coats)	38	.69-.88
Yellow, on Al Foil (2 coats)	38	.57-.79
Lime Mortar	38-260	.90-.92
Limestone	38	0.95
Marble, White	38	0.95
Smooth, White	38	0.50
Polished Grey	38	0.75
Mica	38	0.75
Oil on Nickel		
0.001 Film	22	0.27
0.002 "	22	0.46
0.005 "	22	0.72
Thick "	22	0.82
Aceite - Linaza		
On Al Foil, uncoated	121	0.09
On Al Foil, 1 coat	121	0.56
On Al Foil, 2 coats	121	0.51
On Polished Iron, .001 Film	38	0.22
On Polished Iron, .002 Film	38	0.45
On Polished Iron, .004 Film	38	0.65
On Polished Iron, Thick Film	38	0.83
Pinturas		
Azul, Cu2O3	24	0.94
Negra, CuO	24	0.96
Verde, Cu2O3	24	0.92
Roja, Fe2O3	24	0.91
Blanca, Al2O3	24	0.94
Blanca, Y2O3	24	0.9
Blanca, ZnO	24	0.95
Blanca, MgCO3	24	0.91
Blanca, ZrO2	24	0.95
Blanca, ThO2	24	0.9
Blanca, MgO	24	0.91
Blanca, PbCO3	24	0.93
Amarilla, PbO	24	0.9
Amarilla, PbCrO4	24	0.93
Pinturas base Aluminio		
10% Al	38	0.52
50% Al	38	0.3
Dow XP-310	93	0.22
Paints, Bronze	Low	.34-.80
Gum Varnish (2 coats)	21	0.53
Gum Varnish (3 coats)	21	0.5
Cellulose Binder (2 coats)	21	0.34

Materiales (Metálicos)	Temperatura °C	Emisividad
Carbón		
Lampblack	25	0.95
Unoxidised	25	0.81
Unoxidised	100	0.81
Unoxidised	500	0.79
Candle Soot	121	0.95
Filament	260	0.95
Graphitized	100	0.76
Graphitized	300	0.75
Graphitized	500	0.71
Chromium	38	0.08
Chromium	538	0.26
Chromium, Polished	150	0.06
Cobalt, Unoxidised	500	0.13
Cobalt, Unoxidised	1000	0.23
Columbium, Unoxidised	816	0.19
Columbium, Unoxidised	1093	0.24
Cobre		
Cuprous Oxide	38	0.87
Cuprous Oxide	260	0.83
Cuprous Oxide	538	0.77
Black, Oxidised	38	0.78
Etched	38	0.09
Matte	38	0.22
Roughly Polished	38	0.07
Polished	38	0.03
Highly Polished	38	0.02
Rolled	38	0.64
Rough	38	0.74
Molten	538	0.15
Molten	1077	0.16
Molten	1221	0.13
Nickel Plated	38-260	0.37
Dow Metal	-18-316	0.15
Oro		
Enamel	100	0.37
Plate (.0001)	100	0.00
Plate on .0005 Silver	93-399	.11-.14
Plate on .0005 Nickel	93-399	.07-.09
Polished	38-260	0.02
Polished	538-1093	0.03
Haynes Alloy C,		
Oxidised	316-1093	.90-.96
Haynes Alloy 25,		
Oxidised	316-1093	.86-.89
Haynes Alloy X,		
Oxidised	316-1093	.85-.88
Inconel Sheet	538	0.28
Inconel Sheet	649	0.42
Inconel Sheet	760	0.58
Inconel X, Polished	24	0.19
Inconel B, Polished	24	0.21
Iron		
Oxidised	100	0.74
Oxidised	499	0.84
Oxidised	1199	0.89
Unoxidised	100	0.05
Red Rust	25	0.7
Rusted	25	0.65
Liquid	1316-1771	.42-.45

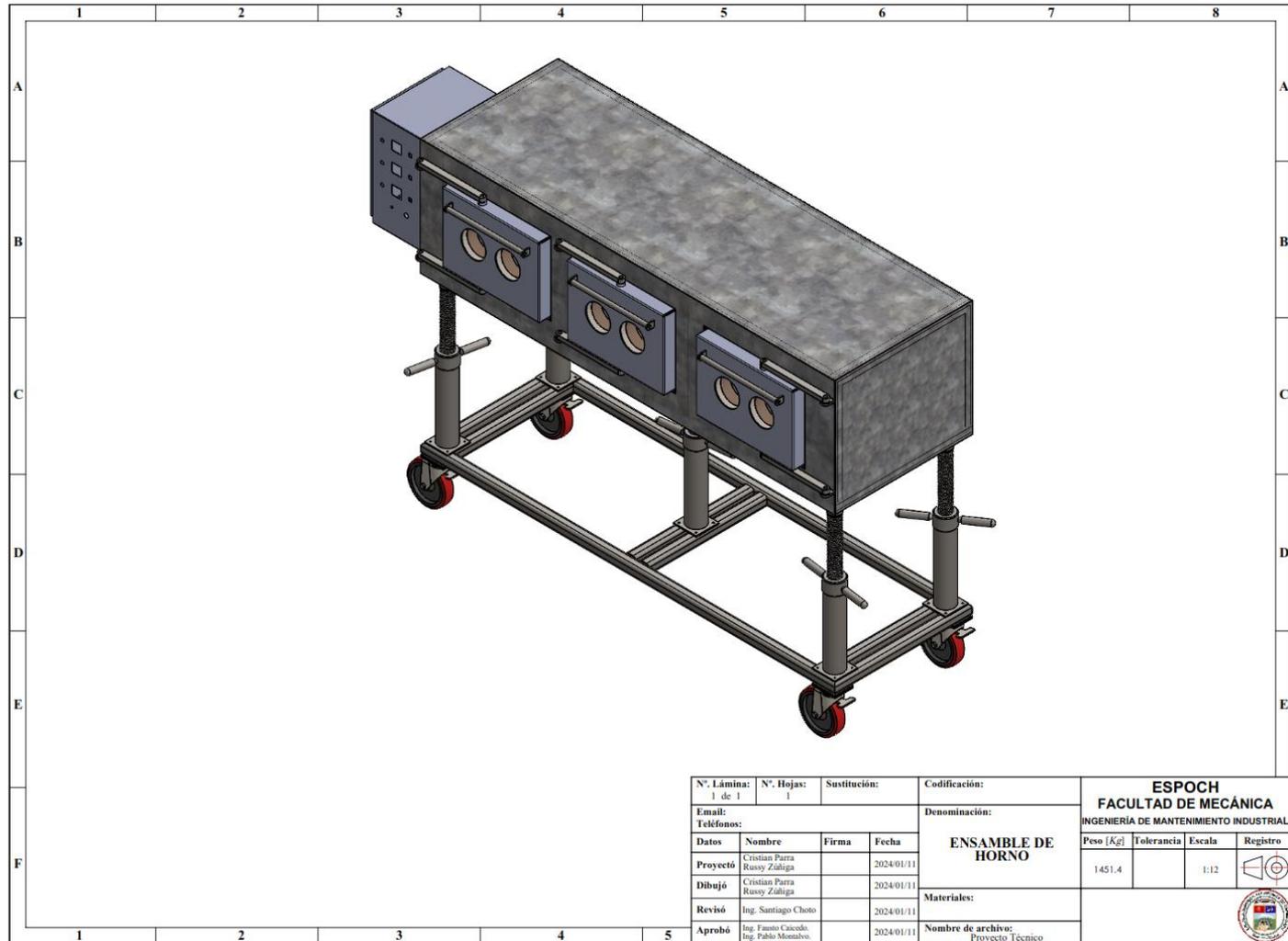
Materiales (No-Metálicos)	Temperatura °C	Emissividad
Pinturas de Aceite		
Todos los Colores	93	.92-.96
Black	93	0.92
Black Gloss	21	0.9
Camouflage Green	52	0.85
Flat Black	27	0.88
Flat White	27	0.91
Grey-Green	21	0.95
Green	93	0.95
Lamp Black	98	0.96
Red	93	0.95
White	93	0.94
Quartz, Rough, Fused	21	0.93
Glass, 1.98 mm	282	0.9
Glass, 1.98 mm	838	0.41
Glass, 6.88 mm	282	0.93
Glass, 6.88 mm	838	0.47
Opaque	299	0.92
Opaque	838	0.68
Red Lead	100	0.93
Rubber, Hard	23	0.94
Rubber, Soft, Grey	24	0.86
Sand	20	0.76
Sandstone	38	0.67
Sandstone, Red	38	.60-.83
Sawdust	20	0.75
Shale	20	0.69
Silica, Glazed	1000	0.85
Silica, Unglazed	1100	0.75
Silicon Carbide	149-649	.83-.96
Silk Cloth	20	0.78
Slate	38	.67-.80
Snow, Fine Particles	-7	0.82
Snow, Granular	-7	0.89
Suelo		
Surface	38	0.38
Black Loam	20	0.66
Plowed Field	20	0.38
Hollin		
Acetylene	24	0.97
Camphor	24	0.94
Candle	121	0.95
Coal	20	0.95
Stonework	38	0.93
Water	38	0.67
Waterglass	20	0.96
Wood	Low	.80-.90
Beech Planed	70	0.94
Oak, Planed	38	0.91
Spruce, Sanded	38	0.89

Materiales (Metálicos)	Temperatura °C	Emissividad
Acero colado		
Oxidised	199	0.64
Oxidised	599	0.78
Unoxidised	100	0.21
Strong Oxidation	104	0.95
Strong Oxidation	250	0.95
Liquid	1535	0.29
Hierro Forjado		
Dull	25	0.94
Dull	349	0.94
Smooth	38	0.35
Polished	38	0.28
PLOMO		
Polished	38-260	.06-.08
Rough	38	0.43
Oxidised	38	0.43
Oxidised at 1100	38	0.63
Gray Oxidised	38	0.28
Magnesium	38-260	.07-.13
Magnesium Oxide	1027-1727	.16-.20
Mercury	0	0.09
Mercury	25	0.1
Mercury	38	0.1
Mercury	100	0.12
Molybdenum	38	0.06
Molybdenum	260	0.08
Molybdenum	538	0.11
Molybdenum	1093	0.18
Molybdenum Oxidised at 1000degF	316	0.8
Molybdenum Oxidised at 1000degF	371	0.84
Molybdenum Oxidised at 1000degF	427	0.84
Molybdenum Oxidised at 1000degF	482	0.83
Molybdenum Oxidised at 1000degF	538	0.82
Monel, Ni-Cu	200	0.41
Monel, Ni-Cu	400	0.44
Monel, Ni-Cu	600	0.46
Monel, Ni-Cu Oxidised	20	0.43
Monel, Ni-Cu Oxid. at 1110degF	599	0.46
Nickel		
Polished	38	0.05
Oxidised	38-260	.31-.46
Unoxidised	25	0.05
Unoxidised	100	0.06
Unoxidised	500	0.12
Unoxidised	1000	0.19
Electrolytic	38	0.04
Electrolytic	260	0.06
Electrolytic	538	0.1
Electrolytic	1093	0.16
Nickel Oxide	538-1093	.59-.86
Palladium Plate (.00005 on .0005 silver)	93-399	.16-.17
Platinum	38	0.05
Platinum	260	0.05
Platinum	538	0.1
Platinum, Black	38	0.93
Platinum, Black	260	0.96
Platinum, Black	1093	0.97
Platinum Oxidised at 1100	260	1.07
Platinum Oxidised at 1100	538	1.11
Rhodium Flash (0.0002 on 0.0005 Ni)	93-371	.10-.18

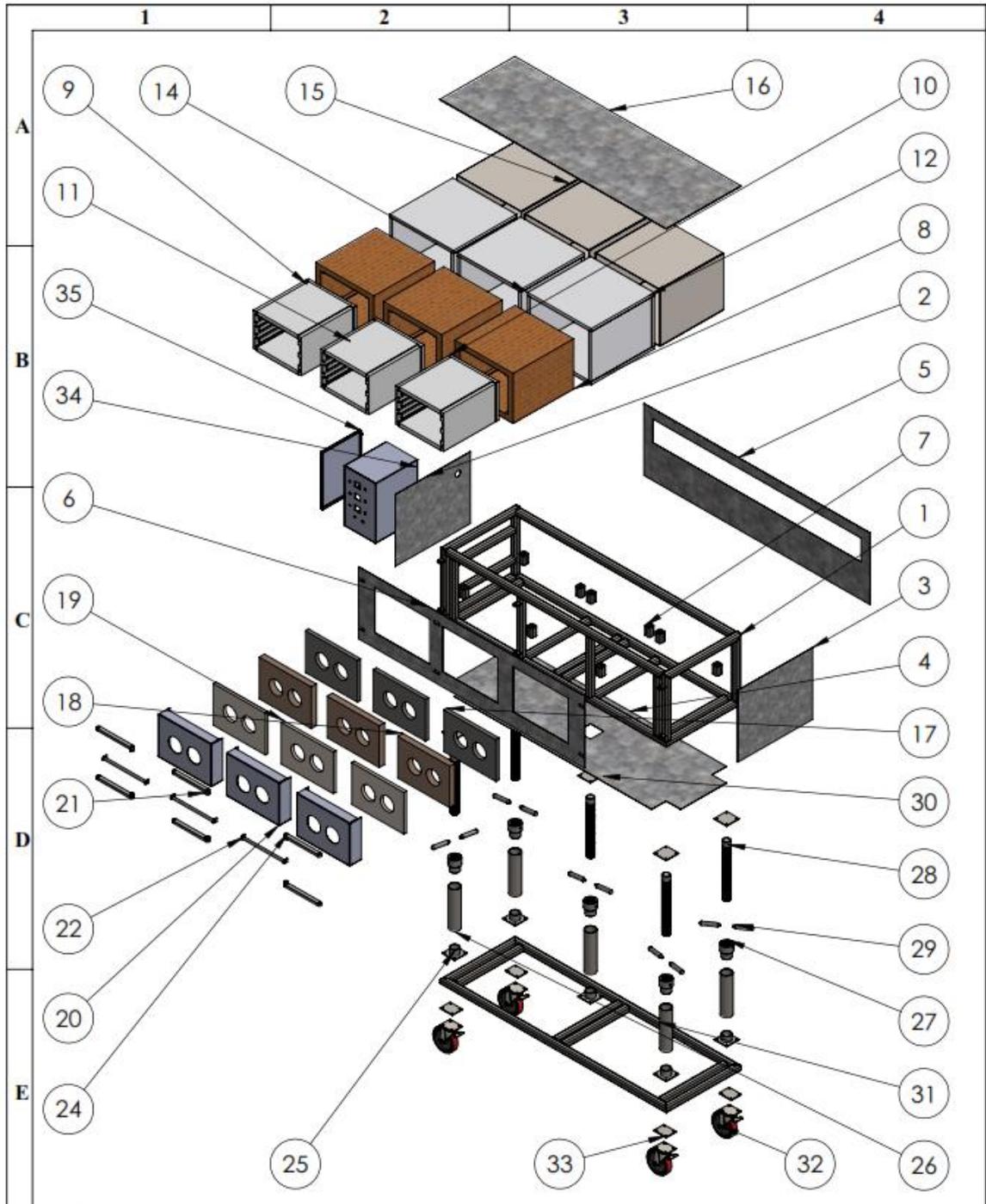
Materiales (Metálicos)	Temperatura °C	Emisividad
Plata		
Plate (0.0005 on Ni)	93-371	.06-.07
Polished	38	0.01
Polished	200	0.02
Polished	538	0.03
Polished	1093	0.03
Acero		
Cold Rolled	93	.73-.85
Ground Sheet	938-1099	.55-.61
Polished Sheet	38	0.07
Polished Sheet	200	0.1
Polished Sheet	538	0.14
Mild Steel, Polished	24	0.1
Mild Steel, Smooth	24	0.12
Mild Steel, liquid	1599-1793	0.28
Steel, Unoxidised	100	0.08
Steel, Oxidised	25	0.8
Aleaciones Acero		
Type 301, Polished	24	0.27
Type 301, Polished	232	0.57
Type 301, Polished	949	0.55
Type 303, Oxidised	316-1093	.74-.87
Type 310, Rolled	816-1149	.56-.81
Type 316, Polished	24	0.28
Type 316, Polished	232	0.57
Type 316, Polished	949	0.66
Type 321	93-427	.27-.32
Type 321 Polished	149-815	.18-.49
Type 321 w/BK Oxide	93-427	.66-.76
Type 347, Oxidised	316-1093	.87-.91
Type 350	93-427	.18-.27
Type 350 Polished	149-982	.11-.35
Type 446, Polished	149-815	.15-.37
Type 17-7 PH	93-316	.44-.51
Type 17-7 PH Polished	149-815	.09-.16
Type C 1020, Oxidised	316-1093	.87-.91
Type PH-15-7 MO	149-649	.07-.19
Stellite, Polished	20	0.18
Tantalum, Unoxidised	727	0.14
Tantalum, Unoxidised	1093	0.19
Tantalum, Unoxidised	1982	0.26
Tantalum, Unoxidised	2930	0.3
Tin, Unoxidised	25	0.04
Tin, Unoxidised	100	0.05
Tinned Iron, Bright	24	0.05
Tinned Iron, Bright	100	0.08
Titanio		
Alloy C110M, Polished	149-649	.08-.19
Oxidised at 538degC	93-427	.51-.61
Alloy Ti-95A, Oxidised at 538degC	93-427	.35-.48
Anodized onto SS	93-316	.96-.82

Materiales (Metálicos)	Temperatura °C	Emisividad
Tungsteno		
Unoxidised	25	0.02
Unoxidised	100	0.03
Unoxidised	500	0.07
Unoxidised	1000	0.15
Unoxidised	1500	0.23
Unoxidised	2000	0.28
Filament (Aged)	38	0.03
Filament (Aged)	538	0.11
Filament (Aged)	2700	0.35
Uranium Oxide	1027	0.79
Zinc		
Bright, Galvanised	38	0.23
Commercial 99.1%	200	0.05
Galvanised	38	0.28
Oxidised	200-538	0.11
Polished	38	0.02
Polished	200	0.03
Polished	538	0.04
Polished	1093	0.06

ANEXO J. LÁMINA DE LA VISTA GENERAL DEL HORNO



ANEXO K. LÁMINAS DEL DESPIECE DEL HORNO Y MATERIALES



N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL				
Email: Teléfonos:				Denominación:								
Datos		Nombre	Firma	Fecha	DESPIECE DE HORNO				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó		Cristian Parra Russy Zúñiga		2024/01/11					1451.4		1:35	
Dibujó		Cristian Parra Russy Zúñiga		2024/01/11	Materiales:							
Revisó		Ing. Santiago Choto		2024/01/11	Nombre de archivo:							
Aprobó		Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo		2024/01/11	Proyecto Técnico							

	1	2	3	4
A	N.º	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
	1	BASE RECAMARA 2	ASTM A36 Acero	1
	2	CHASIS LATERA CON HUECO	Acero galvanizado	1
	3	CHASIS LATERALES	Acero galvanizado	1
B	4	CHASIS INFERIOR	Acero galvanizado	1
	5	CHASIS POSTERIOR	Acero galvanizado	1
	6	CHASIS FRONTAL 2	Acero galvanizado	1
	7	SOPORTE CAMARA DE CALOR	ASTM A36 Acero	12
	8	LADRILLO	Ladrillo	3
	9	PLANCHA DE CONCRETO LATERAL	Concreto	6
	10	PLANCHA CONCRETO POSTERIOR	Concreto	3
	11	PLANCHA DE CONCRETO SUPERIOR	Concreto	6
	12	PLACA DE CERAMICA LATERAL	Cerámica	6
	13	PLACA DE CERAMICA POSTERIOR	Cerámica	3
	14	PLACA DE CERAMICA SUPERIOR	Cerámica	6
	C	15	PLACA PROTECTORA	AISI 316 Chapa de acero inoxidable (SS)
16		CHASIS SUP_LAT	Acero galvanizado	1
17		PLACA (TAPA DEL HORNO)	Concreto	3
18		PLACA (TAPA DEL HORNO)	Ladrillo	3
19		PLACA (TAPA DEL HORNO)	Cerámica	3
20		CUBIERTA TAPA	Acero inoxidable 304	3
21		BASE PERNO	ASTM A36 Acero	6
22		SOPORTE DE PUERTA SIMU	ASTM A36 Acero	6
23		AGARRADERA	ASTM A36 Acero	3
24		BISAGRA 2	ASTM A36 Acero	6
D		25	BASE BUGUE PARANTE	ASTM A36 Acero
	26	TUBO GUIA PARANTE N	ASTM A36 Acero	5
	27	TUERCA PARANTE	ASTM A36 Acero	5
	28	PARANTE NUEVO	ASTM A36 Acero	5
	29	MANIVELA	ASTM A36 Acero	10
	30	BASE DE PARANTES	ASTM A36 Acero	5
	31	BASE ESTRUCTURA	ASTM A36 Acero	1
E	32	Caster Wheel		4
	33	BASE PARA RUEDA	ASTM A36 Acero	4
	34	CAJA TABLERO ELECTRICO	Acero inoxidable 304	1
	35	Tapa del tablero electrico	Acero inoxidable 304	1

Nº. Lámina: 1 de 1	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL				
Email: Teléfonos:			Denominación:					LISTA DE MATERIALES
Datos	Nombre	Firma	Fecha	0				
Proyectó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11	Materiales:				
Dibujó	Russy Zúñiga Cristian Parra		2024/01/11					
Revisó	Ing. Santiago Choto		2024/01/11					
Aprobó	Ing. Fausto Caicedo Ing. Pablo Montalvo		2024/01/11	Nombre de archivo: Proyecto Técnico				