



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO
PROTOTIPO PARA EL CURADO DE MATERIALES COMPUESTOS CON
UN VOLUMEN DE $0,14\text{m}^3$ Y POTENCIA DE 3-5 kW PARA EL
LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM.”**

**AUTORES:
GARZÓN PAZMIÑO, MARÍA VICTORIA
VACA SIERRA, FRANCISCO XAVIER**

DIRECTOR: ING. VILLAVICENCIO POVEDA, ÁNGELO HOMERO

SANGOLQUÍ

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación ***“DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PROTOTIPO PARA EL CURADO DE MATERIALES COMPUESTOS CON UN VOLUMEN DE 0,14m³ Y POTENCIA DE 3-5 kW PARA EL LABORATORIO DE CIENCIAS DE LOS MATERIALES DEL DECEM”*** fue realizado por la Srta. ***Garzón Pazmiño, María Victoria*** y el Sr. ***Vaca Sierra, Francisco Xavier*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 10 de Diciembre del 2019

Ing. Ángelo Homero Villavicencio Poveda MSc.
DIRECTOR
C.C. 1709338931



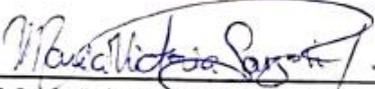
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Garzón Pazmiño, María Victoria y Vaca Sierra, Francisco Xavier* declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación ***“DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PROTOTIPO PARA EL CURADO DE MATERIALES COMPUESTOS CON UN VOLUMEN DE 0,14m³ Y POTENCIA DE 3-5 kW PARA EL LABORATORIO DE CIENCIAS DE LOS MATERIALES DEL DECEM”*** son de nuestra autoría y responsabilidad cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 10 de Diciembre del 2019



María Victoria Garzón Pazmiño
AUTOR
C.C. 080305045-9



Francisco Xavier Vaca Sierra
AUTOR
C.C. 171662325-9



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, *Garzón Pazmiño, María Victoria y Vaca Sierra, Francisco Xavier*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación ***“DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PROTOTIPO PARA EL CURADO DE MATERIALES COMPUESTOS CON UN VOLUMEN DE 0,14m³ Y POTENCIA DE 3-5 kW PARA EL LABORATORIO DE CIENCIAS DE LOS MATERIALES DEL DECEM”*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de Diciembre del 2019



María Victoria Garzón Pazmiño
AUTOR
C.C. 080305045-9



Francisco Xavier Vaca Sierra
AUTOR
C.C. 171662325-9

DEDICATORIA

“Todos nuestros sueños pueden convertirse en realidad si tenemos la valentía de perseguirlos.”

Walt Disney

A Dios por todas las bendiciones que ha derramado sobre mí, en todo momento.

A mis amados padres: Llanert y Luis, quienes han sido pilar fundamental en mi desarrollo profesional y personal.

A mis tíos en especial Violeta y Kathy, las tías más amorosas y comprensivas del mundo, quienes me guiaron con todas sus enseñanzas a ser quien soy en la actualidad.

A mi hermana Majito y mis sobrinos adorados: Zadkiel e Ismael, a pesar de la distancia me han dado la fortaleza para seguir adelante, además de plantearme la necesidad de convertirme en un ejemplo para los más pequeños de la casa.

A dos personas a quienes les debo demasiado mi abuelito Alejandro que me mira desde el cielo y sé que es mi ángel protector, y a mi amada Lita con quien tengo la virtud y la dicha de compartir tan importante acontecimiento en mi vida, gracias por toda mamita Dolores.

Y, por último, dedico el presente trabajo a todas las personas que en algún momento de su vida han querido tirar la toalla o dejarse vencer por miedo y ataduras mentales; a ellos, les digo que es hora de creer en sí mismos, atrevanse a soñar y a vivir porque, aunque exista un cúmulo de gente que no crea en que tus sueños se pueden volver realidad es hora de demostrar quien eres, y de que estas hecho.

María Victoria Garzón Pazmiño

DEDICATORIA

“Lo que con mucho trabajo se adquiere, más se ama”

Aristóteles.

El presente proyecto está dedicado a mis padres Isaac y María del Carmen, quienes son un pilar fundamental en mi vida, que durante este largo caminar me han brindado todo su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos, Juan Carlos, Lenin y Valeria, que han estado siempre para escucharme, aconsejarme y apoyarme, me han dado mucha fortaleza para seguir adelante con mis sueños.

A mis sobrinos, que vienen por el mismo camino, les animo a que no desmayen ya les falta poco, recuerden que siempre estaré ahí para apoyarlos.

A mi abuelita, que ahora me cuida desde el cielo, sólo cumplo mi promesa.

A todos y cada uno de los miembros de mi familia, no puedo poner el nombre de todos (porque somos muchos), pero esto es para ustedes, porque si no fuera por cada uno de ustedes esto no sería posible.

Francisco Xavier Vaca Sierra

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a papito Dios por todo lo acontecido en mi corta vida y por darme la fortaleza de un búfalo.

A mis padres amados, sin ustedes créanme que no lo hubiese logrado, gracias por enseñarme desde pequeña el valor de la familia, del amor y del trabajo honesto y honrado; ustedes sin duda alguna lo son todo en mi vida, y espero dedicar mi vida a hacerlos sentir felices y orgullosos; créanme lo hicieron excelente.

Tías y Ñaña les agradezco a ustedes todos los consejos, vivencias y aventuras que han compartido conmigo, gracias por darme ese amor incondicional y en ciertas ocasiones los regaños justos y necesarios.

Mi Lita, te agradezco por tanta paciencia, comprensión y amor, gracias por darme ese aliento cuando sentía que todo no marchaba como lo esperaba.

Al Ing. Ángelo Villavicencio y el Sr. Roberto Buenaño, ustedes han sido más que amigos, han sido como unos padres en estos últimos años; les agradezco el soportarme cada pregunta y cada travesía a lo largo de mi vida. Los quiero y espero poder contar con ustedes para toda la vida.

A Allen, gracias por toda la confianza que has depositado en mí, gracias por hacer de nuestra relación el mejor equipo que pueda existir, gracias por creer en mí en momentos que ni yo mismo lo hacía, gracias por tanto y por todo, y espero que sigamos cosechando sueños juntos y que nunca olvidemos que la vida es como una montaña en la que cuesta subir, pero la vista en la cima es genial, te amo.

A mi compañero de proyecto Francisco, gracias por el apoyo, la paciencia y los buenos momentos que existieron en el transcurso del desarrollo de este proyecto.

A la Universidad por brindarme todos los conocimientos y por permitirme conocer a grandes amigos de vida.

A todas aquellas personas que han ayudado con un granito de arena para que todo esto se haga realidad y aunque estas líneas no contengan su nombre, ustedes saben que quedo totalmente agradecida.

María Victoria Garzón Pazmiño

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgen Dolorosa, quienes me han dado la fortaleza y sabiduría necesaria para alcanzar este logro, y sobre todo porque me han acompañado en cada paso que he dado a lo largo de mi vida.

A mis padres, que son mi ejemplo a seguir, mi fuente de motivación diaria para cumplir mis metas y sueños. Les agradezco por su apoyo incondicional y les recuerdo que todo esto es gracias a ustedes, por su invaluable sacrificio, por su inmenso amor y sus valiosos consejos. Gracias por todo lo que me han enseñado y por aguantar mi mal genio, siempre me esforzaré para que se sientan orgullosos.

A mis hermanos, por cada aventura y momento compartido, gracias por no dejar de apoyarme y día a día motivarme para que sea un ejemplo de superación.

A mis sobrinos, que con sus locuras y ocurrencias me han llenado de alegría la vida.

A mi familia, por ser única, por ser especial, por apoyarme en mis desaciertos y acompañarme a festejar mis triunfos. Por confiar y creer en mí, por darme el impulso necesario para cumplir una de mis más grandes metas.

A una persona especial, que, con su paciencia y entusiasmo, me ha motivado a no dejarme vencer, gracias por regalarme siempre tú mejor sonrisa.

A mi compañera de tesis, María Victoria por su esfuerzo y dedicación para que llegemos a este valioso momento.

A mis compañeros y amigos, por brindarme su amistad y muy buenos momentos.

A mis docentes a lo largo de la carrera, especialmente al Ing. Ángelo Villavicencio y al Ing. Roberto Buenaño, gracias por compartir sus conocimientos, ayuda y brindarme apoyo para poder cumplir con esta meta.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, por los conocimientos aquí adquiridos y por hacer que crezca mi intelecto, y también crezca yo como persona.

Francisco Xavier Vaca Sierra

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
INDICE DE CONTENIDO	vi
LISTADO DE FIGURAS	ix
LISTADO DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
1 CAPÍTULO I- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Alcance.....	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
1.6 Área de Influencia.....	4
1.7 Estructura del Proyecto.....	5
1.7.1 Fase 1: Diseño y Simulación.....	5
1.7.2 Fase 2: Construcción:	6
1.7.3 Fase 3: Pruebas de funcionamiento.....	7
2 CAPÍTULO II- MARCO TEÓRICO	8
2.1 Hornos para Tratamiento Térmico.....	8
2.1.1 Clasificación de los Hornos	8
2.2 Materiales Compuestos.....	11
2.3 Proceso térmico de curado de materiales compuestos	12
2.3.1 Autoclave de curado de materiales compuestos.....	13
2.3.2 Hornos para Materiales Compuestos	14
2.4 Parámetros de diseño para hornos de curado de materiales compuestos.....	15
2.5 Eficiencia térmica de hornos de curado de materiales compuestos.....	15
2.6 Control Automático	16

2.7	Agitador.....	17
2.8	Medición de Temperatura.....	17
2.8.1	Pirómetro de Radiación	18
2.8.2	Pirómetro Óptico	19
2.8.3	Pirómetro Fotoeléctricos.....	20
2.9	Resistencias eléctricas	20
3	CAPÍTULO III- DISEÑO DEL HORNO DE CURADO	22
3.1	Dimensionamiento del Horno	22
3.2	Diseño del equipo	23
3.3	Diseño Térmico y Transferencia de Calor	25
3.3.1	Análisis Energético del Horno	25
3.3.2	Determinación del Calor específico del material compuesto	26
3.3.3	Determinación del Calor Cedido al Horno.....	27
3.3.4	Calor total cedido para el calentamiento de la cámara	33
3.3.5	Calor perdido por flujo térmico en el revestimiento	34
3.3.6	Calor total perdido debido al flujo térmico del revestimiento de la cámara	42
3.3.7	Calor requerido por las resistencias	43
3.3.8	Determinación del Aislante Térmico	43
3.3.9	Implementación del Agitador de aire	45
3.3.10	Selección de material de estructura del horno	53
3.3.11	Selección de material aislante	55
3.4	Diseño Electrónico	57
3.4.1	Cálculo de las resistencias eléctricas.....	57
3.4.2	Selección de forma de niquelina	60
3.4.3	Selección del Termopar	62
3.4.4	Selección del dispositivo de control.....	63
3.5	Diseño mecánico	64
3.5.1	Determinación del peso total del prototipo de horno	65
3.5.2	Análisis de la Resistencia de la Base del Horno (Patatas).....	79
3.5.3	Selección de Procesos.....	83
4	CAPÍTULO IV – SIMULACIONES DEL HORNO DE CURADO	86
4.1	Análisis Térmico de las paredes del horno	86
4.1.1	Comportamiento de la pared:.....	88
4.2	Análisis térmico de la resistencia.....	89
4.3	Análisis de la temperatura dentro de la cámara del horno.....	95
4.4	Análisis estructural del horno	100

4.5	Análisis del comportamiento del agitador.....	104
5	CAPITULO V: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL HORNO DE CURADO	106
5.1	Materiales, Máquinas e Instrumentos.	106
5.1.1	Materiales y Proveedores.....	106
5.1.2	Máquinas	112
5.1.3	Instrumentos	114
5.2	Hojas de Proceso	116
5.3	Proceso Constructivo y Montaje.....	143
6	CAPITULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS	161
6.1	Pruebas y Resultados	161
7	CAPITULO VII: ANÁLISIS ECONÓMICO.....	166
7.1	Costos Indirectos	166
7.2	Costos Directos.....	168
7.3	Costos Totales invertidos en el proyecto	170
8	CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	172
8.1	Conclusiones	172
8.2	Recomendaciones	174
9	CAPITULO IX: BIBLIOGRAFÍA	175
	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Autoclave del Laboratorio de Microbiología.	1
Figura 2. Hornos del Laboratorio de Ciencia de Materiales	2
Figura 3. Proceso a Seguir.....	4
Figura 4. Diagrama de Flujo del Proyecto.	5
Figura 5. Tipo de Hornos Industriales.	9
Figura 6. Horno al Vacío.....	10
Figura 7. Horno tipo Mufla.	10
Figura 8. Horno de Baño de Sales.	11
Figura 9. Clasificación amplia de los materiales compuestos	11
Figura 10. Esquema de preparación de una bolsa de vacío.....	13
Figura 11. Cámara Interna de un Horno para Materiales Compuestos EMI.	14
Figura 12. Pirómetro óptico.....	19
Figura 13. Dimensiones de la Cámara Interna.....	22
Figura 14. Cámara interna.....	23
Figura 15. Dimensionamiento de la Cámara útil.	23
Figura 16. Horno Prototipo	24
Figura 17. Análisis Energético	25
Figura 18. Ejemplo de formación de material compuesto	26
Figura 19. Dimensiones de la cámara del horno.....	27
Figura 20. Bandeja	29
Figura 21. Revestimiento de las paredes	34
Figura 22. Propiedades del aire	35
Figura 23. Número de Reynolds.....	36
Figura 24. Representación del flujo del calor en paredes compuestas	38
Figura 25. Coeficientes de Convección	43
Figura 26. Diámetro equivalente	46
Figura 27. Mezclador de fluidos.....	46
Figura 28. Propiedades del aire a 400 °C	47
Figura 29. Coeficientes de arrastre	49
Figura 30. Rotación nominal del motor.....	50
Figura 31. Paletas del agitador	51
Figura 32. Coeficiente de arrastre	52
Figura 33. Diseño del agitador	53
Figura 34. Especificaciones técnicas Nicromel.	59
Figura 35. Tamaños de los alambres de Nicromel.....	59
Figura 36. Longitud de la resistencia.....	60
Figura 37. Esquema del Circuito de Control	63
Figura 38. Composición del Techo.....	65
Figura 39. Dimensiones de Refuerzos.	66
Figura 40. Composición del Suelo del Horno.....	67
Figura 41. Composición de la Pared Posterior	69
Figura 42. Composición de la pared lateral derecha.....	70
Figura 43. Composición de la pared lateral derecha.....	71
Figura 44. Composición de la Puerta.....	73
Figura 45. Bandeja.	74
Figura 46. Agitador.	75
Figura 47. Base (Patas).....	76

Figura 48. Caja de Control.....	77
Figura 49. RKC Instruments (2019) Hoja de Datos Controlador REX-C900FK02-V.....	78
Figura 50. Motor WEG. Motor W22 IE2.....	78
Figura 51. Prototipo de Horno. Base.....	80
Figura 52. Vista superior Horno - división de las cargas.....	80
Figura 53. Simulación estructural Ansys Workbench.....	81
Figura 54. Se coloca soporte fijo en una de las caras de las patas.....	81
Figura 55. Aplicación de carga.....	81
Figura 56. Esfuerzo equivalente de Von Misses - Vista interior Pata.....	82
Figura 57. Esfuerzo de Von Misses - Vista exterior Pata.....	82
Figura 58. Deformación.....	83
Figura 59. Esquema de diversos procesos de formado de hojas metálicas.....	84
Figura 60. Paredes del horno a ser evaluadas.....	86
Figura 61. Flujo de Calor en la pared del horno.....	86
Figura 62. Temperatura máxima en el exterior.....	87
Figura 63. Flujo de Calor por área.....	87
Figura 64. Comportamiento térmico de la pared.....	88
Figura 65. Flujo total de calor en las paredes del horno.....	88
Figura 66. Flujo de calor direccional en las paredes del horno.....	89
Figura 67. Ingreso de parámetros en Ansys - Workbench.....	89
Figura 68. Parámetros del material.....	90
Figura 69. Región de aplicación del calor de la resistencia.....	90
Figura 70. Mallado de la resistencia.....	91
Figura 71. Flujo de calor en la resistencia.....	91
Figura 72. Flujo de calor direccional de la resistencia.....	92
Figura 73. Flujo máximo y mínimo de la resistencia.....	92
Figura 74. Ingreso de temperatura de operación.....	93
Figura 75. Flujo de calor total en las resistencias.....	93
Figura 76. Flujo de calor direccional de la resistencia.....	94
Figura 77. Análisis térmico en estado estacionario.....	95
Figura 78. Flujo de calor resistencias.....	95
Figura 79. Propiedades físicas de las resistencias.....	96
Figura 80. Resistencia 1 con flujo de calor.....	96
Figura 81. Resistencia 2 con flujo de calor.....	97
Figura 82. Convección en paredes internas.....	97
Figura 83. Distribución de la temperatura en la cámara.....	98
Figura 84. Flujo de calor en la cámara.....	99
Figura 85. Flujo de calor como vectores.....	100
Figura 86. Análisis estructural de la cámara.....	100
Figura 87. Convección – estructural.....	101
Figura 88. Flujo de calor paredes laterales – estructural.....	101
Figura 89. Temperatura – estructural.....	102
Figura 90. Fixed support – estructural.....	102
Figura 91. Deformación cámara – estructural.....	103
Figura 92. Esfuerzo total – estructural.....	104
Figura 93. Distribución de líneas de flujo del agitador.....	105
Figura 94. Interpretación de Planos.....	143
Figura 95. Identificación de Materiales.....	143
Figura 96. Trazado en Materiales.....	144

Figura 97. Corte según dimensiones.....	144
Figura 98. Doblado.....	145
Figura 99. Verificación del Doblado	145
Figura 100. Soldadura de Aristas de Doblado.	146
Figura 101. Soldadura de Refuerzos Interiores.....	146
Figura 102. Refuerzo en tapas	147
Figura 103. Aislamiento Térmico dentro del horno.....	147
Figura 104. Soldadura de Paredes Externas.....	148
Figura 105. Uniones Soldadas Pulidas	148
Figura 106. Horno con Aislamiento y Refuerzos	149
Figura 107. Unión de pared posterior con la estructura	149
Figura 108. Base del horno	150
Figura 109. Montaje de la Puerta del horno.....	150
Figura 110. Refuerzos tipo L en el interior del horno.....	150
Figura 111. Empaque Térmico	151
Figura 112. Construcción de Agitador	151
Figura 113. Verificación de resistencias.....	152
Figura 114. Instalación de las Resistencias en el horno.....	152
Figura 115. Motor: Datos e instalación	153
Figura 116. Instalación de agitador	153
Figura 117. Puerta con cerrojo	154
Figura 118. Vidrio Templado.....	154
Figura 119. Termopar.....	155
Figura 120. Controlador PID.....	155
Figura 121. Instalación del Controlador y Motor	155
Figura 122. Instalación de rieles.....	156
Figura 123. Resistencias al interior del horno	156
Figura 124. Flujo del agitador	157
Figura 125. Variador de frecuencia	157
Figura 126. Medir la velocidad de rotación.....	158
Figura 127. Temperatura del Horno	158
Figura 128. Modificaciones.....	159
Figura 129. Estado final del prototipo	160
Figura 130. Interpretación de una fotografía termográfica	161
Figura 131. Temperatura pared externa lateral derecha.....	162
Figura 132. Temperatura pared externa lateral izquierda	162
Figura 133. Temperatura pared posterior	163
Figura 134. Temperatura en la puerta.....	163

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Restricciones del material para la estructura	53
Tabla 2 Selección de materiales de la estructura	54
Tabla 3 Restricciones del Material para el aislante térmico	55
Tabla 4 Matriz de selección de Material Aislante	56
Tabla 5 Matriz de Selección de Forma de Niquelina	61
Tabla 6 Matriz de Selección de Alambre de la Resistencia	61
Tabla 7 Matriz de Selección de Termo Par.....	62
Tabla 8 Materiales utilizados en el circuito de control.....	63
Tabla 9 Características del Controlador.....	64
Tabla 10 Propiedades de los materiales utilizados.....	65
Tabla 11 Determinación de la masa del Techo.....	66
Tabla 12 Masa del Techo	66
Tabla 13 Determinación de la masa del Suelo	68
Tabla 14 Masa del Suelo	68
Tabla 15 Determinación de la masa de la Pared Posterior	69
Tabla 16 Masa de la Pared Posterior.....	69
Tabla 17 Determinación de la masa de la pared lateral derecha	70
Tabla 18 Masa de la pared lateral derecha.....	71
Tabla 19 Determinación de la masa de la pared lateral izquierda.	72
Tabla 20 Masa de la pared lateral izquierda.....	72
Tabla 21 Determinación de la masa de la puerta.	73
Tabla 22 Masa de la puerta.	74
Tabla 23 Determinación de la masa de la bandeja.....	74
Tabla 24 Peso de la bandeja.....	75
Tabla 25 Determinación de la masa del agitador.....	75
Tabla 26 Masa del agitador.....	76
Tabla 27 Determinación de la masa de las patas	76
Tabla 28 Masa de las Patas.....	76
Tabla 29 Determinación de la masa de la caja del controlador	77
Tabla 30 Masa de la caja del controlador.....	77
Tabla 31 Peso de los accesorios.....	78
Tabla 32 Peso total componentes	78
Tabla 33 Resumen peso del prototipo de horno.....	79
Tabla 34 Peso total del prototipo de horno	79
Tabla 35 Selección de procesos	84
Tabla 36 Registro de materiales	106
Tabla 37 Registro de accesorios y equipos.....	107
Tabla 38 Información de los proveedores	107
Tabla 39 Registro de materiales	109
Tabla 40 Registro de accesorios y equipos.....	111
Tabla 41 Equipos utilizados	113
Tabla 42 Instrumentos Utilizados.....	114
Tabla 43 Prueba 1	164
Tabla 44 Prueba 2	164
Tabla 45 Prueba 3	165
Tabla 46 Prueba 4	165
Tabla 47 Costos Indirectos - Suministros y Servicios	166

Tabla 48 <i>Costos Indirectos - Misceláneos</i>	166
Tabla 49 <i>Costos Indirectos - Transporte</i>	167
Tabla 50 <i>Costos Indirectos - Uso de Máquinas Herramientas</i>	167
Tabla 51 <i>Costos Indirectos - Asesoramiento</i>	168
Tabla 52 <i>Costos Directos - Diseño e Ingeniería</i>	168
Tabla 53 <i>Costos Directos - Construcción y ensamblaje</i>	168
Tabla 54 <i>Costos Directos - Materiales y Accesorios</i>	169
Tabla 55 <i>Costos Directos - Equipos</i>	170
Tabla 56 <i>Costos Totales del Proyecto</i>	170
Tabla 57 <i>Gasto De los Estudiantes en el Proyecto</i>	171

RESUMEN

El presente proyecto de titulación: “Diseño, simulación y construcción de un horno prototipo para el curado de materiales compuestos con un volumen de $0,14\text{m}^3$ y potencia de 3-5 kW para el Laboratorio de Ciencia de los Materiales del DECEM.” Tiene como propósito satisfacer las necesidades para desarrollar procesos de curado de materiales compuestos en el Laboratorio de Ciencia de Materiales; contribuyendo e impulsando el desarrollo de procesos de investigación que tiene la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. El diseño de este tipo de horno busca una distribución de temperatura uniforme dentro de la cámara y la utilización de materiales que cumplan con las propiedades mecánicas requeridas para su buen funcionamiento. El proyecto consta de tres etapas; Diseño y simulación, en esta etapa se desarrollan los cálculos de diseño del prototipo, se seleccionan los materiales, se realizan análisis energéticos y se define el tipo de abastecimiento energético. También se desarrollarán simulaciones con ayuda de software CAD - CAE para evaluar parámetros de comportamiento del prototipo. Como resultado de esta etapa se tiene un prototipo de horno que cumple con las condiciones requeridas; Construcción, en esta etapa se han cumplido con las normativas y especificaciones técnicas que demanda el diseño del prototipo y que deben satisfacer las necesidades de su uso específico; Pruebas de funcionamiento, esta etapa evalúa el funcionamiento y los resultados del prototipo de horno, permitiendo concluir que el diseño es funcional y se ajusta a los requerimientos propuestos. El cumplimiento de las etapas anteriores ha permitido alcanzar los objetivos planteados para este proyecto. Se puede concluir que el prototipo de horno cumple con los requerimientos propuestos y es viable para la implementación y uso dentro de nuevas investigaciones sobre los materiales compuestos en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

PALABRAS CLAVE:

- **HORNO PROTOTIPO**
- **CURADO DE MATERIALES**
- **ANÁLISIS TÉRMICO DE UN HORNO**

ABSTRACT

The present titling project: "Design, simulation and construction of a prototype furnace for the curing of composite materials with a volume of 0.14m³ and power of 3-5 kW for the DECEM Materials Science Laboratory". has a purpose is to meet the needs to developing curing processes of composite materials in the Materials Science Laboratory; contributing and promoting the development of research processes that the Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. The design of this type of oven seeks a uniform temperature distribution within the chamber and the use of materials that meet the mechanical properties required for operation. The constant three-stage project: Design and simulation, at this stage the design calculations of the prototype will be carried out, the materials were selected, energy analysis were made out and the type of energy supply has been defined. Simulations will also be developed with the help of CAD - CAE software to evaluate prototype behavior parameters. As a result of this stage there is a prototype oven that meets the required conditions; Construction, at this stage the regulations and technical specifications required by the prototype design have been met and must meet the needs of its specific use; Function tests, this stage evaluates the operation and results of the oven prototype, determining that the design is functional and conforms to the proposed requirements. The fulfillment of the previous stages has allowed us to reach the objectives set for this project. It can be concluded that the oven prototype meets the proposed requirements and is viable for implementation and use in new research on composite materials at the Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

KEYWORDS:

- **PROTOTYPE OVEN**
- **MATERIALS CURING**
- **THERMAL ANALYSIS OF AN OVEN**

1 CAPÍTULO I- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Introducción

En la actualidad el alto crecimiento industrial y el aumento en la demanda de productos con mejores propiedades y alta calidad ha influido directamente en el desarrollo de nuevos materiales que brinden mejores propiedades y que tengan un bajo impacto ambiental.

Considerando lo expuesto con anterioridad, se han desarrollado un sin número de procesos que asocian la combinación de materiales con propiedades mecánicas diferentes, con el fin de generar nuevos que satisfagan las necesidades de los consumidores y por ende de la industria, a la vez prolongar la vida útil del material y así reducir la cantidad de residuos generados por los procesos de producción. (Wandurraga & Nieto, 2016).

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE cuenta con varios laboratorios donde se pueden encontrar hornos, como son: Microbiología, Ensayo de suelos, Ciencia de los Materiales, Docencia.

En el Laboratorio de Microbiología se encuentra un Autoclave (Figura 1) y en el Laboratorio de Docencia se encuentran 2, estos son utilizados para el cultivo de microorganismos y la esterilización de recipientes cerámicos.



Figura 1. Autoclave del Laboratorio de Microbiología.

En el Laboratorio de Ciencia de los Materiales se tienen hornos que pueden ser diferenciados por su abastecimiento energético como eléctricos, por gas y diésel (Figura 2);

estos hornos, son utilizados para tratamientos térmicos y fundición de metales, por las características y por el uso que se le da a cada uno de estos no pueden ser utilizados para el proceso de curado de materiales compuestos ya que se encuentran contaminados con otro tipo de elementos.



Figura 2. Hornos del Laboratorio de Ciencia de Materiales

Al hablar de diseño, construcción y pruebas de un prototipo de horno para el curado de materiales compuestos es necesario tomar en consideración las variables del proceso pertinentes como son: el control y distribución de temperaturas, el material de fabricación, entre otras.

El prototipo debe estar encaminado a cumplir con las variables ya descritas; para el diseño del horno nos ayudaremos con software especializado, con el fin de emular la geometría y condiciones del horno para obtener mayor confiabilidad del diseño.

1.2 Planteamiento del problema

El proceso de curado de materiales compuestos necesita cumplir con ciertos requisitos en el que se debe destacar mantener la temperatura uniforme al interior del horno; como se expuso en la sección introductoria de este proyecto, dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE existen varios hornos, estos se encuentran destinados a otros procesos y por ende no se pueden utilizar para el curado de materiales compuestos; por lo tanto, el presente proyecto busca

la creación de un prototipo de horno industrial para curado, que permita desarrollar nuevos proyectos de investigación en beneficio de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

1.3 Justificación

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en concreto el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, en la actualidad se encuentra desarrollando temas de investigación en cuanto al desarrollo de nuevos materiales se refiere; es el caso de los materiales compuestos, el cual tiene una fase de reparación de productos o materiales denominada “curado”, donde se observa la necesidad de la adquisición de un horno para el proceso de curado de materiales compuestos, estos equipos tienen un costo elevado, por lo tanto, se plantea la realización de este proyecto, donde se busca diseñar, simular y construir un horno para la fase antes descrita, que cumpla con las especificaciones adecuadas, con el cual se tendría beneficios como: Ahorro de tiempo en el secado de probetas de materiales compuestos al no utilizar los procedimientos actuales además de eliminar la necesidad de adquirir un nuevo equipo.

1.4 Alcance

El proyecto busca construir un horno para el proceso de curado de materiales compuestos para el Laboratorio de Ciencia de Materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica DECEM de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Para el desarrollo del proyecto (Figura 3) se realizará un diseño energético que permita tener dentro de la cámara una temperatura homogénea, para respaldar el diseño y predecir el comportamiento de la temperatura dentro de la cámara del horno se realizarán simulaciones con ayuda de software especializado.

A partir del diseño y las simulaciones se pasará a la construcción donde se pondrá énfasis en el uso de materiales y procedimientos adecuados para tener un prototipo de Horno que sea seguro para el usuario.

A fin de constatar el correcto funcionamiento del prototipo de horno de materiales compuestos, se tomarán fotografías con la cámara termográfica, se analizarán los resultados y se realizarán pruebas de funcionamiento del prototipo de horno.

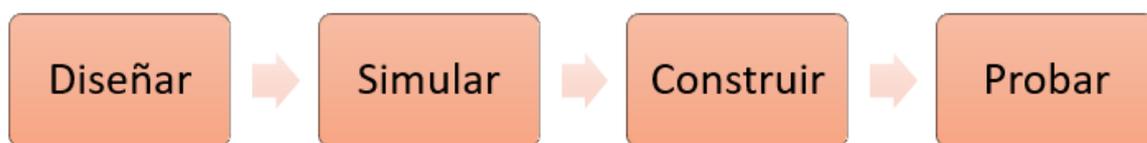


Figura 3. Proceso a Seguir

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Realizar el diseño, simulación y construcción de un horno prototipo para el curado de materiales compuestos con un volumen de $0,14\text{m}^3$ y potencia de 3-5 kW para el Laboratorio de Ciencia de Materiales del DECEM.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diseño térmico de un prototipo de horno para el proceso de curado de materiales compuestos.
- Analizar los parámetros necesarios para el funcionamiento óptimo del Horno de curado de materiales compuestos.
- Realizar el diseño electrónico del prototipo de horno para el proceso de curado de materiales compuestos.
- Desarrollar simulaciones del comportamiento térmico y mecánico del prototipo de horno, utilizando sistemas CAD - CAE.

1.6 Área de Influencia

El proyecto tendrá como principal beneficiario a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, especialmente el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica DECEM, el cual permitirá desarrollar nuevas investigaciones en el área de Ciencia y Mecánica de los materiales.

1.7 Estructura del Proyecto

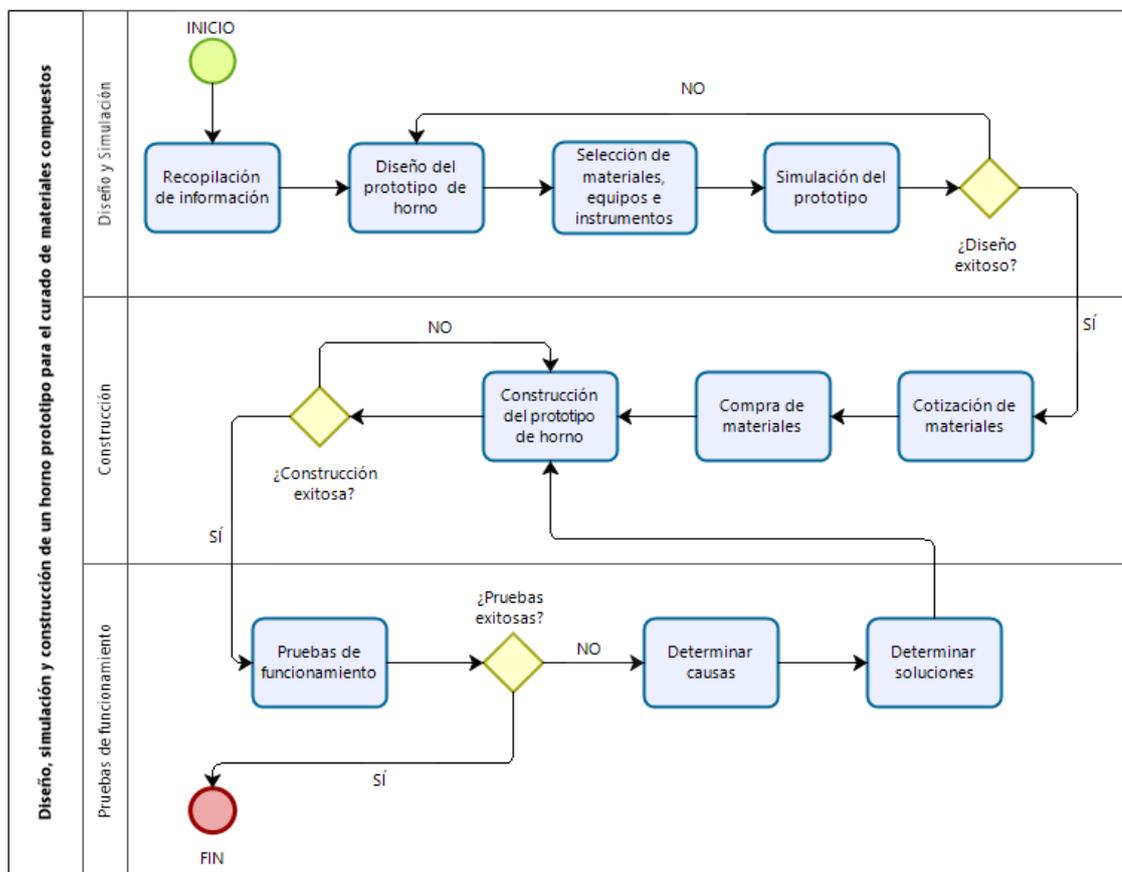


Figura 4. Diagrama de Flujo del Proyecto.

El desarrollo del proyecto “Diseño, simulación y construcción de un horno prototipo para el curado de materiales compuestos con un volumen de $0,14\text{m}^3$ y potencia de 3-5 kW para el laboratorio de Ciencia de los Materiales del DECEM”, se realizó en tres etapas o fases (Figura 4), donde la primera fase es Diseño y Simulación, la segunda es la Construcción y la tercera son las Pruebas de funcionamiento. A continuación, se explicará a detalle el desarrollo de cada fase.

1.7.1 Fase 1: Diseño y Simulación

Esta fase nos permite tener una idea clara sobre el diseño del horno y los resultados que se espera al momento de la construcción. Se trata de una etapa predictiva que utiliza software de diseño computacional orientada bajo uno de los lineamientos de la industria

4.0, realizar diseños y simulación computacional de un proyecto antes de ejecutar su construcción para evitar desperdicio de recursos y tiempo.

a. Recopilación de información: Es necesario recopilar información acerca de las características, materiales, construcción, temperaturas de funcionamiento y tipos de hornos que puedan ser utilizados en el proceso de curado de materiales compuestos. Esto para poder realizar el diseño. Algunas de las características primordiales para el desarrollo del horno es que la temperatura sea lo más uniforme posible dentro de la cámara, debe tener un control de temperatura.

b. Diseño del prototipo de horno: A partir de la información que se recopiló se propone un diseño de prototipo de horno, que nos permita desarrollar el proceso de curado de materiales compuestos.

c. Selección de materiales, equipos e instrumentos: En base al prototipo que se diseñó se realizará la selección de materiales para la estructura del horno, equipos como el motor para el agitador interno, instrumentos para sensar la temperatura.

d. Simulación del prototipo: La simulación permite tener una idea de ¿cómo será la distribución de temperatura al interior del horno?, y también evaluar el comportamiento de los materiales con los que se construirá el horno.

1.7.2 Fase 2: Construcción:

Esta fase corresponde a la construcción del prototipo de horno en base al diseño presentado en la fase 1, es primordial utilizar los materiales con los que se hizo el diseño del prototipo, también es de suma importancia aplicar correctamente los procesos de manufactura para garantizar la construcción del prototipo.

a. Cotización de materiales: La cotización de los materiales es una etapa importante dentro de la construcción puesto que determinará donde se comprarán los materiales y el precio que tendrá el proyecto, se solicitaron varias cotizaciones a proveedores de la ciudad de Quito.

b. Compra de materiales: Tras seleccionar los proveedores, es necesario realizar la compra de los materiales, equipos e instrumentos, es necesario revisar que el material que se compra cumpla con los requerimientos del diseño de la Fase 1.

c. Construcción del prototipo de horno: La construcción es la etapa más importante del proyecto puesto que de ella depende el funcionamiento del prototipo de horno, es necesario identificar cada tipo de proceso de manufactura y desarrollar un procedimiento antes de aplicarlo, para garantizar el correcto desempeño del prototipo de horno.

1.7.3 Fase 3: Pruebas de funcionamiento

La fase 3 corresponde a las pruebas de funcionamiento del prototipo de horno, se buscarán defectos o problemas para luego corregirlos y tener un prototipo funcional.

a. Pruebas de funcionamiento: Tras finalizar la construcción es necesario realizar varias pruebas de funcionamiento que nos permitan evaluar el comportamiento del horno (distribución de temperatura, comportamiento de la estructura, materiales)

b. Determinar causas: Si el resultado de las pruebas de funcionamiento no es el esperado es necesario evaluar las posibles causas que provocan el mal funcionamiento del prototipo de horno.

c. Determinación de soluciones: En base a las causas determinadas, se tiene que generar soluciones para mejorar el funcionamiento del prototipo de horno. Esto para modificarlo y que funcione como debería.

2 CAPÍTULO II- MARCO TEÓRICO

2.1 Hornos para Tratamiento Térmico

Los tratamientos térmicos son un modo importante de cambiar la resistencia, dureza, ductilidad y otras propiedades de un material. (Hornos Industriales LTDA.)

Los hornos varían en cuanto a su uso, tecnología, capacidad y tamaño. Utilizan diversos tipos de transferencia de calor para lograr calentar las piezas, en los que resaltan el modo de transferencia por: conducción, convección y radiación, siendo estos dos últimos los más utilizados. En cuanto a tecnología, existen dos métodos de calentamiento los cuales son: calentamiento por algún tipo de combustible y los calentados utilizando electricidad. Los hornos que utilizan algún tipo de combustible son generalmente calentados directamente, es decir, la pieza a calentar se encuentra en contacto directamente a los productos de la combustión entre los que se detallan gases, aceites ligeros, entre otros. Los hornos eléctricos por otra parte utilizan resistencias eléctricas para calentar, se toman en consideración en muchos casos porque son más limpios y silenciosos, además proporcionan una distribución del calor más uniforme.

Un horno convencional es un espacio cerrado diseñado para resistir fugas de calor y dar cabida al tamaño de las piezas a procesar. (Groover, 1997)

2.1.1 Clasificación de los Hornos

Los hornos se pueden clasificar en carga por lotes y continuos. Los hornos de carga por lotes son simples (Figura 5) debido a que consiste en un sistema de calentamiento interno en una cámara aislada con puertas de carga y descarga de piezas, ejemplo: Hornos con carro al fondo y con cajas.



Figura 5. Tipo de Hornos Industriales.
Fuente: (Industriales, 2019)

Los hornos continuos se utilizan en el caso de que la velocidad de producción sea mayor, también tiene la característica que provee un medio para transportar la carga en el interior de la cámara de calentamiento. (Groover, 1997).

En algunas operaciones de tratamientos térmicos es necesario atmósferas especiales, estas atmósferas incluyen ambientes que son ricos en carbono o nitrógeno debido a que es necesario que exista una difusión de estos elementos sobre la superficie de trabajo, se utiliza generalmente con el objetivo de evitar la oxidación excesiva o descarburación.

Los hornos al vacío como se observa en la (Figura 6), son aquellos en donde se crea un vacío en la cámara de calentamiento, el calentamiento es mediante radiación. Poseen varias ventajas dentro de las cuales resalta el hecho de que al utilizar este tipo de horno se evita la oxidación superficial de las piezas de trabajo, la principal desventaja es el tiempo de creación de vacío en cada ciclo reduciendo así la velocidad de producción.



Figura 6. Horno al Vacío.

Fuente: (Grupo ETSA, 2019)

Hornos tipo mufla (Figura 7), en este tipo de horno, el material está separado por completo de la cámara de combustión ya que tiene una cámara interior denominada mufla.

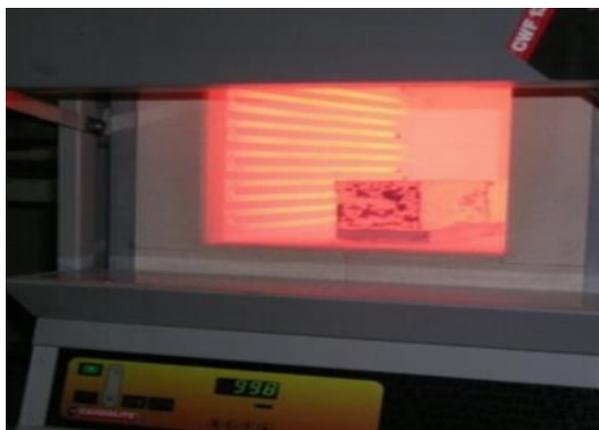


Figura 7. Horno tipo Mufla.

Fuente: (Redisyt, 2019)

Es un horno que reduce el uso de combustible dentro de la cámara de combustión y puede trabajar en la atmósfera que desee. Una de las desventajas de este tipo de horno es el tiempo de calentamiento, es utilizado en producciones continuas.

Horno de baños de sales (Figura 8) hace referencia a recipientes que contienen sales fundidas como nitrilos y cloruros. Otro tipo de horno es el de lecho fluidizado, el cual posee un depósito que contiene partículas inertes suspendidas dentro de una corriente de gases calientes a alta velocidad.



Figura 8. Horno de Baño de Sales.

Fuente: (Grupo ETSA, 2019)

2.2 Materiales Compuestos

Los materiales compuestos (Figura 9) se los puede definir como todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a nuevas propiedades o características específicas. (Besednjak Dietrich, 2005).

Los materiales compuestos nacen de la observación de la naturaleza con el objetivo de mejorar las características y propiedades del nuevo material y es aplicable hoy en día a la ingeniería ya que se busca que los materiales utilizados sean el resultado de combinación de dos o más fases para obtener propiedades óptimas.

A continuación, se presenta una clasificación amplia de los materiales compuestos:

	Ejemplos
Materiales compuestos naturales	Madera Hueso Bambú Músculos y otros tejidos
Materiales microcompuestos	Aleaciones metálicas: p. ej. aceros Termoplásticos endurecidos: p. ej. poliestireno de impacto, ABS. Hojas para moldeo continuo (SMC) Termoplásticos reforzados
Macrocomposites (Productos ingenieriles)	Acero galvanizado Vigas de hormigón armado Palas de helicópteros Esquí

Figura 9. Clasificación amplia de los materiales compuestos

Fuente: (Hull, 2003)

Al mencionar materiales compuestos nos surge la inquietud de compararlos con los materiales convencionales debido a las ventajas que sobresalen de los mismos como, por Ejemplo:

En materiales compuestos que utilicen matrices poliméricas se tiene como principal ventaja una elevada resistencia mecánica con respecto a la densidad del material.

- Se pueden obtener formas complejas.
- Mejor precisión.
- Alto grado de resistencia a la corrosión.
- Buena resistencia a la degradación.

2.3 Proceso térmico de curado de materiales compuestos

La distribución de la temperatura, el grado de curado del material compuesto y su viscosidad va a depender directamente de la velocidad con la que el calor es transferido. La temperatura dentro del material compuesto puede ser calculada utilizando la ley de conservación de la energía, se puede obtener mediante la siguiente formulación: (Loos & Springer, 1982)

$$\frac{\partial(\rho CT)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K \partial T}{\partial z} \right) + \rho \dot{H}$$

Donde:

ρC : Densidad y Calor específico

K : Conductividad térmica en la dirección perpendicular al plano compuesto.

T : Es la temperatura.

H : Es la tasa de calor generado por las reacciones químicas.

$$\dot{H} : RH_R$$

H_R : Es el calor de reacción total o final durante el curado.

R : Reacción o tasa de curado.

2.3.1 Autoclave de curado de materiales compuestos

El proceso de curado de materiales compuestos puede llevarse dentro de autoclave de materiales compuestos, los cuales son utilizados para curar y consolidar todos los componentes que se han realizado con materiales compuestos en la mayoría de casos poliméricos utilizando variables como presión y temperatura.

Cuando mencionamos a los materiales termoestables se dice que es necesario que en su conformado se utilicen altas temperaturas ya que al hacerlo se reduce su viscosidad lo que otorga mayor velocidad a la reacción química en el proceso de curado.

La presión es de vital importancia cuando necesitamos que se mantenga el material compuesto junto y así evitar que se produzcan posibles defectos como poros.

Los procesos de curado en autoclave suelen otorgar mejores características mecánicas a las resinas que utilizan este proceso.

Los procesos de curado en autoclave siguen una secuencia de pasos y utilizan ciertos materiales que ayudan a la preparación de las diversas capas de la bolsa de vacío (Figura 10).

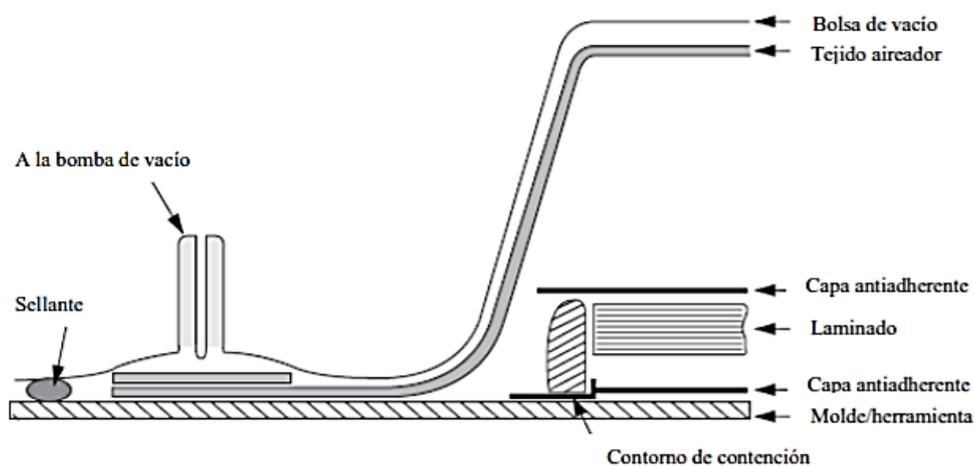


Figura 10. Esquema de preparación de una bolsa de vacío.

Fuente: (Alcalde Cano, 2015)

2.3.2 Hornos para Materiales Compuestos

Los hornos ofrecen temperatura uniforme y controlada sobre todas las superficies. Algunos hornos tienen puertos de vacío instalados para proveer presión de vacío mientras se está curando.

Los equipos existentes para cocción de materiales compuestos son equipos que, gracias a sacos de vacío, garantizan una excelente uniformidad de la temperatura de los diferentes materiales tratados, utilizando las tecnologías más avanzadas e innovadoras del sector. La compañía garantiza una seguridad total de los equipos, así como facilidad de uso, ajuste preciso de los gradientes de temperatura, alta homogeneidad del calor y ahorro energético. (E.M.I. Italia, 2019).

Los hornos industriales (Figura 11) son fabricados en función de los requerimientos técnicos del cliente, tienen como principal premisa el total aislamiento y la minimización del consumo energético manteniendo una temperatura uniforme.



Figura 11. Cámara Interna de un Horno para Materiales Compuestos EMI.

Fuente: (E.M.I. Italia, 2019)

Entre las características que pueden tener este tipo de hornos se destacan las siguientes:

- Selección de regulación de aire.
- Temperatura uniforme.
- Cámara de vacío.
- Tipo de calefacción modular.

- Pueden poseer un sistema de lavado utilizando aire. (Aplicable luego del curado de los materiales).
- Modulación de la Inyección del aire.

2.4 Parámetros de diseño para hornos de curado de materiales compuestos.

Los parámetros para el horno de curado van a depender directamente del material, y las especificaciones que puede solicitar un cliente; sin embargo, se puede tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura uniforme y controlada.
- Grado de curado del material compuesto.
- La viscosidad del material compuesto.
- Las tensiones residuales en las capas luego de curar el material compuesto.
- El tiempo de exposición del material a las temperaturas escogidas.

2.5 Eficiencia térmica de hornos de curado de materiales compuestos

Entre los factores influyentes no sólo en hornos de curado, sino en hornos industriales tenemos:

Diseño del horno:

- La capacidad del horno, el tipo de calentamiento, la forma de operación y los materiales con los que está construido, siempre serán definidos a partir de un análisis que permita optimizar el diseño y cumplir con el objetivo.
- Es preferible utilizar hornos de baja inercia térmica, que permitan alcanzar más rápido la temperatura de operación y así disminuir las pérdidas de energía.
- En caso de requerir temperaturas altas, utilizar materiales refractarios.

Proceso:

- De ser posible, trabajar a plena capacidad de instalación.
- Con el fin de lograr mejores resultados, se debe utilizar un control automatizado.
- Debe aprovecharse al máximo la energía desprendida.
- No operar a temperaturas más elevadas de lo establecido.

Alimentación:

- Tratar de secar el producto antes de su ingreso al horno para disminuir su humedad.
- La materia prima debe almacenarse en un lugar adecuado, para evitar que se adhiera mayor humedad.
- De ser posible o necesario utilizar fundentes con el objetivo de disminuir la temperatura de operación.

Mantenimiento

- Realizar un programa de mantenimiento para evitar paradas imprevistas.
- Calcular el espesor y el empleo de los aislantes para no obtener temperaturas excesivas en sus paredes exteriores.
- Disminuir los tiempos muertos, para evitar las pérdidas de calor de la cámara del horno.

2.6 Control Automático

Evita el desperdicio de calor por temperaturas innecesarias elevadas, los periodos fríos evitables y el aire excesivo o el combustible no quemado por mala combustión. (Collahuazo & Morocho, 2009).

Dentro de este tipo de hornos hay que tener en cuenta el método de prevención de daños del producto por factores, como:

- Sobre calentamiento
- Reacciones Químicas
- Formación de Óxido

El horno prototipo posee un controlador PID que tiene una entrada de sensor (termopar tipo J) ubicado en el punto medio de la pared superior del horno, será el encargado de detectar la temperatura que se reflejará en la pantalla del controlador, considerando que la temperatura dentro del horno debe ser constante e igual a la ingresada por el usuario. En caso que la temperatura varíe, el controlador es capaz de encender las resistencias hasta que el ambiente sea el requerido por el usuario.

El método más sencillo para economizar calor, pero al que con mayor frecuencia se le concede menor atención, es el cuidado en la construcción y operación del horno. (Collahuazo & Morocho, 2009).

2.7 Agitador

El agitador será el encargado de distribuir el calor que emiten las resistencias, será similar a un ventilador axial resistente a temperaturas elevadas, para su construcción es preferible utilizar el mismo material que el horno, estará conectado a un motor que le transmitirá movimiento constante; por lo tanto, se obtendrá un flujo de aire conocido y constante.

Los agitadores pueden ser turbinas de disco, que giran sobre un eje vertical y se utilizan para problemas de agitación de fluidos, es común encontrarlos de 2 a 4 palas ubicadas con un ligero grado de inclinación o de forma vertical. Estos agitadores giran a bajas o moderadas velocidades, impulsando el fluido de forma radial y tangencial.

Los impulsores de turbina trabajan a velocidades bajas – moderadas, donde las velocidades bajas van de 100 a 300 rpm y las moderadas de 300 a 1000 rpm. (Erazo & Vizúete, 2011)

2.8 Medición de Temperatura

Dentro del diseño del horno prototipo para el proceso de curado de materiales compuestos, es muy importante controlar la temperatura dentro de la cámara, la diferencia y aceptación de errores no puede ser elevada porque traería defectos graves a las probetas ingresan al horno.

Para determinar la temperatura externa del horno se utiliza un instrumento denominado pirómetro; para la temperatura interna como se ha mencionado se utilizará un termopar tipo J; además con la ayuda de una cámara termográfica se observará el espectro de temperaturas en el horno.

Existen varios tipos de pirómetros entre los que destacan los siguientes:

- Pirómetro de radiación
- Pirómetro óptico

- Pirómetro de Par termoeléctrico

2.8.1 Pirómetro de Radiación

Este tipo de pirómetros se utiliza para medir mediante medios eléctricos temperaturas superiores a los que miden los termómetros de mercurio.

La radiación es la forma de energía que proviene de varias fuentes, algunas creadas de forma artificial por el hombre, y otras fuentes de origen natural, este tipo de pirómetros se fundamentan en la ley de Stefan -Boltzman la cual manifiesta que la energía de forma radiante que emite la superficie de un cuerpo negro se aumenta a la cuarta potencia de la temperatura absoluta que experimenta el cuerpo.

Es utilizado para temperaturas superiores a los 1600°C con una longitud de onda que abarca desde 0.1 micras para radiaciones ultravioletas, para radiaciones infrarrojas será un valor de hasta 12 micras.

2.8.1.1 Estructura de los pirómetros de radiación

Los pirómetros de radiación constan de:

- Lente o espejo cóncavo
- Foco: fijo o ajustable
- Elemento sensible (Par termoeléctrico)

El espejo cóncavo tiene dos razones principales para utilizarlo:

1. A toda longitud de onda la imagen de la fuente se enfoca de forma simétrica (igual) dando una clara imagen para una longitud de onda.
2. El material con el que están fabricadas las lentes absorben una gran parte de la radiación de las longitudes de onda.

2.8.1.2 Usos

Tiene como principales usos:

- Donde la atmósfera de horno podría alterar un par termoeléctrico.
- Medir superficies.

- Medir objetos que posean movimiento.
- Donde se produzcan vibraciones.
- Cuando existen cambios bruscos de temperaturas y se requiere una elevada velocidad de respuesta.

2.8.2 Pirómetro Óptico

Se fundamenta en la Ley de Wien (Distribución de Radiación Térmica). La longitud de onda correspondiente al máximo de potencia irradiada en forma de radiaciones comprendidas en un intervalo infinitamente pequeño de longitudes de onda es inversamente proporcional a la temperatura del cuerpo negro. (EcuRed, 2011).

2.8.2.1 Estructura de los pirómetros ópticos

El pirómetro óptico (Figura12) empleado en la determinación de altas temperaturas tales como las temperaturas de fusión del platino, del molibdeno o del tungsteno, es del tipo de filamento cuya imagen desaparece. (EcuRed, 2011)

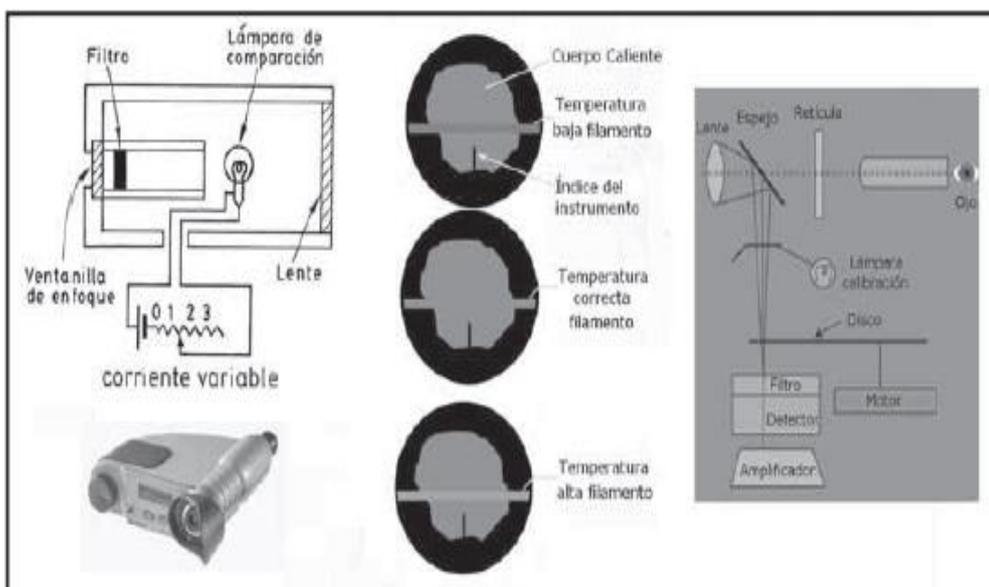


Figura 12. Pirómetro óptico

Fuente: (Creus, 2010)

Este tipo de pirómetros es similar al pirómetro infrarrojo, puesto que compara la radiación que emite el cuerpo enfocado con una fuente de referencia controlada.

2.8.3 Pirómetro Fotoeléctricos

Pueden ser denominados cuánticos, puesto que consisten en materiales semiconductores cristalinos, como indio antimonio (InSb), silicio (Si), etc. Estos materiales responden a los fotones de la radiación del cuerpo que es enfocado, liberando cargas eléctricas a través de mecanismos de fotoelectricidad, fotoconducción o fotovoltaico. (Creus, 2010)

Este tipo de pirómetros trabajan con una longitud de onda térmica de $\lambda=0.65\text{mm}$, poseen una alta precisión que va de 0.01K a 1000 o 3000 K. Tienen un campo de trabajo de 15°C a 3000°C, es posible enfocar desde 1m hasta el infinito.

2.9 Resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas son el mecanismo de generación de calor de los hornos eléctricos, estas reducen el desperdicio de calor en los gases de evacuación como ocurre en los hornos que utilizan quemadores de GLP, además se las coloca dentro de la cámara y no requieren una fuente de aire externa para funcionar, así se mantiene una cámara cerrada donde la temperatura será uniforme.

Las resistencias tienen que ser de un material sólido, que soporte la temperatura que se desea obtener en el horno y también la temperatura interna de generación por parte de los filamentos que se encuentran dentro de ella. Además, tienen que resistir ciclos de calentamiento y enfriamiento constantes debido a los controles de temperatura, sin descuidar la resistencia a la oxidación y reducción de superficie. Es así como se tienen ciertos materiales especiales:

- Disiliciuro de Molibdeno (MoSi_2): Trabaja hasta 1850°C, los elementos tienen una forma fija, normalmente en lazo, su instalación en el horno es poco flexible. (Astigarra, 1994)
- Carburo de Silicio (SiC): Trabaja hasta 1600°C, los elementos tienen forma de barras gruesas y su resistencia depende de la temperatura, requiere conexiones eléctricas especiales. (Astigarra, 1994)

- Aleaciones Ferríticas, basadas en Aluminio-Hierro-Cromo (Al-Fe-Cr), trabajan hasta 1425°C, muy resistentes a atmosferas oxidantes, menos a reductoras. (Astigarra, 1994)
- Aleaciones Austeníticas, basadas en Níquel-Cromo (Ni-Cr) y Níquel-Cromo-Hierro (Ni-Cr-Fe), trabajan hasta 1250°C, presentan poca resistencia a la presencia de azufre, soportan bien las atmósferas oxidantes, presentan una muy buena flexibilidad. (Astigarra, 1994)

3 CAPÍTULO III- DISEÑO DEL HORNO DE CURADO

3.1 Dimensionamiento del Horno

En función de las necesidades del Laboratorio de Ciencia de Materiales, el prototipo de horno para el proceso de curado de materiales compuestos tiene una cámara interna (Figura 13) con las siguientes dimensiones: Largo x Ancho x Profundidad (0.81 x 0.60 x 0.51 m), con un volumen de cámara útil de 0.14 m³; para definir la forma se consideró: la factibilidad de construcción del horno, las dimensiones y características de las piezas que serán sometidas al proceso de curado.

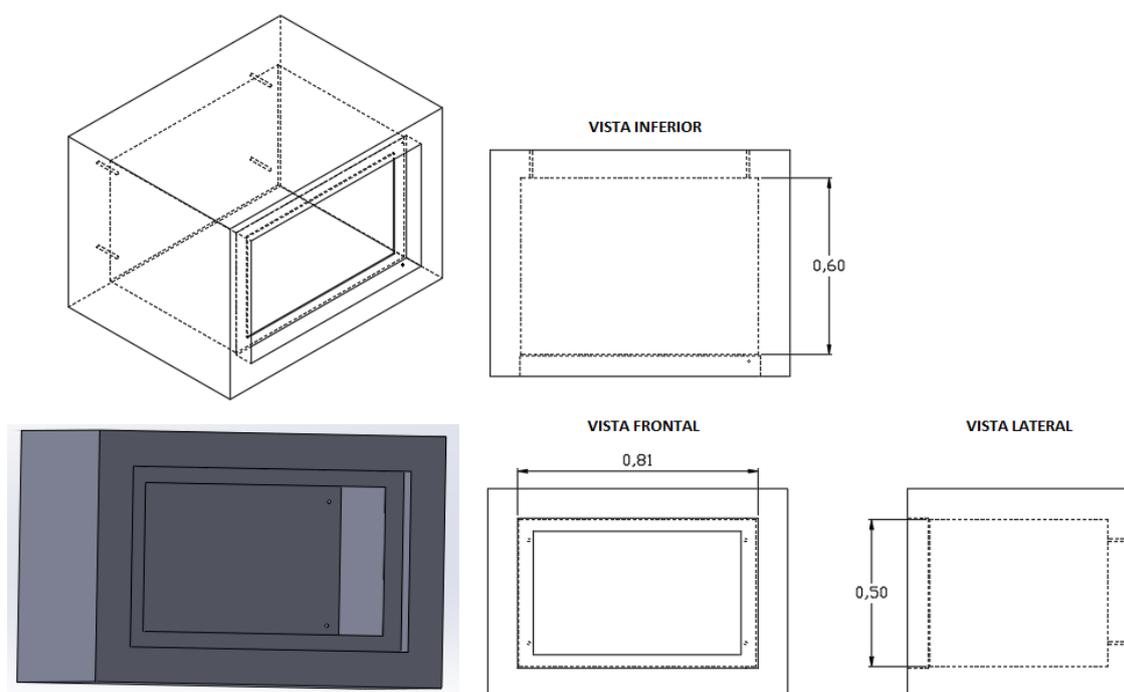


Figura 13. Dimensiones de la Cámara Interna.

La cámara interna útil, no considera el espacio de las resistencias eléctricas en las paredes laterales (derecha e izquierda), también del agitador en la pared posterior, puesto que esto afectaría al tamaño de la cámara reduciendo notablemente el espacio útil. Como se puede observar en la Figura 14.

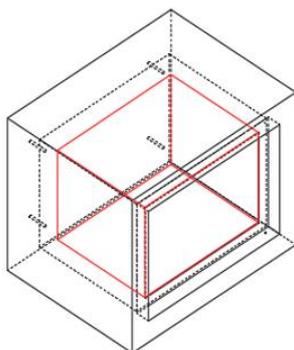


Figura 14. Cámara interna

Con las dimensiones actuales de la cámara, se tiene un volumen de cámara útil que corresponde a 0.14 m^3 . Como se puede observar en la Figura 15.

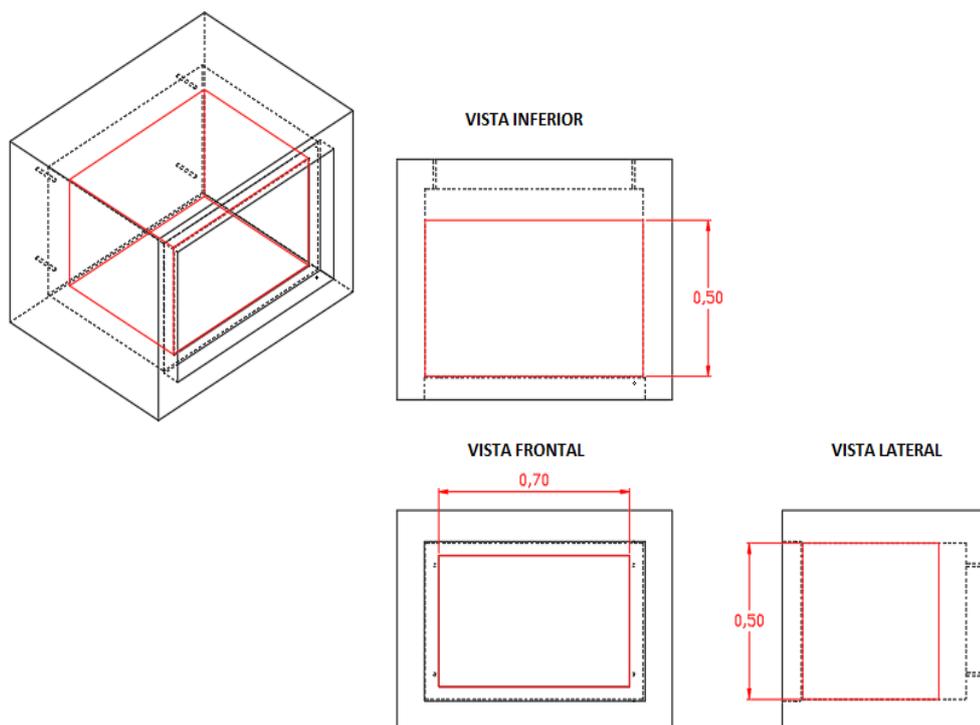


Figura 15. Dimensionamiento de la Cámara útil.

3.2 Diseño del equipo

Una vez que se obtiene una solución al problema del dimensionamiento es necesario proceder al análisis de los parámetros necesarios con los que debe contar el diseño propuesto en todo momento buscando la opción más viable en costos, fabricación, duración, serviciabilidad, etc.

Antes de comenzar con la selección de los materiales hay que definir la función del horno, las variables que se tienen o características:

Función del horno prototipo:

Un horno eléctrico (Figura 16) es un equipo encargado de generar calor con la ayuda de las resistencias eléctricas que se encuentran en su interior, esto para calentar piezas de materiales compuestos que se encuentran en su cámara, los mismos que están cubiertos con resinas que necesitan calentarse para fusionarse con el material y así tener un proceso de curado de materiales compuestos.

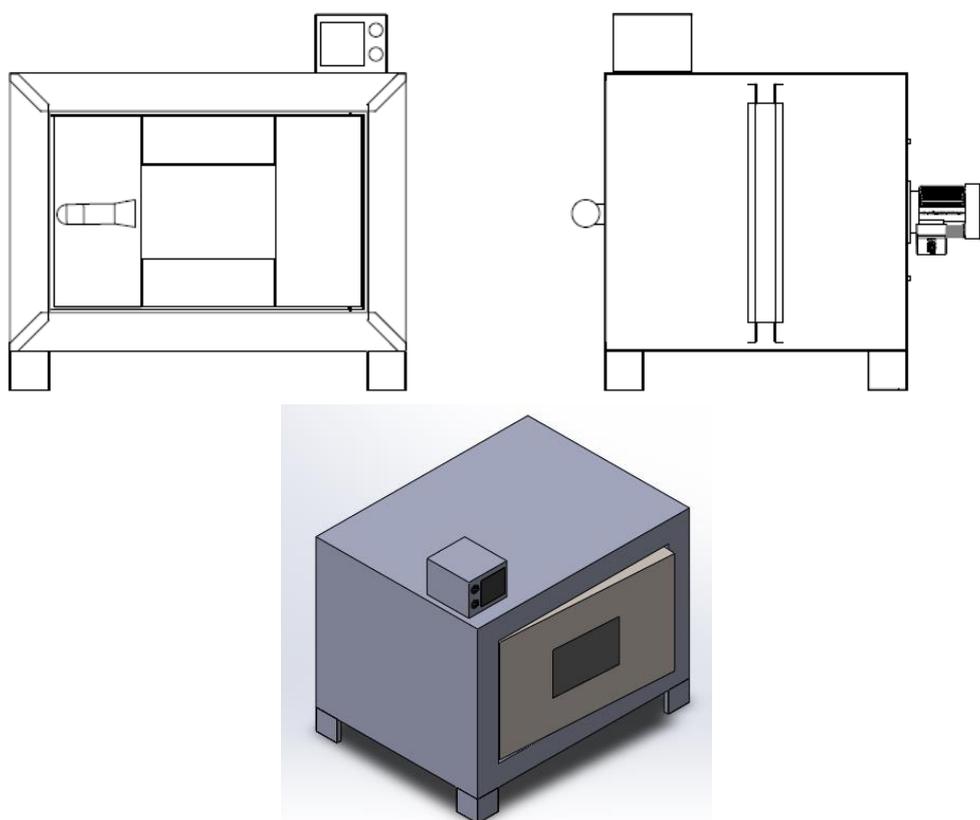


Figura 16. Horno Prototipo

3.3 Diseño Térmico y Transferencia de Calor

3.3.1 Análisis Energético del Horno

El análisis energético del prototipo de horno se realiza a partir de la representación del comportamiento energético del mismo (Figura 17).

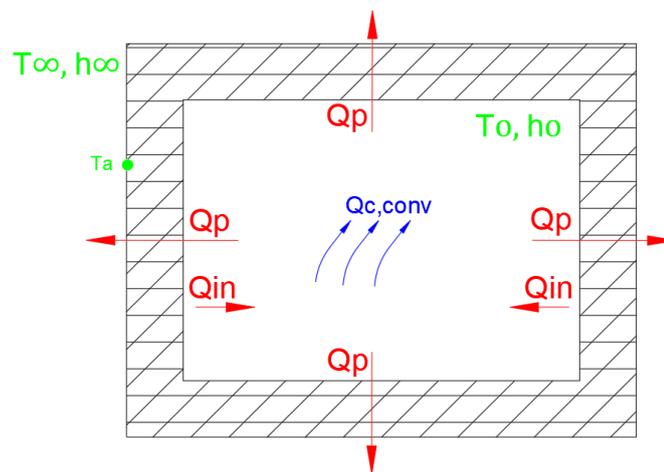


Figura 17. Análisis Energético

Donde se puede considerar, la conservación de la energía en un volumen de control:

$$\text{Energía entrada} + \text{Energía generada} - \text{Energía salida} = \text{Energía almacenada}$$

Donde:

$$\text{Energía entrada} - \text{Energía salida} = \text{Energía almacenada}$$

La cantidad de calor que se necesita que transmitan las resistencias se encuentra determinada por la cantidad de calor que se transmite a la cámara y las pérdidas por el flujo de calor al revestimiento:

Donde:

$$Q_{resistencia} = P_c + Q_{pérdidas}$$

P_c = Calor cedido a la cámara

$Q_{pérdidas}$

= Calor perdido (flujo térmico revestimiento)

3.3.2 Determinación del Calor específico del material compuesto

Para los cálculos se trabaja con uno de los materiales compuestos que se estarán curando al interior del horno. Como se muestra en la Figura 18 el material está formado por:

- Matriz: Malla de cobre
- Fibras: Fibra de vidrio

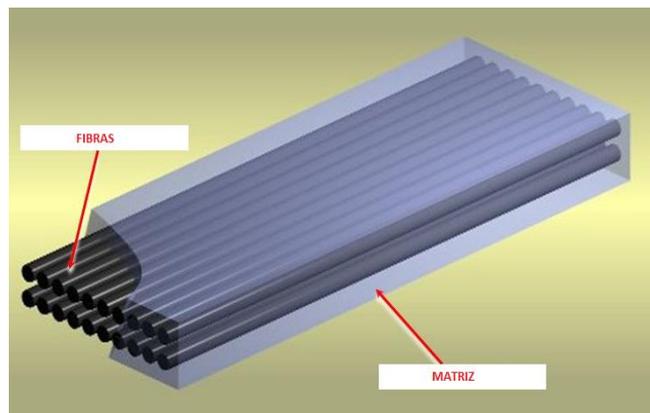


Figura 18. Ejemplo de formación de material compuesto

Para determinar el calor específico del material, se aplica la Ley de las mezclas:

$$Cp_{material} = Cp_{matriz} * X_{matriz} + Cp_{fibras} * X_{fibras}$$

Donde X, corresponde a la fracción volumétrica de cada componente.

$$Cp_{matriz} = 380 \frac{J}{kg * K}, \text{ Malla de cobre} \quad (\text{Pitts \& Leighton, 1979})$$

$$Cp_{fibras} = 795 \frac{J}{kg * K}, \text{ Fibra de vidrio} \quad (\text{Lienhard IV \& Lienhard V, 2001})$$

La composición en la mezcla para cada material:

$$\text{Malla de cobre:} \quad \%_{matriz} = 40\%$$

$$\text{Fibra de vidrio:} \quad \%_{fibras} = 60\%$$

Con estos valores se calcula la fracción volumétrica:

Fracción volumétrica matriz (malla de cobre):

$$X_{matriz} = \frac{\%matriz}{\%matriz + \%fibras} = \frac{40}{40 + 60} = 0.4$$

Fracción volumétrica fibras (fibra de vidrio):

$$X_{fibras} = \frac{\%fibras}{\%matriz + \%fibras} = \frac{60}{40 + 60} = 0.6$$

Calor específico del material compuesto, aplicando la ley de las mezclas:

$$Cp_{material} = Cp_{matriz} * X_{matriz} + Cp_{fibras} * X_{fibras}$$

$$Cp_{material} = \left(380 \frac{J}{kg * K}\right) * 0.4 + \left(795 \frac{J}{kg * K}\right) * 0.6$$

$$Cp_{material} = 629 \frac{J}{kg * K}$$

3.3.3 Determinación del Calor Cedido al Horno

El prototipo de horno se diseña para el proceso de curado de materiales compuestos con una temperatura máxima de 400°C, por lo tanto, los cálculos se realizan para los valores máximos propuestos.

Las dimensiones de la cámara del horno se muestran en la Figura 19.

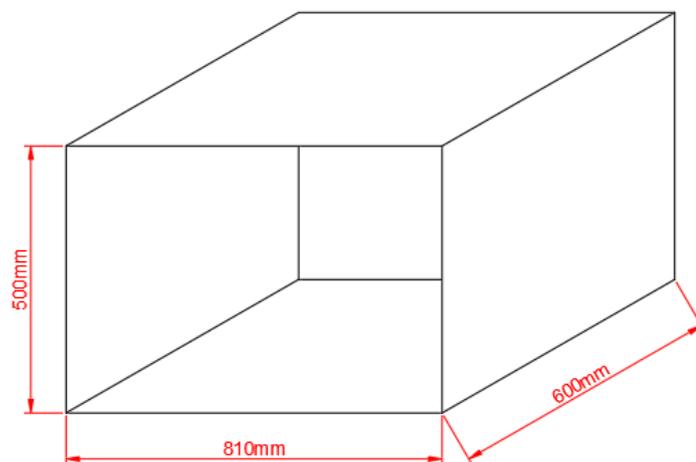


Figura 19. Dimensiones de la cámara del horno

Dimensiones de la cámara interna:

$$Largo = 810 \text{ mm} = 81 \text{ cm} = 0.81 \text{ m}$$

$$Ancho = 600 \text{ mm} = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}$$

$$Fondo = 500 \text{ mm} = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

$$Espesor = 3 \text{ mm}$$

3.3.3.1 Energía cedida para calentar la pieza

Se procede a realizar el cálculo de calor que necesita la pieza para ser calentada un determinado ΔT , considerando el C_p del material antes determinado.

Donde:

P_{pieza} : Calor cedido a la pieza [Kcal]

$$P_{pieza} = m_{pieza} * C_{p_{material}} * \Delta T_{pieza} \quad m_{pieza}: \text{Masa de la pieza [kg]}$$

$C_{p_{material}}$: Calor específico material compuesto $\left[\frac{J}{kg * K} \right]$

ΔT_{pieza} : Variación de temperatura pieza [$^{\circ}C$]

La variación de temperatura, se determina:

La pieza pasa de estar a una temperatura ambiente $T_1 = 18^{\circ}C$, a una temperatura de $T_2 = 400^{\circ}C$.

$$\Delta T_{pieza} = T_2 - T_1 = 400^{\circ}C - 18^{\circ}C = 382^{\circ}C = 382 \text{ K}$$

Donde el calor cedido para calentar una pieza con una masa teórica de $m_{pieza} = 20 \text{ kg}$:

$$P_{pieza} = m_{pieza} * C_{p_{material}} * \Delta T_{pieza}$$

$$P_{pieza} = 20 \text{ kg} * 629 \frac{J}{\text{kg} * K} * 382 \text{ K}$$

$$P_{pieza} = 4806000 [J]$$

$$P_{pieza} = 1.148 * 10^3 [Kcal]$$

3.3.3.2 Energía cedida para calentar la bandeja

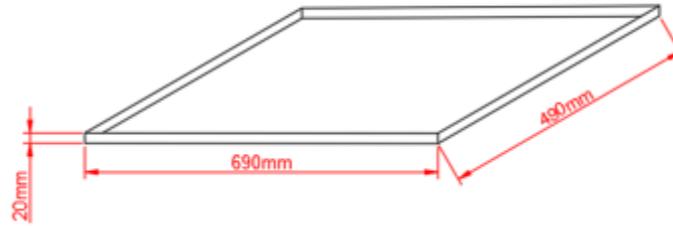


Figura 20. Bandeja

Las dimensiones de la bandeja (Figura 20) son:

$$Largo = 690 \text{ mm} = 69 \text{ cm} = 0.69 \text{ m}$$

$$Ancho = 490 \text{ mm} = 49 \text{ cm} = 0.49 \text{ m}$$

$$Alto \text{ bordes} = 2 \text{ cm}$$

$$Espesor = 1.2 \text{ mm}$$

Para determinar la masa de la bandeja se utilizará el volumen y la densidad del acero inoxidable.

$$Volumen \text{ bandeja} = Volumen \text{ base} + Volumen \text{ bordes}$$

Volumen de la base:

$$V_{base} = Largo * Ancho * Espesor = 0.69\text{m} * 0.49\text{m} * 0.0012\text{m}$$

$$V_{base} = 4.057 * 10^{-4} [\text{m}^3]$$

Volumen de los bordes:

$$V_{bordes} = 2 * (Largo + Ancho) * Alto \text{ bordes} * Espesor$$

$$V_{bordes} = 2 * (0.69\text{m} + 0.49\text{m}) * 0.02\text{m} * 0.0012\text{m}$$

$$V_{bordes} = 5.664 * 10^{-5} [\text{m}^3]$$

Volumen de la bandeja:

$$V_{bandeja} = V_{base} + V_{bordes}$$

$$V_{bandeja} = 4.624 * 10^{-4} [\text{m}^3]$$

Densidad del acero inoxidable:

$$\rho_{inox} = 7805 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

(ASM Aerospace Specification Metals, 2019)

Calor específico del acero inoxidable:

$$\rho_{inox} = 500 \frac{J}{kg \cdot K} \quad (\text{ASM Aerospace Specification Metals, 2019})$$

Masa de la bandeja:

$$\begin{aligned} m_{bandeja} &= \rho_{inox} * V_{bandeja} \\ m_{bandeja} &= 7805 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 4.624 * 10^{-4} [m^3] \\ \mathbf{m_{bandeja} &= 3.609 [kg]} \end{aligned}$$

Variación de temperatura de la bandeja:

$$\Delta T_{bandeja} = T_2 - T_1 = 382^\circ C = 382K$$

Calor cedido para que la bandeja se caliente:

$$\begin{aligned} P_{bandeja} &= m_{bandeja} * C_{p_{inox}} * \Delta T_{bandeja} \\ P_{bandeja} &= 3.609kg * 500 \frac{J}{kg * K} * 382K \\ P_{bandeja} &= 689300 [J] \\ \mathbf{P_{bandeja} &= 164.628 [Kcal]} \end{aligned}$$

3.3.3.3 *Energía cedida a las planchas de la cámara interior*

Para determinar la masa de la plancha se utiliza el volumen y la densidad del acero inoxidable:

Dimensiones de las paredes más cercanas a las resistencias:

$$Largo = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}$$

$$Ancho = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}$$

$$Espesor = 3 \text{ mm}$$

Volumen de la pared:

$$V_{plancha} = L_{plancha} * A_{plancha} * e_{plancha}$$

$$V_{plancha} = 0.6 \text{ m} * 0.6 \text{ m} * 0.003 \text{ m} = \mathbf{1.08 * 10^{-3} [m^3]}$$

Masa de la pared:

$$m_{plancha} = \rho_{inox} * V_{plancha}$$

$$m_{plancha} = 7805 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 1.08 * 10^{-3} [m^3]$$

$$\mathbf{m_{plancha} = 8.429 [kg]}$$

Calor cedido para que la plancha que sostiene a la resistencia se caliente:

$$P1_{plancha} = m_{plancha} * Cp_{inox} * \Delta T_{plancha}$$

$$P1_{plancha} = 8.429 \text{ kg} * 500 \frac{J}{kg * K} * 382K$$

$$\mathbf{P1_{plancha} = 1610000 [J]}$$

Se tienen que considerar dos veces el valor de las paredes puesto que son 2 resistencias, una en cada pared lateral:

$$P_{plancha} = 2 * P1_{plancha}$$

$$P_{plancha} = 2 * 1610000 [J]$$

$$P_{plancha} = 3220000 [J]$$

$$\mathbf{P_{plancha} = 769.091 [Kcal]}$$

3.3.3.4 Energía cedida al calentar el aire que puede entrar en la cámara

Flujo de calor perdido al calentar el aire que entra a la cámara del horno:

Donde:

$$P_{aire} = 60 * 10^3 * B * H * \sqrt{H} * \Delta f \left[\frac{Kcal}{h} \right]$$

$B = \text{Ancho puerta}$

$H = \text{Altura puerta}$

$\Delta f = \text{Tiempo de entrada de aire}$

(Collahuazo & Morocho, 2009)

Las dimensiones de la puerta son:

$$\text{Ancho: } B = 77 \text{ cm} = 0.77 \text{ m}$$

$$\text{Altura: } H = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

Se estima que en el proceso de carga y descarga, la puerta permanece abierta por un lapso de 3 minutos, por lo tanto, $\Delta f = 3 \text{ min} = 0.05 \text{ h}$

Calor perdido por la entrada de aire a la cámara

$$P_{\text{aire}} = 60 * 10^3 * B * H * \sqrt{H} * \Delta f$$

$$P_{\text{aire}} = 60 * 10^3 * 0.5\text{m} * 0.77\text{m} * \sqrt{0.5\text{m}} * 0.05\text{h}$$

$$P_{\text{aire}} = 816.708 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

3.3.3.5 *Energía cedida por irradiación a través de la abertura de la puerta*

El calor perdido por irradiación a través de la abertura de la puerta cuando el horno se carga y descarga:

Donde:

$$P_{\text{irradia}} = 4.9 * \left(\frac{Ti}{100} \right)^4 * A * \theta * \Delta f \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

Ti = Temperatura interior del horno

A = Área de la puerta abierta

(Collahuazo & Morocho, 2009)

θ = Coeficiente de diafragma (para ventanas = 0.09)

Δf = Tiempo de entrada de aire

El área de abertura de la puerta se determina:

$$A = B * H [m^2]$$

$$A = 0.77 \text{ m} * 0.5 \text{ m} = 0.385 \text{ m}^2$$

La temperatura interna del horno será de 400°C.

El coeficiente de diafragma para ventanas es 0.09

$$P_{irradia} = 4.9 * \left(\frac{400}{100}\right)^4 * 0.385 \text{ m}^2 * 0.09 * 0.05 \text{ h}$$

$$P_{irradia} = 17.431 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$$

3.3.4 Calor total cedido para el calentamiento de la cámara

En el proceso de curado de materiales compuestos, se trabaja con escalones de temperatura por determinados tiempos que oscilan entre una hora, para este proceso se estima que se tendrá un flujo de calor de 400°C durante 1 hora.

$$t_{400} = 1 \text{ [h]}$$

Flujo de calor cedido para el calentamiento de la pieza, bandeja, plancha, aire que entra a la cámara y de la irradiación:

$$Pc = Pf_{pieza} + Pf_{bandeja} + Pf_{plancha} + P_{aire} + P_{irradia}$$

Para calcular los flujos es necesario dividir el valor de la energía cedida para el tiempo de 1 hora.

$$Pf_{pieza} = \frac{P_{pieza}}{t_{400}} = 1.148 * 10^3 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$$

$$Pf_{bandeja} = \frac{P_{bandeja}}{t_{400}} = 164.628 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$$

$$Pf_{plancha} = \frac{P_{plancha}}{t_{400}} = 769.091 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$$

$$P_{aire} = 816.708 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$$

$$P_{irradia} = 17.431 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$$

Por lo tanto, el flujo de calor cedido es:

$$Pc = 1.148 * 10^3 + 164.628 + 769.091 + 816.708 + 17.431$$

$$P_c = 2.916 * 10^3 \left[\frac{Kcal}{h} \right]$$

3.3.5 Calor perdido por flujo térmico en el revestimiento

El revestimiento, consiste en una pared tipo sándwich (Figura 21) formada por acero inoxidable – lana de vidrio – acero inoxidable:

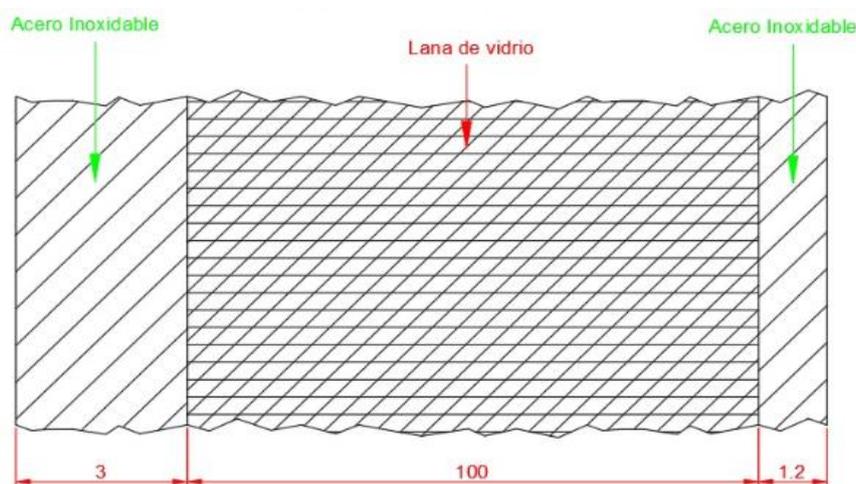


Figura 21. Revestimiento de las paredes

3.3.5.1 Calor para el calentamiento de las paredes

Coefficientes de conductividad térmica:

Acero Inoxidable: $k_{inox} = 26.1 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ (ASM Aerospace Specification Metals, 2019)

Lana de vidrio: $k_{lvidrio} = 0.05 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ (Pitts & Leighton, 1979)

Determinación de los coeficientes de transferencia de calor por convección:

Al tratarse de un lugar cerrado se plantea una velocidad del viento de 0.5m/s y la velocidad del viento en la cámara interna de 1m/s (Vlassof, p.167).

$$V_1 = 1 \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad del viento en la cámara}$$

$$V_2 = 0.5 \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad del viento en un lugar cerrado}$$

Presión atmosférica: 1026 hPa (Worldmeteo, 2019)

Con ayuda de las propiedades del aire, de la Tabla A-15 (Figura 22)

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
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	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
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

Figura 22. Propiedades del aire

Fuente: (Cengel, 2007, pág. 891)

Propiedades para el aire interior a 400°C, tomadas de la Tabla:

Densidad:

$$\rho_1 = 0.5243 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Conductividad térmica:

$$k_1 = 0.05015 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Viscosidad cinemática:

$$\nu_1 = 6.219 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Número de Prandtl:

$$Pr_1 = 0.6948$$

Número de Reynolds:

Se considera como Longitud característica (L_c) al largo de la cámara (0.8 m)

$$Lc = 0.8 \text{ m}$$

El cálculo del número de Reynolds se hace en base al tipo de flujo (Figura 23):

$$\begin{array}{ll} \text{Laminar:} & Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0.332 Re_x^{0.5} Pr^{1/3} \quad Pr > 0.6, Re_x < 5 \times 10^5 \\ \text{Turbulento:} & Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0.0296 Re_x^{0.8} Pr^{1/3} \quad \begin{array}{l} 0.6 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq Re_x \leq 10^7 \end{array} \end{array}$$

Figura 23. Número de Reynolds

Fuente: (Incropera & DeWitt, 1999)

Cálculo del número de Reynolds:

$$Rey1 = \frac{V1 * Lc}{\nu1} = \frac{1 \frac{m}{s} * 0.8 \text{ m}}{6.219 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 1.286 * 10^4$$

Por lo tanto, se trata de un flujo laminar.

Número de Nusselt:

Se determina el Número de Nusselt en base al tipo de flujo:

$$Nu1 = \frac{h1 * Lc}{k1} = 0.332 * Rey1^{0.5} * Pr1^{1/3}$$

Donde el coeficiente de convección es:

$$h1 = \frac{k1 * 0.332 * Rey1^{0.5} * Pr1^{\frac{1}{3}}}{Lc}$$

$$h1 = 2.091 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Propiedades del aire exterior a 18°C:

Para determinar estas propiedades es necesario interpolar puesto que no se tiene el valor exacto:

Densidad:

Temperatura [°C]	Densidad (kg/m ³)
15	1.225
18	X
20	1.204

$$\frac{18 - 15}{20 - 15} = \frac{X - 1.225}{1.204 - 1.225}$$

Al resolver dicha ecuación de interpolación lineal se tiene el valor de la densidad:

$$\rho_2 = 1.2124 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Conductividad térmica:

$$k_2 = 0.024988 \frac{W}{m * K}$$

Viscosidad cinemática:

$$\nu_1 = 1.498 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Número de Prandtl:

$$Pr_1 = 0.73146$$

Número de Reynolds:

Se considera como Longitud característica (L_c) al largo de la cámara (0.8 m)

$$L_c = 0.8 \text{ m}$$

Cálculo del número de Reynolds:

$$Rey_2 = \frac{V_2 * L_c}{\nu_2} = \frac{0.5 \frac{m}{s} * 0.8 \text{ m}}{1.498 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 2.671 * 10^4$$

Por lo tanto, se trata de un **flujo laminar**.

Número de Nusselt:

Se determina el Número de Nusselt en base al tipo de flujo:

$$Nu_2 = \frac{h_2 * L_c}{k_2} = 0.332 * Re_2^{0.5} * Pr_2^{1/3}$$

Donde el coeficiente de convección es:

$$h_2 = \frac{k_2 * 0.332 * Re_2^{0.5} * Pr_2^{1/3}}{L_c}$$

$$h_2 = 1.527 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

- **Pared lateral izquierda – derecha:**

La figura 24 muestra la distribución de temperaturas en las paredes del horno.

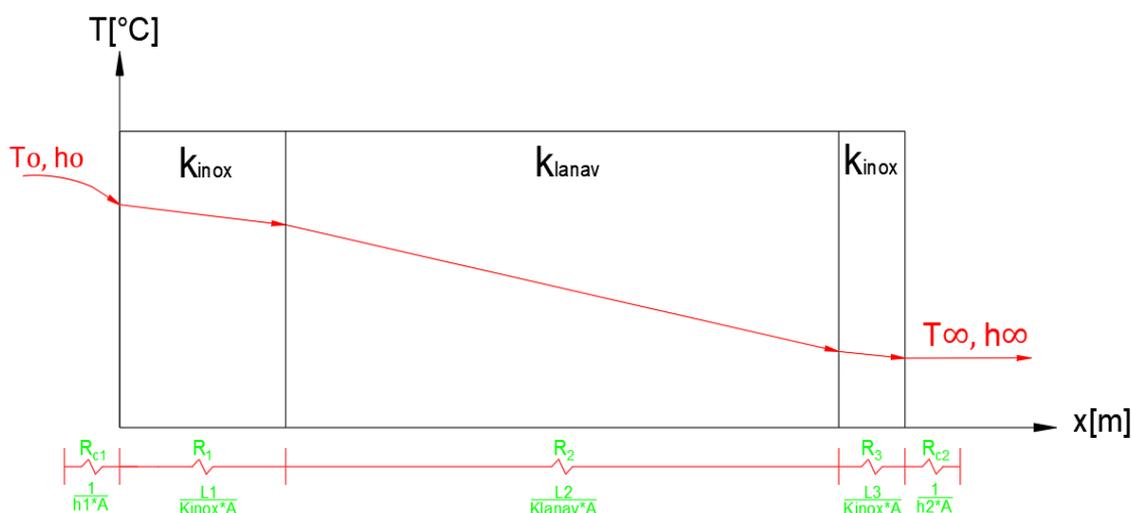


Figura 24. Representación del flujo del calor en paredes compuestas

Las paredes tienen los siguientes espesores:

Acero Inoxidable (interior) $L_1 = 3mm = 0.003 m$

Lana de vidrio $L_2 = 10cm = 0.1 m$

Acero Inoxidable (exterior) $L_3 = 1.2mm = 0.0012 m$

Área de transferencia de calor de las paredes laterales:

Largo: $L_{lateral} = 0.6 m$

Ancho: $A_{lateral} = 0.5 \text{ m}$

$$\text{Área}_{lateral} = L_{lateral} * A_{lateral}$$

$$\text{Área}_{lateral} = 0.3 \text{ m}^2$$

Determinación de las resistencias térmicas:

Aire interno (Dentro de la cámara):

$$R_{c1} = \frac{1}{h1 * \text{Área}_{lateral}} = 1.594 \frac{K}{W}$$

Aire externo (Fuera de la cámara):

$$R_{c2} = \frac{1}{h2 * \text{Área}_{lateral}} = 2.183 \frac{K}{W}$$

Pared de acero inoxidable (Interior):

$$R_1 = \frac{L_1}{k_{inox} * \text{Área}_{lateral}} = 3.831 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Pared de lana de vidrio:

$$R_2 = \frac{L_2}{k_{lvidrio} * \text{Área}_{lateral}} = 6.667 \frac{K}{W}$$

Pared de acero inoxidable (Exterior):

$$R_3 = \frac{L_3}{k_{inox} * \text{Área}_{lateral}} = 1.533 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Resistencia Equivalente:

$$\mathbf{Req}_{lateral} = R_{c1} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{c2}$$

$$\mathbf{Req}_{lateral} = 10.444 \frac{K}{W}$$

Calor para el calentamiento de las paredes laterales:

$$Q_{lateral_{derecha}} = \frac{\Delta T}{Req_{lateral}} = \frac{400K - 18K}{10.444 \frac{K}{W}}$$

Calor para el calentamiento pared derecha:

$$Q_{lateral\ derecha} = 36.574 \text{ W}$$

Calor para el calentamiento pared izquierda:

$$Q_{lateral\ izquierda} = 36.574 \text{ W}$$

- **Pared de fondo:**

Área de transferencia de calor de la pared posterior:

Largo: $L_{fondo} = 0.8 \text{ m}$

Ancho: $A_{fondo} = 0.5 \text{ m}$

$$\hat{A}rea_{fondo} = 0.4 \text{ m}^2$$

Determinación de las resistencias térmicas:

Aire interno (Dentro de la cámara):

$$R_{c1f} = \frac{1}{h1 * \hat{A}rea_{fondo}} = 1.196 \frac{K}{W}$$

Aire externo (Fuera de la cámara):

$$R_{c2f} = \frac{1}{h2 * \hat{A}rea_{fondo}} = 1.637 \frac{K}{W}$$

Pared de acero inoxidable (Interior):

$$R_{1f} = \frac{L_1}{k_{inox} * \hat{A}rea_{fondo}} = 2.874 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Pared de lana de vidrio:

$$R_{2f} = \frac{L_2}{k_{lvidrio} * \hat{A}rea_{fondo}} = 5 \frac{K}{W}$$

Pared de acero inoxidable (Exterior):

$$R_{3f} = \frac{L_3}{k_{inox} * \hat{A}rea_{fondo}} = 1.149 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Resistencia Equivalente:

$$Req_{fondo} = R_{c1f} + R_{1f} + R_{2f} + R_{3f} + R_{c2f}$$

$$Req_{fondo} = 7.833 \frac{K}{W}$$

Calor para el calentamiento de la pared de fondo:

$$Q_{fondo} = \frac{\Delta T}{Req_{fondo}} = \frac{400K - 18K}{7.833 \frac{K}{W}}$$

Calor para el calentamiento pared de fondo:

$$Q_{fondo} = 48.766 W$$

- **Para el Techo:**

Área de transferencia de calor de la pared posterior:

Largo: $L_{techo} = 0.8 m$

Ancho: $A_{techo} = 0.6 m$

$$\text{Área}_{techo} = 0.48 m^2$$

Determinación de las resistencias térmicas:

Aire interno (Dentro de la cámara):

$$R_{c1t} = \frac{1}{h1 * \text{Área}_{techo}} = 0.996 \frac{K}{W}$$

Aire externo (Fuera de la cámara):

$$R_{c2t} = \frac{1}{h2 * \text{Área}_{techo}} = 1.364 \frac{K}{W}$$

Pared de acero inoxidable (Interior):

$$R_{1t} = \frac{L_1}{k_{inox} * \text{Área}_{techo}} = 2.395 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Pared de lana de vidrio:

$$R_{2t} = \frac{L_2}{k_{\text{vidrio}} * \text{Área}_{\text{techo}}} = 4.167 \frac{K}{W}$$

Pared de acero inoxidable (Exterior):

$$R_{3t} = \frac{L_3}{k_{\text{inox}} * \text{Área}_{\text{techo}}} = 9.579 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Resistencia Equivalente:

$$Req_{\text{fondo}} = R_{c1t} + R_{1t} + R_{2t} + R_{3t} + R_{c2t}$$

$$Req_{\text{techo}} = 6.528 \frac{K}{W}$$

Calor para el calentamiento del techo:

$$Q_{\text{techo}} = \frac{\Delta T}{Req_{\text{techo}}} = \frac{400K - 18K}{6.528 \frac{K}{W}}$$

Calor para el calentamiento del techo:

$$Q_{\text{techo}} = 58.519W$$

- **Para el suelo:**

La parte baja denominada suelo tiene las mismas pérdidas que el techo por lo tanto se asume el mismo valor:

$$Q_{\text{suelo}} = 58.519W$$

3.3.6 Calor total perdido debido al flujo térmico del revestimiento de la cámara

Corresponde a la suma del calor perdido por las partes del revestimiento:

$$Q_{\text{perdidas}} = Q_{\text{lateral}}_{\text{izquierda}} + Q_{\text{lateral}}_{\text{derecha}} + Q_{\text{fondo}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{suelo}}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = 238.952W$$

3.3.7 Calor requerido por las resistencias

El calor requerido por las resistencias consiste en la suma del calor cedido a la cámara y el calor perdido por flujo térmico del revestimiento de la cámara:

$P_c =$ Calor cedido a la cámara

$$Q_{resistencias} = P_c + Q_{perdidas}$$

$Q_{perdidas} =$ Calor perdido (flujo térmico revestimiento)

$$Q_{resistencias} = P_c + Q_{perdidas}$$

$$Q_{resistencias} = 3.121 * 10^3 \left[\frac{Kcal}{h} \right]$$

Por lo tanto la potencia que deben tener las resistencias debe ser:

$$Q_{resistencias} = 3.63 * 10^3 [W]$$

El calor necesario que deben producir las resistencias es de 3.63 [kW], que corresponde a 4 [kW].

3.3.8 Determinación del Aislante Térmico

Edificio	Pared	Flujo	Condicion	COEFICIENTE DE CONVECCION	OBSERVACIONES
Interior	Vertical	Laminar	$H^3 \Delta T \leq 10 \text{ m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$h = 1,32 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{H}}$	H altura de la pared (metros) y ΔT valor absoluto de la diferencia de temperaturas en grados centigrados
Interior	Vertical	Turbulento	$H^3 \Delta T > 10 \text{ m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$h = 1,74 \sqrt[3]{\Delta T}$	H altura de la pared (metros) y ΔT valor absoluto de la diferencia de temperaturas en grados centigrados
Interior	Horizontal	Laminar	$H^3 \Delta T \leq 10 \text{ m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$h = 1,32 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{H}}$	H ancho de la pared (metros) y ΔT valor absoluto de la diferencia de temperaturas en grados centigrados pared caliente hacia arriba
Interior	Horizontal	Turbulento	$H^3 \Delta T > 10 \text{ m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$h = 1,52 \sqrt[3]{\Delta T}$	H ancho de la pared (metros) y ΔT valor absoluto de la diferencia de temperaturas en grados centigrados pared caliente hacia arriba
Interior	Horizontal	Laminar	$H^3 \Delta T \leq 10 \text{ m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$h = 0,59 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{H}}$	H ancho de la pared (metros) y ΔT valor absoluto de la diferencia de temperaturas en grados centigrados pared caliente hacia abajo
Exterior	Vertical-Horizontal	Laminar	$v^*H \leq 8 \text{ m}^2/\text{s}$	$h = 3,96 \sqrt[4]{\frac{v}{H}}$	v velocidad del viento (metros/segundo) y H es la altura o el ancho de la pared según sea el caso (metros)
Exterior	Vertical-Horizontal	Turbulento	$v^*H > 8 \text{ m}^2/\text{s}$	$h = 5,76 \sqrt[5]{\frac{v^4}{H}}$	v velocidad del viento (metros/segundo) y H es la altura o el ancho de la pared según sea el caso (metros)

Figura 25. Coeficientes de Convección
Fuente: (Aula Digital, 2019)

El material seleccionado como aislante térmico es: Lana de vidrio, dada a todos los beneficios que nos aporta dicho material.

A continuación, se presenta el cálculo matemático para la determinación del espesor óptimo del aislante.

Datos:

Temperaturas tanto del interior del horno como la temperatura ambiente:

$$T_{in} = 350^{\circ}C$$

$$T_{\alpha} = 23^{\circ}C$$

Coefficientes de conducción del acero y de la lana de vidrio

$$k_1 = 16.3 \left(\frac{W}{mK} \right)$$

$$k_2 = 0.04 \left(\frac{W}{mK} \right)$$

$$k_3 = k_1$$

Espesores de las paredes y del aislante (Lana de vidrio)

$$\text{Pared interna: } x_1 = 3mm$$

$$\text{Aislante térmico: } x_2 = 100mm$$

$$\text{Pared externa: } x_3 = 3mm$$

Área de contacto en la que se encontrará el aislante.

$$A = 0.25m^2$$

Coefficientes de transferencia de calor interno y por el ambiente (Figura 25).

$$h_{ext} = 25 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

$$h_{int} = 300 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Ecuación para determinar el calor acumulado en las paredes del horno

$$q = \frac{T_{in} - T_{\infty}}{\frac{1}{h_{int} * A} + \frac{x_1}{k_1 * A} + \frac{x_2}{k_2 * A} + \frac{x_3}{k_3 * A} + \frac{1}{h_{ext} * A}} = 32.14W$$

$$T_1 = T_{int} - q * \frac{1}{h_{in} * A} = 622.72K$$

$$T_2 = T_1 - q * \frac{x_1}{k_1 * A} = 622.70K$$

$$T_3 = T_2 - q * \frac{x_2}{2 * A} = 301.36K$$

$$T_4 = T_3 - q * \frac{x_3}{k_3 A} = 301.29K$$

$$T_5 = T_4 - q * \frac{1}{h_{ext} * A} = 296.15K$$

El análisis de la distribución de temperaturas se encuentra efectuado desde la parte interna hasta las paredes externas dándonos como espesor óptimo 100mm entre la cámara interna y externa.

3.3.9 Implementación del Agitador de aire

Los cálculos desarrollados con anterioridad indican que la cámara tiene un flujo laminar, para lograr una temperatura más uniforme dentro de la cámara se colocará un agitador de aire, por el desplazamiento del aire en la cámara se tendrá mayor transferencia de calor al tener un flujo turbulento. El tipo de agitador que se usará será una turbina con disco de 4 palas a 90°, este tipo de agitador se mueve a bajas revoluciones de 100 a 300 rpm.

Para el cálculo del tipo de flujo con el agitador se tomará un diámetro equivalente en la cámara del horno.

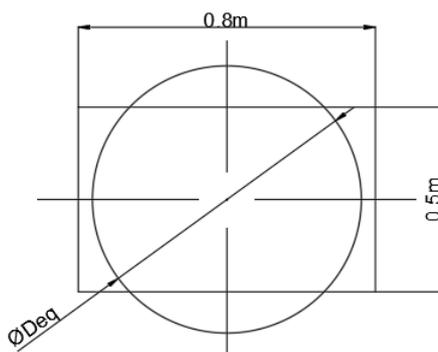


Figura 26. Diámetro equivalente

Para determinar el diámetro equivalente se utiliza, la siguiente relación:

$$Deq = \frac{4 * \text{Área}}{\text{Perímetro}}$$

$$Deq = \frac{4 * (0.8m * 0.5m)}{2 * (0.8m + 0.5m)} = 0.65m$$

$$Deq = D_T = 0.7 m$$

Para el caso del diseño del agitador, se consideran los factores de diseño de los mezcladores de fluidos:

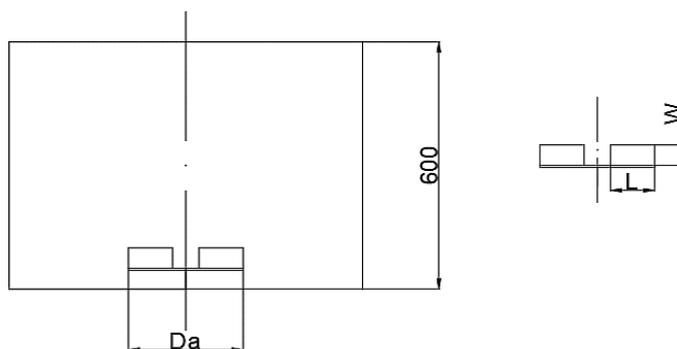


Figura 27. Mezclador de fluidos

Donde:

$D_T = \text{Ø del tanque}$

$Da = \text{Ø del agitador}$

$W = \text{altura agitador}$

$L = \text{largo del aspa agitador}$

$$\frac{Da}{D_T} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$$

A partir de estas relaciones se obtiene las dimensiones tentativas para el agitador, pueden ser sobre dimensionadas.

$$Da = \frac{D_T}{3} = \frac{0.7}{3} = 0.24 \text{ m}$$

$$L = \frac{Da}{4} = \frac{0.24}{4} = 0.06 \text{ m}$$

$$W = \frac{Da}{5} = \frac{0.24}{5} = 0.05 \text{ m}$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_T^2 * N * \rho}{\mu}$$

(Castillo, 2013)

Donde:

Re = Número de Reynolds

D_T = Diámetro de paso de aire [m]

N = velocidad angular [rev/s]

ρ = densidad [kg/m³]

μ = viscosidad dinámica [N*s/m²]

Las propiedades del aire a 400°C:

TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
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

Figura 28. Propiedades del aire a 400 °C

Fuente: (Cengel, 2007)

$$\text{Densidad: } \rho = 0.5243 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Viscosidad dinámica: } \mu = 3.261 * 10^{-5} \left[\frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}} \right]$$

Conforme el tipo de agitador: por tratarse de desplazar el aire que se encuentra al interior de la cámara se lo utilizará a bajas revoluciones. Por lo tanto, puede ser de 100 rpm a 300 rpm. Se calculará con el valor máximo.

$$\text{Revoluciones: } N = 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 5 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{0.7 \text{ m} * 5 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * 0.5243 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3.261 * 10^{-5} \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}}}$$

$$Re = 50\,678$$

Por tratarse de un Número de Reynolds mayor a 10 000, se trata de un flujo TURBULENTO.

$$Re > 10\,000$$

Determinación de la potencia del motor:

$$P = K_T * N^3 * D^5 * \rho$$

(Torres & Vaca, 2010)

Donde:

P = Potencia requerida del motor [W]

D = Diámetro de paso de aire [m]

K_T = Coeficiente para flujo turbulento []

N = velocidad angular [rev/s]

Para una turbina de disco de 4 palas a 90°, se usan los coeficientes K_T , K_L , que dependen de la dimensión y forma del agitador.

El coeficiente de arrastre para flujo turbulento es : $K_T = 5.31$

Tipo de agitador	K_L	K_T
Hélice, paso cuadrado, 3 palas	41	0,32
Hélice, paso 2, 3 palas	43,5	1
Turbina de disco con 4 palas planas	60	5,31
Turbina de disco con 6 palas planas	65	5,75
Turbina con 6 palas curvas	70	4,8
Turbina de ventilador, 6 palas 45 °	70	1,65
Turbina cerrada de 6 palas curvas	97,5	1,08
Turbina cerrada por anillo difusor sin tabiques deflectores	172,5	1,12
Palas planas, 2 hojas, $D_j/W_i = 4$	43	2,25
Palas planas, 2 hojas, $D_j/W_i = 6$	36,5	1,7
Palas planas, 2 hojas, $D_j/W_i = 8$	33	1,15
Palas planas, 4 hojas, $D_j/W_i = 6$	49	2,75
Palas planas, 6 hojas, $D_j/W_i = 6$	71	3,82

Figura 29. Coeficientes de arrastre

Fuente: (Torres & Vaca, 2010)

La potencia es:

$$P = 5.31 * \left(5 \frac{rev}{s}\right)^3 * (0.8m)^5 * 0.5243 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = 114 W$$

$$P = 114 W * \frac{1 Hp}{746 W} = 0.15 Hp$$

Considerando un factor de seguridad de 2, se tiene una potencia del motor de:

$$P = 2 * 0.15Hp = 0.3 Hp$$

En este caso se escoge un motor que tenga una potencia fácil de encontrar en el mercado.

$$P = 0.5 Hp$$

Se procede a calcular el nuevo factor de seguridad:

$$FS = \frac{0.5 Hp}{0.15 Hp} = 3.33$$

Por lo tanto, se selecciona un motor de 0.5 Hp. M Motor Trifásico WEG22 Tru Metric IE2.

HOJA DE DATOS			
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula			
Cliente	:		
Línea del producto	: W22 IE2 Trifásico	Código del producto :	13055548
Carcasa	: 71	Tiempo de rotor bloqueado	: 63s (frío) 35s (caliente)
Potencia	: 0.37 kW (0.5 HP)	Elevación de temperatura	: 80 K
Polos	: 4	Régimen de servicio	: S1
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C
Tensión nominal	: 220/440 V	Altitud	: 1000 m
Corriente nominal	: 1.87/0.935 A	Grado de protección	: IP55
Corriente de arranque	: 8.60/4.30 A	Método de refrigeración	: IC411 - TEFC
Ip/In	: 4.6	Forma constructiva	: B5L(D)
Corriente en vacío	: 1.30/0.650 A	Sentido de giro ¹	: Ambos
Rotación nominal	: 1695 rpm	Nivel de ruido ²	: 47.0 dB(A)

Figura 30. Rotación nominal del motor

Fuente: (WEG, 2019)

El motor tiene una velocidad de rotación nominal de 1695rpm, esta velocidad es muy alta, es necesario reducirla para que esté dentro de los límites de 100 a 300 rpm. Será necesario utilizar un variador de frecuencia para realizar la siguiente reducción:

$$\begin{array}{cc}
 \underline{RPM} & \underline{Frecuencia [Hz]} \\
 1695 & 60 \\
 x & 8
 \end{array}$$

$$N_v = \frac{1695 \text{ rpm} * 8 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}} = 226 \text{ rpm}$$

Con la variación de la frecuencia del motor se obtiene 226 rpm, las que se encuentran dentro del rango permitido para bajas revoluciones del agitador.

Agitador de temperatura:

La fuerza de arrastre, es una fuerza que se opone al movimiento de las paletas del agitador. Al tratarse de un prototipo las dimensiones de las paletas pueden variar, para el agitador tipo turbina de disco, las paletas que se utilizarán serán planas triangulares ubicadas a 90°.

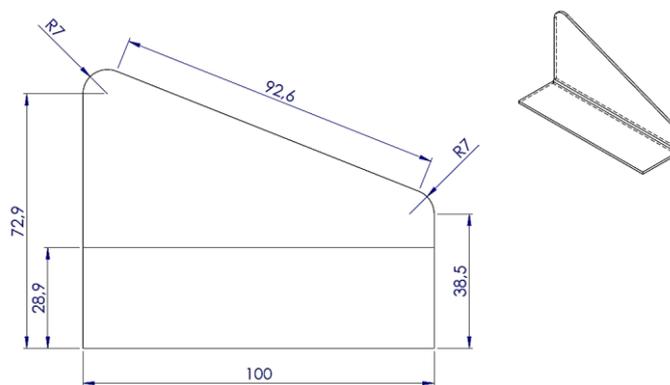


Figura 31. Paletas del agitador

La fuerza de arrastre se determina por:

$$\text{Arrastre} = C_D * A * \rho * \frac{v^2}{2}$$

(Torres & Vaca, 2010)

Donde:

Arrastre = Fuerza de arrastre [N]

C_D = Coeficiente de arrastre []

A = Área [m²]

ρ = Densidad del aire [kg/m³]

V = Velocidad lineal [m/s]

La velocidad del agitador se determina:

$$v = N_v * L$$

(Torres & Vaca, 2010)

Donde:

V = Velocidad lineal del aire [m/s]

N_v = velocidad de rotación [rad/s]

L = longitud del eje [m]

$$N_v = 226 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 3.77 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

$$N_v = 3.7 * \frac{2 * \pi}{1} = 23.68 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v = 23.68 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0.025 \text{ m} = \mathbf{0.59 \frac{m}{s}}$$

El área para la sección triangular de las paletas es:

$$A = b * \frac{h}{2}$$

$$A = 0.1 * \frac{(0.0729 - 0.0289)}{2} = 0.0022 \text{ m}^2$$

El coeficiente de arrastre es : $C_D = 2.0$

Coeficientes de arrastre para diversos objetos romos			
Objeto	L/w	Re	C_D
Cilindro cuadrado $\rightarrow \square$	∞	$> 10^4$	2.0
Placas rectangulares $\rightarrow $	∞	$> 10^3$	2.0
	20	$> 10^2$	1.5
	5	$> 10^3$	1.2
Cilindro circular $\rightarrow \bigcirc$	1	$> 10^3$	1.1
	0	$> 10^2$	1.10
	4	$> 10^2$	0.90
	7	$> 10^3$	1.0
Cilindros equiláteros $\rightarrow \triangle$	2.0	$> 10^4$	2.0
	1	$> 10^4$	1.4
Cono $\rightarrow \text{cono}$		$> 10^4$	0.8
Paracaídas		$> 10^7$	1.4
Automóvil			
1920	--	$> 10^5$	0.8
Moderno	--	$> 10^5$	0.30
Vagoneta	--	$> 10^5$	0.42
Bicicleta, ciclista erguido			1.1
Camión semirremolque			0.96
Camión semirremolque con deflector fuselado			0.76

Figura 32. Coeficiente de arrastre

Fuente: (Erazo & Vizúete, 2011)

La fuerza de arrastre de las paletas es:

$$\text{Arrastre} = 2 * 0.0022 \text{ m}^2 * 0.5243 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\left(0.59 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2}$$

$$\text{Arrastre} = 6.54 * 10^{-3} \text{ N}$$

Al tratarse de las 4 aspas del agitador:

$$F_{\text{arrastre}} = 6.80 * 10^{-4} * 4$$

$$F_{\text{arrastre}} = 0.0027 \text{ N}$$

Conforme el diseño, se tiene un agitador tipo turbina con base de 4 palas a 90°, el diseño de las palas es triangular.

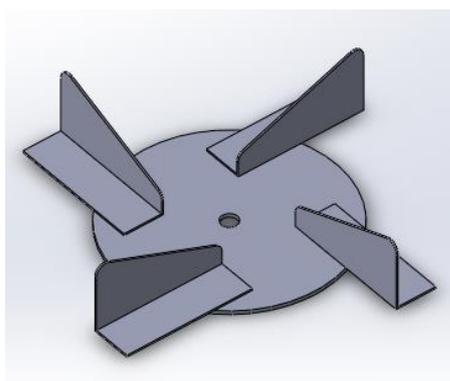


Figura 33. Diseño del agitador

3.3.10 Selección de material de estructura del horno

La estructura del horno se refiere a las paredes de la cámara que están en contacto con la fuente de calor y la pieza a curarse, como las paredes exteriores que están en contacto con el ambiente. Como su nombre lo indica hace referencia a toda la estructura del horno.

Existen ciertos requisitos que deben cumplir los materiales para que el horno trabaje con mejores condiciones de las cuales destacan las siguientes, esto basándose en las teorías de selección de materiales (Kalpakjian & Schmid, 2008):

Tabla 1

Restricciones del material para la estructura

PROPIEDAD:	REQUISITO:
<i>Físicas</i>	<p>Debe ser posible modificarlo en dimensiones y forma. Buena estabilidad dimensional.</p> <p>Debe tener una densidad relativamente baja.</p> <p>Debe tener bajos niveles de humedad.</p> <p>Debe ser resistente a la oxidación.</p>
<i>Químicas</i>	<p>Debe ser resistente a la corrosión.</p> <p>Altos niveles de resistencia a la intemperie.</p> <p>Resistencia al ataque de ácidos, resinas, de igual forma a hidrocarburos.</p>
<i>Mecánicas</i>	<p>Debe tener una buena resistencia a la tensión compresión, flexión.</p> <p>Debe ser un material resistente al desgaste, rígido.</p> <p>Debe ser maleable y maquinable.</p>

Continúa

<i>Térmicas</i>	<p>Debe tener un punto de fusión elevado.</p> <p>Debe tener una buena soldabilidad si se trata de un metal.</p> <p>Debe tener una dilatación térmica moderada – baja.</p> <p>Debe conservar todas sus propiedades a temperaturas bajas y altas con nivel de referencia ambiental.</p> <p>Debe ser resistente al choque térmico.</p>
<i>Eléctricas y magnéticas</i>	<p>La conductividad eléctrica, no es un aspecto dominante en el diseño.</p> <p>La permeabilidad magnética, no es un aspecto dominante en el diseño.</p> <p>No debe presentar corrosión galvánica.</p>
<i>Estéticas</i>	<p>Su textura no debe ser rugosa, es beneficioso si es una superficie lisa, (sin aristas cortantes).</p> <p>Su color debe poder ser modificable.</p> <p>Su aspecto debe ser posible de ser maquinado. Dándole un buen acabado superficial.</p>
	<p>Debe tener un costo bajo en proporción a la calidad del producto.</p> <p>No debe representar peligro tóxico para el ser humano.</p> <p>Debe ser muy maleable y maquinable.</p>

Con las consideraciones expuestas en la Tabla 1 se procede a elaborar la matriz de decisión para la estructura del horno detallada en la Tabla 2.

Siendo:

5: Óptimo

2: Aceptable

4: Acertado

1: No favorable

3: Posible

Tabla 2
Selección de materiales de la estructura

Parámetros	Criterios		
	Acero Estructural	Acero Inoxidable 430	Aluminio
Costo de Manufactura	4	3	5
Masa Total	3	4	4
Maquinabilidad	4	4	4
Resistencia de material	5	4	1
Temperatura de Trabajo	3	5	1
Duración	3	5	1
Total	22	25	16

El material óptimo para la estructura del horno es Acero Inoxidable AISI 430.

3.3.11 Selección de material aislante

El aislante térmico se utiliza para establecer una barrera al paso del calor entre dos medios, es decir, entre la cámara que se encuentra a una temperatura elevada y las paredes exteriores del horno que deben tener una temperatura cercana a la del ambiente. Considerando la teoría de selección de materiales de (Kalpakjian & Schmid, 2008).

Tabla 3
Restricciones del Material para el aislante térmico

PROPIEDAD:	REQUISITO:
<i>Físicas</i>	Debe ser posible modificarlo en dimensiones y forma. Debe tener una densidad relativamente baja. Debe tener bajos niveles de humedad.
<i>Químicas</i>	Debe ser resistente a la corrosión. Altos niveles de resistencia a la intemperie. Resistencia al ataque de ácidos, resinas, hongos, bacterias.
<i>Mecánicas</i>	Debe ser moldeable. Debe tener la capacidad de proteger superficies
<i>Térmicas</i>	Debe tener un coeficiente de transferencia de calor bajo (conducción térmica). Debe conservar todas sus propiedades a temperaturas bajas y altas con nivel de referencia ambiental. Debe ser resistente al choque térmico. Debe trabajar con altas temperaturas. No debe ser inflamable.
<i>Eléctricas y magnéticas</i>	Baja conductividad eléctrica. Baja permeabilidad magnética. No debe presentar corrosión galvánica.
<i>Estéticas</i>	Su textura no debe ser rugosa, es beneficioso si es una superficie lisa, (sin aristas cortantes). Su color debe poder ser modificable. Su aspecto estético, no es determinante porque no será visible.

Continúa

Debe tener una buena adherencia a los materiales sin necesidad de adherentes.

Debe tener una alta duración.

Debe tener un costo proporcional a la calidad y cantidad del producto. Medio – Bajo.

Debe ser muy maleable y maquinable.

Con las consideraciones expuestas en la Tabla 3 se procede a elaborar la matriz de decisión para el aislamiento térmico del horno detallada en la Tabla 4.

Siendo:

5: Óptimo

2: Aceptable

4: Acertado

1: No favorable

3: Posible

Tabla 4
Matriz de selección de Material Aislante

Parámetros	Criterios		
	Lana de Vidrio	Lana de Roca	Poliuretano expandido
Costo	5	3	3
Aislamiento Térmico	4	4	4
Disponibilidad en el mercado	5	4	5
Manejabilidad	4	4	4
Temperatura de Trabajo	4	4	4
Duración	5	4	4
Total	27	23	24

El material óptimo para el aislamiento del horno es lana de vidrio.

3.4 Diseño Electrónico

3.4.1 Cálculo de las resistencias eléctricas

Las necesidades energéticas del horno son de 3630 W, pero por efectos de pérdidas energéticas se considera que la eficiencia de las resistencias eléctricas oscila entre el 75 – 80%, con un criterio conservador de diseño, se trabajará con una eficiencia del 75%.

Donde:

$$P_{\text{t\u00e9rmica}} = P_{\text{requerida}} * n$$

$P_{\text{requerida}} = \text{Potencia para las resistencias [W]}$
 $P_{\text{t\u00e9rmica}} = \text{Potencia t\u00e9rmica requerida del horno [W]}$
 $n = \text{Eficiencia de las resistencias el\u00e9ctricas.}$

$$3630 \text{ W} = P_{\text{requerida}} * 0.75$$

$$P_{\text{requerida}} = \frac{3630 \text{ W}}{0.75} = 4840 \text{ W}$$

Por lo tanto, se requiere de resistencias el\u00e9ctricas para generar 4840 W.

Con la ayuda de la Ley de Ohm se determinar\u00e1, las dem\u00e1s necesidades de las resistencias.

Donde:

$$P = I * V$$

$P = \text{Potencia el\u00e9ctrica [W]}$
 $I = \text{Intensidad de corriente [A]}$
 $V = \text{Voltaje el\u00e9ctrico [V]}$
 $R = \text{Resistencia el\u00e9ctrica [\u03a9]}$

$$V = I * R$$

A partir de las ecuaciones de la Ley de Ohm se obtiene que:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Las resistencias el\u00e9ctricas funcionan con un voltaje de 220V, la potencia el\u00e9ctrica requerida es de 4840 W.

Por motivos de diseño, se colocarán dos resistencias eléctricas una en cada pared lateral interna, por lo que la potencia eléctrica se divide, en dos:

$$P_{1resistencia} = \frac{P}{2}$$

$$P_{1resistencia} = \frac{4840 \text{ W}}{2} = 2420 \text{ W}$$

Al reemplazar estos valores se tiene:

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{(220 \text{ V})^2}{2420 \text{ W}} = 20 \Omega$$

Las resistencias eléctricas se tienen que fabricar con una resistencia de 20Ω .

Las resistencias que más se adaptan a las necesidades del horno son las de Níquel – Cromo, también conocido como Nicromel, puesto que trabajan hasta 1250°C y tienen una muy buena flexibilidad.

Longitud de las resistencias:

El Nicromel, compuesto por Níquel y Cromo en porcentajes peso de aleación 80% Níquel, 20% Cromo. Tiene como principal aplicación para calentar hornos industriales, debido a su alto punto de fusión, no se oxida ni corroe fácilmente, además de no ser magnético y contar con una alta flexibilidad. (Tei Ingeniería & Thyker , 2019)

Especificaciones técnicas

Composición en peso Nicromel	Níquel 80%, Cromo 20%
Resistividad eléctrica @ 20°C	1.0X10 ⁻⁶ a 1.5X10 ⁻⁶ Ωm
Conductividad térmica	11.3W/m°C
Atracción magnética	Ninguna
Coefficiente de expansión térmica	13.4X10 ⁻⁶ /°C
Coefficiente de temperatura de la resistividad	100 ppm /°C
Gravedad específica	8.4
Densidad	8400 kg/m ³
Punto de fusión	1400 °C
Calor específico	450 J/kg°C

Figura 34. Especificaciones técnicas Nicromel.

Fuente: (Tei Ingeniería & Thyker , 2019)

Para determinar la longitud de alambre que se utiliza en cada resistencia:

Donde:

$R =$ Resistencia [Ω]

$\rho =$ Resistividad eléctrica [$\Omega \cdot m$]

$L =$ Longitud [m]

$A =$ Sección Transversal [m^2]

$\emptyset =$ Diámetro alambre [m]

$$R = \rho * \frac{L}{A}$$

(FísicaLAB, 2019)

Mientras mayor sea la sección transversal del alambre, mayor será la longitud que se necesite:

Tabla de Productos Nicromel 80/20	
Código de Producto	Descripción
ANI-80/20-6	Alambre Nicromel 80 20 calibre 6
ANI-80/20-7	Alambre Nicromel 80 20 calibre 7
ANI-80/20-8	Alambre Nicromel 80 20 calibre 8
ANI-80/20-9	Alambre Nicromel 80 20 calibre 9
ANI-80/20-10	Alambre Nicromel 80 20 calibre 10
ANI-80/20-11	Alambre Nicromel 80 20 calibre 11
ANI-80/20-12	Alambre Nicromel 80 20 calibre 12
ANI-80/20-18	Alambre Nicromel 80 20 calibre 18
ANI-80/20-20	Alambre Nicromel 80 20 calibre 20
ANI-80/20-22	Alambre Nicromel 80 20 calibre 22
ANI-80/20-24	Alambre Nicromel 80 20 calibre 24
ANI-80/20-30	Alambre Nicromel 80 20 calibre 30

Figura 35. Tamaños de los alambres de Nicromel

Fuente: (Tei Ingeniería & Thyker , 2019)

Para el cálculo se utilizará un alambre Nicromel 80 20 de calibre 24, que corresponde a un diámetro de 0.51 mm, para que la longitud no sea muy elevada.

$$L = \frac{R * A}{\rho} = \frac{R * \pi * \varnothing^2}{4 * \rho}$$

$$L = \frac{20 \Omega * \pi * \left(\frac{0.51mm}{1000mm}\right)^2}{4 * 1.5 * 10^{-6}\Omega m}$$

$$L = 2.72 m$$

La longitud para cada resistencia es de 2.72 m, es necesario seleccionar una resistencia que pueda ser doblada para completar dicha longitud en las paredes laterales de la cámara del horno.

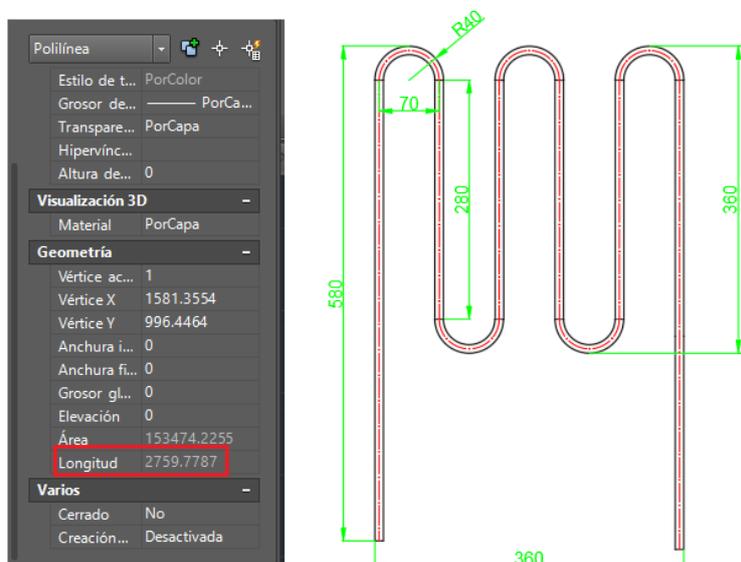


Figura 36. Longitud de la resistencia

3.4.2 Selección de forma de niquelina

Para la selección de la forma de la niquelina a utilizar en el proyecto tomaremos en cuenta los parámetros detallados en la Tabla 5.

Siendo:

5: Óptimo

2: Aceptable

4: Acertado

1: No favorable

3: Posible

Tabla 5
Matriz de Selección de Forma de Niquelina

Parámetros de selección	Criterios		
	Niquelina Recta	Niquelina Curva	Niquelina Plana
Tiempo de Calentamiento	3	5	4
Cantidad de piezas	3	5	5
Control de Temperatura	5	5	3
Costo de Manufactura	5	3	3
Total	16	18	15

La forma óptima para la niquelina también conocida como resistencia es la curva, debido a que tiene un bajo tiempo de calentamiento y a diferencia de la niquelina plana ésta no necesita estar presionada en su funcionamiento. Además, de esta consideración se debe especificar que la resistencia será fija; es decir, el valor óhmico que tendrán es constante.

Tras seleccionar la forma (Tabla 6), es necesario seleccionar el tipo de alambre del que estará compuesta la resistencia.

Tabla 6
Matriz de Selección de Alambre de la Resistencia

Parámetros de selección	Criterios			
	Disiliciuro de Molibdeno	Carburo de Silicio	Al-Fe-Cr	Ni – Cr (Nicromel)
Flexibilidad	3	3	3	4
Resistividad eléctrica	4	4	4	4
Punto de fusión	5	5	4	4
Costo	3	3	3	4
Total	15	15	14	16

El material seleccionado es el Nicromel, puesto que tiene una característica importante para ser utilizado en las resistencias curvas, también su alto punto de función que lo permite trabajar hasta los 1250°C.

3.4.3 Selección del Termopar

El sensor seleccionado para el control es un termopar, puesto que se utiliza resistencias eléctricas que requieren de un control digital.

Tabla 7
Matriz de Selección de Termo Par

Parámetros de selección	Criterios		
	Tipo K	Tipo J	Tipo T
Instalación	5	5	5
Disponibilidad en el mercado	5	5	4
Rango de Temperatura	5	5	3
Costo	4	5	5
Total	19	20	17

El termopar seleccionado (Tabla 7) es el tipo J en forma de tornillo para su facilidad de montaje además posee un rango de 0°C hasta 760°C, su costo es el más conveniente en el mercado; los materiales de los que están fabricados son hierro y constantán, posee una buena resistencia eléctrica y son utilizados en una gama de actividades dentro de la industria.

El prototipo de horno para el proceso de curado de materiales compuestos, tiene un punto de control (termopar), que está situado en el centro de la pared superior de la cámara interna útil, así se podrá obtener valores más reales de la temperatura incluyendo el calor otorgado por las resistencias eléctricas y el flujo de calor por convección del agitador.

3.4.4 Selección del dispositivo de control

El circuito de control (Figura 37) es un componente fundamental para el prototipo puesto que será el encargado de ajustar automáticamente el valor de la temperatura para igualarla con el valor deseado.

El circuito de control está compuesto por los elementos descritos en la Tabla 8.

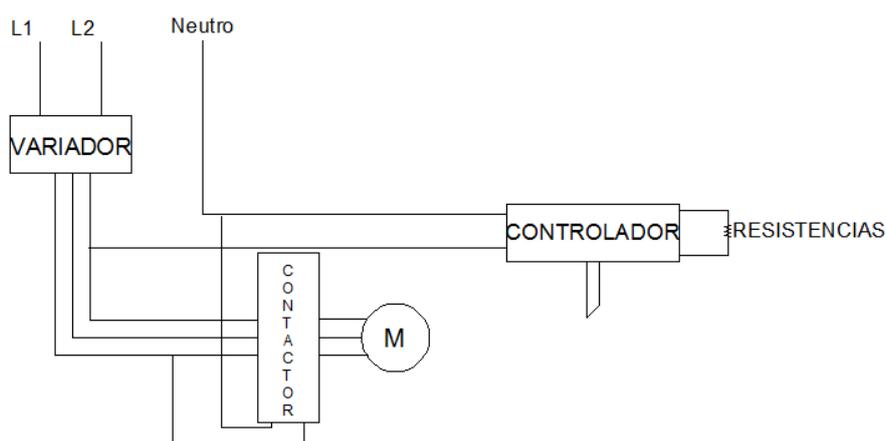


Figura 37. Esquema del Circuito de Control

Tabla 8

Materiales utilizados en el circuito de control

Elemento	Valor/Modelo
Resistencia	20 Ω
Controlador de la Temperatura	REX-C900
Contacto Motor y Resistencias	MAN HUA GMC-22
Borneras	10
Variador de Frecuencia	KINCO RS-485
Motor WEG W22 High Ef.	220V/Trifásico

Con los elementos descritos en la Tabla 8, se encuentra diseñado el circuito de control, que tiene como objetivo principal controlar la temperatura, partiendo de datos ingresados por el usuario; en la Figura 37 se muestra un esquema del circuito de control

tanto para las resistencias como para el motor, ambos con sus debidas protecciones también denominadas contactores; el motor posee un variador de frecuencia para disminuir sus RPM de 1695RPM con 60Hz a 226RPM con una frecuencia de 8 Hz.

Selección del dispositivo de control

Los parámetros principales para la selección del dispositivo de control será la facilidad de instalación, la disponibilidad en el mercado, el fácil entorno que maneje con el usuario y el cumplimiento de los propósitos descritos en este proyecto. La Tabla 9, recopila ciertas características del controlador.

Tabla 9
Características del Controlador

Elemento	Valor/Modelo
Marca	RKC
Modelo	REX-C900
Voltaje de alimentación	100/240VAC
Capacidad en salida	250VAC/120VAC
Dimensiones	96X96X110mm(AXHXL)
Rango de temperatura	0 a 400°C

El controlador de temperatura REX-C900 es un controlador de temperatura PID, posee un control por realimentación utilizado generalmente en sistemas de inspección, posee una alta sensibilidad y su rango de operación de temperatura es desde 0°C hasta los 400°C, se adecua a usos en la industria como automatización de maquinaria, tratamientos térmicos, hornos, etc.

3.5 Diseño mecánico

En el diseño mecánico se analizará el diseño por parte estructural del horno, tales como: Estructura, refuerzos, base (patas).

3.5.1 Determinación del peso total del prototipo de horno

Para efectos de cálculo estructural es necesario determinar el peso que tendrá el prototipo de horno, por facilidad de cálculo se divide en partes: Techo, suelo, pared posterior, paredes laterales, accesorios.

Para calcular el peso del horno se utilizarán las siguientes propiedades de los materiales utilizados (Tabla 10):

Tabla 10

Propiedades de los materiales utilizados.

<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
<i>Acero Inoxidable AISI 430</i>	<i>7805</i>
<i>Lana de vidrio</i>	<i>32</i>
<i>Vidrio templado</i>	<i>2500</i>

Las propiedades de los materiales son referenciadas de Cengel, Y. A.; Boles, M.A.: Transferencia de Calor y Masa. Mc Graw-Hill, 1996.

La masa del Techo es:

La pared superior denominada “Techo”, está compuesta por una pared exterior de acero inoxidable AISI 430, una pared intermedia de lana de vidrio industrial como aislante térmico con refuerzos de acero inoxidable AISI 430 y una pared interior de mayor espesor que la exterior de acero inoxidable AISI 430. Como se observa en la Figura 38, en base a esta composición se determina la masa del “Techo” en la Tabla 11 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 12.

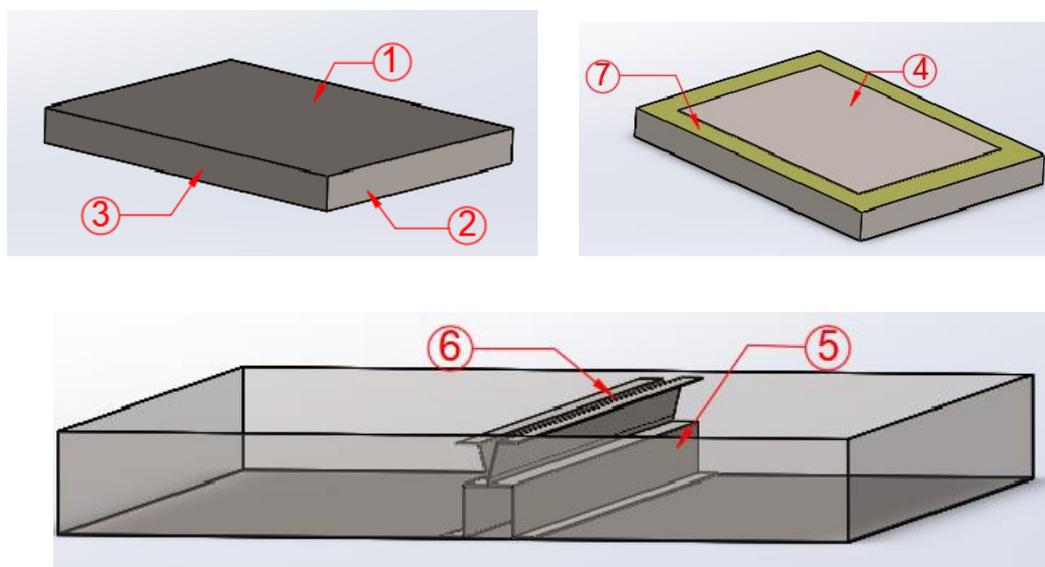


Figura 38. Composición del Techo.

Tabla 11
Determinación de la masa del Techo.

PARTE: TECHO								
N°	Descripción	Material	Dimensiones			Cantidad	Volumen (m ³)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	101	77	1.2	1	0.00093324	7.284
2		Acero Inoxidable AISI 430	77	10	1.2	2	0.0000924	1.442
3		Acero Inoxidable AISI 430	101	10	1.2	2	0.0001212	1.892
4	Parte Interna	Acero Inoxidable AISI 430	81	60	3	1	0.001458	11.380
5	Refuerzos	Acero Inoxidable AISI 430	101	19	1.5	1	0.00028785	2.247
6		Acero Inoxidable AISI 430	101	13	1.5	1	0.00019695	1.537
7	Aislante	Lana de vidrio industrial	101	77	10	1	0.007777	0.249

Tabla 12
Masa del Techo

TECHO	
cero (kg)	25.782
Aislante (kg)	0.249
Masa (kg)	26.031

Ejemplo de cálculo con el Refuerzo 1 (Figura 39):

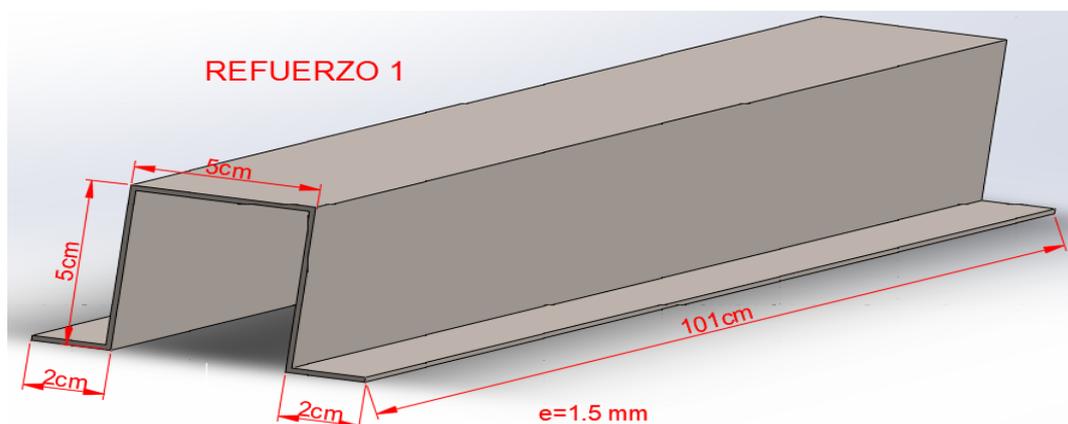


Figura 39. Dimensiones de Refuerzos.

Para los cálculos se toman las siguientes dimensiones:

$$Largo = 101 \text{ cm} = 1.01\text{m}$$

$$Ancho = 2\text{cm} + 5\text{cm} + 5\text{cm} + 5\text{cm} + 2\text{cm} = 19 \text{ cm} = 0.19\text{m}$$

$$Espesor = 15 \text{ mm} = 0.0015\text{m}$$

Con esos valores se determinará el Volumen:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}(\text{m}^3) &= \text{Largo}(\text{m}) * \text{Ancho}(\text{m}) * \text{Espesor}(\text{m}) \\ \text{Volumen} &= 1.01 * 0.19 * 0.0015 = 0.00028785 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Para utilizar la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Densidad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) &= \frac{\text{Masa}(\text{kg})}{\text{Volumen}(\text{m}^3)} \rightarrow \text{Masa}(\text{kg}) = \text{Densidad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \text{Volumen}(\text{m}^3) \\ \text{Masa} &= 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.00028785 \text{ m}^3 = \mathbf{2.247 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Donde se obtiene una masa de 2.247 kg para el Refuerzo 1.

La masa del Suelo es:

La pared inferior denominada “Suelo”, está compuesta por una pared exterior de acero inoxidable AISI 430, una pared intermedia de lana de vidrio industrial como aislante térmico con refuerzos de acero inoxidable AISI 430 y una pared interior de mayor espesor que la exterior de acero inoxidable AISI 430. Como se observa en la Figura 40, en base a esta composición se determina la masa del “Suelo” en la Tabla 13 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 14.

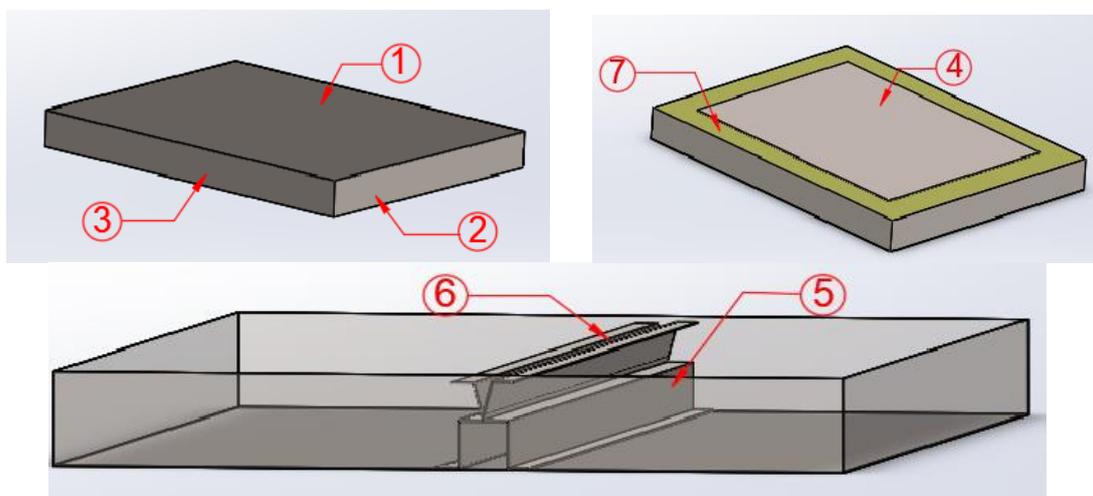


Figura 40. Composición del Suelo del Horno.

Tabla 13
Determinación de la masa del Suelo

PARTE: SUELO								
N°	Descripción	Material	Dimensiones			Cantidad	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	101	77	1.2	1	0.00093324	7.284
2		Acero Inoxidable AISI 430	77	10	1.2	2	0.0000924	1.442
3		Acero Inoxidable AISI 430	101	10	1.2	2	0.0001212	1.892
4	Parte Interna	Acero Inoxidable AISI 430	81	60	3	1	0.001458	11.380
5	Refuerzos	Acero Inoxidable AISI 430	101	19	1.5	1	0.00028785	2.247
6		Acero Inoxidable AISI 430	101	13	1.5	1	0.00019695	1.537
7	Aislante	Lana de vidrio industrial	101	77	10	1	0.007777	0.249

Tabla 14
Masa del Suelo

SUELO	
Acero (kg)	25.782
Aislante (kg)	0.249
Masa (kg)	26.031

La masa de la pared es:

La pared posterior, está compuesta por una pared exterior de acero inoxidable AISI 430, una pared intermedia de lana de vidrio industrial como aislante térmico y una pared interior de mayor espesor que la exterior de acero inoxidable AISI 430. Como se observa en la Figura 41, en base a esta composición se determina la masa de la pared posterior en la Tabla 15 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 16.

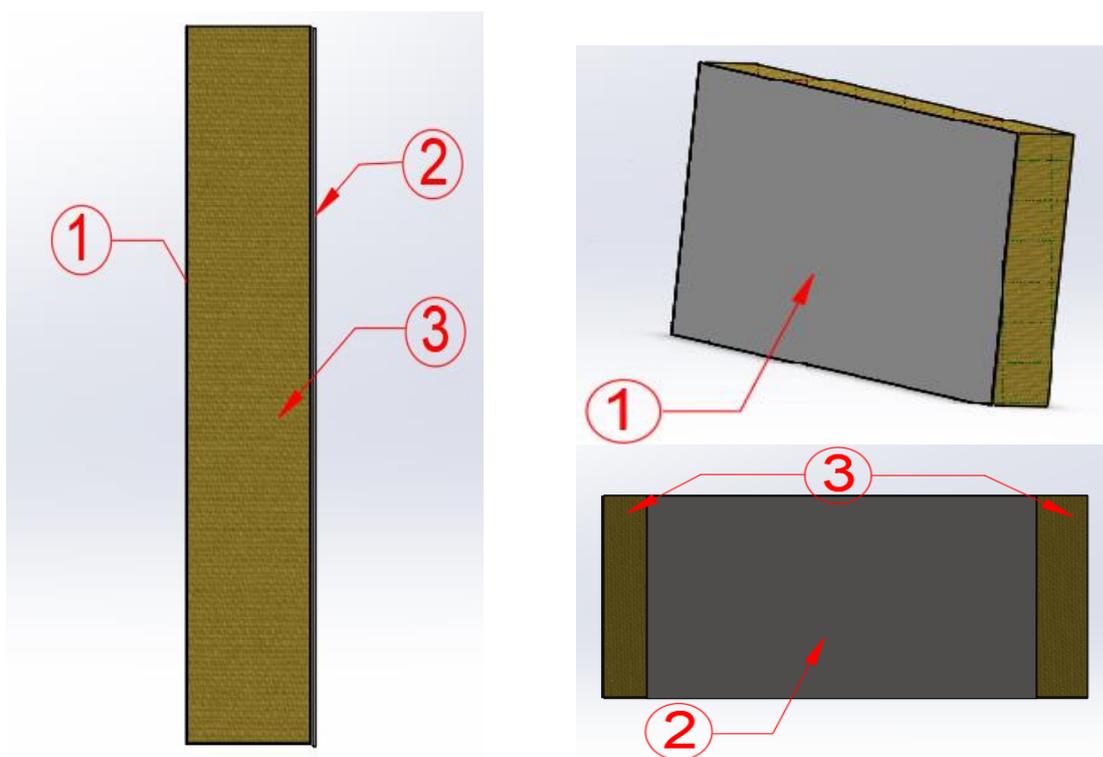


Figura 41. Composición de la Pared Posterior

Tabla 15
Determinación de la masa de la Pared Posterior

PARTE: PARED POSTERIOR								
N	Descripción	Material	Dimensiones			Cant.	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	101	50	1.2	1	0.000606	4.730
2	Parte Interna	Acero Inoxidable AISI 430	81	50	3	1	0.001215	9.483
3	Aislante	Lana de vidrio industrial	101	50	10	1	0.00505	0.162

Tabla 16
Masa de la Pared Posterior

PARED POSTERIOR	
Acero (kg)	14.213
Aislante (kg)	0.162
Masa (kg)	14.375

La masa de la pared lateral derecha es:

La pared lateral derecha, está compuesta por una pared exterior de acero inoxidable AISI 430, una pared intermedia de lana de vidrio industrial como aislante térmico con refuerzos de acero inoxidable AISI 430 y una pared interior de mayor espesor que la exterior de acero inoxidable AISI 430. Como se observa en la Figura 42, en base a esta composición se determina la masa de la pared lateral derecha en la Tabla 17 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 18.

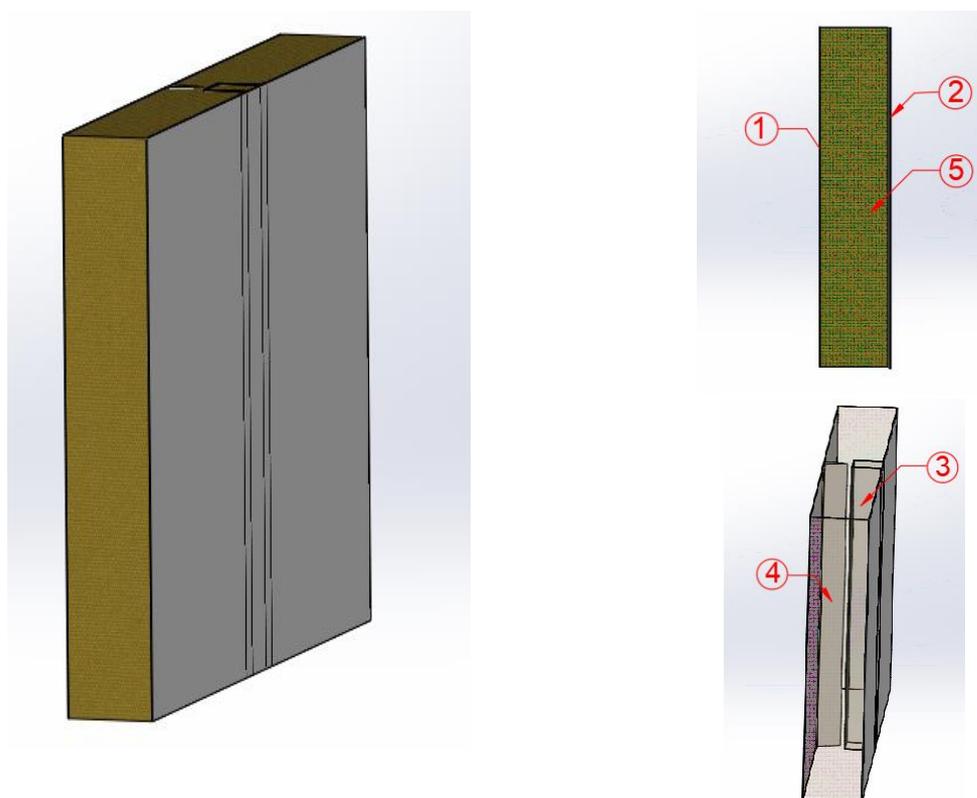


Figura 42. Composición de la pared lateral derecha

Tabla 17

Determinación de la masa de la pared lateral derecha

PARTE: PARED DERECHA								
N	Descripción	Material	Dimensiones			Cant.	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	77	50	1.2	1	0.000462	3.606
2	Parte Interna	Acero Inoxidable AISI 430	60	50	3	1	0.0009	7.025
3	Refuerzos	Acero Inoxidable AISI 430	70	19	1.5	1	0.0001995	1.557

Continúa

4	Acero Inoxidable AISI 430	70	13	1.5	1	0.0001365	1.065
5	Aislante Lana de vidrio industrial	77	50	10	1	0.00385	0.123

Tabla 18*Masa de la pared lateral derecha*

PARED DERECHA	
Acero (kg)	13.253
Aislante (kg)	0.123
Masa (kg)	13.376

La masa de la pared lateral izquierda es:

La pared lateral izquierda, está compuesta por una pared exterior de acero inoxidable AISI 430, una pared intermedia de lana de vidrio industrial como aislante térmico con refuerzos de acero inoxidable AISI 430 y una pared interior de mayor espesor que la exterior de acero inoxidable AISI 430. Como se observa en la Figura 43, en base a esta composición se determina la masa de la pared lateral izquierda en la Tabla 19 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 20.

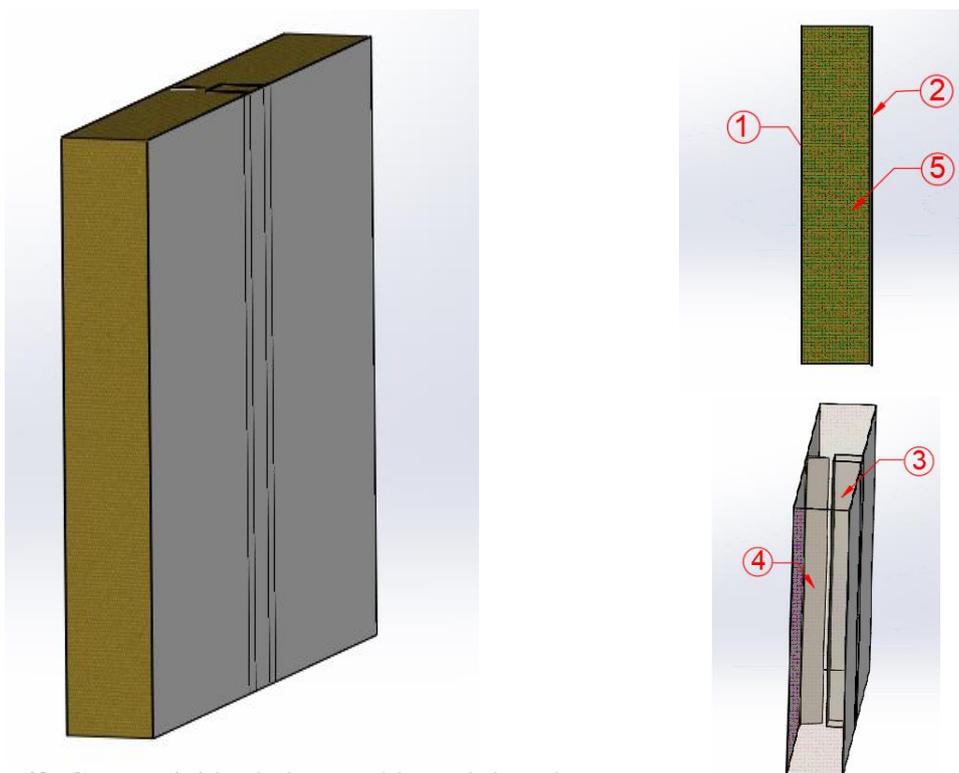
**Figura 43.** Composición de la pared lateral derecha

Tabla 19
Determinación de la masa de la pared lateral izquierda.

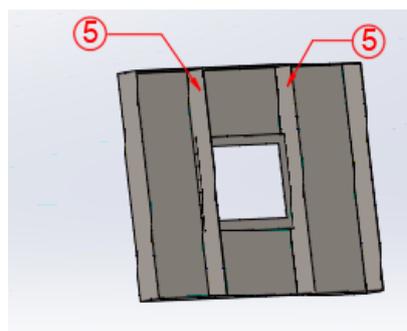
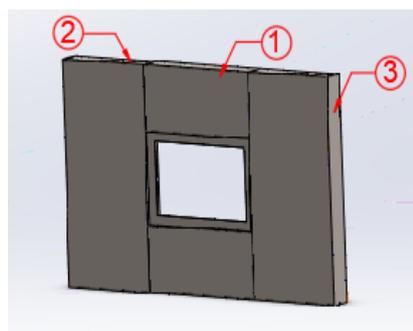
PARTE: PARED IZQUIERDA								
N	Descripción	Material	Dimensiones			Cantida d	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	77	50	1.2	1	0.000462	3.606
2	Parte Interna	Acero Inoxidable AISI 430	60	50	3	1	0.0009	7.025
3	Refuerzos	Acero Inoxidable AISI 430	70	19	1.5	1	0.000199 5	1.557
4		Acero Inoxidable AISI 430	70	13	1.5	1	0.000136 5	1.065
5	Aislante	Lana de vidrio industrial	77	50	10	1	0.00385	0.123

Tabla 20
Masa de la pared lateral izquierda.

PARED IZQUIERDA	
Acero (kg)	13.253
Aislante (kg)	0.123
Masa (kg)	13.376

La masa de la puerta es:

La puerta, está compuesta por una pared exterior de acero inoxidable AISI 430, una pared intermedia de lana de vidrio industrial como aislante térmico con refuerzos de acero inoxidable AISI 430 y una pared interior de mayor espesor que la exterior de acero inoxidable AISI 430, consta de una pantalla compuesta por 2 vidrios templados uno al interior y otro al exterior de la puerta. Como se observa en la Figura 44, en base a esta composición se determina la masa de la puerta en la Tabla 21 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 22.



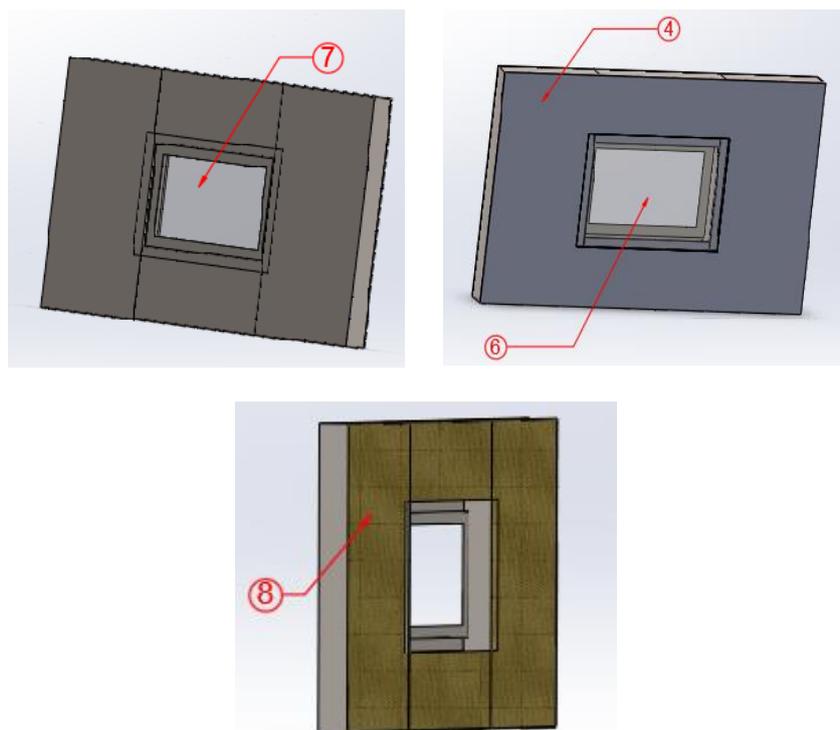


Figura 44. Composición de la Puerta

Fuente: Autores

Tabla 21

Determinación de la masa de la puerta.

PARTE: PUERTA								
N	Descripción	Material	Dimensiones			Cantidad	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	77	49	1.2	1	0.00045276	3.534
2		Acero Inoxidable AISI 430	77	5	1.2	2	0.0000462	0.721
3		Acero Inoxidable AISI 430	49	5	1.2	2	0.0000294	0.459
4	Parte Interna	Acero Inoxidable AISI 430	77	49	3	1	0.0011319	8.834
5	Refuerzos	Acero Inoxidable AISI 430	49	7	1.2	2	0.00004116	0.643
6	Pantallas de vidrio templado	Vidrio Interior	34	24	6	1	0.0004896	1.224
7		Vidrio Exterior	30	20	6	1	0.00036	0.900
8	Aislante	Lana de vidrio industrial	77	49	10	1	0.003773	0.121
Descuento acero y aislante por el vidrio templado:								
9	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	30	20	1.2	1	0.000072	0.562
10	Parte Interna	Acero Inoxidable AISI 430	34	24	3	1	0.0002448	1.911
11	Aislante	Lana de vidrio industrial	34	24	10	1	0.000816	0.026

Tabla 22
Masa de la puerta.

PUERTA	
Acero (kg)	11.718
Aislante (kg)	0.095
Vidrio (kg)	2.124
Masa (kg)	13.937

La masa de la bandeja es:

La bandeja es de acero inoxidable AISI 430, se realizan los cálculos conforme se observa en la Figura 45, se determina la masa de la bandeja en la Tabla 23 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 24.

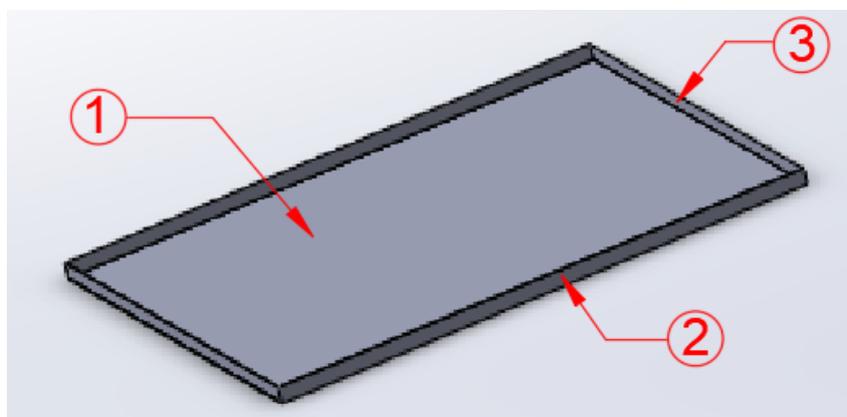


Figura 45. Bandeja.

Tabla 23
Determinación de la masa de la bandeja.

PARTE: BANDEJA								
N	Descripción	Material	Dimensiones			Cant	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Base	Acero Inoxidable AISI 430	67	50	1.2	1	0.000402	3.138
2	Bordes	Acero Inoxidable AISI 430	67	2	1.2	2	0.00001608	0.251
3		Acero Inoxidable AISI 430	50	2	1.2	2	0.000012	0.187

Tabla 24
Peso de la bandeja

BANDEJA	
Acero (kg)	3.576
Masa (kg)	3.576

La masa del agitador es:

El agitador es de acero inoxidable AISI 430, se realizan los cálculos conforme se observa en la Figura 46, se determina la masa del agitador en la Tabla 25 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 26.

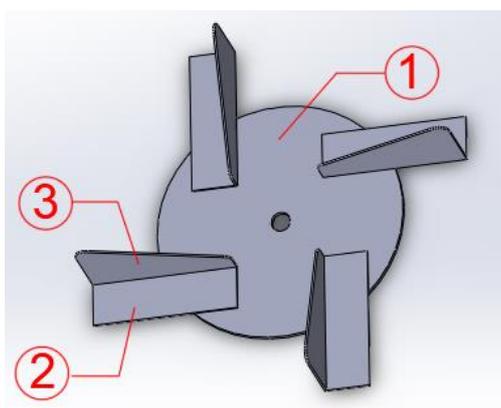


Figura 46. Agitador.

Tabla 25
Determinación de la masa del agitador

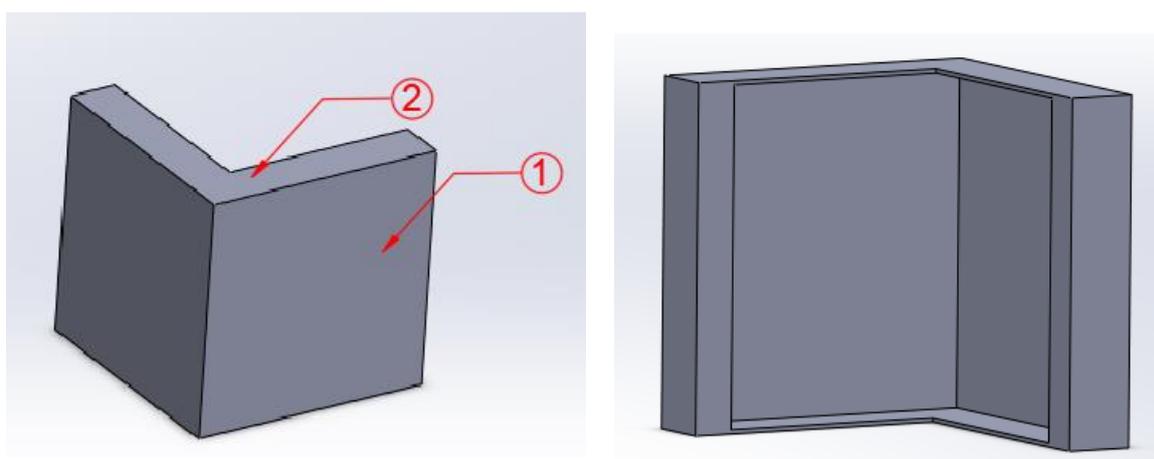
PARTE: AGITADOR								
N°	Descripción	Material	Dimensiones			Cant	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Diámetro (cm)	Área (cm2)	Espesor (mm)			
1	Circunferencia	Acero Inoxidable AISI 430	16	201.0624	3	1	6.03187E-05	0.471
2	Aspas agitador	Acero Inoxidable AISI 430	Forma	Área (cm2)	Espesor (mm)	4	0.0000045	0.140
3			Triángulo	25	1.5			

Tabla 26*Masa del agitador*

AGITADOR	
Acero (kg)	0.728
Peso (kg)	0.728

La masa de las patas es:

La patas del horno son de acero inoxidable AISI 430, se realizan los cálculos conforme se observa en la Figura 47, se determina la masa de las patas en la Tabla 27 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 28.

**Figura 47.** Base (Patas).**Tabla 27***Determinación de la masa de las patas*

PARTE: PATAS								
N	Descripción	Material	Dimensiones			Cant	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	24	10	1.2	4	0.0000288	0.899
2	Parte Externa	Acero Inoxidable AISI 430	20	2	1.2	8	0.0000048	0.300

Tabla 28*Masa de las Patas*

PATAS	
Acero (kg)	1.199
Masa (kg)	1.199

La masa de la caja del controlador es:

La caja del controlador es de acero inoxidable AISI 430, se realizan los cálculos conforme se observa en la Figura 48, se determina la masa de la caja del controlador en la Tabla 29 y se muestra el resultado final de dicho cálculo en la Tabla 30.

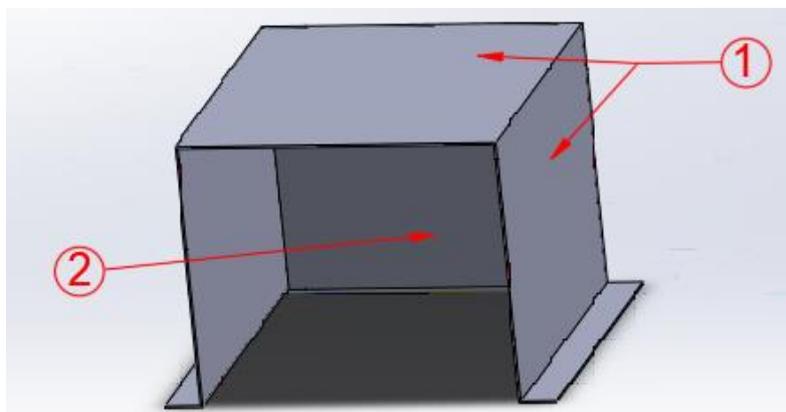


Figura 48. Caja de Control.

Tabla 29

Determinación de la masa de la caja del controlador

PARTE: CAJA DEL CONTROLADOR								
N	Descripción	Material	Dimensiones			Cant	Volumen (m3)	Peso (Kg)
			Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)			
1	Caja del controlador	Acero Inoxidable AISI 430	48	20	0.7	1	0.0000014	0.011
2		Acero Inoxidable AISI 430	15	18	0.7	1	0.00000126	0.010

Tabla 30

Masa de la caja del controlador

CONTROLADOR	
Acero (kg)	0.021
Masa (kg)	0.021

La masa de los accesorios se determina a partir de los datos del fabricante:

Se denomina componentes o accesorios a todos los elementos que son parte del prototipo de horno, pero su peso o características vienen dadas por el fabricante de los mismos. Este grupo está compuesto por el motor, controlador, resistencias, cerradura para el horno, sus pesos individuales se detallan en la Tabla 31 y el total en la Tabla 32.



Código UNSPSC	27111800
EAN	0783335621934
Nombre de marca	Hilitand
Número Pieza	Hilitandt0h2fnvyw5
Peso Artículo	410.0 gramos
Tipo de refuerzo	default
UPC	783335621934

Figura 49. RKC Instruments (2019) Hoja de Datos Controlador REX-C900FK02-V.
Fuente: (RKC, 2019)

HOJA DE DATOS		Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula	
Carcasa	: 71	Tiempo de rotor bloqueado	: 63s (frio) 35s (caliente)
Potencia	: 0.37 kW (0.5 HP)	Elevación de temperatura	: 80 K
Polos	: 4	Régimen de servicio	: S1
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C
Tensión nominal	: 220/440 V	Altitud	: 1000 m
Corriente nominal	: 1.87/0.935 A	Grado de protección	: IP55
Corriente de arranque	: 8.60/4.30 A	Método de refrigeración	: IC411 - TEFC
Ip/In	: 4.6	Forma constructiva	: BSL(D)
Corriente en vacío	: 1.30/0.650 A	Sentido de giro	: Ambos
Rotación nominal	: 1695 rpm	Nivel de ruido	: 47.0 dB(A)
Resbalamiento	: 5.83 %	Método de Arranque	: Partida directa
Torque nominal	: 1.54 ft.lb	Masa aproximada	: 24.3 lb
Torque de arranque	: 240 %		
Torque máximo	: 250 %		
Clase de aislamiento	: F		
Factor de servicio	: 1.15		
Momento de inercia (J)	: 0.0157 sq.ft.lb		
Categoría	: N		

Figura 50. Motor WEG. Motor W22 IE2.
Fuente: (WEG, 2019)

Tabla 31

Peso de los accesorios

PARTE: ACCESORIOS DEL HORNO

Descripción	Material	Cantidad	Peso (kg)
Motor WEG W22 Tru-Metric IE2	Varios	1	11.363
Controlador REX-C900FK02-V	Varios	1	0.41
Resistencias	Varios	2	1.54284
Cerradura para el horno	Acero Inoxidable	1	1.5

Tabla 32

Peso total componentes

COMPONENTES	
Varios (kg)	14.816
Masa (kg)	14.816

Resumen del peso total del prototipo de horno:

En base a los datos presentados con anterioridad se presenta un resumen sobre la masa del prototipo de horno, se presenta un resumen en la Tabla 33:

Tabla 33

Resumen peso del prototipo de horno

MASA POR MATERIAL		
Descripción	Material	Masa (kg)
Estructura	Acero Inoxidable AISI 430	113.221
Aislante	Lana de vidrio industrial	1.000
Pantalla	Vidrio templado	2.124
Accesorios del horno	Varios(motor, controlador, etc.)	14.816
MASA TOTAL (kg)		131.161

Tabla 34

Peso total del prototipo de horno

PESO TOTAL	
Masa (kg)	131.161
Masa (lb)	288.554
PESO (N)	1285.38

$$W_{HORNO} = 1285.38 [N]$$

Por lo expuesto en la Tabla 34, el peso total del prototipo de horno es 1285.38 [N]. El horno se diseñó para una masa de 20 [kg], por lo tanto, el peso total que soporta es de:

$$W_{TOTAL} = W_{HORNO} + W_{PIEZA}$$

$$W_{TOTAL} = 1285.38 N + (20kg * 9.8 m/s^2)$$

$$W_{TOTAL} = 1481.38 [N]$$

3.5.2 Análisis de la Resistencia de la Base del Horno (Patatas)

El horno tiene 4 patas (Figura 51), la disposición es de una en cada esquina por lo tanto las 4 patas soportarán una carga de $W_{TOTAL} = 1481.38 [N]$, considerando que las cargas están distribuidas uniformemente en el horno, según el análisis estructural, cada pata soporta la misma carga:

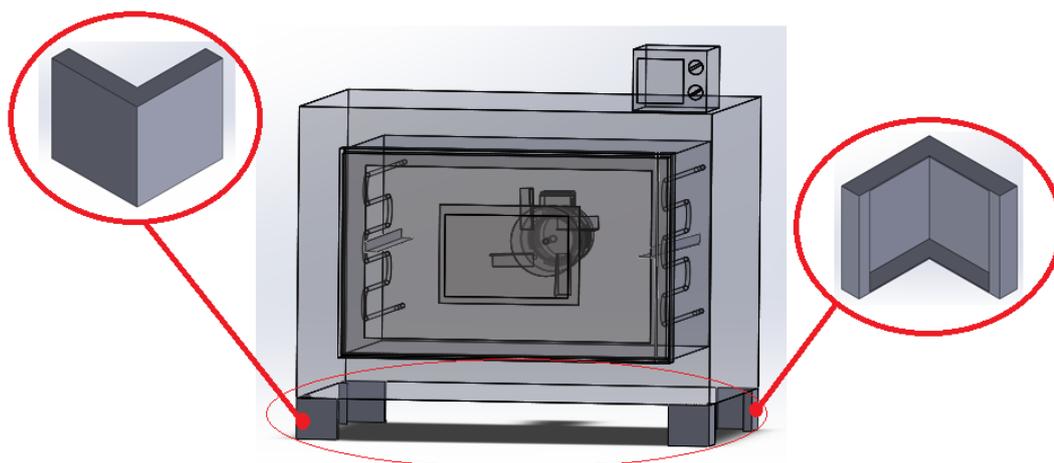


Figura 51. Prototipo de Horno. Base.

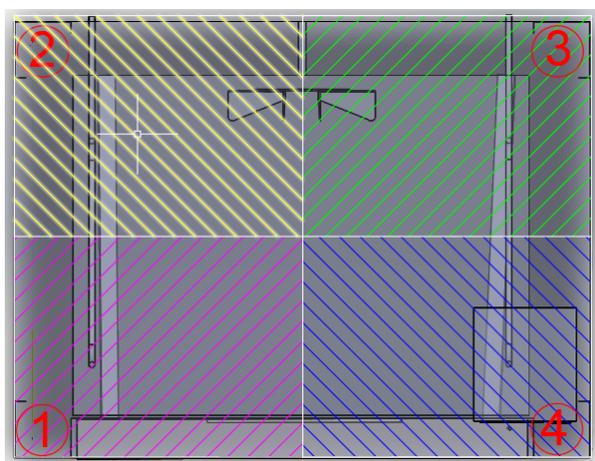


Figura 52. Vista superior Horno - división de las cargas

Considerando que cada pata soporta la misma carga como se observa en la Figura 52, es necesario dividir la carga total para el número de patas, para conocer la carga que soporta cada pata.

$$W_{PATA} = \frac{1481.38[N]}{4} = 370.345 [N]$$

Cada pata soporta una carga de 370.345 [N].

Para comprobar la resistencia de las patas, se utilizará el software de simulación computacional Ansys Workbench. Se realizará una simulación estructural. (Figura 53)

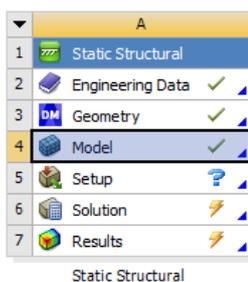


Figura 53. Simulación estructural Ansys Workbench.

Para la simulación se utilizará un soporte fijo en una de las caras. (Figura 54)

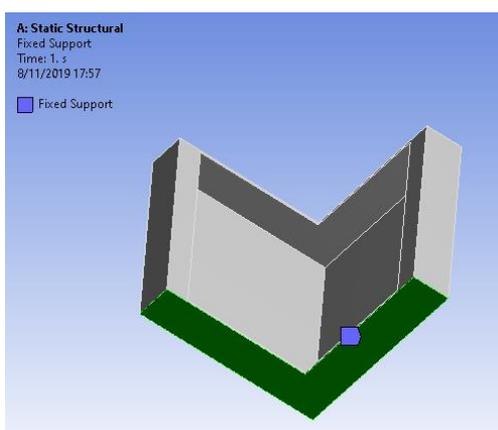


Figura 54. Se coloca soporte fijo en una de las caras de las patas.

Mientras que en la otra cara se aplicará la carga de 370.345 [N], en el sentido negativo del eje Y. (Figura 55)

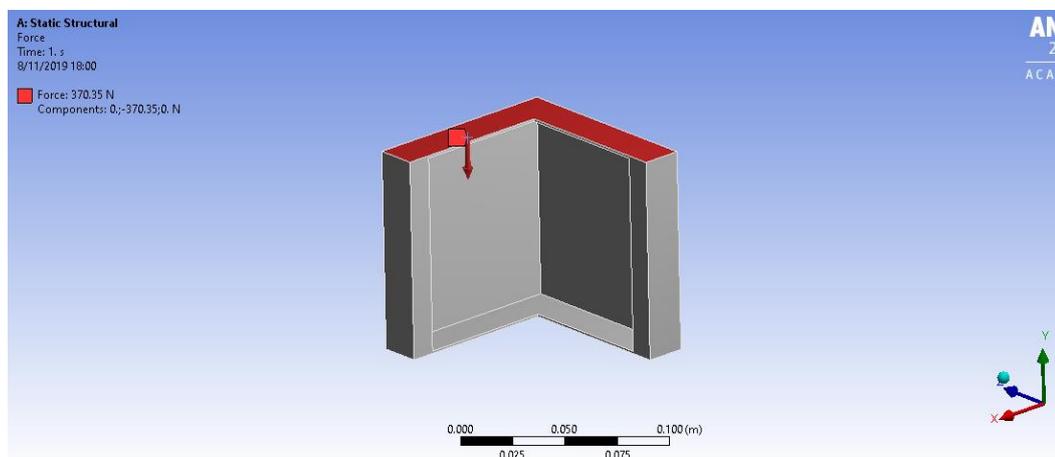


Figura 55. Aplicación de carga.

Fuente: Autores

Como resultado de la simulación se obtiene:

Esfuerzo equivalente de Von Misses (Figura 56 y Figura 57)

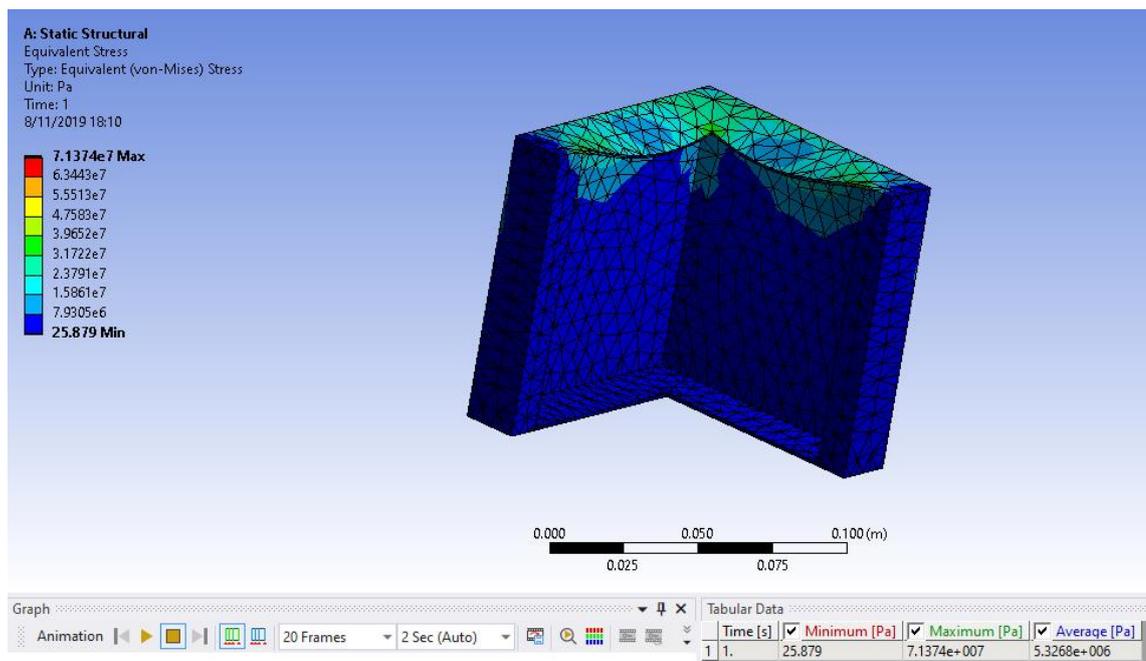


Figura 56. Esfuerzo equivalente de Von Misses - Vista interior Pata.

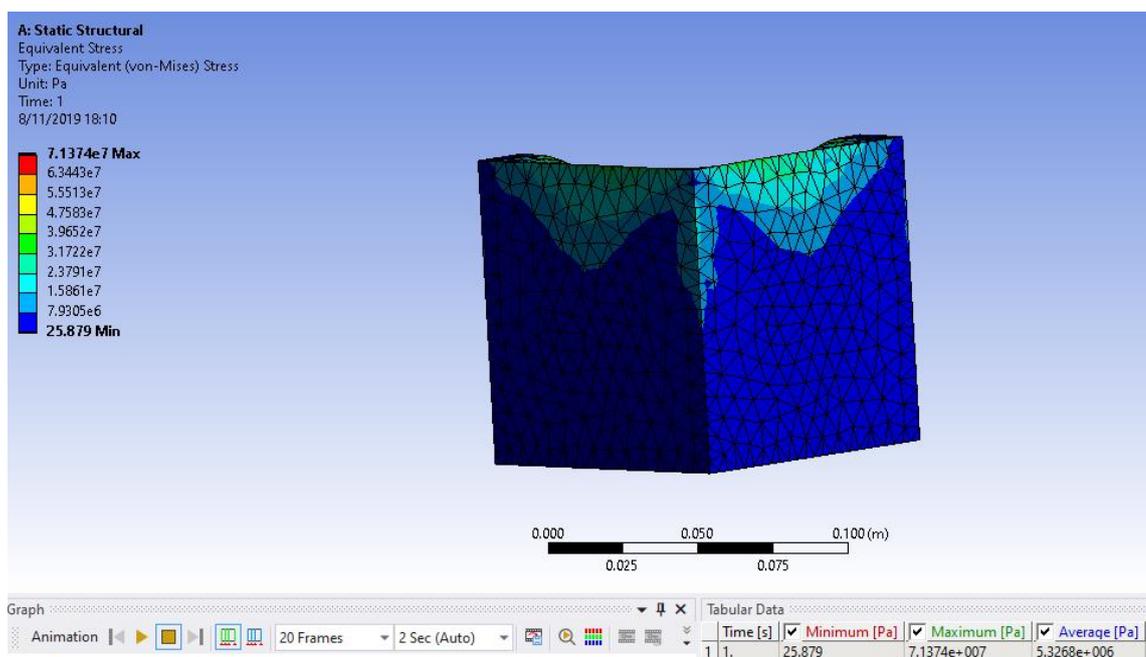


Figura 57. Esfuerzo de Von Misses - Vista exterior Pata.

Determinación del factor de seguridad con ayuda de las teorías de falla:

Esfuerzo de fluencia para el AISI 430 = 310 MPa

Esfuerzo de Von Mises (requerido) = $7.1374 \cdot 10^7$ Pa = 71.374 MPa

$$N = \frac{\text{Esfuerzo fluencia}}{\text{Esfuerzo Von Mises}} = \frac{310 \text{ MPa}}{71.374 \text{ MPa}} = 4.34$$

El material tiene un factor de seguridad de 4.34, por lo tanto, las patas resisten las cargas sin complicaciones.

Presenta una deformación máxima de 9.4565 [mm], esto se aprecia en la Figura 58.

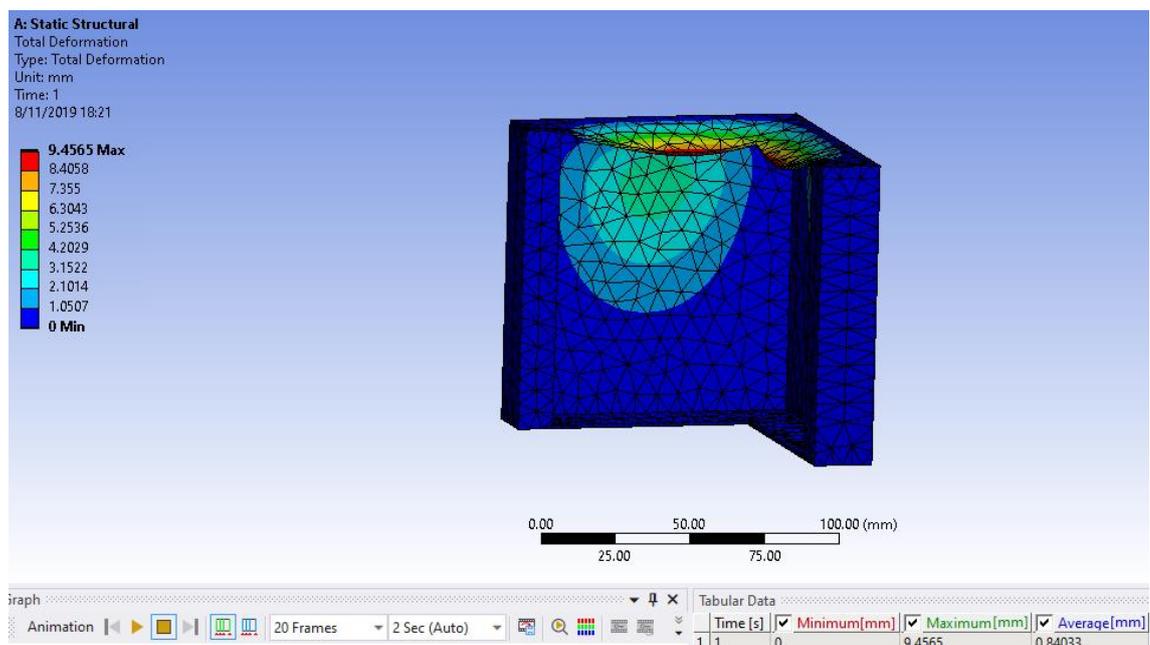


Figura 58. Deformación.

3.5.3 Selección de Procesos

Como se conoce los procesos son un conjunto de actividades relacionadas, que demandan de un cierto orden en la búsqueda del cumplimiento de un objetivo, en este caso la construcción del horno.

La manufactura busca convertir materias primas en productos terminados, por la aplicación de procesos físicos o químicos para alterar las propiedades o apariencias de un material. En este caso los procesos serán aplicados a láminas metálicas, la selección de procesos no depende únicamente del equipo o forma a producir, también depende de

factores relativos a las propiedades del material. En la (Figura 59), se puede ver ejemplos de procesos para hojas metálicas.

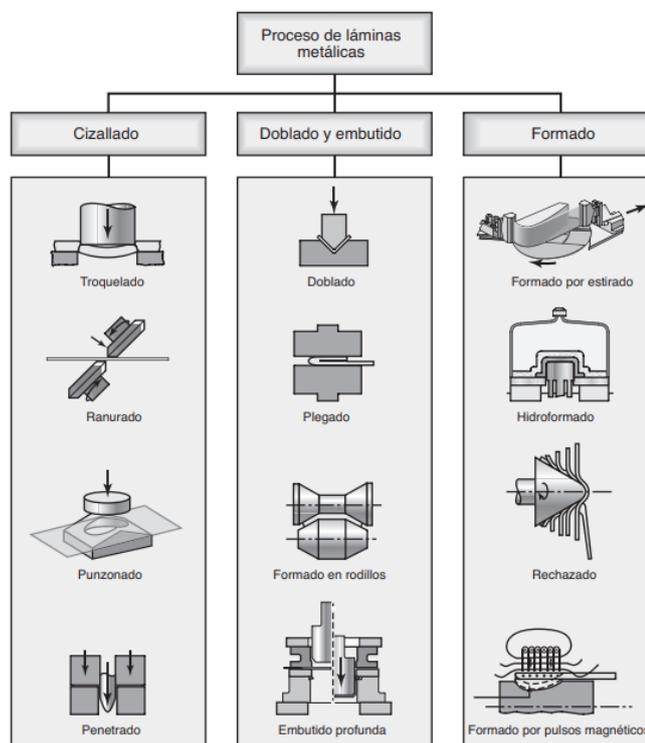


Figura 59. Esquema de diversos procesos de formado de hojas metálicas
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Para la construcción del horno se utilizan los procesos indicados en la tabla 35.

Tabla 35
Selección de procesos

Procesos de manufactura utilizados en la construcción del horno		
<u>1era Categoría</u>	<u>2da Categoría</u>	<u>Proceso</u>
Conformación por desprendimiento de material	Maquinado de láminas	Trazado
		Taladrado
	Cizallado	
Conformación sin desprendimiento de material	Maquinado	Torneado
	Conformado de láminas	Doblado en frío
Conformación forzada	Conformación térmica	Soldadura
Complementarios	Ensamble	Armado
	Acabado superficial	Pulido

Se clasificó los procesos en dos categorías, la primera categoría hacer referencia a la integridad del material, es decir a la pérdida de masa, o deformación. En este grupo se encuentran la conformación sin pérdida de material, la conformación con pérdida de material (viruta) y la conformación forzada como principales elementos.

La segunda categoría hace referencia a la naturaleza de las fuerzas externas que actúan en la transformación del material. En este caso se encuentra el maquinado, la conformación de láminas, ensamble y acabados superficial.

En base a estos criterios se desarrolla la clasificación de los procesos de manufactura utilizados en la construcción del horno.

4 CAPÍTULO IV – SIMULACIONES DEL HORNO DE CURADO

4.1 Análisis Térmico de las paredes del horno

Las paredes del horno se pueden denominar como paredes sándwich (Figura 60), puesto que están compuestas por tres capas que simulan la forma de un sándwich, se tiene una pared interna de acero inoxidable AISI 430 de 3mm de espesor, una pared intermedia de aislante térmico (lana de vidrio) de 10cm de espesor y una pared exterior de acero inoxidable AISI 430 de 1.2 mm de espesor.

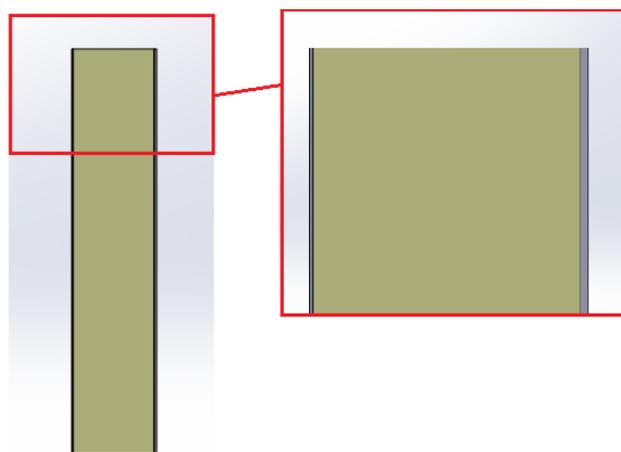


Figura 60. Paredes del horno a ser evaluadas

Las paredes del horno (Figura 61) soportarán como máximo una temperatura interna de 400°C:

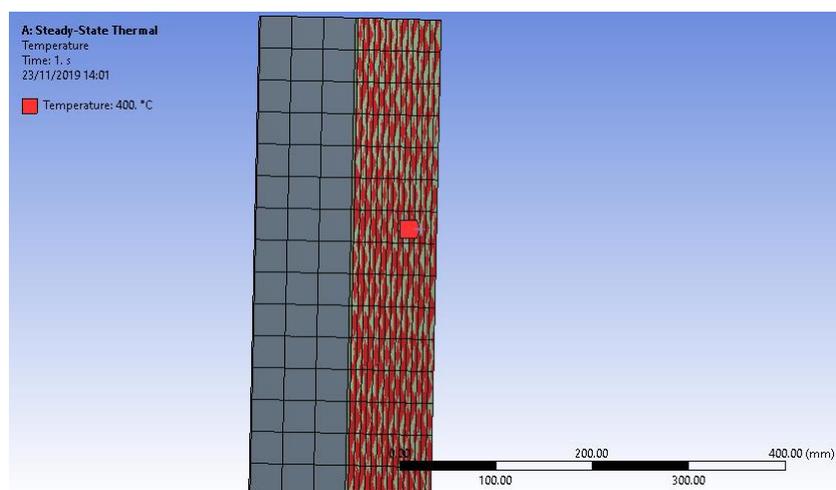


Figura 61. Flujo de Calor en la pared del horno

Y en su exterior (Figura 62) para evitar quemaduras por contacto directo con superficies calientes la temperatura de la pared del horno tiene que ser menor a 40°C:

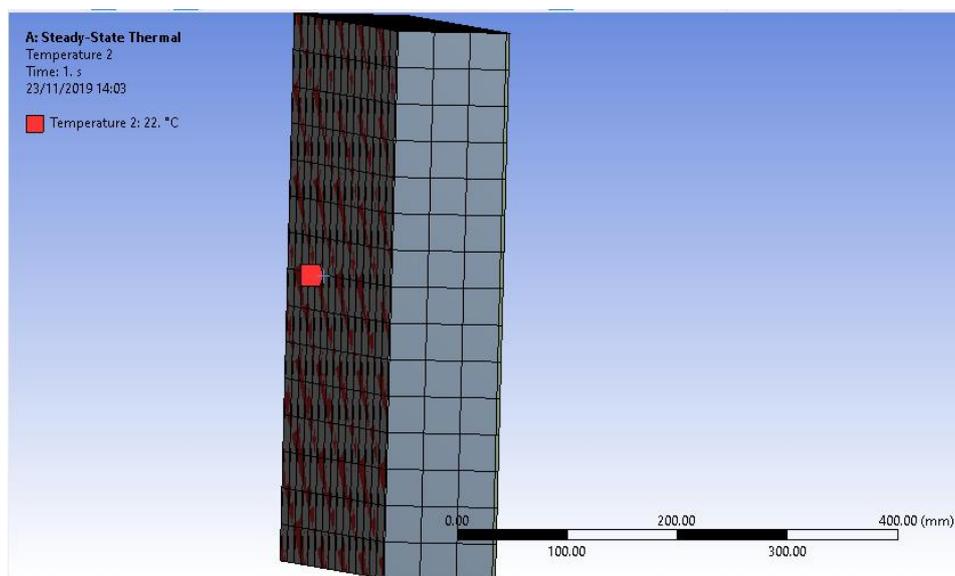


Figura 62. Temperatura máxima en el exterior

También se tiene un flujo de calor que es transmitido por las resistencias, considerando las necesidades de calor del horno con una potencia de 3630 W, el flujo de calor respecto del área sería (Figura 63):

$$\text{Flujo de calor por área} = \frac{3630 \text{ W}}{50\text{mm} \times 50\text{mm}} = 1.452 \frac{\text{W}}{\text{mm}^2}$$

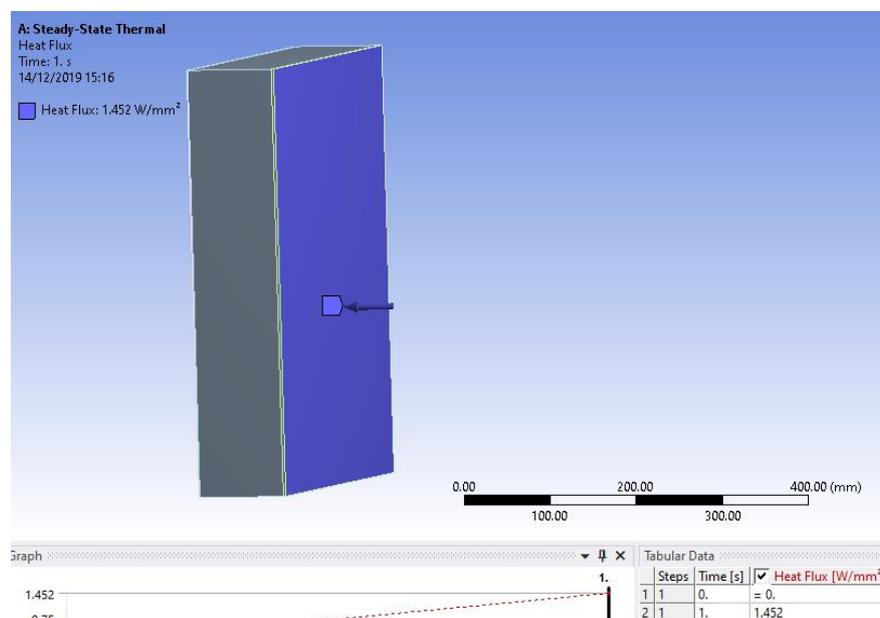


Figura 63. Flujo de Calor por área

4.1.1 Comportamiento de la pared:

- **Temperatura:** El comportamiento de la pared indica que al tener una temperatura interna (en cámara) de 400°C, la temperatura externa de las superficies del horno es de 22°C.

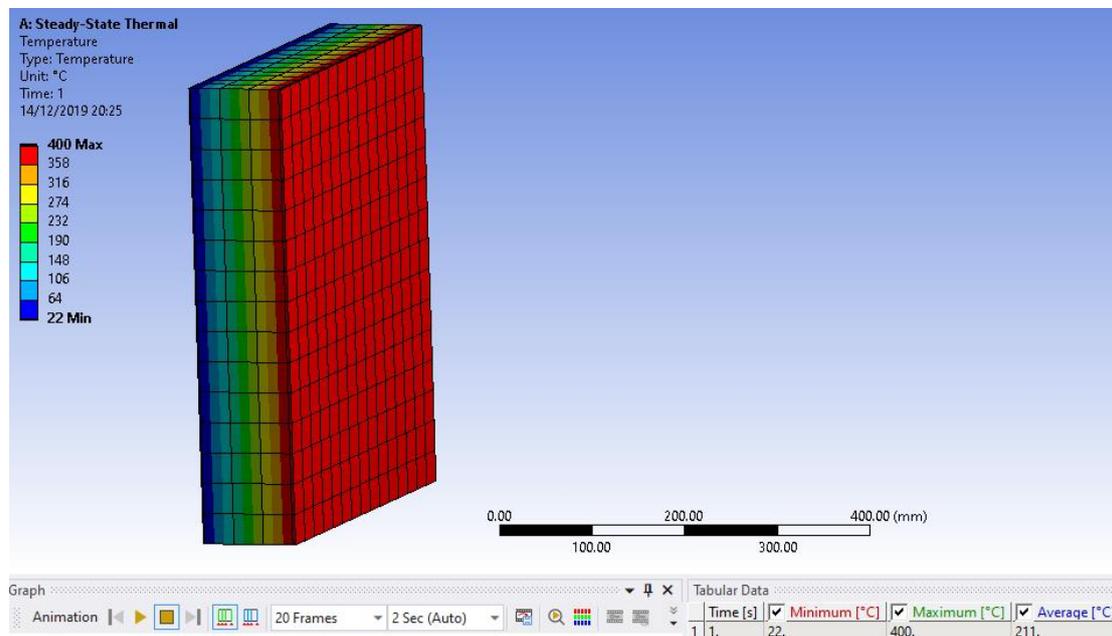


Figura 64. Comportamiento térmico de la pared

- **Flujo Total de Calor:** El flujo de calor se produce desde la pared interior hacia el exterior de la cámara. Puesto que el calor se transmite del punto de mayor temperatura al de menor temperatura. (Figura 65).

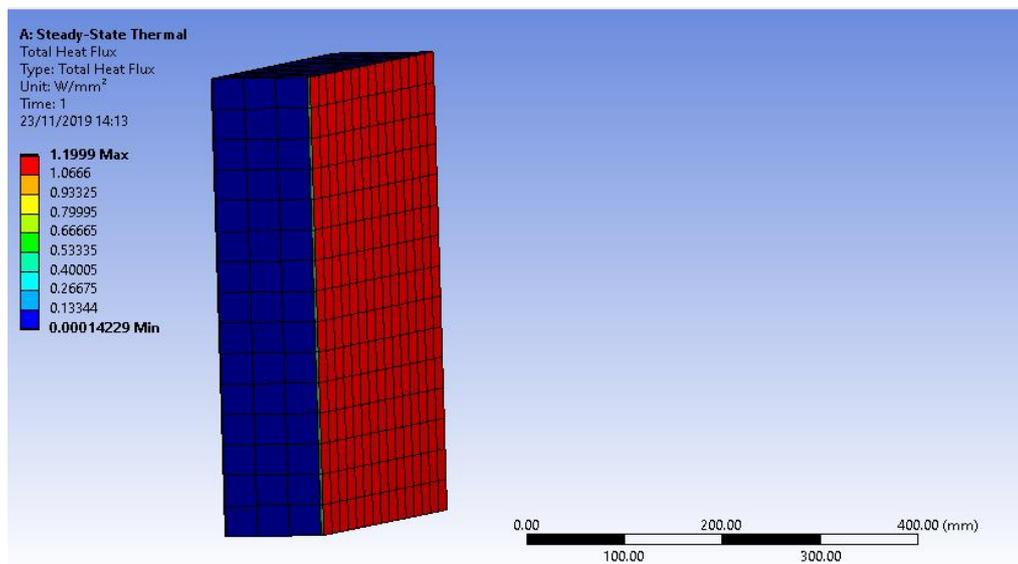


Figura 65. Flujo total de calor en las paredes del horno

- **Flujo de calor direccional:** Se puede observar en la Figura 66.

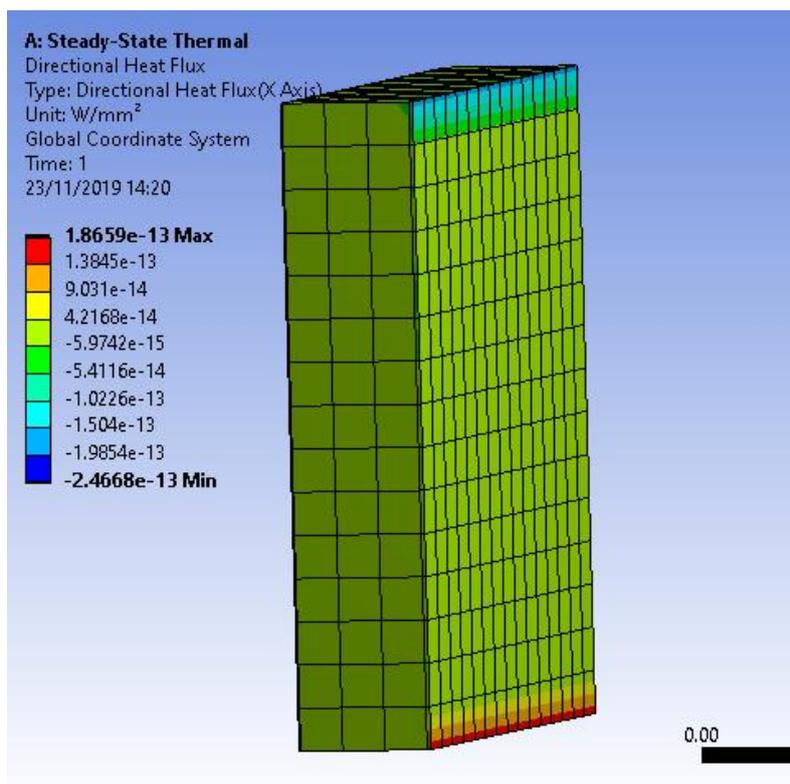


Figura 66. Flujo de calor direccional en las paredes del horno

4.2 Análisis térmico de la resistencia

Se utiliza una simulación en estado estacionario (Figura 67) para una temperatura máxima de 400°C y posteriormente a 200°C que será la temperatura máxima de funcionamiento para los procesos de curado de materiales compuestos.

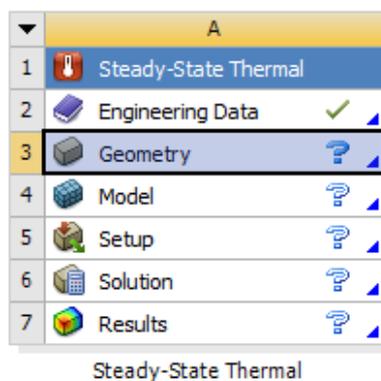


Figura 67. Ingreso de parámetros en Ansys - Workbench

Material de las resistencias eléctricas:

Están fabricadas con acero inoxidable AISI 304. Puesto que debe ser un material que soporte la temperatura que se desea obtener en el horno y la energía de generación de los filamentos. (Figura 68)

3	AISI 304			
4	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 4: AISI 304				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Isotropic Thermal Conductivity	21	W m ⁻¹ C ⁻¹	

Figura 68. Parámetros del material

Temperatura de 400°C: Las resistencias eléctricas a la temperatura máxima del prototipo de horno (Figura 69).

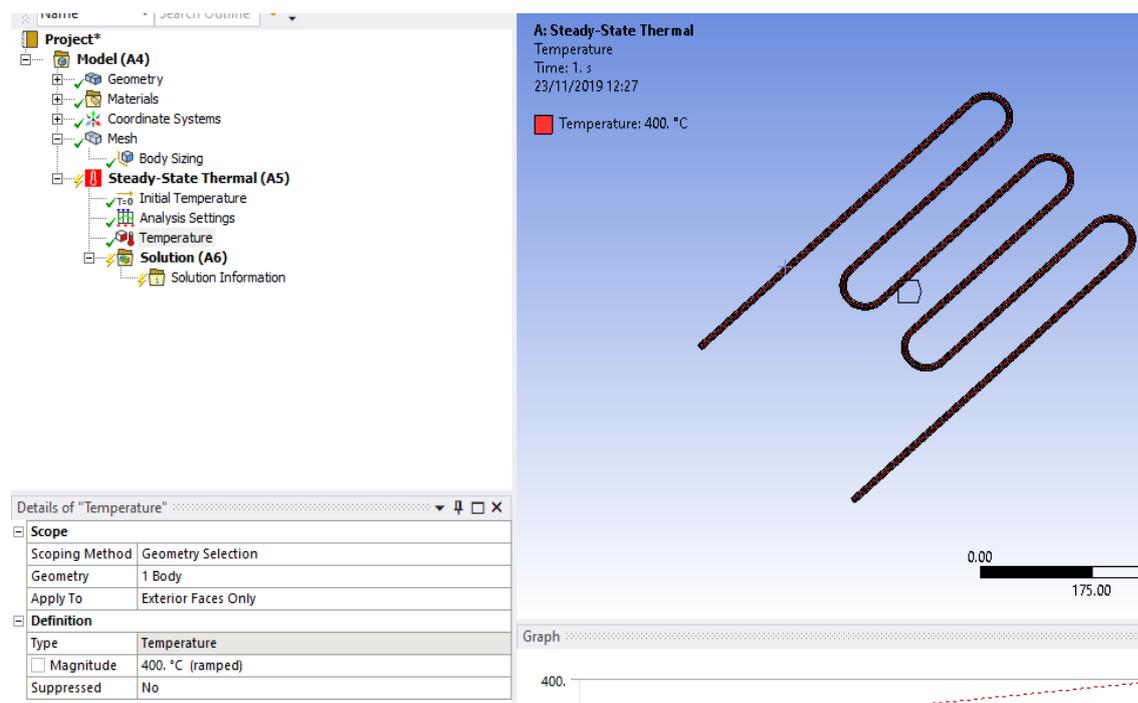


Figura 69. Región de aplicación del calor de la resistencia

Comportamiento: Los resultados de la simulación.

- **Flujo de calor total:** Con una temperatura de 400°C, corresponde a:

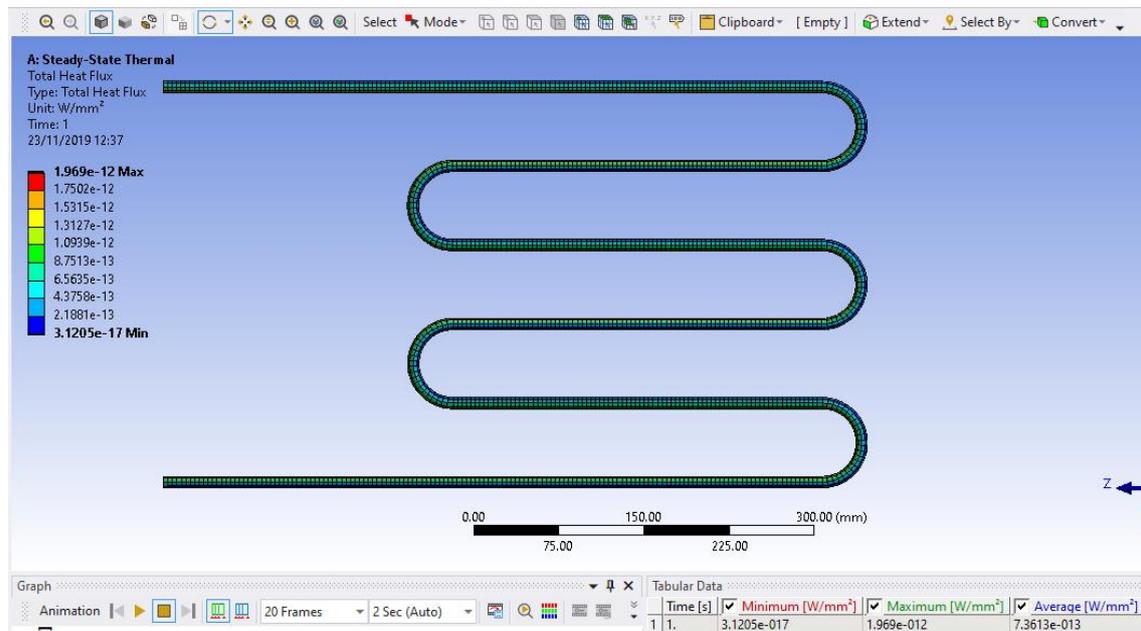


Figura 70. Mallado de la resistencia

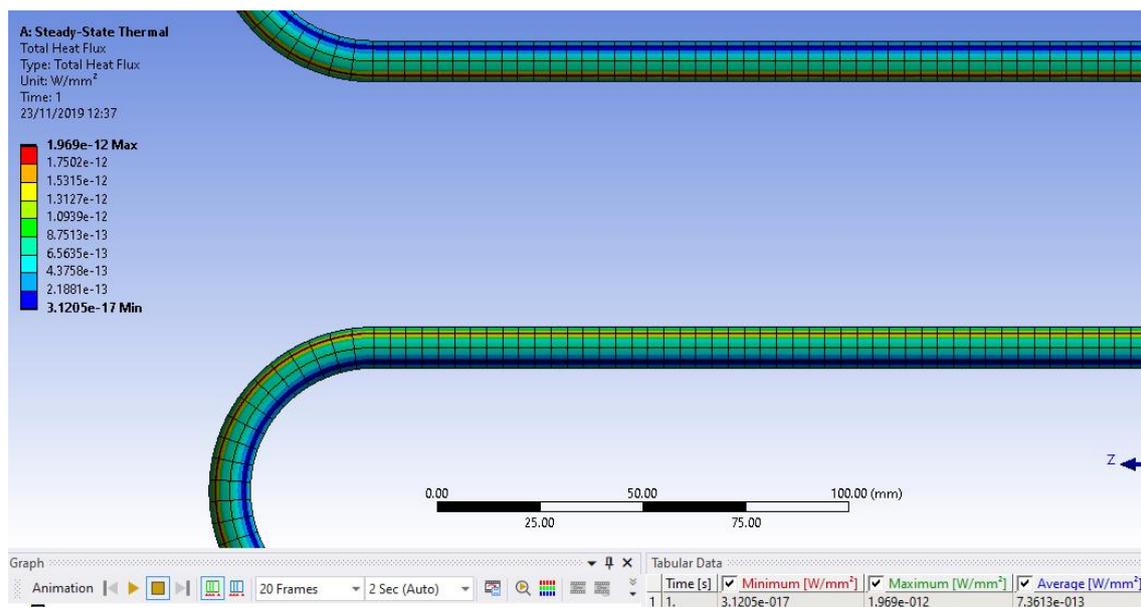


Figura 71. Flujo de calor en la resistencia

En la Figura 70 y Figura 71, se observa el flujo de calor de las resistencias eléctricas a 400°C, se observa que el flujo máximo de calor es de $1.969 \times 10^{-12} \text{ W/mm}^2$.

- Flujo de calor direccional:** Corresponde al flujo transferido por unidad de área. El comportamiento de las resistencias se observa en las Figuras 72 y Figura 73. Se observa las secciones que presentan un mayor flujo direccional de calor.

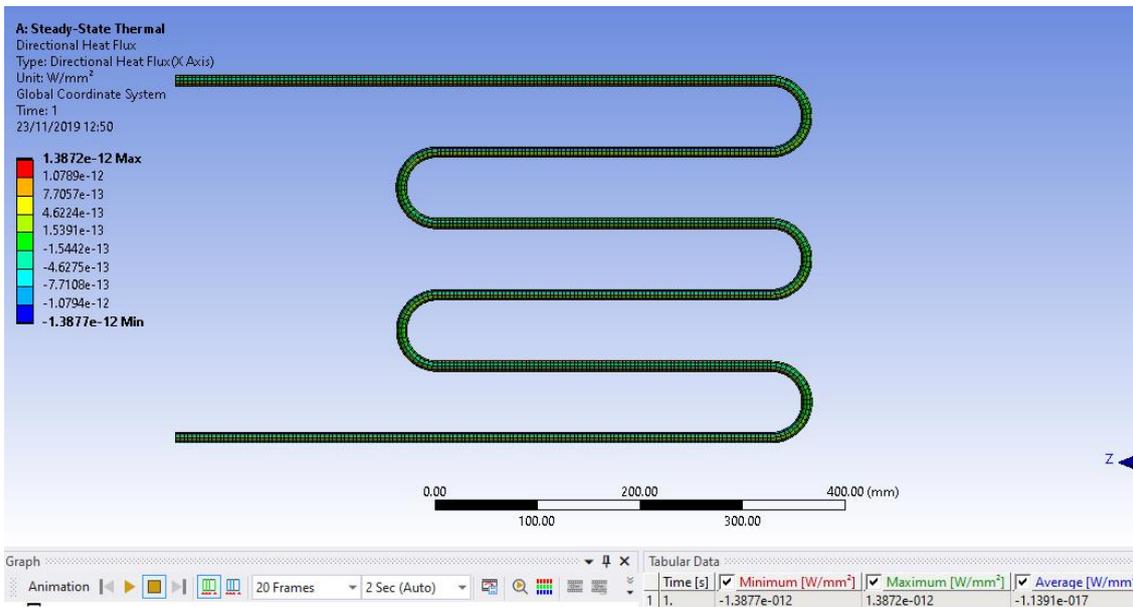


Figura 72. Flujo de calor direccional de la resistencia

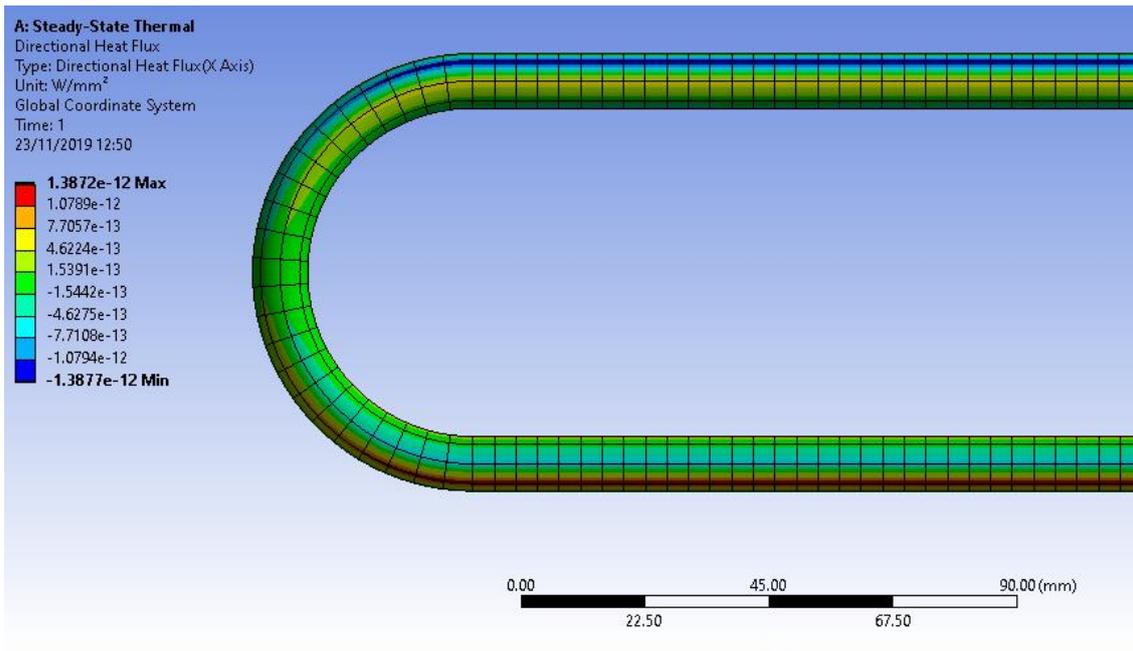


Figura 73. Flujo máximo y mínimo de la resistencia

Temperatura de 200°C: Como se puede observar en la Figura 74.

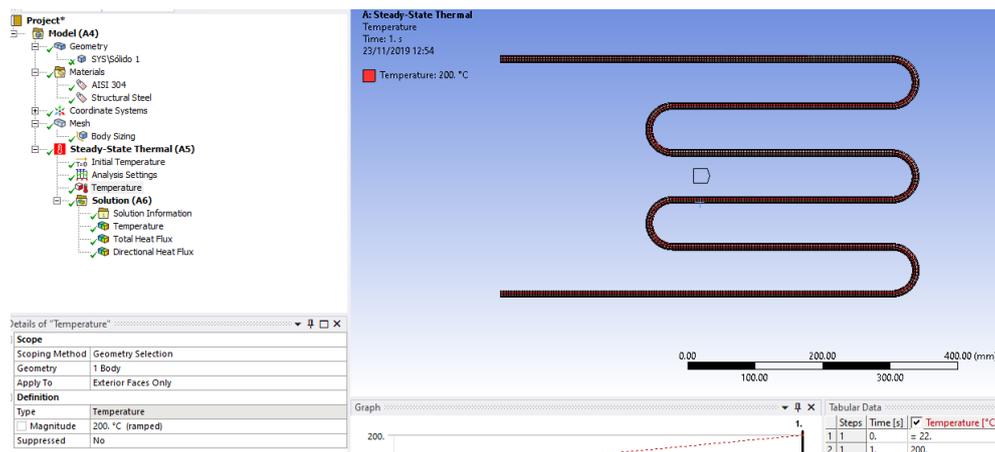


Figura 74. Ingreso de temperatura de operación

- **Flujo de calor total:** El flujo de calor máximo para las resistencias a la temperatura de 200°C, es de $9.845 \times 10^{-13} \text{ W/mm}^2$. (Figura 75)

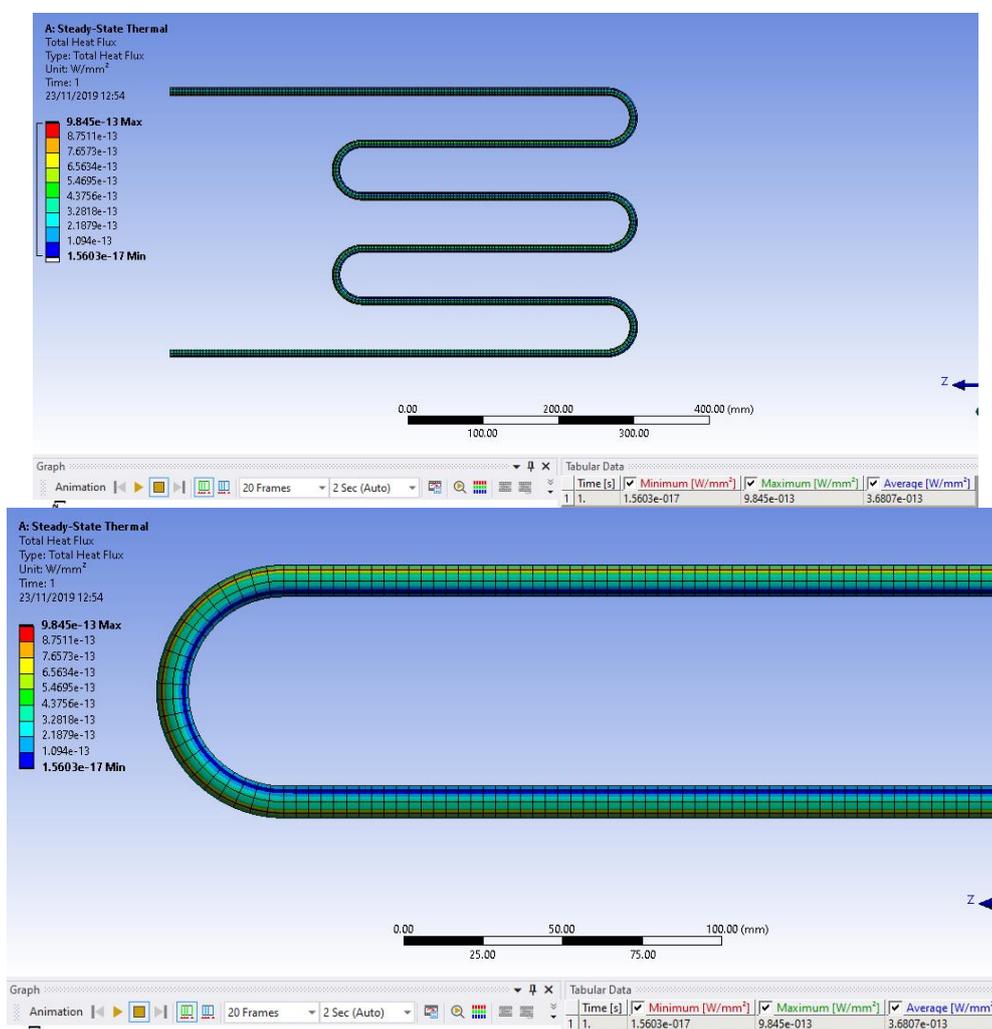


Figura 75. Flujo de calor total en las resistencias

- **Flujo de calor direccional:** El flujo de calor direccional para las resistencias con una temperatura de 200°C se observa en la Figura 76.

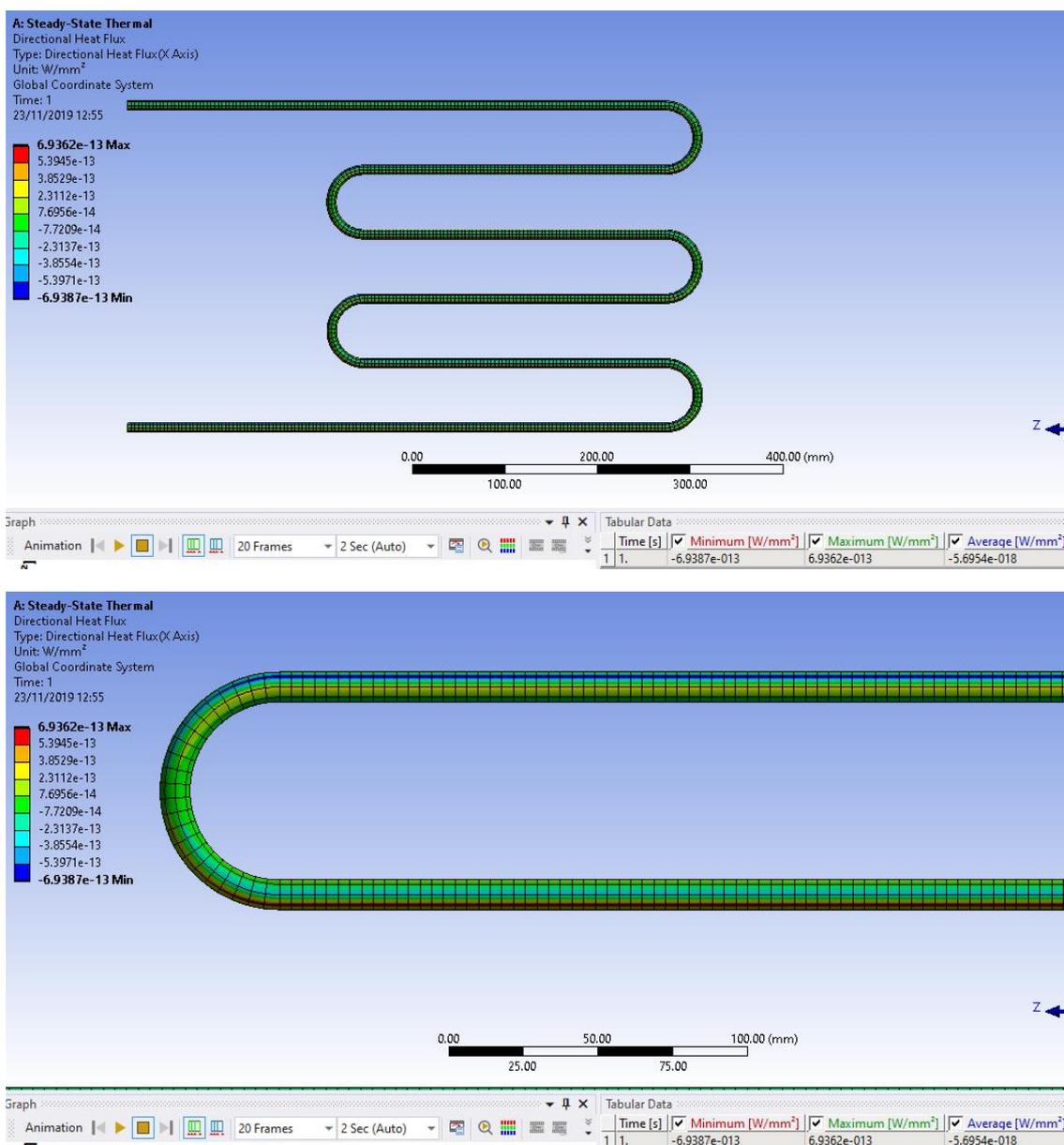


Figura 76. Flujo de calor direccional de la resistencia

Cuando la temperatura de las resistencias es de 400°C, el valor del flujo máximo de calor es de $1.969 \times 10^{-12} \text{ W/mm}^2$, mientras que cuando la temperatura es de 200°C, se tiene un flujo de calor máximo de $9.845 \times 10^{-13} \text{ W/mm}^2$. Se presenta una reducción a la mitad del valor del flujo de transferencia de calor al reducir la temperatura.

4.3 Análisis de la temperatura dentro de la cámara del horno

Dentro del análisis térmico de la cámara del prototipo de horno (Figura 77):

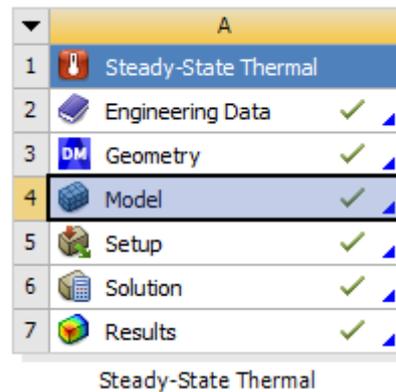


Figura 77. Análisis térmico en estado estacionario

El flujo de calor en la cámara se da por la generación de calor de las resistencias (Figura 78), cuando las resistencias tienen una temperatura de 400°C , el flujo de calor es el siguiente:

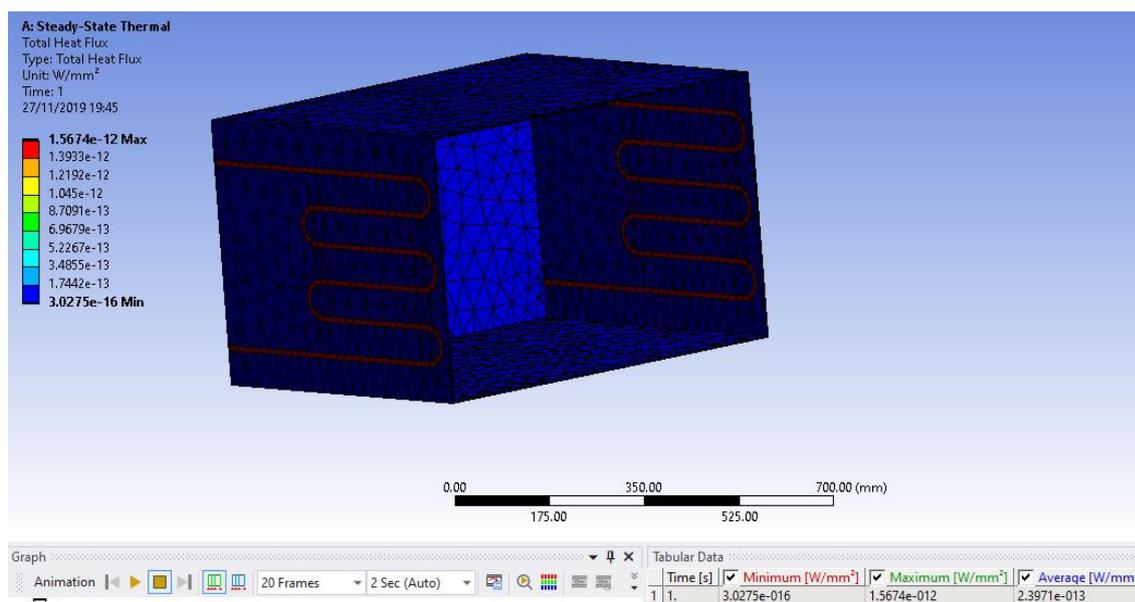


Figura 78. Flujo de calor resistencias

Para evaluar la resistencia de la cámara interna, se realiza una simulación donde las resistencias se encuentran incrustadas en el material, esto para tener una coincidencia.

Para aplicar un flujo es necesario utilizar las propiedades de las resistencias (Figura 79):

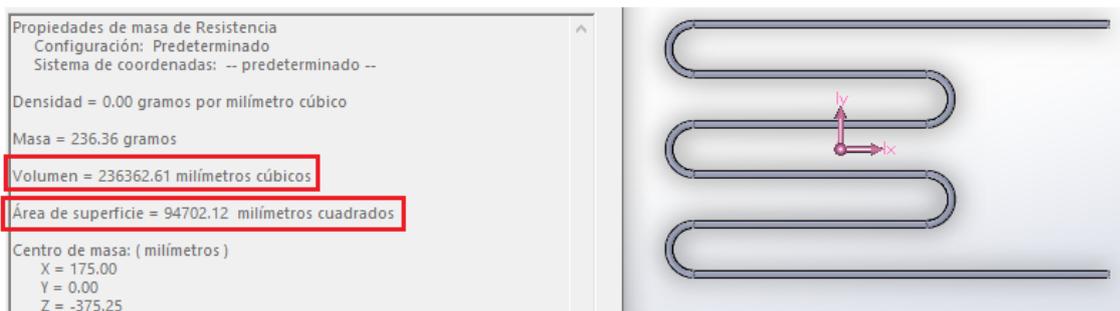


Figura 79. Propiedades físicas de las resistencias

Considerando que las resistencias están emitiendo 2420 W de potencia, este valor se obtiene en el diseño eléctrico:

$$\text{Flujo de calor} = \frac{\text{Potencia (W)}}{\text{Área (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{Flujo de calor} = \frac{2420\text{W}}{94702.12\text{mm}^2} = 0.026 \text{ W/mm}^2$$

Este valor de flujo de calor será aplicado a las resistencias que se encuentran en las paredes de la cámara (Figura 80 y Figura 81):

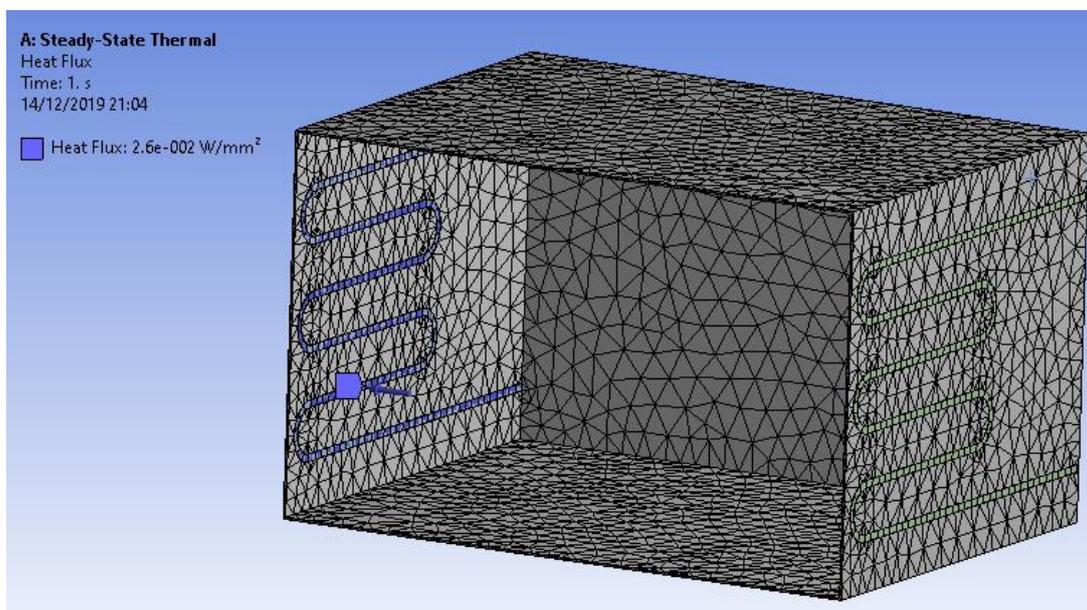


Figura 80. Resistencia 1 con flujo de calor

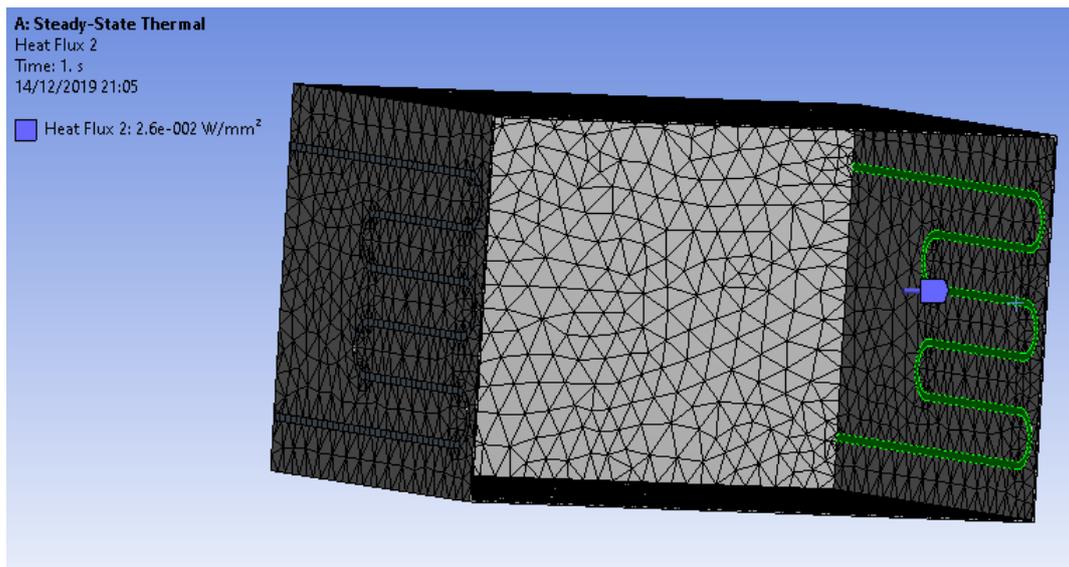


Figura 81. Resistencia 2 con flujo de calor

Es necesario considerar también la convección en las paredes internas de la cámara, a la temperatura de 400°C (Figura 82), el coeficiente de convección es

$$h_1 = 2.091 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] = 2.091 * 10^{-6} \left[\frac{W}{mm^2 * K} \right]$$

Este valor fue tomado de los cálculos desarrollados en el Diseño Térmico del prototipo.

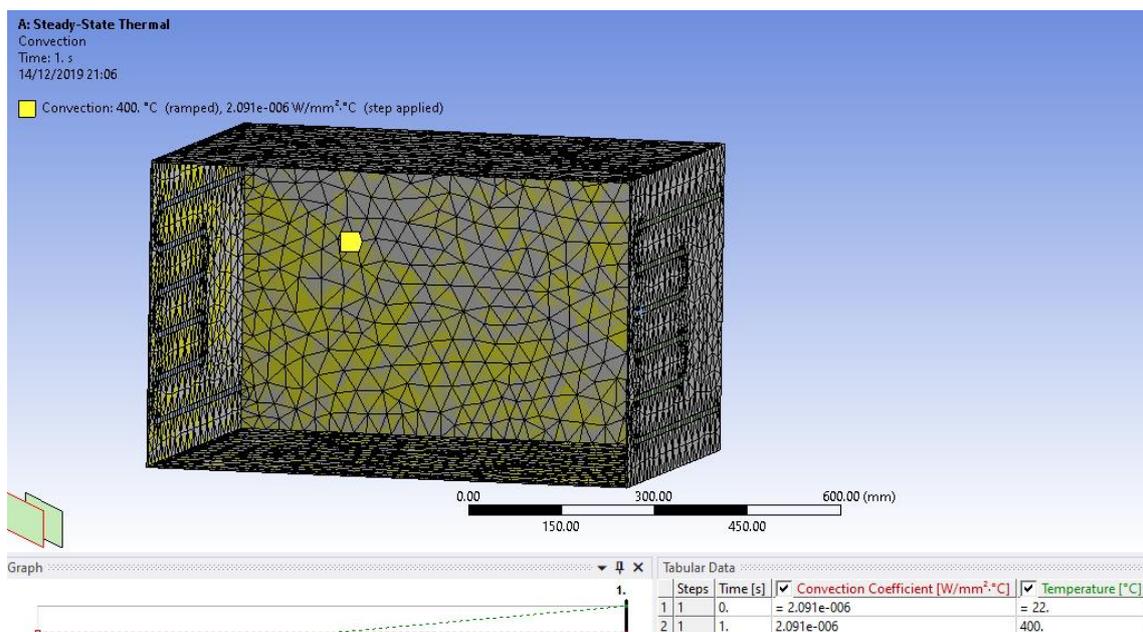


Figura 82. Convección en paredes internas

Como resultado de la simulación, la distribución de temperatura dentro de las paredes de la cámara se tiene la Figura 83, es necesario considerar que en este caso las resistencias estarían incrustadas en el material, por lo que los valores pueden ser mayores a lo que sucede en la realidad, provocando una simulación sobredimensionada que garantiza el funcionamiento y la resistencia del prototipo de horno:

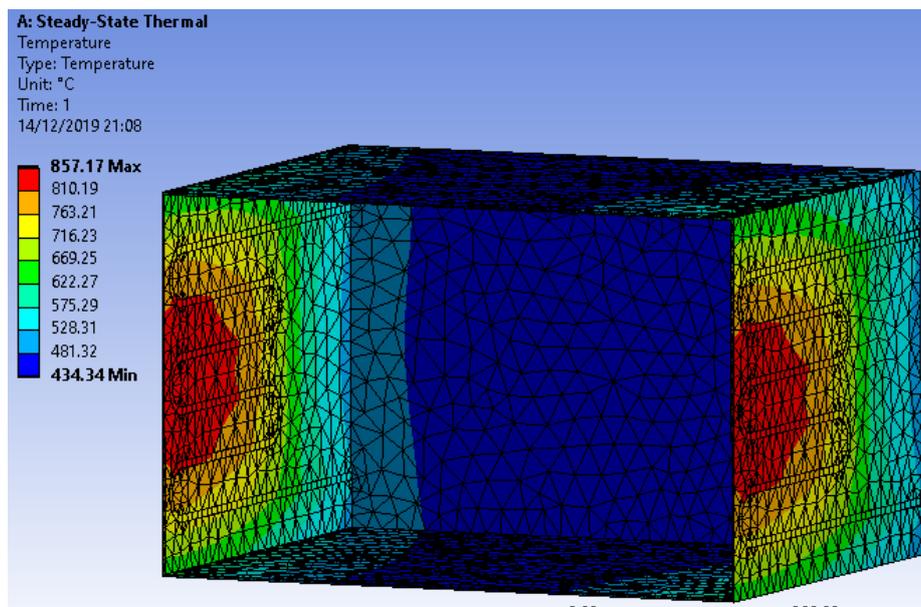
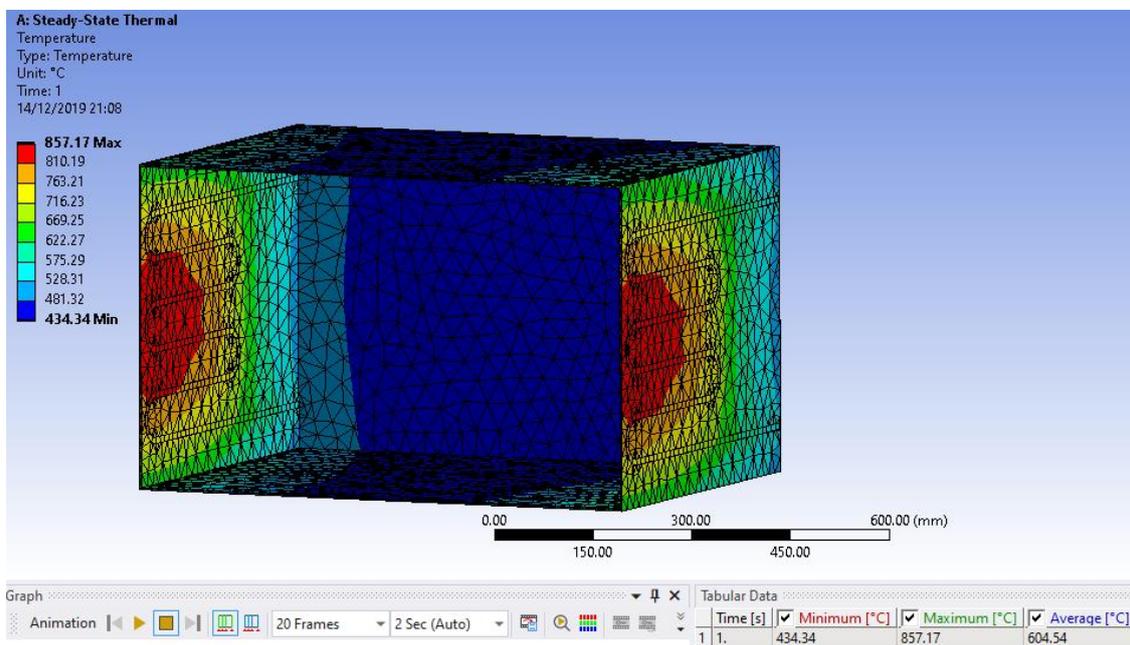


Figura 83. Distribución de la temperatura en la cámara

Como resultado de la simulación, el flujo de calor dentro de la cámara se tiene la Figura 84. Se observa un flujo de calor en las resistencias, que se transmite al material. En la Figura 85, se puede observar el flujo de calor direccional, utilizando vectores que indican el flujo.

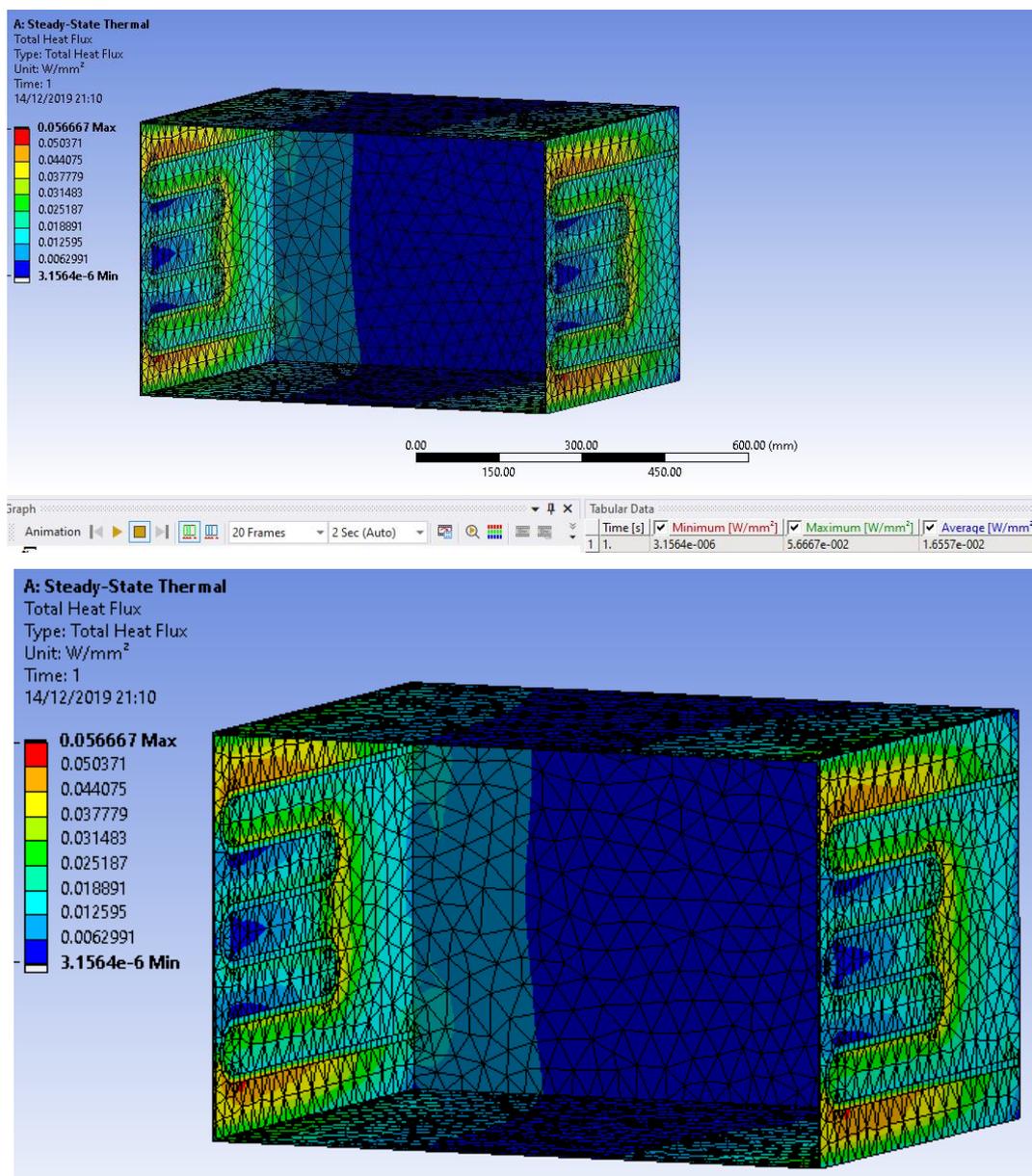


Figura 84. Flujo de calor en la cámara

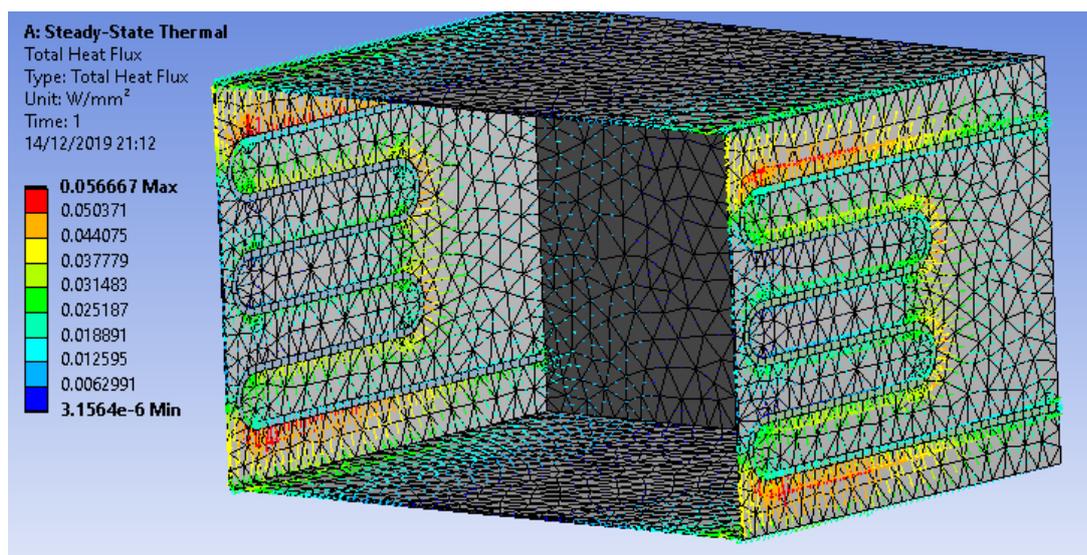


Figura 85. Flujo de calor como vectores

4.4 Análisis estructural del horno

Para que el caso de análisis estructural presente se colocará el flujo de calor directamente a las paredes, esto para que los valores de carga térmica se incrementen para demostrar la resistencia del material a temperaturas elevadas. (Figura 86). Se utiliza el principio de convergencia de malla con refinamiento para las paredes donde se ubican las resistencias eléctricas.

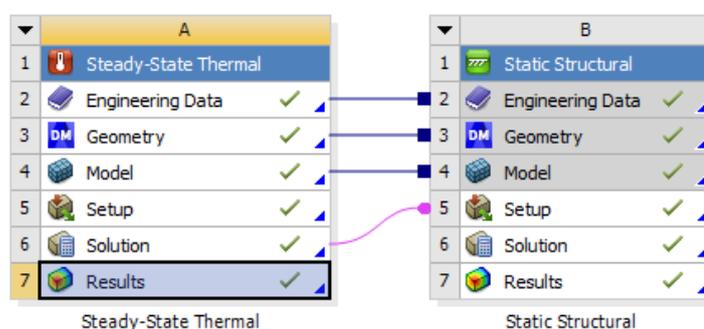


Figura 86. Análisis estructural de la cámara

Para el caso del análisis térmico de la cámara se utilizarán los mismos valores que en la simulación anterior (cámara con resistencias incrustadas), pero se aplicarán los flujos

directamente a las paredes de la cámara (Figura 88), para el caso de la convección será en las paredes internas (Figura 87).

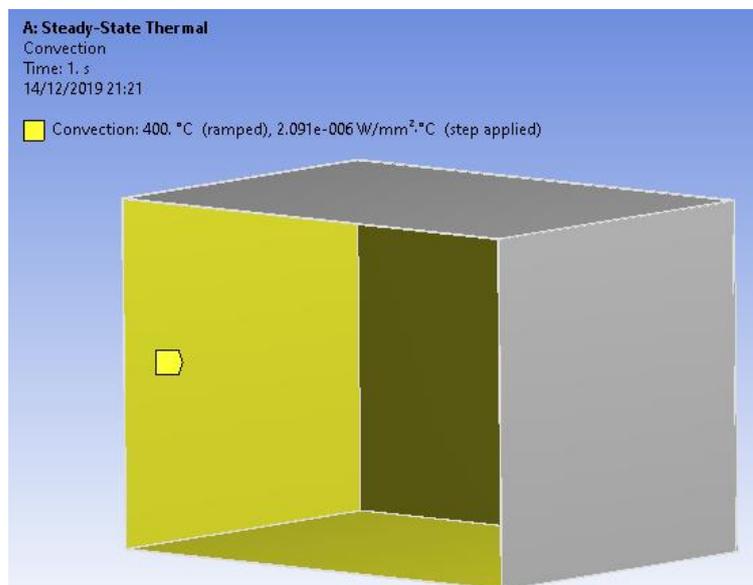


Figura 87. Convección – estructural

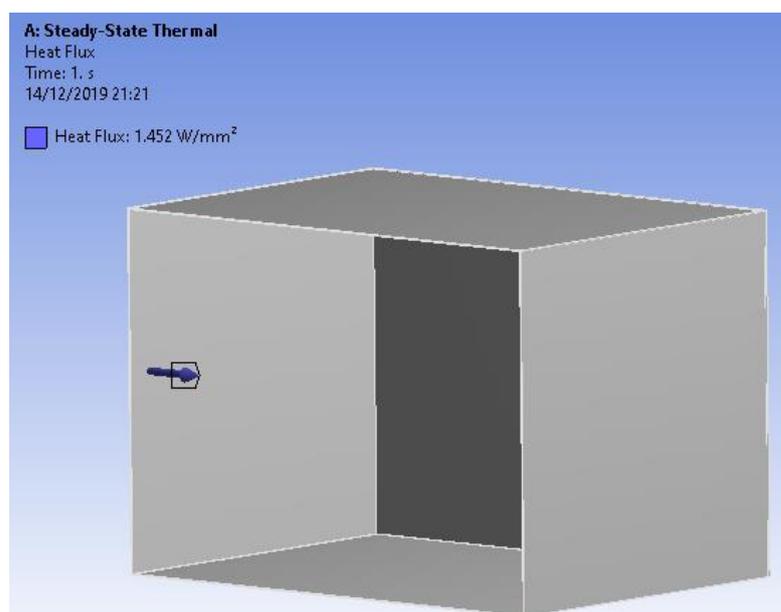


Figura 88. Flujo de calor paredes laterales – estructural

Como resultado del análisis térmico, se obtienen las siguientes cargas térmicas para simular la resistencia del material, (Figura 89):

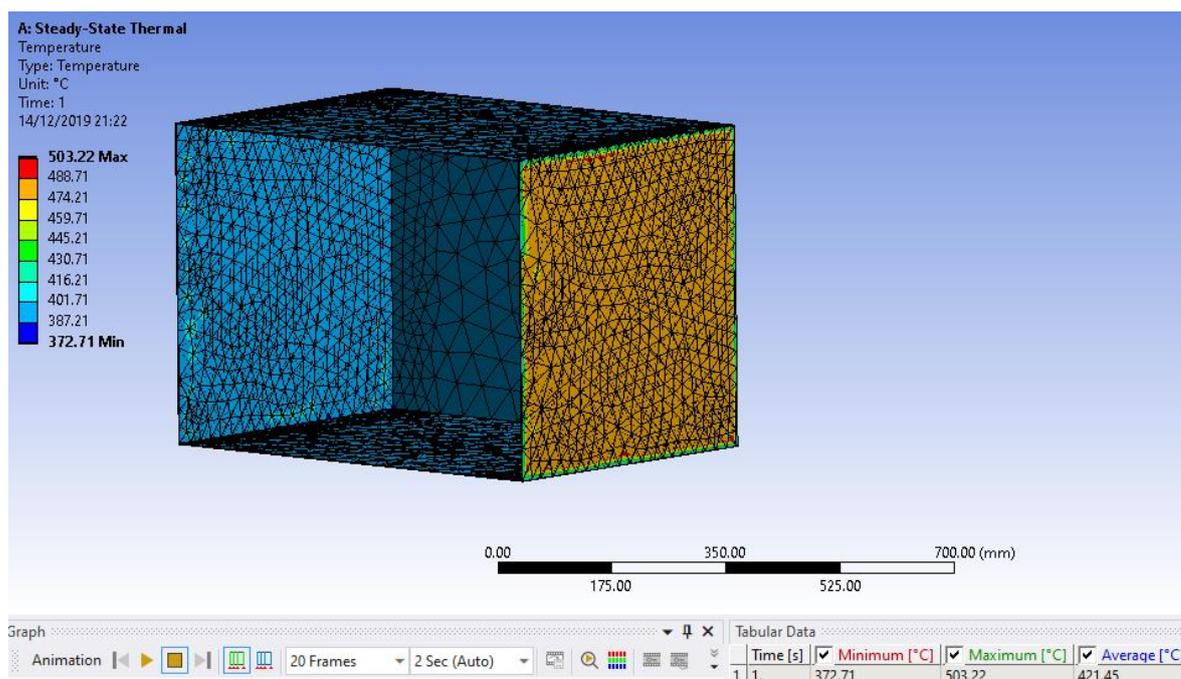


Figura 89. Temperatura – estructural

Con el resultado de las cargas térmicas del análisis de temperatura se realiza el análisis estructural, colocando un "Fixed support" en la base de la cámara donde estarán las patas (Figura 90).

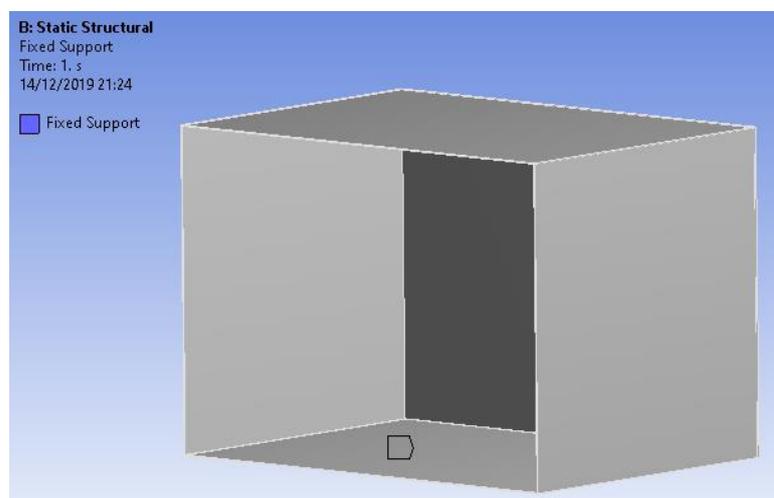


Figura 90. Fixed support – estructural

El resultado de la simulación de la deformación (Figura 91) que sufre la cámara debido al incremento de la temperatura:

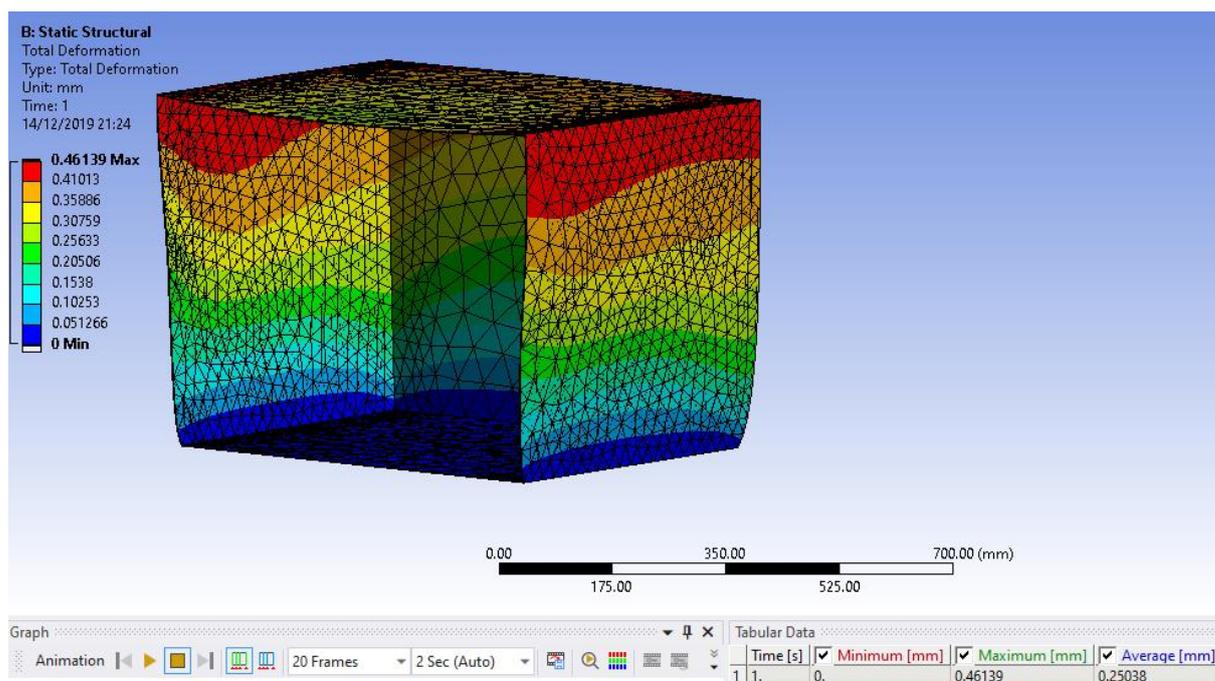


Figura 91. Deformación cámara – estructural

Indica que la máxima deformación es de 0.4613 mm, especialmente en la pared superior, por este motivo se colocaron refuerzos en todas las paredes.

El resultado de la simulación del esfuerzo equivalente de Von Mises (Figura 92), nos da un resultado para el esfuerzo máximo, con este valor se determinará el factor de seguridad aplicando las teorías de falla:

Con el valor del esfuerzo máximo que corresponde a 306.87 MPa, se determinará el factor de seguridad:

Esfuerzo de fluencia para el AISI 430 = 310 MPa (Metaza, 2019)

Esfuerzo de Von Mises (requerido máx.) = 306.87 MPa

$$N = \frac{\text{Esfuerzo fluencia}}{\text{Esfuerzo Von Mises}} = \frac{310 \text{ MPa}}{306,87 \text{ MPa}} = 1,01$$

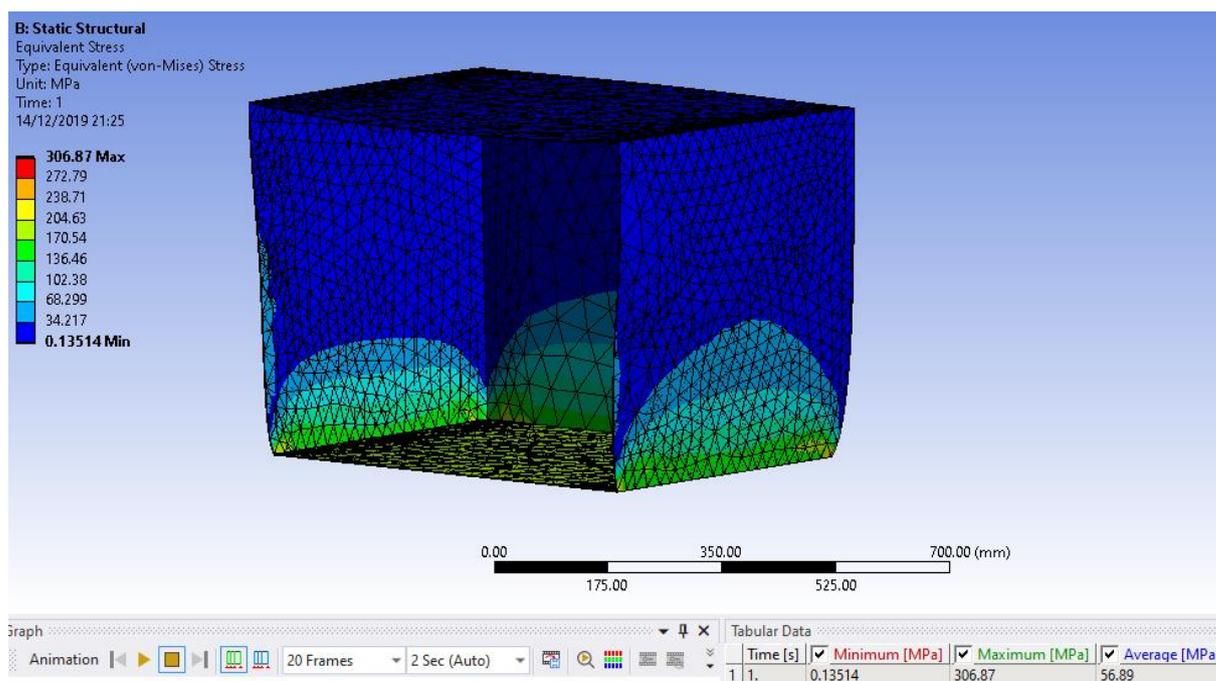


Figura 92. Esfuerzo total – estructural

El material tiene un factor de seguridad optimista, para su funcionamiento a la máxima temperatura (400°C), por lo tanto, se define como temperatura máxima de operación 320°C (temperatura inferior a la máxima) por seguridad del usuario.

Se han colocado refuerzos en las paredes y también se debe considerar la presencia del aislamiento térmico, y la pared externa, esto brinda mayor resistencia a la cámara interna y protección al usuario.

4.5 Análisis del comportamiento del agitador

El sistema de agitación se encuentra compuesto por 4 aspas dobladas a 90°, una base realizada en acero inoxidable y un motor trifásico 220V; su función es la de mezclar el aire interno para asegurar la distribución en todo el horno.

La simulación del agitador se llevó a cabo en un programa CAD que cuenta con una subdivisión denominada Flow Simulation en el cual se ejecutó el análisis perteneciente a las líneas de flujo de nuestro agitador, teniendo los siguientes resultados:

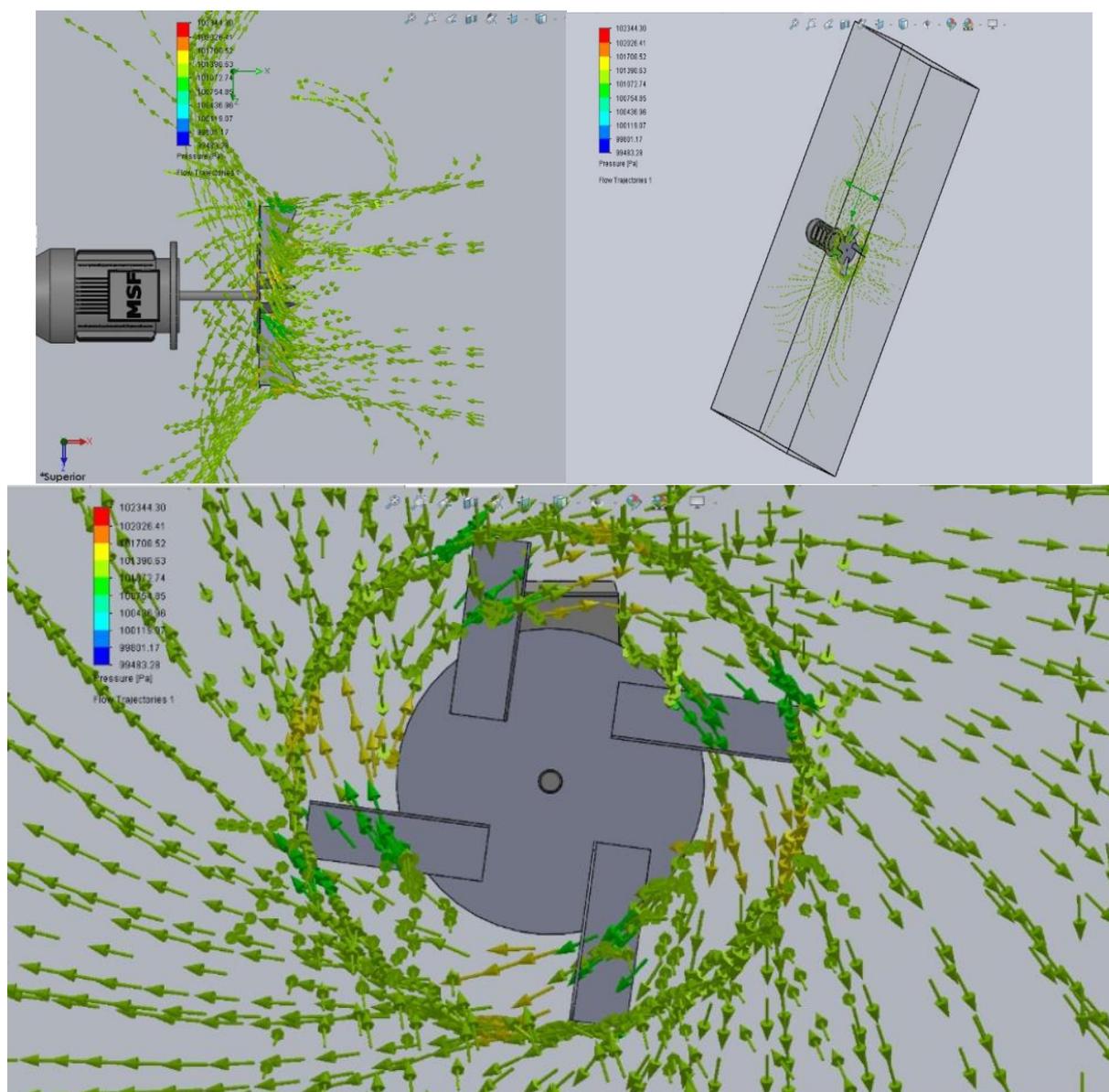


Figura 93. Distribución de líneas de flujo del agitador

En la Figura 93, se puede observar la distribución de las líneas de flujo del agitador teniendo en cuenta que la simulación fue realizada con valores reales de la velocidad tanto del motor como la del agitador y teniendo un volumen de control alrededor del agitador.

La simulación arroja los resultados pertenecientes al horno lo cual justifica el trabajo que realizará el sistema de agitación dentro de nuestro prototipo de horno.

5 CAPITULO V: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL HORNO DE CURADO

5.1 Materiales, Máquinas e Instrumentos.

5.1.1 Materiales y Proveedores

Para llevar un control de los materiales necesarios y su cantidad se elabora la siguiente tabla:

Tabla 36
Registro de materiales

<i>REGISTRO DE MATERIALES</i>		
<u>No</u>	<u>DETALLE</u>	<u>CANTIDAD</u>
1	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=1.2mm, 2.44x1.22m	2
2	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=1.5mm, 2.44x1.22m	1
3	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=3mm, 2.44x1.22m	2
4	Electrodos para soldadura E308 L-16, caja de 1kg	1
5	Rollo de lana de vidrio, e= 5cm, 24x1.2m	1
6	Vidrio templado, e=6mm, 30x20 cm	1
7	Vidrio templado, e= 6mm, 34x24cm	1
8	Pegamento de alta temperatura	1
9	Empaque Térmico de cuerda tejida Estilo 347-S THERMO-SIL™ L=3m	2
10	Cable para conexión trifásica de 220V, L= 3m	1
11	Cable delgado para conexión de 220 V, L= 2m	1
12	Bornera plástica de 30 amperios	1
13	Conector macho para 220V	1
14	Pintura intumescente para alta temperatura	1
15	Grata de fibra 3x2 # 80x50 A 106 MEDIANO	1
16	Disco pulidor de felpa	1
17	Pasta para pulir Acero Inoxidable	1
18	Disco de lija para pulir Acero Inoxidable	1
19	Accesorios para limpieza (franela, taípe, etc.)	1

Donde e= espesor, L=longitud

Tabla 37
Registro de accesorios y equipos

REGISTRO DE ACCESORIOS Y EQUIPOS		
No.	DETALLE	CANTIDAD
1	Motor Trifásico WEG22 Tru Metric IE2	1
2	Controlador de Temperatura REX-C900FK02-V	1
3	Termopar tipo J	1
3	Resistencias eléctricas (níquel – cromo) de 20 ohmios.	2
4	Cerradura de acero inoxidable para horno	1
5	Variador de frecuencia, motor trifásico marca KINCO	1

En la Tabla 36 y la Tabla 37 se encuentra el registro de los materiales y los equipos o accesorios que se utilizan para la construcción del prototipo de horno.

Tabla 38
Información de los proveedores

PROVEEDOR	INFORMACIÓN
<i>ACIMCO</i>	<i>Ubicación: Eucaliptos E10-180 y Av. Eloy Alfaro, Quito, Ecuador. Contacto: 2 471 531 / 6 003 160 Reseña: Ingeniería, diseño y arquitectura para todo tipo de recubrimiento de edificaciones y equipos. (Venta de aislantes térmicos)</i>
<i>BKB MAQUINARIA INDUSTRIAL</i>	<i>Ubicación: Parque Delta Pana. Norte Km. 12 1/2 y calle El Arenal, Quito, Ecuador. Contacto: 2 428 504 / 2 428 505 Reseña: Venta, reparación y mantenimiento de maquinaria industrial.</i>
<i>DIPAC</i>	<i>Ubicación: Gualaquiza y Av. De la Prensa, Quito, Ecuador. Contacto: 3 960 900 Reseña: Importadora y Distribuidora de materiales metálicos.</i>
<i>DISOLOXI</i>	<i>Ubicación: Av. Ilaló N9-246 y Octava Transversal, Quito, Ecuador. Contacto: 2 798 472 Reseña: Asesoramiento y Servicio Técnico, Gases industriales, medicinales, equipos de corte, abrasivos para acero inoxidable.</i>
<i>ECUAVID</i>	<i>Ubicación: Av. El Inca y Av. De la Prensa, Quito, Ecuador. Contacto: 3 450 530 Reseña: Fabricante de parabrisas, vidrio templado, vidrios curvos.</i>

Continúa

FERREMAXI	<p>Ubicación: Juan Acevedo N29-44, Quito, Ecuador.</p> <p>Contacto: 2 554 050</p> <p>Reseña: Venta de materiales, maquinaria y elementos de ferretería.</p>
LA CALDERA	<p>Ubicación: Avenida Real Audiencia y Tufiño, Quito, Ecuador.</p> <p>Contacto: 229-2344</p> <p>Reseña: Importadores de todo tipo de quemadores y calderas. Importador de Repuestos.</p>
IMPORGAL	<p>Ubicación: Av. Diego Vásquez N63-167 y Manta., Quito, Ecuador.</p> <p>Contacto: 6 002 590</p> <p>Reseña: Automatización y venta de equipo electrónico.</p>
IMSERVO	<p>Ubicación: Duchicela N5-252 y Capitán Geovanny Calles, Quito, Ecuador.</p> <p>Contacto: 2 595 440</p> <p>Reseña: Importadora de productos de soldadura y de seguridad industrial.</p>
IMPORT ACEROS	<p>Ubicación: Av. Diego de Vásquez y Av. 10 de agosto, Quito, Ecuador.</p> <p>Contacto: 099 780 0636 / 2 486 287</p> <p>Reseña: Importadora y Distribuidora de Acero Inoxidable.</p>
KIWY S.A.	<p>Ubicación: Av. Eloy Alfaro y Avigiras, Quito, Ecuador.</p> <p>Contacto: 1700 150 150</p> <p>Reseña: Comercialización de productos de ferretería, materiales de construcción y hogar.</p>
SPS.ING	<p>Ubicación: Bellavista, Calle Sabanilla y Tercera, Quito, Ecuador.</p> <p>Contacto: 3 413 900</p> <p>Reseña: Diseño y fabricación de equipos eléctricos y de calefacción.</p>

5.1.1.1 Registro de Trazabilidad

Tabla 39

Registro de materiales

REGISTRO DE MATERIALES										
DETALLES DE LA MATERIA PRIMA				TRANSFORMACIÓN MATERIA PRIMA EN TALLER				DETALLES PRODUCTO		
N°	Proveedor	Fecha de Compra Material	Detalle de la Materia Prima	Cantidad	Fecha de entrega Material	Destinatario	Fecha de salida Material	Datos del Transporte	Fecha retorno Producto	Detalle producto
001	IMPORT ACEROS	18/09/2019	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=1.2mm, 2.44x1.22m	2	18/09/19	Taller	18/09/19	Vehículo de alquiler	25/10/2019	Estructura Horno
002	DIPAC	19/09/2019	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=1.5mm, 2.44x1.22m	1	19/09/19	Taller	19/09/19	Vehículo de alquiler	25/10/2019	Refuerzos estructura
003	IMPORT ACEROS	18/09/2019	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=3mm, 2.44x1.22m	2	18/09/19	Taller	18/09/19	Vehículo de alquiler	25/10/2019	Cámara interna Horno
004	IMPORGAL	20/09/2019	Electrodos para soldadura E308L-16, caja de 1kg	1	20/09/19	Taller	20/09/19	Vehículo particular	25/10/2019	Estructura Horno
005	ACIMCO	24/09/2019	Rollo de lana de vidrio, e= 5cm, 24x1.2m	1	24/09/19	Taller	24/09/19	vehículo de alquiler	25/10/2019	Aislante térmico Horno
006	ECUAVID	01/10/2019	Vidrio templado, e=6mm, 30x20 cm	1	16/10/19	Almacenamiento	20/10/19	vehículo de alquiler	25/10/2019	Pantalla del Horno
007	ECUAVID	01/10/2019	Vidrio templado, e= 6mm, 34x24cm	1	16/10/19	Almacenamiento	20/10/19	vehículo de alquiler	25/10/2019	Pantalla del Continúa

008	LA CALDERA	30/09/2019	Pegamento de alta temperatura	1	30/09/19	Almacenamiento	20/10/19	Vehículo particular	25/10/2019	Pantalla del Horno
009	LA CALDERA	30/09/2019	Empaque Térmico de cuerda tejida Estilo 347-S THERMO-SIL™ L=3m	2	30/09/19	Almacenamiento	20/10/19	Vehículo particular	25/10/2019	Puerta del Horno
010	FERREMAXI	17/10/2019	Cable para conexión trifásica de 220V, L=3m	1	17/10/19	Almacenamiento	21/10/19	Vehículo particular	25/10/2019	Conexión eléctrica del Horno
011	FERREMAXI	17/10/2019	Cable delgado para conexión de 220 V, L=2m	1	17/10/19	Almacenamiento	21/10/19	Vehículo particular	25/10/2019	Conexión eléctrica del Horno
012	FERREMAXI	17/10/2019	Bornera plástica de 30 amperios	1	17/10/19	Almacenamiento	21/10/19	Vehículo particular	25/10/2019	Conexión eléctrica del Horno
013	KIWY S.A.	24/10/2019	Conector macho para 220V	1	24/10/19	Almacenamiento	25/10/19	Vehículo particular	25/10/2019	Conexión eléctrica del Horno
014	KIWY S.A.	11/11/2019	Pintura intumescente para alta temperatura	1	11/11/19	ESPE - Laboratorio de Energías	11/11/19	Vehículo particular	13/11/2019	Pantalla del Horno
015	DISOLOXI	13/11/2019	Grata de fibra 3x2 # 80x50 A 106 MEDIANO	1	13/11/19	ESPE - Laboratorio de Energías	13/11/19	Vehículo particular	13/11/2019	Acabado superficial del Horno
016	DISOLOXI	13/11/2019	Disco pulidor de felpa	1	13/11/19	ESPE - Laboratorio de Energías	13/11/19	Vehículo particular	13/11/2019	Acabado superficial del Horno
017	DISOLOXI	13/11/2019	Pasta para pulir Acero Inoxidable	1	13/11/19	ESPE - Laboratorio de Energías	13/11/19	Vehículo particular	13/11/2019	Acabado superficial del Horno
018	DISOLOXI	13/11/2019	Disco de lija para pulir Acero Inoxidable	1	13/11/19	ESPE - Laboratorio de Energías	13/11/19	Vehículo particular	13/11/2019	Acabado superficial del Horno
019	KIWY S.A.	13/11/2019	Accesorios para limpieza (franela, taípe, etc.)	1	13/11/19	ESPE - Laboratorio de Energías	13/11/19	Vehículo particular	13/11/2019	Acabado superficial del Horno

Tabla 40
Registro de accesorios y equipos

REGISTRO DE ACCESORIOS Y EQUIPOS										
DETALLES DE LA MATERIA PRIMA					TRANSFORMACIÓN MATERIA PRIMA EN TALLER				DETALLES PRODUCTO	
<u>N°</u>	<u>Proveedor</u>	<u>Fecha de Compra Material</u>	<u>Detalle de la Materia Prima</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Fecha de entrega Material</u>	<u>Destinatario</u>	<u>Fecha de salida Material</u>	<u>Datos del Transporte</u>	<u>Fecha retorno Producto</u>	<u>Detalle producto</u>
001	BKB MAQUINARIA INDUSTRIAL	14/10/2019	Motor Trifásico WEG22 Tru Metric IE2	1	14/10/2019	Taller	14/10/2019	Vehículo particular	25/10/2019	Parte externa del Horno
002	LA CALDERA	16/10/2019	Controlador de Temperatura REX-C900FK02-V	1	16/10/2019	Taller	16/10/2019	Vehículo particular	25/10/2019	Controlador de Temperatura
003	LA CALDERA	17/10/2019	Termopar tipo J	1	17/10/2019	Taller	17/10/2019	Vehículo particular	25/10/2019	Cámara Interna del Horno
004	SPS.ING	1/10/2019	Resistencias eléctricas (níquel – cromo) de 20 ohmios.	2	15/10/2019	Taller	15/10/2019	Vehículo particular	25/10/2019	Cámara Interna del Horno
005	SPS.ING	27/9/2019	Cerradura de acero inoxidable para horno	1	27/9/2019	Almacenamiento	30/9/2019	Vehículo particular	25/10/2019	Puerta del Horno
006	IMSERVO	18/11/2019	Variador de Frecuencia trifásico KINCO	1	18/11/2019	ESPE	18/11/2019	Vehículo particular	19/11/2019	Varia rpm del motor

Las Tablas 38 y 39, son el registro de trazabilidad de materiales, accesorios y equipos. Las tablas están divididas en tres secciones:

Detalles de la materia prima, Transformación de la materia prima y Detalles del producto.

En la sección Detalles de la materia prima se encuentra información del proveedor, fecha de compra y cantidad de material que se adquirió.

En la sección Transformación de la materia prima, se encuentra la fecha de entrega del material después de la compra, también el destinatario en este caso se tiene dos alternativas taller (cuando los materiales serán transportados directamente al taller) o almacenamiento (cuando los materiales son almacenados hasta que sean requeridos en el taller), se especifica la fecha de salida de los materiales al taller y el medio de transporte que se utilizó.

En la sección Detalles del producto, se especifica la fecha de entrega del producto final y se tiene un detalle general de la ubicación o del uso de la materia prima.

Estas tablas nos permiten tener un control de los materiales desde su origen hasta su destino final.

5.1.2 Máquinas

La construcción del prototipo de horno se realizó en un taller metalmecánico particular, ubicado en el Valle de los Chillos, esto por la necesidad de espacio y las herramientas adecuadas para desarrollar la construcción, adicional a esto se cuenta con la ayuda de dos técnicos metalmecánicos para asistir en la construcción del prototipo. El taller metalmecánico cuenta con los siguientes equipos que serán de utilidad para la construcción del prototipo:

Tabla 41
Equipos utilizados

FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
	<p align="center">CIZALLA MANUAL</p> <p><i>Marca: Niagra</i> <i>Modelo: CMF – 16</i></p> <p><i>Capacidad máxima de corte: Calibre 18 (láminas lisas de hasta 1.5 mm)</i> <i>Tipos de corte posibles: Rectos y Oblicuos</i> <i>Largo útil: Láminas de cualquier longitud.</i></p>
	<p align="center">CIZALLA HIDRÁULICA</p> <p><i>Marca: Hacol</i> <i>Modelo: QC12Y – 4X3200</i></p> <p><i>Capacidad máxima de corte: 4mm (Acero Inoxidable)</i> <i>Ángulos de corte posibles: 1° 30'</i> <i>Tipos de corte posibles: Rectos y Oblicuos.</i> <i>Largo útil: 3200 (mm)</i> <i>Dimensiones: 3840 x 1675 x 1600 (mm)</i></p>
	<p align="center">CORTADORA POR PLASMA</p> <p><i>Marca: Prowar</i> <i>Modelo: CT-416</i></p> <p><i>Funciones: SMAW/MIG/Corte plasma</i> <i>Amperaje: 20 – 40 (A) (Corte)</i> <i>Voltaje: 220 (V)</i> <i>Frecuencia: 50 / 60 Hz</i></p>
	<p align="center">DOBLADORA MANUAL</p> <p><i>Marca: Niagra</i> <i>Modelo: S – 305 – P</i></p> <p><i>Capacidad máxima de plegado: Calibre 18 (láminas lisas de hasta 1.5 mm)</i> <i>Ángulo de plegado: 0° - 135°</i> <i>Dimensiones: 420 x 90 x 170 (cm)</i> <i>Peso neto: 1800 (kg)</i></p>

Continúa

SOLDADORA SMAW


Marca: INFRA
Modelo: TH 225

Material de aporte: Electrodo E308L – 16
Amperaje: 30 – 250 (A)
Voltaje: 127 / 220 (V)

TALADRO DE PEDESTAL


Marca: Century
Modelo: ZJ4113HA

Mandril: 20 (mm)
Motor: 1HP
Velocidades: 12
Voltaje: 110 (V)

5.1.3 Instrumentos

Los instrumentos que se utiliza para realizar la pruebas, verificación y control en la parte constructiva como del funcionamiento son:

Tabla 42
Instrumentos Utilizados

INSTRUMENTO	FOTOGRAFÍA
ANEMÓMETRO	
<p>Marca: EXTECH Modelo: AN 100</p>	
<p>Velocidad del aire: Rango: 0.40 a 30.00 m/s Exactitud: ± 3% m/s Apreciación: 0.01 m/s</p>	
<p>Temperatura del aire: Rango: -10 a 60°C Flujo de aire: 0 a 9999CMM (m3 / min)</p>	

Continúa

CÁMARA TERMOGRÁFICA

Marca: FLUKE

Modelo: Ti25

Rango de Temperaturas: -20°C hasta 350°C

Exactitud: $\pm 2^\circ\text{C}$ o 2% (El que sea mayor)

Apreciación: 0.1°C



TERMÓMETRO INFRARROJO

Marca: S - GUN

Modelo: N/A

Rango de Temperaturas: -20°C hasta 320°C

Exactitud: $\pm 2^\circ\text{C}$ o 2% (El que sea mayor)

Apreciación: 0.1°C



TACÓMETRO

Marca: Venture

Modelo: ATH

Alcance: 500 [rpm]

Apreciación: 2 [rpm]



CALIBRADOR

Marca: KANON

Modelo: N/A

Alcance: 7 [in]

Apreciación: 0.001 [in]



FLEXÓMETRO

Marca: STANLEY

Modelo: Tylon

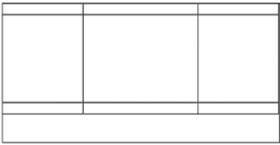
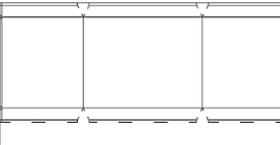
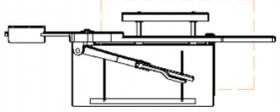
Alcance: 5 [m]

Apreciación: 0.001 [m] = 1[mm]

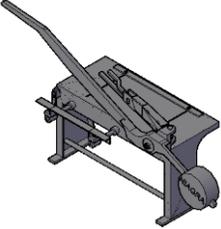
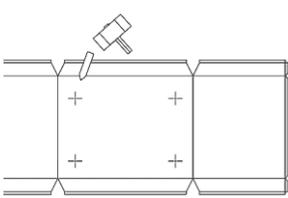
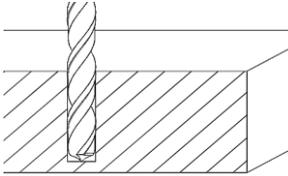
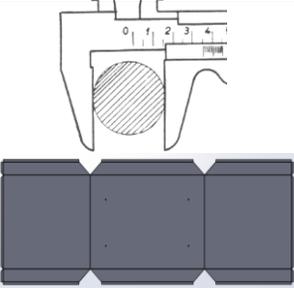


5.2 Hojas de Proceso

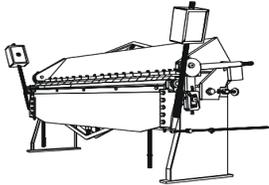
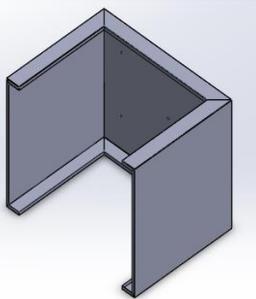
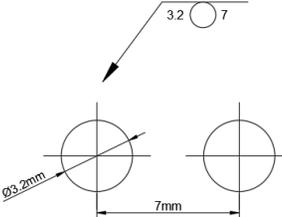
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC – CEC-01	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 1 – Carcasa (Paredes externas)	N° Páginas	4	Hoja: 1 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 1.2 mm			
Realizado por: María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra					

fase	Subfase	Operación	DENOMINACIÓN	CRÓQUIS	HERRAMIENTA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	CONTROL
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de la carcasa en la plancha. También las de los refuerzos.		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.	243	97	1.2	Flexómetro
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual
	CORTE CON CIZALLA	1	Ubicar la plancha a lo largo de la cizalla.		Cizalla manual. Marca: Niagra Modelo: CMF-16	Capacidad máxima de corte:		Calibre 18 (láminas lisas hasta de 1.5 mm)	Flexómetro, Visual
		2	Asegurar la plancha y verificar coincidencia de la						

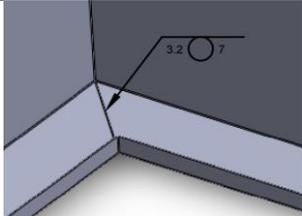
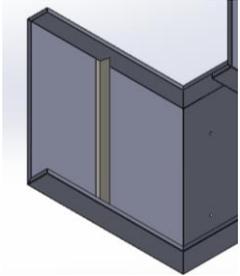
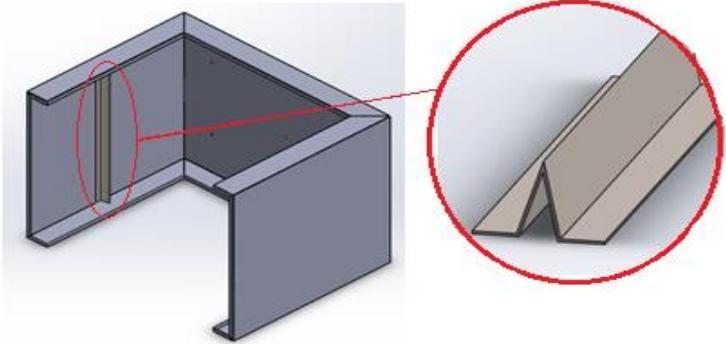
Continúa

TALADRADO - PERFORADO		<i>línea de corte con la del trazo.</i>					
	3	<i>Cortar conforme lo trazado</i>			Largo útil de corte:	<i>Láminas de cualquier longitud</i>	
	1	<i>Trazar puntos para perforaciones</i>		<i>Rayador, Escuadra, Regla, Compás</i>			<i>Visual, Pie de Rey</i>
	2	<i>Marcar los centros guías</i>		<i>Granete, martillo</i>			
	3	<i>Perforar (taladrar) los agujeros guía.</i>		<i>Broca de centro, taladro de mano</i>			
	4	<i>Taladrado agujero pasante 6mm (diámetro)</i>		<i>Talado, broca de 5/8 in. Se realizan 4 perforaciones.</i>	Profundidad (mm)	1.2	<i>Visual, Pie de Rey</i>
				N(RPM)	500		
				Va (mm/s)	3.33		
				Tc (min)	0.024		
	5	<i>Verificar las dimensiones de los agujeros. Limpiar material excedente.</i>		<i>Lija fina para acero inoxidable. Pie de Rey</i>			<i>Visual Pie de Rey.</i>

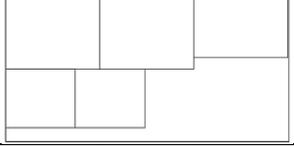
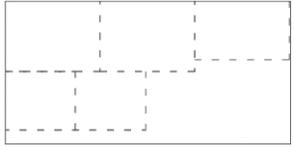
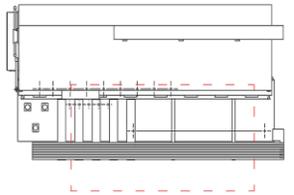
Continúa

CONFORMACIÓN SIN DESPREMIENTO DE MATERIAL	DOBLADO EN FRÍO	1	Definir las superficies a doblar.		Rayador, regla.				Visual, Escuadra, Flexómetro,
		2	Realizar los doblados necesarios para formar la carcasa y los refuerzos.			Dobladora manual.	Capacidad máxima de plegado:	Calibre 18 (espesor de 1.5 mm)	
		3	Comprobar que el doblado de la carcasa y de los refuerzos sea el adecuado.	<p>Marca: Niagra Modelo: S-305-P</p>		Longitud máxima del plegado:	3050 mm	Ángulo de plegado:	0° - 135°
CONFORMACIÓN FORZADA	SOLDADURA	1	Limpiar la pieza a soldar, evitar el polvo o residuos que afecten a la pieza.		Brocha				Visual.
		2	Soldar las aristas de la pieza para que no se separen		Soldadora SMAW.	Tipo de soldadura:	Por puntos	Inspección Visual de la Soldadura.	
					<p>Marca: INFRA Modelo: TH 225 Material Aporte: E308L - 16</p>	Diámetro del electrodo:	1/8 in 3.2 mm		
						Amperaje:	80 - 120 A		
					Resistencia Tracción:	560 MPa			

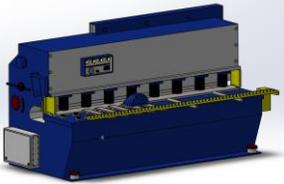
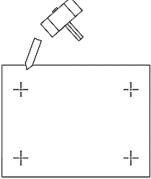
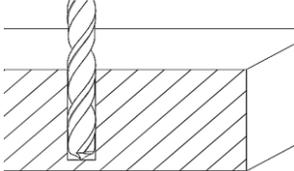
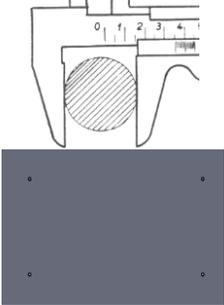
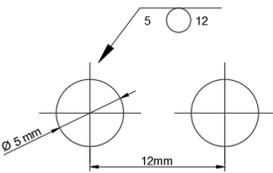
Continúa

						
	<p>3</p> <p>Soldar los refuerzos en las paredes de la carcasa.</p>			<p>Soldadura para las aristas:</p>	<p>Por puntos: diámetro del punto (electrodo) 3.2 mm con una separación de 7 mm entre puntos</p>	
				<p>Soldadura de refuerzos:</p>	<p>Por puntos: diámetro del punto 3.2 mm con una separación de 50 mm entre puntos</p>	
						

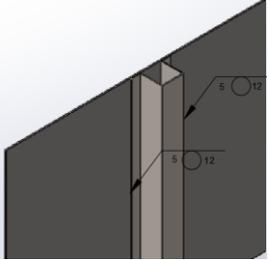
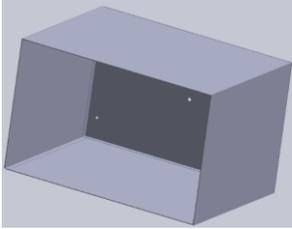
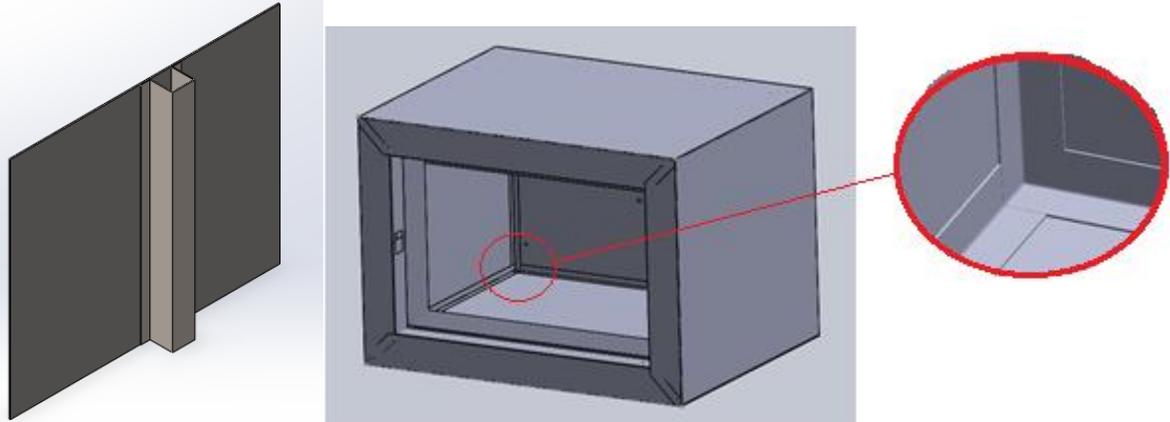
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC-SCI-01	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 2 – Cámara interna	N° Páginas	3	Hoja: 2 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 3 mm			
Realizado por: María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra					

<i>fase</i>	<i>Subfase</i>	<i>Operación n</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>CRÓQUIS</i>	<i>HERRAMIENTA</i>	<i>LARGO (mm)</i>	<i>ANCHO (mm)</i>	<i>ESPESOR (mm)</i>	<i>CONTROL</i>
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de las paredes internas en la plancha. También las de los refuerzos.		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.				Flexómetro
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual
	CORTE CON CIZALLA	1	Ubicar la plancha a lo largo de la cizalla.		Cizalla Hidráulica Marca: Hacol Modelo: QC12Y-4X3200	Capacidad máxima de corte:	4mm (Acero Inoxidable)	Flexómetro, Visual	
						Ángulos de corte:	1°30'		
						Tipos de cortes posibles:	Rectos y Oblicuos		

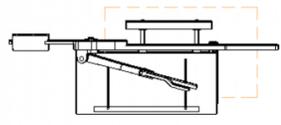
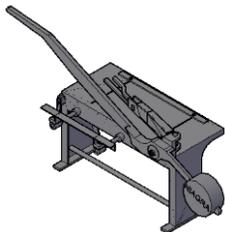
Continúa

		3	Cortar conforme lo trazado			Largo útil de corte:	3200mm								
	TALADRADO - PERFORADO	1	Trazar puntos para perforaciones en pared posterior.		Rayador, Escuadra, Regla, Compás			Visual, Pie de Rey							
		2	Marcar los centros guías		Granete, martillo										
		3	Perforar (taladrar) los agujeros guía.		Broca de centro, taladro de mano										
		4	Taladrado agujero pasante 6mm (diámetro)		Talado, broca de 5/8 in. Se realizan 4 perforaciones.	<table border="1"> <tr> <td>Profundidad (mm)</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>N(RPM)</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Va (mm/s)</td> <td>3.33</td> </tr> <tr> <td>Tc (min)</td> <td>0.06</td> </tr> </table>	Profundidad (mm)	3	N(RPM)	500	Va (mm/s)	3.33	Tc (min)	0.06	Visual, Pie de Rey
		Profundidad (mm)	3												
N(RPM)	500														
Va (mm/s)	3.33														
Tc (min)	0.06														
5	Verificar las dimensiones de los agujeros. Limpiar material excedente		Lija fina para acero inoxidable.			Visual									
CONFORMACIÓN FORZADA	SOLDADURA	1	Limpiar la pieza a soldar, evitar el polvo o residuos que afecten a la pieza.		Brocha			Visual.							
		2	Soldar los refuerzos en las paredes interiores.		Soldadora SMAW. Marca: INFRA Modelo: TH 225	<table border="1"> <tr> <td>Tipo de soldadura:</td> <td>Por puntos</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del electrodo:</td> <td>1/8 in 3.2 mm</td> </tr> </table>	Tipo de soldadura:	Por puntos	Diámetro del electrodo:	1/8 in 3.2 mm	Inspección Visual de la Soldadura.				
Tipo de soldadura:	Por puntos														
Diámetro del electrodo:	1/8 in 3.2 mm														

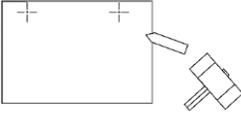
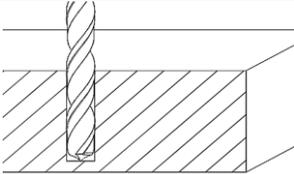
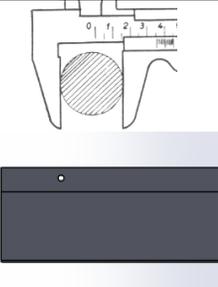
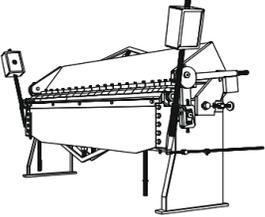
Continúa

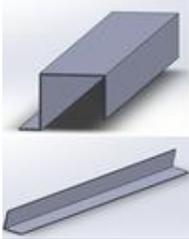
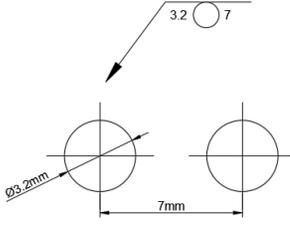
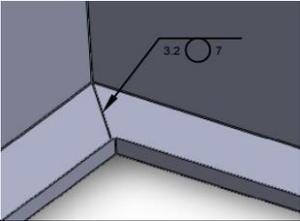
		<p>3</p> <p>Colocar el aislante térmico y Soldar los bordes de las paredes interiores con la carcasa.</p> <p>Soldar perfiles tipo L en los bordes interiores para tapar las uniones carcasa – cámara.</p>	 	<p>Material Aporte: E308L - 16</p>	<p>Amperaje: 80 – 120 A</p> <p>Resistencia Tracción: 560 MPa</p> <p>Soldadura para unión carcasa - cámara: Por puntos: diámetro del punto (electrodo) 5 mm con una separación de 12mm entre puntos</p> <p>Soldadura de refuerzos: Por puntos: diámetro del punto 3.2 mm con una separación de 50 mm entre puntos</p>	
						

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC-SCE-01	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 3 – Riel y Marco Puerta	N° Páginas	4	Hoja: 3 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 1.5 mm			
Realizado por: María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra					

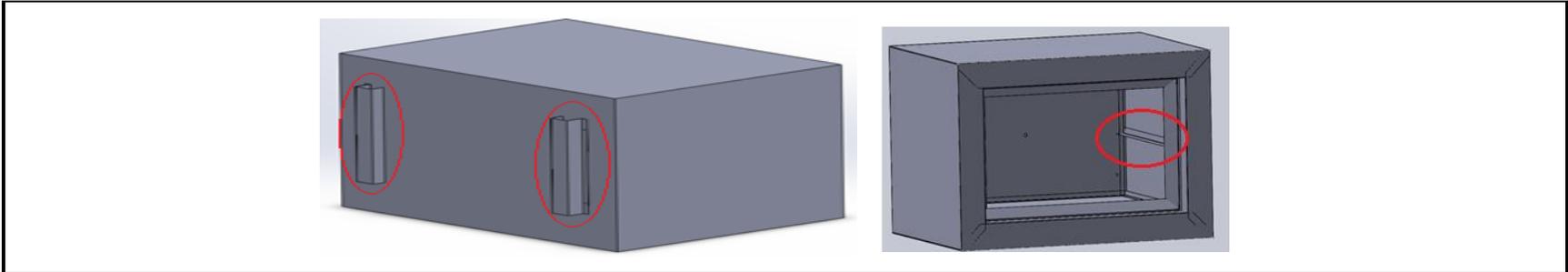
fase	Subfase	Operación	DENOMINACIÓN	CRÓQUIS	HERRAMIENTA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	CONTROL
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de los rieles y del marco de la puerta la plancha.		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.				Flexómetro
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual
	CORTE CON CIZALLA	1	Ubicar la plancha a lo largo de la cizalla.		Cizalla manual.	Capacidad máxima de corte:	Calibre 18 (láminas lisas hasta de 1.5 mm)	Flexómetro, Visual	
		2	Asegurar la plancha y verificar coincidencia de la línea de corte con la del trazo.		Marca: Niagra Modelo: CMF-16	Tipos de cortes posibles:	Rectos y Oblicuos		
		3	Cortar conforme lo trazado			Largo útil de corte:	Láminas de cualquier longitud		

Continúa

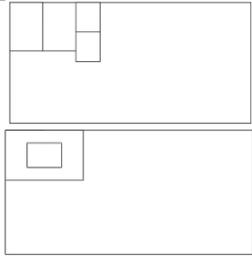
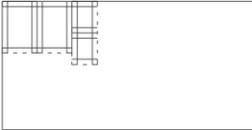
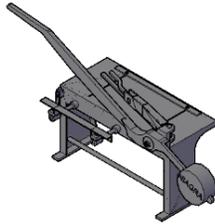
	TALADRADO - PERFORADO	1	Trazar puntos para perforaciones en las rieles posteriores.		Rayador, Escuadra, Regla, Compás			Visual, Pie de Rey
		2	Marcar los centros guías		Granete, martillo			
		3	Perforar (taladrar) los agujeros guía.		Broca de centro, taladro de mano			
		4	Taladrado agujero pasante 5mm (diámetro)		Talado, broca de 3/16in. Se realizan 4 perforaciones, 2 en cada riel.	Profundidad (mm) 1.5 N(RPM) 1600 Va (mm/s) 10.67 Tc (min) 0.009	Visual, Pie de Rey	
		5	Verificar las dimensiones de los agujeros. Limpiar material excedente.		Lija fina para acero inoxidable. Pie de Rey		Visual Pie de Rey.	
CONFORMACIÓN SIN DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	DOBLADO EN FRÍO	1	Definir las superficies a doblar.		Rayador, regla.			Visual, Escuadra, Flexómetro,
		2	Realizar los doblados necesarios para formar la carcasa y los refuerzos.		Dobladora manual. Marca: Niagra Modelo: S-305-P	Capacidad máxima de plegado:	Calibre 18 (espesor de 1.5 mm)	
		3	Comprobar que el doblado de la carcasa y de los refuerzos sea el adecuado.		Longitud máxima del plegado: 3050 mm Ángulo de plegado: 0° - 135° Dimensiones: 420x90x170 cm		Pie de Rey, Escuadra, Visual	

						Peso neto:	1800 kg	
CONFORMACIÓN FORZADA	SOLDADURA	1	Limpiar la pieza a soldar, evitar el polvo o residuos que afecten a la pieza.		Brocha			Visual.
		2	Soldar las esquinas de los marcos.			Soldadora SMAW. Marca: INFRA Modelo: TH 225 Material Aporte: E308L - 16	Tipo de soldadura:	Por puntos
				Diámetro del electrodo:	1/8 in 3.2 mm			
				Amperaje:	80 – 120 A			
3	Soldar las rieles con los marcos de la puerta y con la cámara interna.			Soldadura para las esquinas de los marcos:	Por puntos: diámetro del punto (electrodo) 3.2 mm con una separación de 7 mm entre puntos			
					Soldadura de rieles con marcos y cámara interna:	Por puntos: diámetro del punto 5 mm con una separación de 12 mm entre puntos		

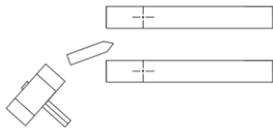
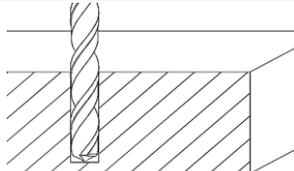
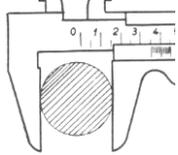
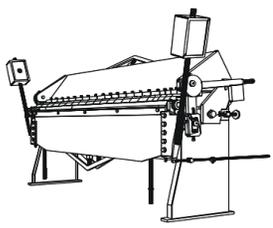
Continúa

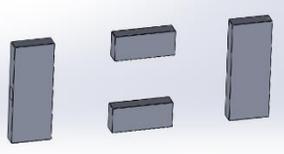
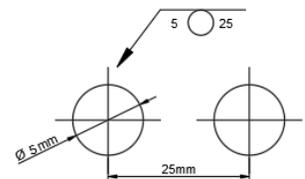
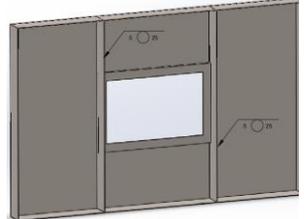
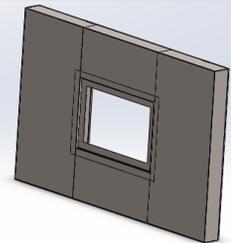
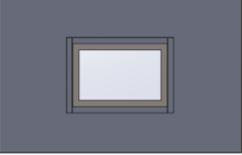


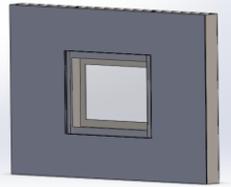
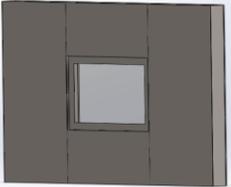
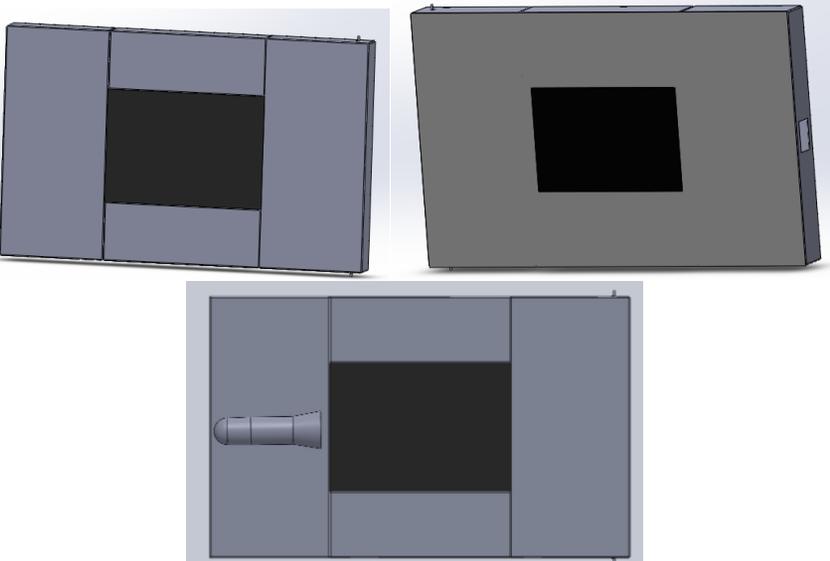
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC-SP-P01	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 4 - Puerta	N° Páginas	4	Hoja: 4 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 1.2 mm / 3 mm			
Realizado por:	María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra				

fase	Subfase	Operación n	DENOMINACIÓN	CRÓQUIS	HERRAMIENTA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	CONTROL
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de la puerta en las planchas. Parte interna 3mm y externa 1.2 mm.		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.				Flexómetro
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual
	CORTE CON CIZALLA	1	Cortar la plancha de 1.2 mm		Cizalla manual. Marca: Niagra Modelo: CMF-16	Capacidad máxima de corte:	Láminas hasta 1.5 mm	Flexómetro, Visual	
						Tipos de cortes posibles:	Rectos y Oblicuos		
						Largo útil de corte:	Láminas de cualquier longitud		
	2	Cortar la plancha de 3mm		Cizalla Hidráulica	Capacidad máxima de corte:	4mm (Acero Inoxidable)			

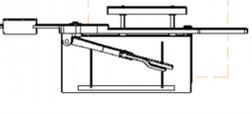
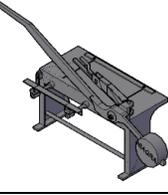
Continúa

CONFORMACIÓN SIN DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TALADRADO - PERFORADO	3	Cortar conforme lo trazado		Marca: Hacol Modelo: QC12Y-4X3200	Ángulos de corte: 1°30'	Largo útil de corte: 3200 mm		
		1	Trazar puntos para perforaciones de ejes de la puerta		Rayador, Escuadra, Regla, Compás			Visual, Pie de Rey	
		2	Marcar los centros guías		Granete, martillo				
		3	Perforar (taladrar) los agujeros guía.		Broca de centro, taladro de mano				
		4	Taladrado agujero pasante 4mm (diámetro)		Talado, broca de 4 mm. Se realizan 2 perforaciones.				Profundidad (mm) 1.2
	N(RPM) 1900								
	Va (mm/s) 12.63								
	Tc (min) 0.003								
	5	Verificar las dimensiones de los agujeros. Limpiar material excedente.		Lija fina para acero inoxidable. Pie de Rey		Visual Pie de Rey.			
	DOBLADO EN FRÍO	1	Definir las superficies a doblar.		Rayador, regla.			Visual, Escuadra, Flexómetro,	
2		Realizar los doblados necesarios para formar la carcasa y los refuerzos.	Dobladora manual.		Capacidad máxima de plegado: Calibre 18 (espesor de 1.5 mm)				
3		Comprobar que el doblado de la carcasa y de los refuerzos sea el adecuado.	Marca: Niagra Modelo: S-305-P		Longitud máxima del plegado: 3050 mm				
				Ángulo de plegado: 0° - 135°	Pie de Rey, Escuadra, Visual				
Dimensiones: 420x90x170 cm									

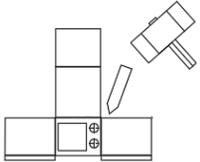
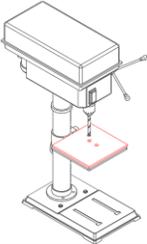
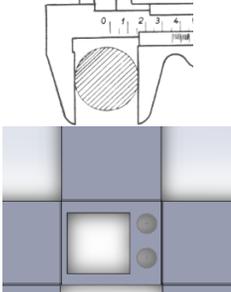
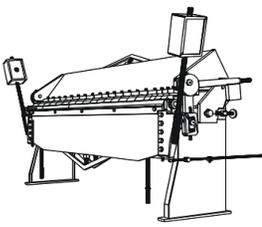
						Peso neto:	1800 kg	
CONFORMACIÓN FORZADA	SOLDADURA	1	Limpiar la pieza a soldar, evitar el polvo o residuos que afecten a la pieza.		Brocha			Visual.
		2	Soldar las aristas de la pieza para que no se separen			Soldadora SMAW. Marca: INFRA Modelo: TH 225 Material Aporte: E308L - 16	Tipo de soldadura:	Por puntos
				Diámetro del electrodo:	1/8 in 3.2 mm			
				Amperaje:	80 – 120 A			
		Resistencia Tracción:	560 MPa					
		3	Soldar los refuerzos en las paredes de la carcasa.	 		Soldadura para las aristas:	Por puntos: diámetro del punto (electrodo) 3.2 mm con una separación de 7 mm entre puntos	
						Soldadura de refuerzos:	Por puntos: diámetro del punto 3.2 mm con una separación de 50 mm entre puntos	

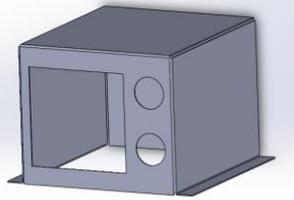
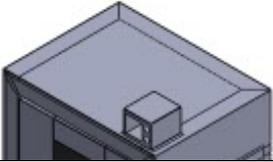
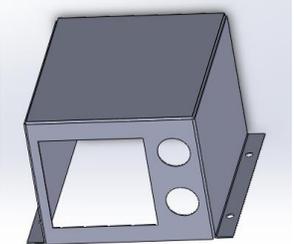
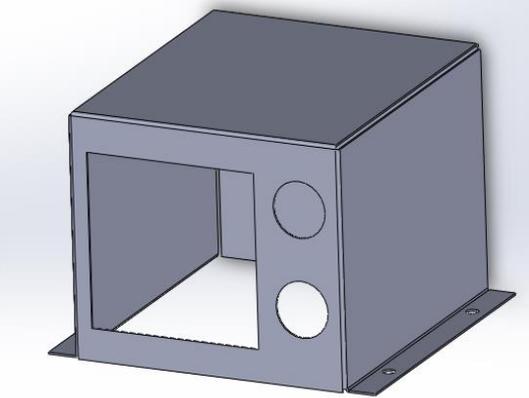
ENSAMBLAJE	ARMADO	1	Armar la puerta por completo, colocar el vidrio templado en la parte interna.		Flexómetro	34	24	6	Visual.
		2	Colocar el vidrio templado en la parte externa.		Flexómetro	30	20	6	
		3	Instalación de la manija en la puerta.		Flexómetro, llave de pico ajustable.				Visual, Flexómetro.
									

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC-CC-CC01	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 5 – Caja de control	N° Páginas	3	Hoja: 5 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 1.2 mm			
Realizado por: María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra					

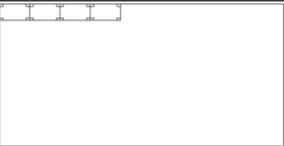
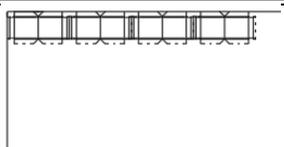
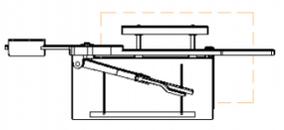
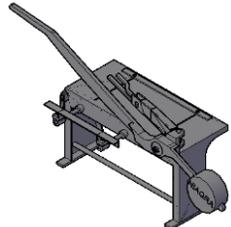
<i>fase</i>	<i>Subfase</i>	<i>Operación</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>CRÓQUIS</i>	<i>HERRAMIENTA</i>	<i>LARGO (mm)</i>	<i>ANCHO (mm)</i>	<i>ESPESOR (mm)</i>	<i>CONTROL</i>		
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de la caja en la plancha.		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.				Flexómetro		
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual		
	CORTE CON CIZALLA	1	Ubicar la plancha a lo largo de la cizalla.		Cizalla manual. Marca: Niagra Modelo: CMF-16	Capacidad máxima de corte:			Calibre 18 (láminas lisas hasta de 1.5 mm)	Flexómetro, Visual	
		2	Asegurar la plancha y verificar coincidencia de la línea de corte con la del trazo.						Tipos de cortes posibles:		Rectos y Oblicuos
		3	Cortar conforme lo trazado						Largo útil de corte:		Láminas de cualquier longitud
	TALADRADO	1	Trazar puntos para perforaciones		Rayador, Escuadra, Regla, Compás					Visual, Pie de Rey	
		2	Marcar los centros guías								Granete, martillo

Continúa

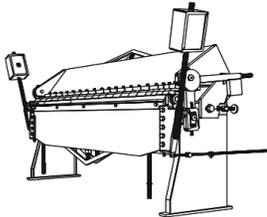
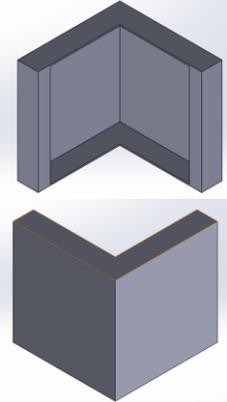
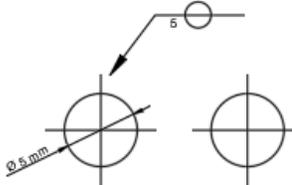
CONFORMACIÓN SIN DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	DOBLADO EN FRÍO	3	Perforar (taladrar) los agujeros guía.		Broca de centro, taladro de mano						
		4	Taladrado agujero pasante 35mm (diámetro)		Taladro de pedestal. Sacabocado de \varnothing 35mm. Marca: Century Modelo: ZJ 4113HA	Profundidad (mm)	1.2	Visual, Pie de Rey			
						N(RPM)	200				
						Va (mm/s)	4				
						Tc (min)	0.01				
		5	Verificar las dimensiones. Limpiar material excedente.		Lija fina para acero inoxidable. Pie de Rey			Visual Pie de Rey.			
		1	Definir las superficies a doblar.		Rayador, regla.				Visual, Escuadra, Flexómetro,		
						2	Realizar los doblados necesarios para formar la caja del control.	Dobladora manual. Marca: Niagra Modelo: S-305-P		Capacidad máxima de plegado:	Calibre 18 (espesor de 1.5 mm)
										Longitud máxima del plegado:	3050 mm
3	Comprobar que el doblado de la carcasa y			Ángulo de plegado:	0° - 135°	Pie de Rey, Escuadra,					

			de los refuerzos sea el adecuado.			Dimensiones:	420x90x170 cm	Visual
						Peso neto:	1800 kg	
ENSAMBLE	ARMADO – SUJECIÓN	1	Colocar la caja en la ubicación deseada y marcar.		Rayador, Regla, Flexómetro.			Visual. Flexómetro.
		2	Taladrar agujeros en la base de la caja y en la pared exterior superior del horno.		Talado, broca de 4 mm. Se realizan 2 perforaciones.	Profundidad (mm)	1.2	Inspección Visual de la Soldadura.
						N(RPM)	200	
						Va (mm/s)	4	
						Tc (min)	0.01	
								

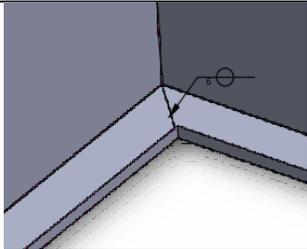
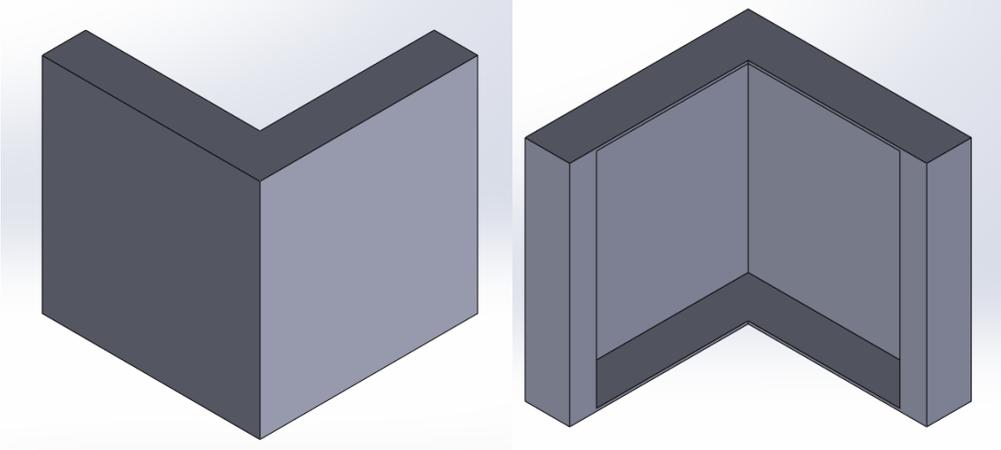
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC-P-PO1	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 6 – Patas soporte	N° Páginas	3	Hoja: 6 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 1.2 mm			
Realizado por: María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra					

<i>fase</i>	<i>Subfase</i>	<i>Operación</i> <i>n</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>CRÓQUIS</i>	<i>HERRAMIENTA</i>	<i>LARGO</i> <i>(mm)</i>	<i>ANCHO</i> <i>(mm)</i>	<i>ESPESOR</i> <i>(mm)</i>	<i>CONTROL</i>		
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de la patas soporte en la plancha.		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.				Flexómetro		
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual		
	CORTE CON CIZALLA	1	Ubicar la plancha a lo largo de la cizalla.		Cizalla manual.	Capacidad máxima de corte:		Calibre 18 (láminas lisas hasta de 1.5 mm)	Flexómetro, Visual		
		2	Asegurar la plancha y verificar coincidencia de la línea de corte con la del trazo.		Marca: Niagra Modelo: CMF-16					Tipos de cortes posibles:	Rectos y Oblicuos
		3	Cortar conforme lo trazado							Largo útil de corte:	Láminas de cualquier longitud

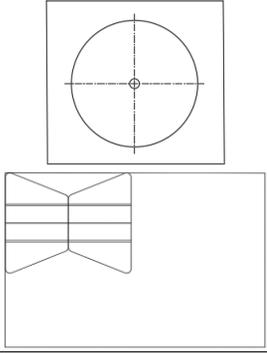
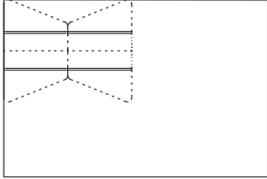
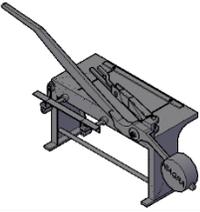
Continúa

CONFORMACIÓN SIN DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	DOBLADO EN FRÍO	1	Definir las superficies a doblar.		Rayador, regla.				Visual, Escuadra, Flexómetro,
		2	Realizar los doblados necesarios para formar la carcasa y los refuerzos.		Capacidad máxima de plegado: Longitud máxima del plegado:	Calibre 18 (espesor de 1.5 mm) 3050 mm			
		3	Comprobar que el doblado de la carcasa y de los refuerzos sea el adecuado.		Dobladora manual. Marca: Niagra Modelo: S-305-P	Ángulo de plegado: Dimensiones: Peso neto:	0° - 135° 420x90x170 cm 1800 kg	Pie de Rey, Escuadra, Visual	
CONFORMACIÓN FORZADA	SOLDADURA	1	Limpiar la pieza a soldar, evitar el polvo o residuos que afecten a la pieza.		Brocha				Visual.
		2	Soldar las aristas de la pieza para que no se separen		Soldadora SMAW. Marca: INFRA Modelo: TH 225 Material Aporte: E308L - 16	Tipo de soldadura: Diámetro del electrodo: Amperaje: Resistencia Tracción:	Por puntos 1/8 in 3.2 mm 80 – 120 A 560 MPa	Inspección Visual de la Soldadura.	

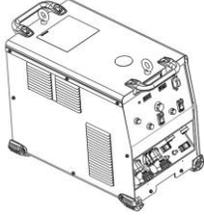
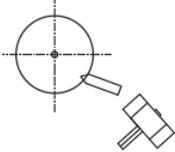
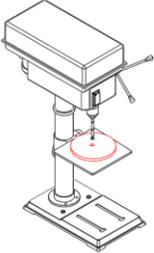
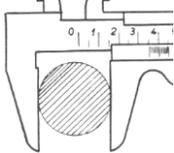
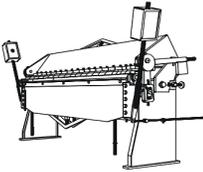
Continúa

					Soldadura para las aristas:	<i>Por puntos: diámetro del punto 5 mm no importa el lado de soldadura.</i>	
							

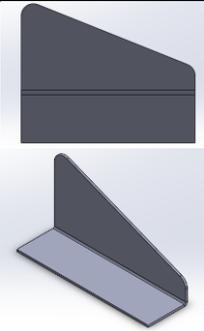
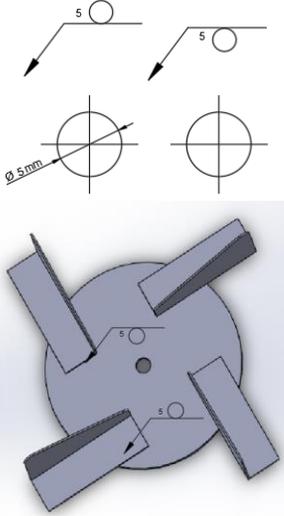
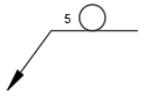
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC-SA-A01	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 7 – Agitador	N° Páginas	4	Hoja: 7 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 1.5 mm / 3mm			
Realizado por: María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra					

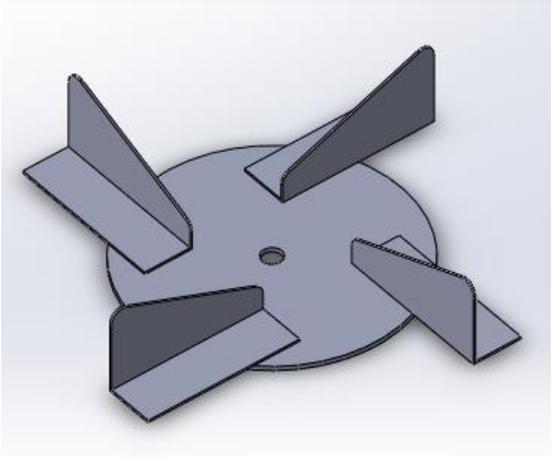
fase	Subfase	Operación n	DENOMINACIÓN	CRÓQUIS	HERRAMIENTA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	CONTROL
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de la base del agitador (chapa de 3mm) y de las aspas (chapa de 1.5mm).		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.				Flexómetro
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual
	CORTE CON CIZALLA	1	Ubicar la plancha a lo largo de la cizalla. Asegurarla y cortar.		Cizalla manual. Marca: Niagra Modelo: CMF-16	Capacidad máxima de corte:	Calibre 18 (láminas lisas hasta de 1.5 mm)	Flexómetro, Visual	
Tipos de cortes posibles:	Rectos y Oblicuos								

Continúa

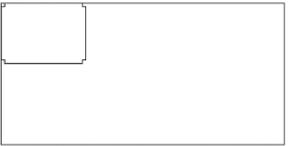
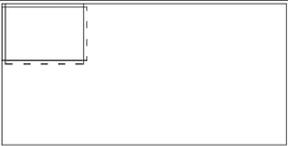
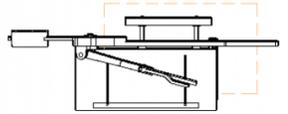
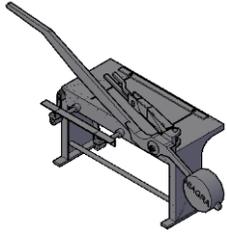
CONFORMACIÓN SIN	TALADRADO - PERFORADO	2	Asegurar la plancha y verificar coincidencia de la línea de corte con la del trazo. Limpiar excesos del corte.		Cortadora por Plasma. Marca: Prowar Modelo: CT-416	Funciones de la máquina:		Soldadora SMAW, TIG, Cortadora por plasma		
		3	Cortar conforme lo trazado, $\varnothing 7\text{cm}$			Corte limpio: Corte máximo:	6 mm 10 mm			
					Amperaje para cortar:	20 – 40 A				
		1	Trazar puntos para perforaciones		Rayador, Escuadra, Regla, Compás					Visual, Pie de Rey
		2	Marcar los centros guías		Granete, martillo					
		3	Perforar (taladrar) los agujeros guía.		Broca de centro, taladro de mano					
		4	Taladrado agujero pasante 13 mm (diámetro)		Taladro de pedestal, broca de 13 mm.		Profundidad (mm)	3	Visual, Pie de Rey	
					N(RPM)	500				
					Va (mm/s)	3.33				
							Tc (min)	0.024		
	5	Verificar las dimensiones de los agujeros. Limpiar material excedente.		Lija fina para acero inoxidable. Pie de Rey				Visual Pie de Rey.		
DOBLADO EN ERIO	1	Definir las superficies a doblar.		Rayador, regla.				Visual, Escuadra, Flexómetro,		
	2	Realizar los doblados necesarios para formar las aspas del agitador.		Dobladora manual. Marca: Niagra	Capacidad máxima de plegado:	Calibre 18 (espesor de 1.5 mm)				

Continúa

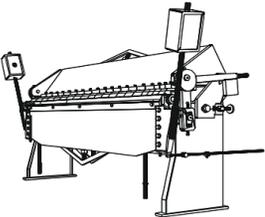
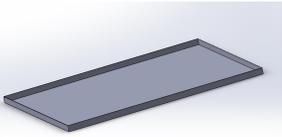
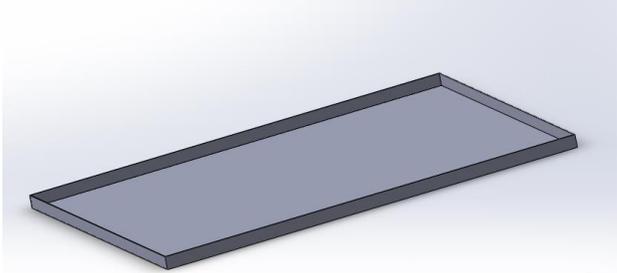
		3	Comprobar que el doblado de la carcasa y de los refuerzos sea el adecuado.		Modelo: S-305-P	Longitud máxima del plegado:	3050 mm	Pie de Rey, Escuadra, Visual
						Ángulo de plegado:	0° - 135°	
Dimensiones:	420x90x170 cm							
Peso neto:	1800 kg							
CONFORMACIÓN FORZADA	SOLDADURA	1	Limpiar la pieza a soldar, evitar el polvo o residuos que afecten a la pieza.		Brocha			Visual.
		2	Soldar en las partes indicadas para cada aspa junto con la base.		Tipo de soldadura:	Por puntos	Inspección Visual de la Soldadura.	
					Diámetro del electrodo:	1/8 in 3.2 mm		
					Amperaje:	80 – 120 A		
					Resistencia Tracción:	560 MPa		
						Por el otro al que indica la flecha, tamaño del punto 5mm.		
						Por el lado que indica la flecha, tamaño del punto 5mm.		
		Soldadora SMAW. Marca: INFRA Modelo: TH 225 Material Aporte: E308L - 16						



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE					
Proyecto:	PROTOTIPO DE HORNO	Código Plano	HPMC-B-B01	Trabajo de Titulación	Fecha: 10/11/2019
Pieza:	Pieza 8 – Bandeja	N° Páginas	2	Hoja: 8 de 8	
Material:	Acero Inoxidable AISI 430	DIMENSIONES EN BRUTO PLACA: espesor = 1.2 mm			
Realizado por: María Victoria Garzón Pazmiño, Francisco Xavier Vaca Sierra					

fase	Subfase	Operación	DENOMINACIÓN	CRÓQUIS	HERRAMIENTA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	CONTROL		
CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	TRAZADO	1	Trazar las dimensiones de la bandeja, sobre la plancha.		Rayador, Escuadra, Regla, Flexómetro.				Flexómetro		
		2	Dibujar los cortes y partes que serán dobladas.						Flexómetro, Visual		
	CORTE CON CIZALLA	1	Ubicar la plancha a lo largo de la cizalla.		Cizalla manual.	Capacidad máxima de corte:		Calibre 18 (láminas lisas hasta de 1.5 mm)	Flexómetro, Visual		
		2	Asegurar la plancha y verificar coincidencia de la línea de corte con la del trazo.		Marca: Niagra Modelo: CMF-16					Tipos de cortes posibles:	Rectos y Oblicuos
		3	Cortar conforme lo trazado							Largo útil de corte:	Láminas de cualquier longitud

Continúa

CONFORMACIÓN SIN DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	DOBLADO EN FRÍO	1	Definir las superficies a doblar.		Rayador, regla.				Visual, Escuadra, Flexómetro,
		2	Realizar los doblados necesarios para formar la carcasa y los refuerzos.		<p>Marca: Niagra Modelo: S-305-P</p>	<p>Capacidad máxima de plegado:</p>	Calibre 18 (espesor de 1.5 mm)		
		3	Comprobar que el doblado de la carcasa y de los refuerzos sea el adecuado.			<p>Longitud máxima del plegado:</p>	3050 mm		
	<p>Ángulo de plegado:</p>					0° - 135°			
	<p>Dimensiones:</p>					420x90x170 cm			
				<p>Peso neto:</p>		1800 kg			
									

5.3 Proceso Constructivo y Montaje

A continuación, se expone el proceso constructivo del prototipo de horno:

1. Interpretación de planos, este paso es importante puesto que de esto depende la correcta construcción del prototipo y de la elaboración de tareas de construcción necesaria.

(Figura 94)

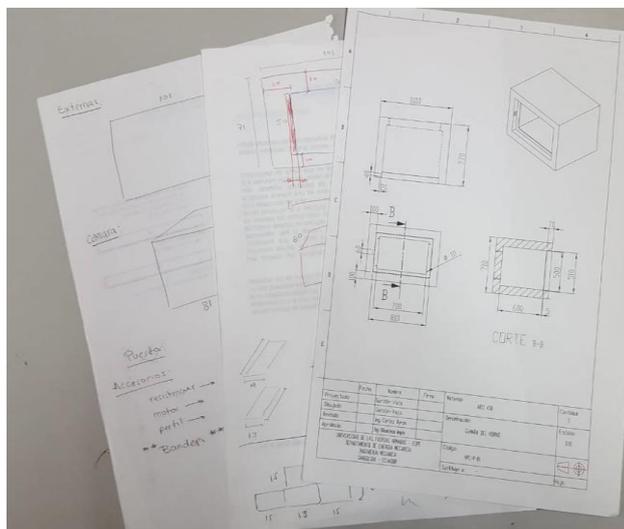


Figura 94. Interpretación de Planos

2. Identificar los materiales, este paso permite identificar rápidamente en que se utilizará cada plancha, se colocará la parte y de ser necesario las dimensiones a cortar. (Figura 95)

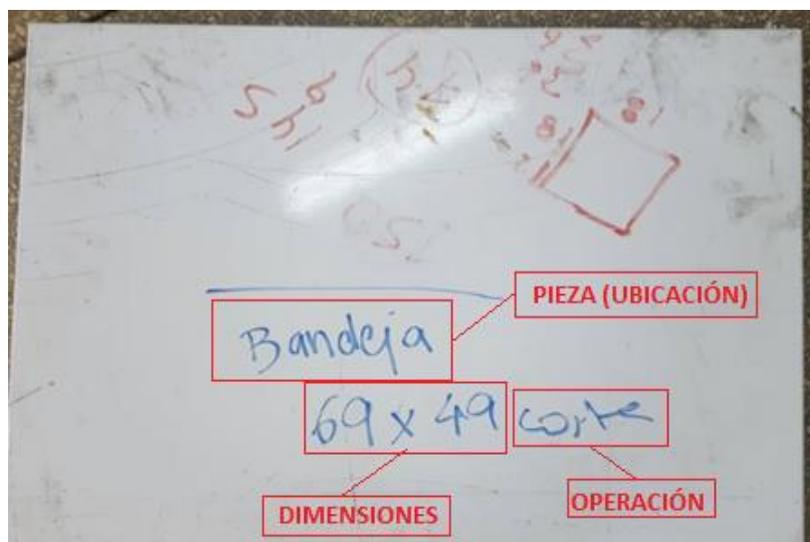


Figura 95. Identificación de Materiales

3. El primer paso constructivo es trazar la forma que debe tener la pieza en la plancha. (Figura 96).



Figura 96. Trazado en Materiales

4. Cortar con ayuda de la cizalla conforme las dimensiones del trazo. (Figura 97).



Figura 97. Corte según dimensiones

5. Doblar conforme las dimensiones de la parte exterior del horno, para tener las paredes externas: superior, lateral derecha y lateral izquierda. (Figura 98).



Figura 98. Doblado.

6. Verificar que las dimensiones de los doblados sean las adecuadas. (Figura 99).



Figura 99. Verificación del Doblado

7. Soldar las aristas de los doblados para que no se separen. (Figura 100).



Figura 100. Soldadura de Aristas de Doblado.

8. Soldar los refuerzos al interior de las paredes: superior, lateral derecha y lateral izquierda (también en la pared inferior). Estos refuerzos tienen forma de triangular. (Figura 101).

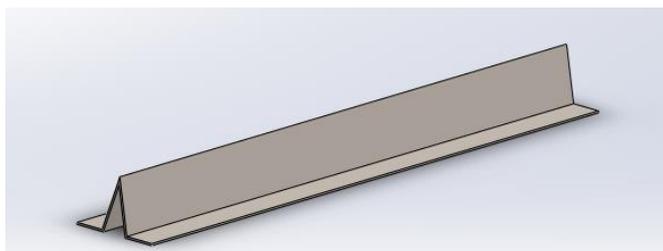


Figura 101. Soldadura de Refuerzos Interiores.

9. Soldar los refuerzos en las tapas (paredes internas: superior, lateral derecha y lateral izquierda). Estos refuerzos tienen forma cuadrada. (Figura 102).

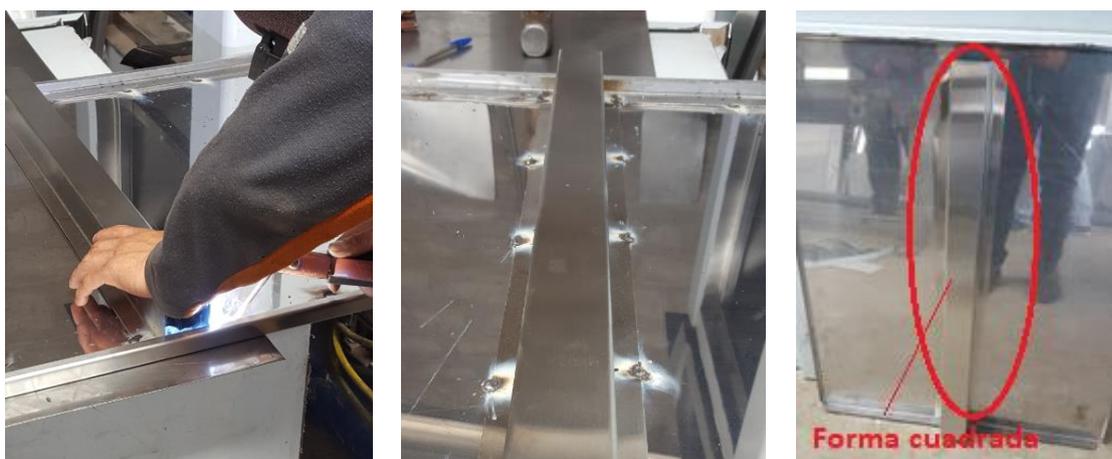
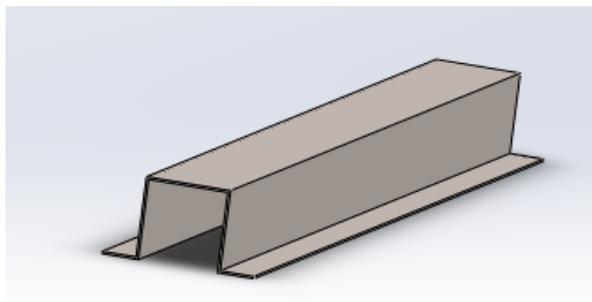


Figura 102. Refuerzo en tapas

10. Colocar el aislante térmico (lana de vidrio) en la estructura hueca que será la pared. (Figura 103).



Figura 103. Aislamiento Térmico dentro del horno

11. Soldar las paredes externas con las tapas (paredes internas), se formará una pared compuesta tipo sándwich (acero inoxidable exterior – lana de vidrio – acero inoxidable interior). (Figura 104).

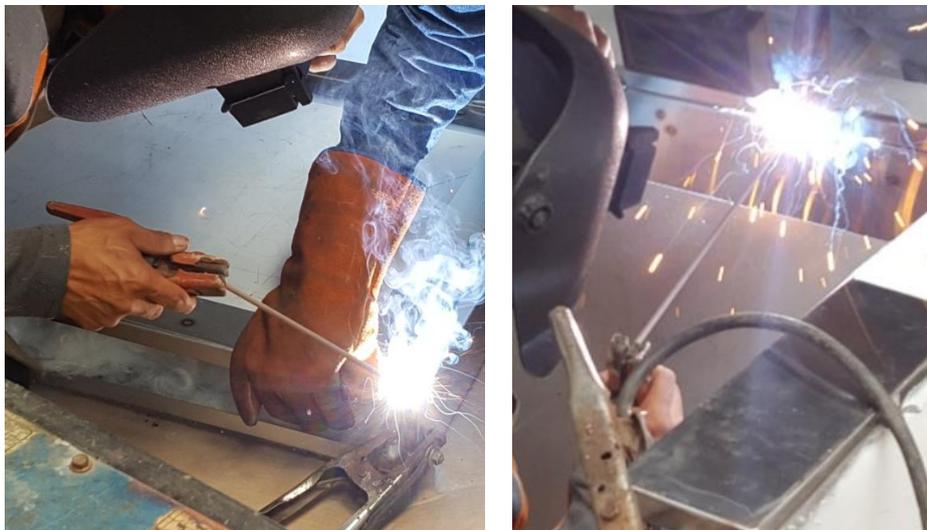


Figura 104. Soldadura de Paredes Externas

12. Pulir las uniones soldadas de la cámara interior, para remover el exceso de soldadura en los puntos. (Figura 105).

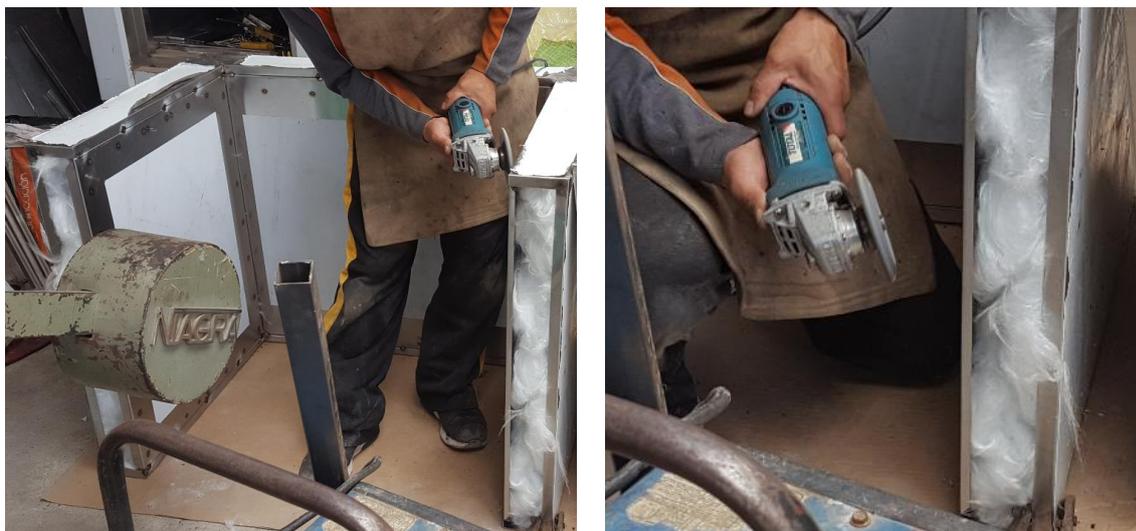


Figura 105. Uniones Soldadas Pulidas

13. Repetir el proceso de los pasos: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 para la pared inferior del prototipo y posterior a esto unirlo con la estructura (pared superior, lateral derecha y lateral izquierda). (Figura 106).



Figura 106. Horno con Aislamiento y Refuerzos

14. Repetir el proceso de los pasos: 4, 5, 6, 7, 8, 9 para la pared posterior del prototipo, tomar en cuenta que esta pared tiene un agujero para el eje del motor. Unir la pared posterior con la estructura (pared superior, lateral derecha, lateral izquierda e inferior). (Figura 107).



Figura 107. Unión de pared posterior con la estructura

15. Soldar las patas del prototipo con la pared exterior inferior, una pata en cada esquina. (Figura 108).



Figura 108. Base del horno

16. Repetir el proceso de los pasos: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 para la puerta del prototipo e instalarla con ayuda de ejes en la parte superior e inferior de la misma. (Figura 109).



Figura 109. Montaje de la Puerta del horno

17. Colocar perfil tipo L en las aristas de la cámara interna del horno. (Figura 110).



Figura 110. Refuerzos tipo L en el interior del horno

18. Colocar empaque térmico en la pared frontal que estará en contacto directo con la puerta. (Figura 111).

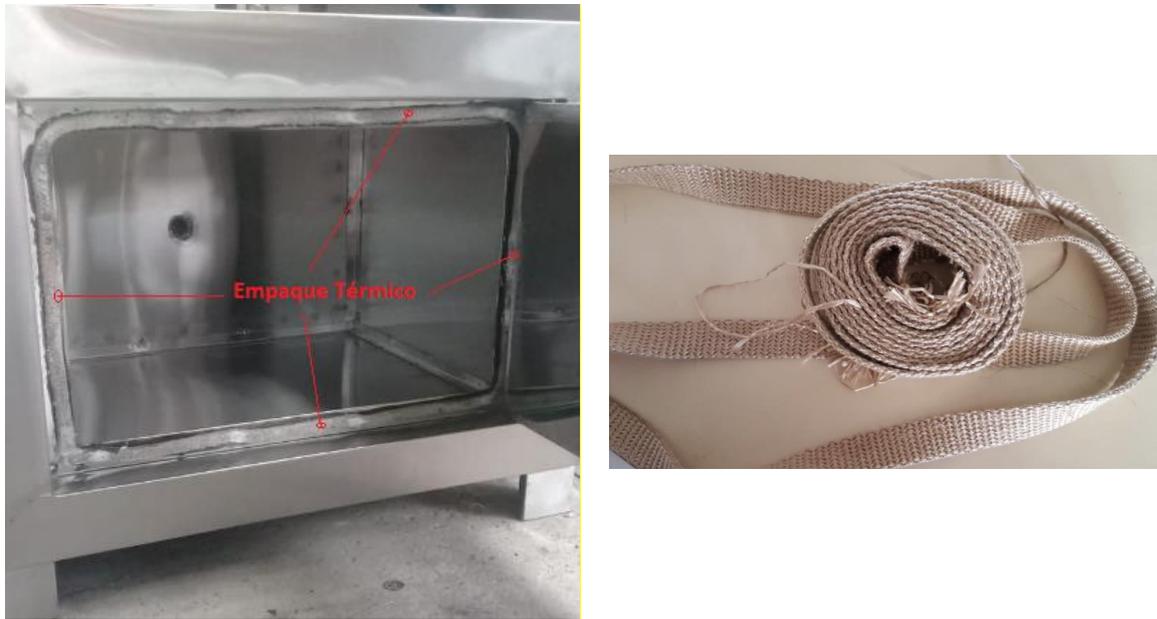


Figura 111. Empaque Térmico

19. Construir el agitador de aire para el prototipo de horno. (Figura 112).



Figura 112. Construcción de Agitador

20. Verificar el amperaje de las resistencias, para esto se utilizará un multímetro, se coloca una punta de prueba en cada borne de la resistencia. El ohmiaje de las resistencias es de 20Ω . (Figura 113).

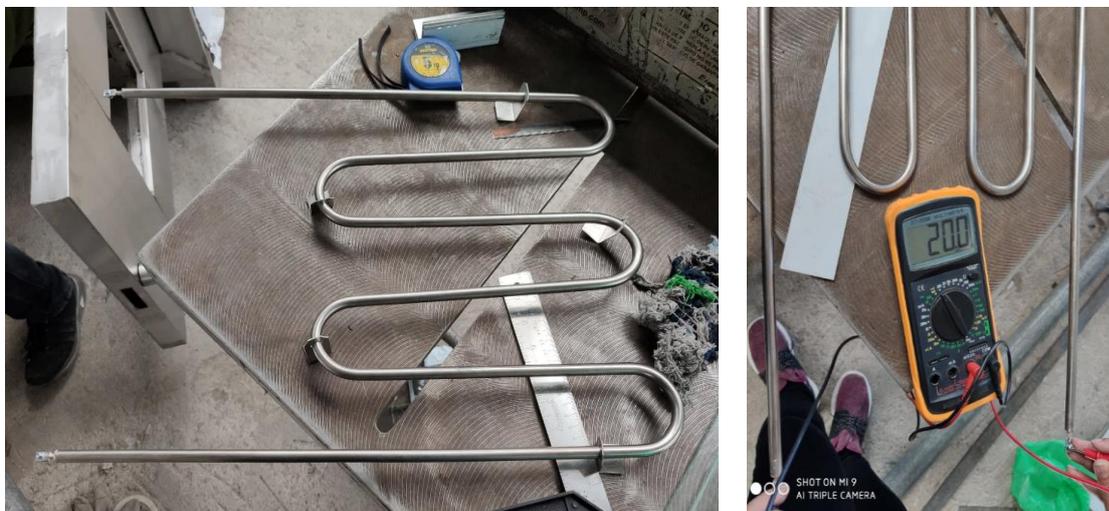


Figura 113. Verificación de resistencias

21. Instalar las resistencias en las paredes laterales de la cámara del horno. (Figura 114).

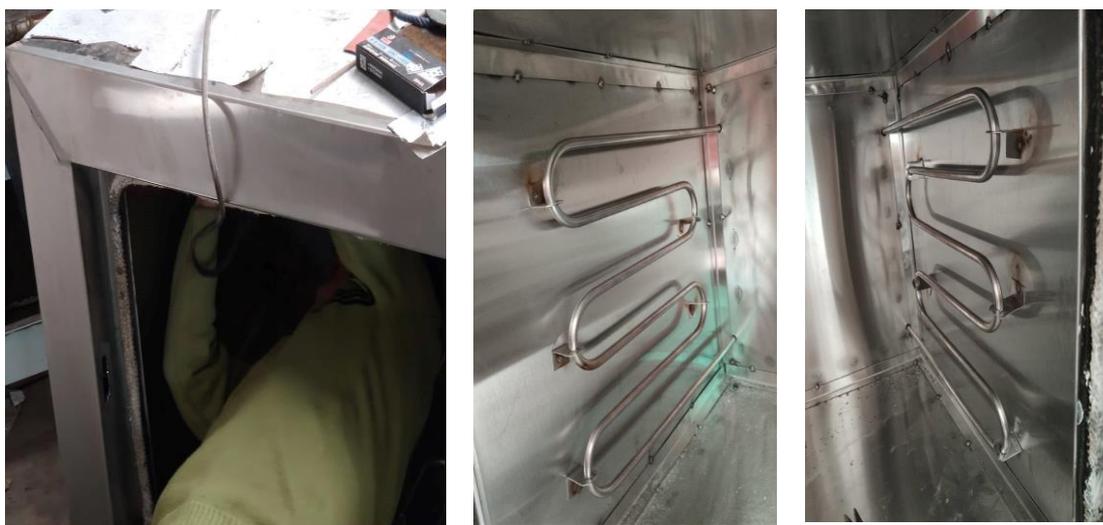


Figura 114. Instalación de las Resistencias en el horno

22. Instalar el motor en la pared posterior del horno. (Figura 115).



Figura 115. Motor: Datos e instalación

23. Instalar el agitador de aire. (Figura 116).



Figura 116. Instalación de agitador

24. Instalar el cerrojo en la puerta. (Figura 117).



Figura 117. Puerta con cerrojo

25. Instalar las pantallas de vidrio templado en la puerta. (Figura 118).



Figura 118. Vidrio Templado

26. Taladrar la pared superior para poder insertar el termopar, se ubicará en el centro de la pared superior, pero también se planificó un agujero cercano a la resistencia para medir el valor de la temperatura de la resistencia con otro termopar. (Figura 119).



Figura 119. Termopar

27. Instalar el controlador de temperatura en la parte superior del horno. (Figura 120)



Figura 120. Controlador PID

28. Realizar la instalación eléctrica para el controlador y el motor. (Figura 121).



Figura 121. Instalación del Controlador y Motor

29. Colocar rieles protectores para los bornes de las resistencias, para que no puedan ser manipuladas. (Figura 122).



Figura 122. Instalación de rieles

30. Encender las resistencias para evaluar su funcionamiento, dejar calentar hasta la temperatura máxima 320°C. (Figura 123).



Figura 123. Resistencias al interior del horno

31. Encender el motor para evaluar su funcionamiento, medir la velocidad del aire, que es de 5.05m/s. Se utilizó el Anemómetro de la marca EXTECH, modelo AN 100. (Figura 124).



Figura 124. Flujo del agitador

32. Se tiene una velocidad de rotación del agitador muy alta por lo que se instalará un variador de frecuencia para disminuir la velocidad de rotación del motor. Se usa un variador de frecuencia marca KINCO, modelo CV20-2S-0007G. El motor tiene una velocidad nominal de rotación de 1695 rpm a 60Hz, con el variador se disminuirá la frecuencia hasta 8 Hz, que corresponde a una velocidad de rotación de 226 rpm. (Figura 125).

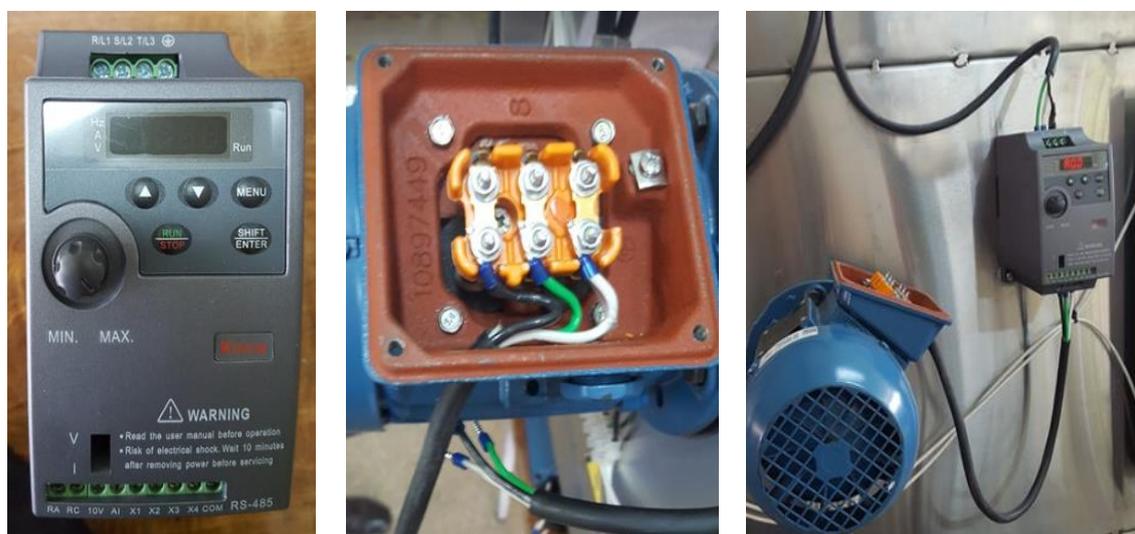


Figura 125. Variador de frecuencia

33. Medir las revoluciones a las que gira el eje del motor, después de colocar el variador. Para esto se utilizará el Tacómetro. Como se observa en la Figura 126, el eje del motor gira a 230 rpm. La velocidad de rotación tiene un error porcentual de:

$$\text{Error porcentual} = \frac{|\text{Valor teórico} - \text{Valor real}|}{\text{Valor real}} * 100\%$$

$$\text{Error \%} = \frac{|226 \text{ rpm} - 230 \text{ rpm}|}{226 \text{ rpm}} * 100\% = 1.76\%$$

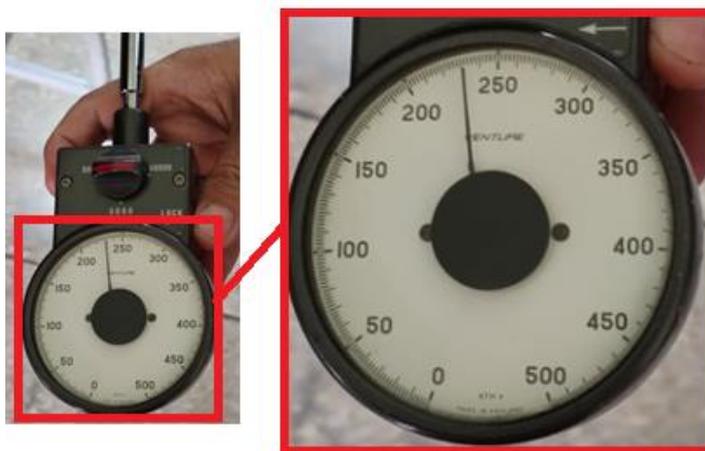


Figura 126. Medir la velocidad de rotación

34. Medir la temperatura en las paredes externas de la cámara. (Figura 127).



Figura 127. Temperatura del Horno

35. Modificación de acabados superficiales: Acabado superficial, colocar indicadores en la caja del control, colocar señalética de seguridad industrial. (Figura 128).



Figura 128. Modificaciones

36. Estado final del horno prototipo en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (Figura 129).

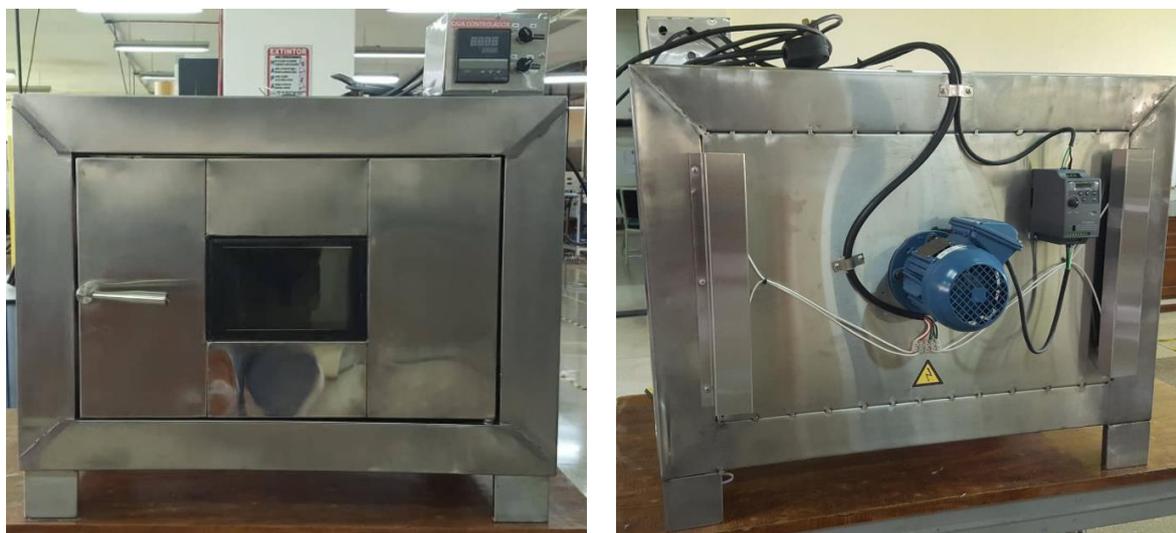




Figura 129. Estado final del prototipo

6 CAPITULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 Pruebas y Resultados

Como parte de las pruebas de funcionamiento del prototipo de horno para el proceso de curado de materiales compuestos, se tomó varias fotografías con la cámara termográfica.

Las fotografías de la cámara nos indican 3 valores puntuales: la temperatura más alta, una temperatura intermedia y la más baja, que se encuentren. La Figura 130, indica cómo se debe interpretar una fotografía tomada con la cámara termográfica.

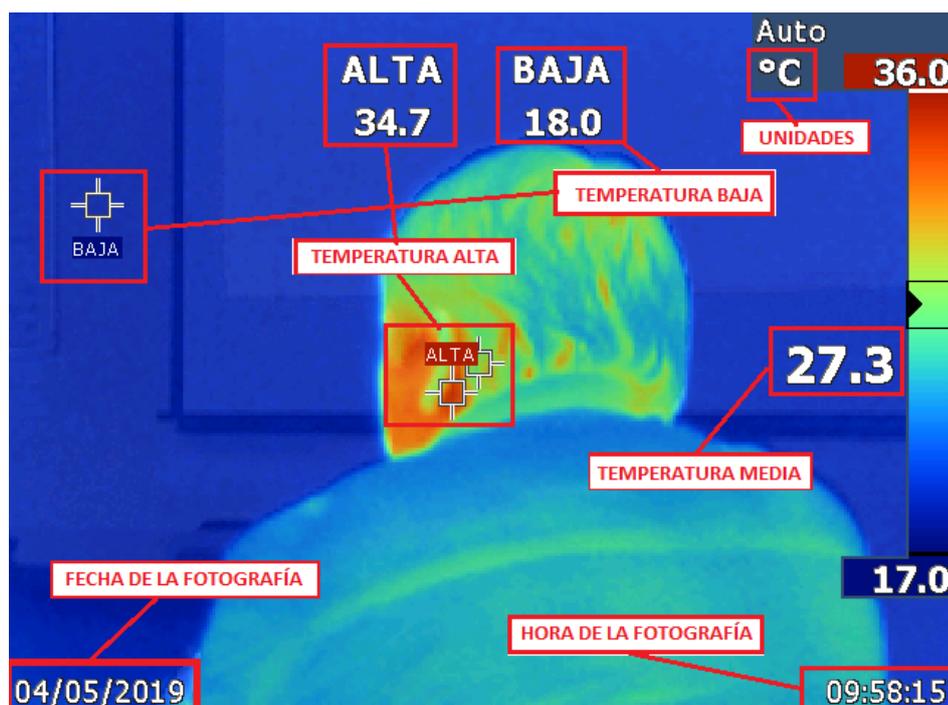


Figura 130. Interpretación de una fotografía termográfica

Se tomarán fotografías de las paredes externas del horno prototipo, así como de su puerta, para determinar si la superficie exterior del horno se calentó.

Las condiciones que se establecieron para la prueba fueron: calentar el horno con el agitador de aire encendido hasta que se estabilice en la temperatura programada de 220°C y que haya transcurrido 90 min a partir del momento que se encendió el horno.

Temperatura de las paredes externas:

La temperatura más alta para la pared lateral derecha del horno es de 35.9 °C, justo en la esquina superior de la puerta del horno. Esta temperatura se encuentra dentro de los valores

aceptables por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), en la Nota Técnica de Prevención NTP 524. La temperatura en el resto de la superficie externa de la pared es baja, es de 19.3°C a 20 °C.

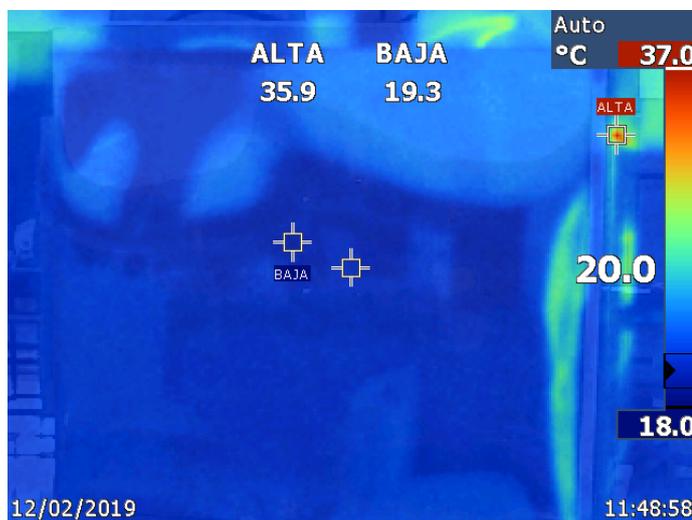


Figura 131. Temperatura pared externa lateral derecha

Para el caso de la pared externa lateral izquierda, se encuentra en la fotografía una línea caliente que corresponde al cable que energiza el horno, la temperatura de la pared no supera los 22.4 °C, el cable se encuentra a una temperatura de 32.3°C, que es la más alta captada en la fotografía termográfica.



Figura 132. Temperatura pared externa lateral izquierda

La pared posterior presenta una temperatura relativamente baja en toda su extensión superficial.

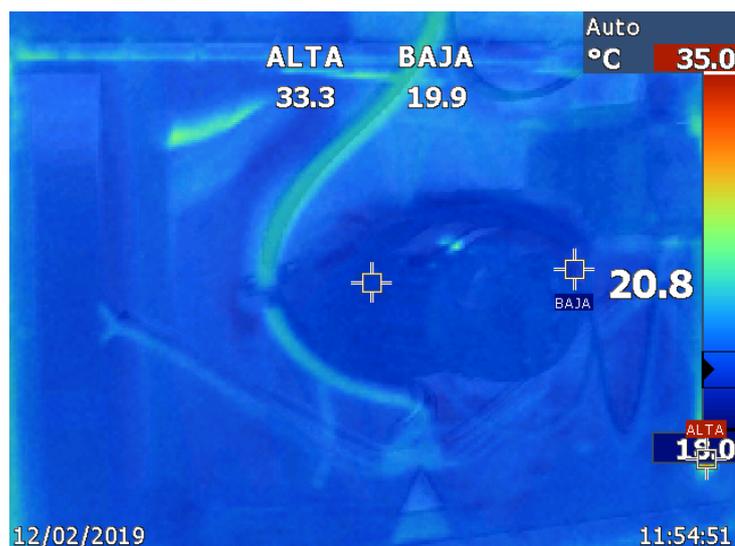


Figura 133. Temperatura pared posterior

Temperatura de la puerta:

La puerta es la superficie que presenta temperaturas más altas, debido a que el calor busca la forma de salir del horno y la puerta es la única abertura, por lo tanto, el calor buscará salir por la misma. No es posible que el operario introduzca su dedo hasta dicho punto, por lo tanto, se considera aceptable la temperatura y se recuerda que el operario en todo momento que manipule el horno y sus accesorios debe contar con el EPP correspondiente.

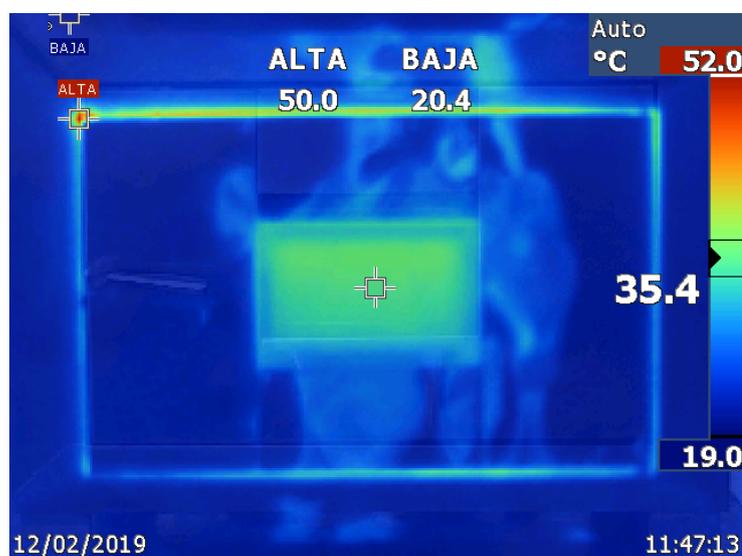


Figura 134. Temperatura en la puerta

Con base en las fotografías presentadas, se considera que el horno cumple con la normativa presentada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT),

en la Nota Técnica de Prevención NTP 524, que indica que la temperatura máxima de contacto directo con la piel es de 40°C.

Pruebas de encendido y temperatura estable:

Se realiza una prueba por día a la misma hora para que exista similitud de condiciones para simular condiciones de trabajo, el objetivo de estas pruebas es definir los tiempos que se demora el horno en llegar a la misma temperatura.

Para estas pruebas se programa una temperatura de 210 °C en el controlador de temperatura, se tomarán datos cada 2 minutos para determinar los tiempos.

Tabla 43

Prueba 1

Fecha: 5/10/2019		
Hora: 12:20 a. m.		
Temp. ambiente: 19°C		
No.	Tiempo [min]	Temperatura [°C]
1	0	21
2	2	46
3	4	69
4	6	93
5	8	113
6	10	129
7	12	150
8	14	174
9	16	199
10	18	208
11	19	210

Tabla 44

Prueba 2

Fecha: 6/10/2019		
Hora: 12:21 a. m.		
Temp. ambiente: 20°C		
No.	Tiempo [min]	Temperatura [°C]
1	0	22
2	2	45
3	4	65
4	6	90
5	8	122
6	10	135
7	12	155
8	14	178
9	16	205
10	17	210

Tabla 45*Prueba 3*

Fecha: 7/10/2019		
Hora: 12:25 a. m.		
Temp. ambiente: 19°C		
No.	Tiempo [min]	Temperatura [°C]
1	0	23
2	2	48
3	4	71
4	6	93
5	8	116
6	10	145
7	12	175
8	14	199
9	16	210

Tabla 46*Prueba 4*

Fecha: 12/10/2019		
Hora: 12:20 a. m.		
Temp. ambiente: 19°C		
No.	Tiempo [min]	Temperatura [°C]
1	0	22
2	2	66
3	4	82
4	6	118
5	8	181
6	10	198
7	12	210

Las pruebas 1, 2, 3 corresponden a pruebas realizadas con el agitador encendido desde el inicio, se tiene un tiempo promedio para alcanzar los 210°C de 17.33 minutos. Mientras que la prueba 4 se realizó con el agitador apagado, únicamente con las resistencias encendidas, se alcanza los 210°C en 12 minutos.

Lo recomendable es calentar el horno con el agitador apagado hasta una temperatura de 150°C y posterior a esto encenderlo, por el efecto del movimiento del aire y el desplazamiento a toda la cámara la temperatura bajará alrededor de 6°C o 7°C momentáneamente, hasta que la temperatura dentro de la cámara sea uniforme nuevamente y así empezará a subir nuevamente la temperatura del interior, este efecto se puede apreciar en la pantalla del el controlador de temperatura.

7 CAPITULO VII: ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico busca proporcionar una imagen del estado o del costo final del proyecto, para que se permita determinar la viabilidad de este. Podría definirse como un estudio de la viabilidad del proyecto.

En las siguientes secciones, se detallan los costos totales en que se incurrió para el desarrollo del proyecto.

7.1 Costos Indirectos

Los costos indirectos son los gastos que afectan al proceso productivo en general, pero no directamente al costo del bien. Hace referencia a los valores cuya utilización fue necesaria para realizar el proyecto, como puede ser la energía eléctrica, comunicación.

Los costos indirectos están compuestos por:

Suministros y Servicios: Como se aprecia en la Tabla 47.

Tabla 47
Costos Indirectos - Suministros y Servicios

Suministros	
Descripción	Costo [USD]
Energía Eléctrica	\$50.00
Comunicación	\$30.00
Total	\$80.00

Misceláneos o elementos varios: Como se aprecia en la Tabla 48.

Tabla 48
Costos Indirectos - Misceláneos

Misceláneos	
Descripción	Costo [USD]
Copias	\$25.00
Elementos de oficina	\$15.00
Impresiones	\$50.00
Internet	\$35.00
Total	\$125.00

Transporte: Como se aprecia en la Tabla 49.

Tabla 49
Costos Indirectos - Transporte

Descripción	Transporte		
	Salida	Destino	Costo [USD]
Planchas de acero inoxidable e=1.2, 3mm	IMPORT ACEROS	Taller	\$30.00
Plancha de acero inoxidable e=1.5mm	DIPAC	Taller	\$25.00
Material para soldadura	IMPORGAL	Taller	\$5.00
Aislante Térmico	ACIMCO	Taller	\$20.00
Pantallas de vidrio templado	ECUAVID	Taller	\$12.00
Horno terminado	Taller	ESPE	\$40.00
Traslado de los estudiantes al taller	ESPE	Taller	\$100.00
		Total	\$232.00

Uso de máquinas herramientas: Para el desarrollo del proyecto se utilizó varias máquinas cuyos costos vienen dados en la Tabla 50.

Tabla 50
Costos Indirectos - Uso de Máquinas Herramientas

Uso de Máquinas Herramientas			
Máquina	Total de Horas [h]	Costo por hora	Costo Total
Guillotina	20	\$5.00	\$100.00
Taladro de pedestal	1.5	\$8.00	\$12.00
Dobladora	15	\$3.00	\$45.00
Soldadora TIG	5	\$30.00	\$150.00
Soldadora por arco	0.5	\$10.00	\$5.00
Cortadora Oxicorte	1	\$15.00	\$15.00
Amoladora	3	\$9.00	\$27.00
Taladro de mano	2	\$3.00	\$6.00
		Total	\$360.00

Asesoramiento: Como se puede apreciar en la Tabla 51.

Tabla 51
Costos Indirectos - Asesoramiento

Asesoramiento		
Nombre	Cargo	Valor total [USD]
Ing. Ángelo Villavicencio	Director del proyecto	\$350.00
Total		\$350.00

7.2 Costos Directos

Son los costos que tienen influencia directa en la fabricación del producto, este tipo de costos afecta de forma inmediata sobre el precio final del proyecto. Estos procesos se identifican con facilidad puesto son esenciales para el desarrollo del proyecto.

Los costos directos vienen dados por:

Diseño e Ingeniería: Como se puede apreciar en la Tabla 52.

Tabla 52
Costos Directos - Diseño e Ingeniería

Diseño e Ingeniería	
Francisco Xavier Vaca	\$650.00
María Victoria Garzón	\$650.00
Total	\$1,300.00

Construcción y ensamblaje: Como se puede apreciar en la Tabla 53.

Tabla 53
Costos Directos - Construcción y ensamblaje

Construcción y ensamblaje			
Detalle	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor total [USD]
Estudiantes (Tesisistas)	2	\$150.00	\$300.00
Ayudante Metal mecánico	2	\$100.00	\$200.00
Total			\$500.00

Materiales y Accesorios: Como se puede apreciar en la Tabla 54.

Tabla 54
Costos Directos - Materiales y Accesorios

Materiales y Accesorios					
Ord.	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
1	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=1.2mm, 2.44x1.22m	/	2	\$55.00	\$110.00
2	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=1.5mm, 2.44x1.22m	/	1	\$94.10	\$94.10
3	Plancha de acero inoxidable AISI 430 BA (Brillante) e=3mm, 2.44x1.22m	/	2	\$150.00	\$300.00
4	Electrodos para soldadura E308L-16, caja de 1kg	kg	1	\$4.00	\$4.00
5	Rollo de lana de vidrio, e= 5cm, 24x1.2m	/	1	\$71.00	\$71.00
6	Vidrio templado, e=6mm, 30x20 cm	/	1	\$30.00	\$30.00
7	Vidrio templado, e= 6mm, 34x24cm	/	1	\$30.00	\$30.00
8	Pegamento de alta temperatura	/	1	\$5.00	\$5.00
9	Empaque Térmico de cuerda tejida Estilo 347-S THERMO-SIL™ L=3m	m	3	\$9.00	\$27.00
10	Cable para conexión trifásica de 220V, L= 3m	m	3	\$2.00	\$6.00
11	Cable delgado para conexión de 220 V, L= 2m	m	1	\$1.00	\$1.00
12	Bornera plástica de 30 amperios	/	1	\$0.50	\$0.50
13	Conector macho para 220V	/	1	\$1.50	\$1.50
14	Pintura intumescente para alta temperatura	/	1	\$6.00	\$6.00
15	Grata de fibra 3x2 # 80x50 A 106 MEDIANO	/	1	\$13.00	\$13.00
16	Disco pulidor de felpa	/	1	\$13.00	\$13.00
17	Pasta para pulir Acero Inoxidable	/	1	\$6.50	\$6.50
18	Disco de lija para pulir Acero Inoxidable	/	1	\$3.80	\$3.80
19	Accesorios para limpieza (franela, taipe, etc.)	/	1	\$3.25	\$3.25
TOTAL					\$725.65

Equipos: Se puede apreciar en la Tabla 55, los gastos en equipos comprados para el proyecto.

Tabla 55
Costos Directos - Equipos

Equipos					
Ord.	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
1	Motor Trifásico WEG22 Tru Metric IE2	/	1	\$120.00	\$120.00
2	Controlador de Temperatura REX-C900FK02-V	/	1	\$45.00	\$45.00
3	Termopar tipo J	/	1	\$5.00	\$5.00
4	Resistencias eléctricas (níquel – cromo) de 20 ohmios.	/	2	\$40.00	\$80.00
5	Cerradura de acero inoxidable para horno	/	1	\$12.00	\$12.00
6	Variador de frecuencia KINCO	/	1	\$170.00	\$170.00
				TOTAL	\$432.00

7.3 Costos Totales invertidos en el proyecto

Los costos totales están compuestos por los Costos Indirectos y los Costos Directos, en la Tabla 56 se encuentra un resumen de Costos Totales del Proyecto.

Tabla 56
Costos Totales del Proyecto

COSTOS TOTALES		
	Suministros	\$80.00
	Misceláneos	\$125.00
COSTOS INDIRECTOS	Transporte	\$232.00
	Uso de Máquinas Herramientas	\$360.00
	Asesoramiento	\$350.00
	Diseño e Ingeniería	\$1,300.00
COSTOS DIRECTOS	Construcción y ensamblaje	\$500.00
	Materiales y Accesorios	\$725.65
	Equipos	\$432.00
	COSTOS TOTALES	\$4,104.65

La Tabla 56, representa los gastos totales del proyecto, considerando los costos de diseño e ingeniería por parte de los estudiantes, el asesoramiento por parte del director del proyecto y la construcción por parte de los estudiantes. A continuación, en la Tabla 57 se resumen los gastos netos de los estudiantes en el desarrollo del proyecto. Considerando que cada estudiante aportó con el 50% del gasto.

Tabla 57
Gasto De los Estudiantes en el Proyecto

GASTO NETO EN TESIS	
Suministros	\$80.00
Misceláneos	\$125.00
Transporte	\$232.00
Uso de máquinas	\$360.00
Construcción (sin estudiantes)	\$200.00
Materiales	\$725.65
Equipos	\$432.00
Total	\$2,154.65

8 CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Se realizó el diseño, simulación y construcción de un prototipo de horno para el proceso de curado de materiales compuestos con un volumen de cámara útil de 0.14 m^3 , para el laboratorio de Ciencia de materiales del DECEM, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, esta será una herramienta útil para desarrollar nuevas investigaciones.

Para culminar con el desarrollo del prototipo de horno, se estructuró un proceso que inició con la investigación sobre los hornos de curado de materiales, seguido por el planteamiento de un diseño para el prototipo, con el diseño se desarrollaron simulaciones térmicas y estructurales, orientándonos en uno de los lineamientos de la Industria 4.0, que busca optimizar el uso de tiempo y recursos. Al ser los resultados de las simulaciones favorables, se realizaron los planos correspondientes para la construcción del prototipo, llegando a la etapa constructiva del prototipo de horno y terminando con las pruebas de funcionamiento.

Se realizó el diseño térmico del horno prototipo para el proceso de curado de materiales compuestos obteniendo como resultado que el calor necesario que deben producir las resistencias para calentar el horno desde temperatura ambiente hasta la temperatura de diseño es de 3630 [W] , además se obtuvo que el calor perdido por el flujo térmico del revestimiento de la cámara es de $238,95 \text{ [W]}$.

Dentro del diseño electrónico, se determinó la necesidad de implementar un controlador PID, se seleccionó el REX-C900 por cumplir con los requisitos del diseño, su temperatura de trabajo máxima es de 400°C ; además, la comunicación: usuario – máquina es fácilmente manejable y permite un control por auto-ajuste (auto tuning).

Uno de los factores fundamentales al analizar el diseño del horno es la ubicación de las resistencias eléctricas; estas se colocaron en las paredes laterales del prototipo de horno, con una separación de las paredes laterales de la cámara interna obteniendo así una distribución homogénea del calor en la cámara, este es un requisito indispensable en la elaboración de este proyecto.

Tras desarrollar las simulaciones con el software CAD/CAE se puede concluir que la deformación máxima que sufre la cámara interna es de 0,4613mm por lo cual fue necesario implementar refuerzos en las paredes del horno, el esfuerzo de Von Mises en la cámara interna del horno es de 306,87 MPa lo cual permitió determinar un factor de seguridad de 1,01 afirmando que el diseño es viable. Considerando que estos valores se determinaron para la temperatura de 400°C.

Se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo, llevándolo hasta una temperatura de 400°C, para verificar el correcto funcionamiento de las resistencias, y la temperatura de las paredes externas del mismo, se tomaron fotografías con la cámara termográfica, a partir se puede decir que, el horno no presentó problemas durante las evaluaciones. Los procesos de curados en hornos no son desarrollados a elevadas temperaturas, pero se hizo esto para comprobar la resistencia de los materiales y equipos.

Los elementos constitutivos de los Sistemas correspondientes al prototipo de horno; aislantes, estructuras, adhesivos, etc., fueron seleccionados en base al diseño térmico y mecánico desarrollado, todos los cálculos de diseño se realizaron para la temperatura máxima de 400°C. Dentro de los cálculos se consideró factores de diseño optimista; para precautelar la funcionabilidad del horno, se establece como temperatura máxima de operación para procesos de curado de 300°C a 320°C.

El prototipo de horno posee en su parte superior una caja de control desde donde se acciona el controlador de temperatura, que tiene como elementos a las resistencias y a un termopar tipo “J” que está colocado en la parte media superior del prototipo con el fin de obtener una lectura más real de la temperatura de la cámara interna, también dispone de una perilla para energizar el motor del agitador; para que este se accione hay que encender el variador de frecuencia que se encuentra en la parte posterior del prototipo, esto funciona como un interruptor de seguridad para el uso del agitador.

8.2 Recomendaciones

Se recomienda previo al uso del horno prototipo de curado de materiales compuestos, revisar el manual adjunto como Anexo.

Se recomienda realizar un mantenimiento periódico, para esto se presenta un manual de uso como Anexo.

Tras usar el prototipo se recomienda esperar 40 minutos para que la temperatura baje y se pueda realizar la limpieza del mismo.

Para futuros trabajos se recomienda re diseñar la puerta del horno para así evitar que el calor se filtre por la misma.

Se recomienda que en ningún momento se trabaje con el prototipo de horno y sus accesorios sin los Elementos de Protección Personal necesarios.

Se debe tener en cuenta que si el ciclo de trabajo del horno es superior a las 3 horas la cámara externa se calentará, por lo que se recomienda no tocar la superficie externa del horno.

9 CAPITULO IX: BIBLIOGRAFÍA

- Alcalde Cano, M. (2015). *Determinación de la influencia de temperatura y tiempo de curado en el material compuesto mediante el uso de ensayos no destructivos*. Sevilla.
- Armfield. (20 de Noviembre de 2017). *Armfield*. Obtenido de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/ht19/intercambiador-de-calor-por-conveccion-libre-y-forzada>
- ASM Aerospace Specification Metals, I. (Agosto de 2019). *ASM Aerospace Specification Metals, Inc*. Obtenido de <http://www.aerospacemetals.com/contact-aerospace-metals.html>
- Astigarrá, J. (1994). *Hornos Industriales de Resistencias*. España: McGraw-Hill.
- Aula Digital. (2019). *Aula Digital*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/caloriasybtu/edificios-paredes-conveccion-coeficientes>
- Besednjak Dietrich, A. (2005). *Materiales Compuestos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Bocanegra, H. (2012). *Flujogramas y floxogramas*. Bogota: Fundación SIIGO.
- Castillo, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Chile: Universidad de Bío-Bío.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Collahuazo, J., & Morocho, L. (2009). *“Diseño y construcción de un horno de tratamientos térmicos empleando GLP como combustible*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial*. Barcelona: Alfaomega.
- E.M.I. Italia. (2019). *Elettro Meccanica Industriale*. Obtenido de <https://www.emiitalia.com/es/prodotti/hornos-para-materiales-compuestos/>
- EcuRed. (28 de Noviembre de 2011). *EcuRed*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Pir%C3%B3metro>
- Erazo, P., & Vizúete, R. (2011). *Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con capacidad de 2000 litros*. Quito.
- FisicaLAB. (1 de Diciembre de 2019). *FisicaLAB*. Obtenido de <https://www.fisicalab.com/ejercicio/762#contenidos>
- Generatoris. (30 de Noviembre de 2017). *Generatoris S.A. de C.V.* Obtenido de <http://www.generatoris.com/home/subcategoria/46>
- Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: Prentice-Hall.
- Grupo ETSA. (2019). *Especialidades Térmicas*. Obtenido de <https://www.especialidadestermicas.com/hornos>

- Gunt Hamburg. (20 de Noviembre de 2017). Obtenido de <http://www.gunt.de/es/productos/ingenieria-termica/fundamentos-de-termodinamica/principios-de-la-transferencia-de-calor/conveccion-libre-y-forzada/060.44000/wl440/glct-1;pa-150:ca-91;pr-1522?sccsf=1>
- Hornos Industriales LTDA. (s.f.). *Hornos Industriales*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2019, de http://www.hornosindustriales.cl/info_site/Tratamientos%20Termicos%20-%20hornos%20industriales%20ltda.pdf
- Hull, D. (2003). *Materiales Compuestos*. Barcelona: Reverté.
- Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Mexico: Prentice Hall.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico: Prentice Hall.
- Industriales. (2019). *Industriales*. Obtenido de <http://www.industriales.ws/hornos/>
- Instruments, N. (22 de 01 de 2018). *Guía de acondicionamiento de señales para ingenieros*. Obtenido de ftp://ftp.ni.com/evaluation/signal_conditioning/23807_Engineer_s_guide_to_signal_conditioning_Spanish_localisation_HR.pdf
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson .
- Karlekar.B. (1995). *Transferencia de calor*. México: McGRAW-HILL.
- Larco, J. (2014). *Diseño y construcción de un equipo didáctico de convección forzada con sistema de control centralizado para el laboratorio de transferencia de calor*. Quito.
- Lienhard IV, J., & Lienhard V, J. (2001). *A Heat Transfer Text Book*. Massachusetts: Cambridge.
- Loos, A., & Springer, G. (1982). *curing of Epoxy Matrix Composites*. Michigan: The University of Michigan.
- Metaza. (21 de 10 de 2019). *Metaza*. Obtenido de <https://metaza.com.co/wp-content/uploads/2017/10/Ficha-t%C3%A9cnica-Acero-Inoxidable.pdf>
- Pitts, D., & Leighton, S. (1979). *Teoría y problemas de Transferencia de Calor*. McGraw-Hill.
- Redisyt. (2019). *Horno tipo mufla*. Obtenido de <http://redisyt.org/portal/index.php/carbolite>
- RKC. (2019). *RKC Center*. Obtenido de https://www.rkcinst.co.jp/english/download-center/?dc_cat=15
- Tei Ingeniería & Thyker . (20 de Septiembre de 2019). *Tei* . Obtenido de <http://www.teii.com.mx/AlambreNicromel.html>
- Torres, S., & Vaca, N. (2010). *Diseño, construcción e instalación de un tanque marmita de 2800 lt y Rediseño de la lavadora de botellas N°1 de la empresa LICORAM*. Latacunga.

- Wandurraga, M., & Nieto, J. (2016). *Diseño y construcción de un prototipo de horno para la realización del proceso stir casting con aleaciones de aluminio*. 2016: Universidad Libre de Colombia.
- WEG. (2019). *Motor Trifásico WEG 22 Tru Metric IE2*. Quito.
- WEG. (2019). *WEG*. Obtenido de https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Motores-El%C3%A9ctricos/c/BR_MT
- Worldmeteo. (13 de 12 de 2019). *Worldmeteo*. Obtenido de <https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/ecuador/sangolqui/tiempo-137415/>