

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título  
de Ingeniero Mecánico*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA  
DE UN HORNO ARTESANAL PARA LA QUEMA DE LADRILLOS  
Y TEJAS - CÁMARA DE SECADO PARA LEÑA, TEJAS O  
LADRILLOS”**

**AUTORES:**

ÁLVARO MARCELO ORTIZ MATAILO  
ANDRÉS SANTIAGO AUCAPIÑA GUAMÁN

**TUTOR:**

ING. NELSON GUSTAVO JARA COBOS, Ph.D.

CUENCA - ECUADOR

2021

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Álvaro Marcelo Ortiz Matailo con documento de identificación N° 0105812176 y Andrés Santiago Aucapiña Guamán con documento de identificación N° 0105273585, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN HORNO ARTESANAL PARA LA QUEMA DE LADRILLOS Y TEJAS - CÁMARA DE SECADO PARA LEÑA, TEJAS O LADRILLOS”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico*, en la Universidad Politécnica Salesiana facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos de los derechos de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



Álvaro Marcelo Ortiz Matailo  
C.I. 0105812176



Andrés Santiago Aucapiña Guamán  
C.I. 0105273585

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tute fue desarrollado el trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN HORNO ARTESANAL PARA LA QUEMA DE LADRILLOS Y TEJAS - CÁMARA DE SECADO PARA LEÑA, TEJAS O LADRILLOS”**, realizado por Álvaro Marcelo Ortiz Matailo y Andrés Santiago Aucapiña Guamán, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos lo requerimiento estipulados por la Universidad Politécnicas Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, likely representing the name Nelson Gustavo Jara Cobos.

Ing. Nelson Gustavo Jara Cobos, Ph.D.

C.I. 0102679644

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Álvaro Marcelo Ortiz Matailo con documento de identificación N° 0105812176 y Andrés Santiago Aucapiña Guamán con documento de identificación N° 0105273585, autores del trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN HORNO ARTESANAL PARA LA QUEMA DE LADRILLOS Y TEJAS - CÁMARA DE SECADO PARA LEÑA, TEJAS O LADRILLOS”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre de 2021.



Álvaro Marcelo Ortiz Matailo  
C.I. 0105812176



Andrés Santiago Aucapiña Guamán  
C.I. 0105273585

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres y a mi familia, quienes fueron los pilares mas importantes en mi vida brindándome valores, consejos y principios.

Ademas, quiero agradecer al Ing. Nelson Jara Cobos, Ph.D quien ha sido una guía fundamental para el desarrollo del proyecto técnico, proporcionándonos conocimiento y tutela.

**Alvaro Marcelo Ortiz Matailo**

Primero quiero agradecer a dios por haberme permitido llegar en estas instancias y guiarme en momentos difíciles en mi carrera. Quiero dar gracias a mi madre y familia que fueron un pilar fundamental en mi carrera y en especial quiero dar gracias a mis hermanos mayores Oscar y Jorge que gracias a su apoyo pude cursar toda mi carrera académica.

Agradezco a mi tutor Ing. Nelson Jara Cobos, Ph.D por su esfuerzo y dedicación en el desarrollo de nuestro proyecto de titulación.

**Andres Santiago Aucapiña**

## **DEDICATORIAS**

A mis padres y a mi familia por brindarme su apoyo en todo momento durante todos los años de mi formación académica, ellos han sido más grande inspiración.

**Alvaro Marcelo Ortiz Matailo**

Este proyecto técnico está dedicado a mi madre y hermanos mayores Oscar y Jorge por todos sus sacrificios y apoyo a lo largo de toda mi carrera.

A mi familia y amigos que me apoyaron y aconsejaron, en especial a las que nos impartieron el conocimiento necesario para el desarrollo de este proyecto.

**Andrés Aucapiña Guaman**

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
<b>1. Tema.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>3.Planteamiento del Problema.....</b>	<b>3</b>
3.1 Antecedentes del problema.....	3
3.2 Definición del problema.....	4
3.3 Problema general.....	4
3.4 Problemas específicos.....	4
<b>4. Objetivos.....</b>	<b>5</b>
4.1 Objetivo General.....	5
4.2 Objetivos Específicos.....	5
<b>5. Marco Teórico Referencial.....</b>	<b>5</b>
<b>5.1 Sistemas de Secado.....</b>	<b>5</b>
5.1.1 Secado Natural.....	5
5.1.2 Secado Artificial.....	6
5.1.2.1 Fases del secado.....	6
5.1.2.2 Sistemas mas usados en el secado artificial.....	7
5.1.3 Configuración básica de un secador.....	10
<b>5.2 Características Técnicas de los Materiales a Secar.....</b>	<b>11</b>
5.2.1 Teja común curva.....	11
5.2.2 Ladrillo hueco.....	11
5.2.3 Madera de pino.....	11
5.2.3.1 Agua en la madera.....	12
<b>5.3 Contenido de Humedad de los Materiales.....</b>	<b>12</b>
5.3.1 Densidad de los materiales.....	13
<b>5.4 Tiempo de Secado de los Materiales.....</b>	<b>13</b>

5.4.1 Teja y Ladrillo.....	13
5.4.2 Madera de Pino .....	14
<b>5.5 Parámetros Considerados para el Diseño de la Cámara de Secado.....</b>	<b>16</b>
5.5.1 Aire Atmosférico.....	16
5.5.1.1 Bulbo seco.....	16
5.5.1.2 Bulbo húmedo.....	17
5.5.2 Velocidad del aire.....	17
5.5.3 Humedad relativa.....	17
5.5.4 Temperatura.....	18
5.5.5 Presión del aire.....	18
<b>5.6 Componentes de Construcción de una Cámara de Secado.....</b>	<b>18</b>
5.6.1 Materiales de construcción de la cámara de secado.....	18
5.6.1.1 Cimentación.....	19
5.6.1.2 Paredes y Techo.....	19
5.6.1.3 Puerta.....	19
5.6.1.4 Aislamiento.....	19
5.6.1.5 Ventilación controlada.....	20
5.6.1.6 Deflectores.....	20
5.6.1.7 Circulación de aire de secado.....	20
5.6.1.8 Banco de tubos.....	20
5.6.1.9 Ductos.....	21
<b>5.7 Reacciones Químicas.....</b>	<b>21</b>
5.7.1 Combustión.....	21
5.7.1.1 Relación AC.....	22
5.7.1.2 Balance de ecuación de combustión.....	22
5.7.1.3 Fracción molar.....	23
5.7.1.4 Número de moles.....	23
5.7.2 Aire para la combustión .....	23
5.7.2.1 Peso molecular efectivo para aire seco.....	23
5.7.2.2 Caudal y flujo másico del aire.....	24
5.7.3 Gases de combustión.....	24
5.7.3.1 Peso molecular de los gases.....	24
5.7.3.2 Densidad.....	24
5.7.3.3 Calor específico.....	24



5.7.3.4 Viscosidad.....	25
5.7.3.5 Coeficiente de conductividad térmica.....	25
5.7.3.6 Número de Prandtl.....	25
5.7.3.7 Calor de los gases de combustión.....	25
5.7.3.8 Ecuación de Bernoulli.....	26
<b>5.8 Calentamiento de la Cámara de Secado y los Materiales.....</b>	<b>26</b>
5.8.1 Estantes.....	26
5.8.1.1 Sistemas en U.....	26
5.8.1.2 Sistemas en H.....	27
5.8.1.3 Sistema lateral.....	27
5.8.2 Colocación de los materiales.....	27
5.8.3 Caudal de un ventilador.....	28
5.8.3.1 Curva de un ventilador.....	29
5.8.3.2 Ventilass.....	29
<b>5.9 Calentamiento del Aire en la Cámara.....</b>	<b>29</b>
5.9.1 Intercambiador de calor.....	29
5.9.1.1 Intercambiadores de calor de flujo cruzado.....	30
5.9.2 Red de resistencias térmicas.....	31
<b>6. Situación Actual del Horno Artesanal del Sr. Ángel Sinchi Localizado en la Parroquia de Racar de la Ciudad de Cuenca-Ecuador.....</b>	<b>31</b>
<b>6.1 Fases de la Obtención de Teja o Ladrillo .....</b>	<b>32</b>
6.1.1 Materia prima.....	33
6.1.2 Mezclado del material.....	33
6.1.3 Batido y Moldeo del material.....	34
6.1.3.1 Ladrillo.....	34
6.1.3.2 Teja.....	34
6.1.4 Secado de teja o ladrillo.....	35
6.1.5 Cocción de ladrillo.y/o teja.....	36
6.1.6 Enfriamiento y Descarga del horno.....	36
6.1.7 Almacenamiento y comercialización .....	36
<b>6.2 Antecedentes del Horno Rectangular.....</b>	<b>36</b>
6.2.1 Productos Finales.....	36
6.2.2 Datos de producción.....	37

<b>6.3 Componentes de un Horno Rectangular y Cilíndrico utilizados en la Cocción de ladrillos y Tejas.....</b>	<b>37</b>
<b>6.4 Material de Combustión.....</b>	<b>39</b>
6.4.1 Almacenamiento de la madera.....	40
6.4.2 Metodología de alimentación de la cámara de combustión.....	40
<b>7. Gases de Combustión de Madera de Pino.....</b>	<b>42</b>
<b>7.1 Gases Contaminantes de un Horno de Cocción de Tejas o Ladrillos.....</b>	<b>42</b>
7.1.1 Factores de emisión en ladrilleras artesanales.....	42
7.1.2 Calidad de aire en la ciudad de Cuenca.....	42
<b>7.2 Gases de combustión.....</b>	<b>43</b>
7.2.1 Ecuación de estequiometria.....	44
7.2.2 Relacion másica Aire-Combustible.....	45
7.2.3 Humedad del ambiente.....	46
7.2.4 Relación Oxígeno O <sub>2</sub> .....	47
7.2.5 Temperatura de la cámara de combustión.....	48
<b>7.3 Características de los gases de combustión.....</b>	<b>49</b>
7.3.1 Peso Molecular.....	49
7.3.2 Densidad.....	49
7.3.3 Calor específico de la mezcla de gases.....	49
7.3.4 Viscosidad.....	50
7.3.5 Calor de los gases de combustión.....	51
7.3.6 Flujo másico.....	52
7.3.7 Masa de gases de combustión por unidad de tiempo.....	53
7.3.8 Velocidad de los gases de combustión.....	53
7.3.8.1 Tiro de la chimenea.....	54
7.3.9 Temperatura de los gases de combustión en el horno de cocción tejas y ladrillos.....	55
7.3.10 Determinación del extractor de gases.....	56
<b>8. Diseño de la Cámara de Secado.....</b>	<b>57</b>
<b>8.1 Dimensionado de la Cámara de Secado.....</b>	<b>57</b>
8.1.1 Dimensiones generales para la implementación del secadero.....	57
8.1.2 Dimensiones del volumen de la cámara de secado.....	57
8.1.3 Volumen de secado y capacidad de teja, ladrillo y madera de combustión.....	59
<b>8.2 Cámara de Secado.....</b>	<b>61</b>

<b>8.3 Ventilación</b> .....	62
8.3.1 Caudal proporcionado por los ventiladores.....	62
8.3.2 Dimensiones de ventilas.....	63
8.3.3 Caída de presión.....	64
8.3.4 Caídas de presión en el intercambiador de calor.....	64
8.3.5 Selección de ventiladores axiales.....	65
<b>8.4 Sistema de calentamiento</b> .....	66
8.4.1 Transferencia de calor en la cámara de secado.....	66
8.4.1.1 Calor en los materiales.....	66
8.4.1.2 Calor para calentar el agua contenida en madera teja y ladrillo.....	67
8.4.1.3 Calor para calentar el aire en la cámara.....	69
8.4.1.4 Calor en los estantes.....	70
8.4.1.5 Calor en el aire de reposición.....	70
8.4.1.6 Pérdidas de calor.....	71
8.4.1.6.1 Pérdidas de calor en la cámara de secado.....	71
8.4.1.7 Calor para calentar el aire en la cámara.....	78
8.4.1.8 Calor para evaporar el agua contenida en la madera, teja y ladrillo.....	79
8.4.2 Parámetros y diseño del intercambiador de calor.....	80
8.4.2.1 Coeficiente de transferencia de calor.....	85
8.4.3 Eficiencia del secadero.....	85
<b>9. Costos de implementación de Obra Civil y Horno de Secado</b> .....	86
<b>9.1 Cámara de Secado</b> .....	86
9.1.1 Cimentación.....	86
9.1.2 Paredes.....	87
9.1.3 Cavidades Ventilación.....	89
9.1.4 Puerta.....	90
9.1.5 Cimentación Techo.....	91
<b>9.2 Elementos complementarios de la Cámara</b> .....	93
9.2.1 Estantes.....	93
9.2.2 Deflector.....	94
<b>9.3 Sistema de Calentamiento</b> .....	95
9.3.1 Ductos.....	95
9.3.2 Intercambiador.....	96
9.3.3 Chimenea.....	97

<b>9.4 Equipos de la Cámara de Secado.....</b>	<b>99</b>
<b>9.5 Costos Finales.....</b>	<b>99</b>
<b>10. Resultados.....</b>	<b>100</b>
<b>11. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>100</b>
<b>11.1 Conclusiones.....</b>	<b>100</b>
<b>11.2 Recomendaciones.....</b>	<b>101</b>
<b>12. Bibliografía.....</b>	<b>102</b>
<b>13.Anexos.....</b>	<b>106</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secado Natural Tejas.....	6
Figura 2. Componentes de un Horno de Convección.....	7
Figura 3. Sistema de condensación.....	8
Figura 4. Secador Solar.....	8
Figura 5. Partes del secador a vacío.....	9
Figura 6. Secador radiofrecuencia.....	10
Figura 7. Componentes básicos de un secador.....	10
Figura 8. Curva ideal : masa del material vs tiempo.....	13
Figura 9. Humedad vs tiempo.....	14
Figura 10. Tiempo de secado.....	14
Figura 11. Distribución del contenido de la humedad.....	15
Figura 12. Curva teórica del secado.....	16
Figura 13. Termómetro común.....	17
Figura 14. Termómetros: bulbo seco y húmedo .....	17
Figura 15. Carta Psicométrica.....	18
Figura 16. Patrones de flujo para los bancos de tubos alineados o escalonados .....	21
Figura 17. Cada $\text{KmolO}_2$ en el aire se acompaña de $3,76 \text{ kmolN}_2$ .....	22
Figura 18. Estantes para secado.....	26
Figura 19. Estante en H.....	27
Figura 20. Estante para sistema lateral .....	27
Figura 21. Acomodado de tejas en los estantes en vista lateral.....	28
Figura 22. Acomodado de ladrillos en los estantes en vista lateral .....	28
Figura 23. Curva característica de un ventilador con acoplamiento en paralelo.....	29
Figura 24. Un fluido de flujo mezclado, un fluido no mezclado.....	30
Figura 25. Intercambiador de calor de tubos y corazas.....	30
Figura 26. Red de resistencias térmicas.....	31
Figura 27. Fases del producto Teja y Ladrillo.....	32
Figura 28. Materia prima Arcilla.....	33
Figura 29. Proceso de mezclado.....	33
Figura 30. Maquinaria usada para el batido de la mezcla.....	34
Figura 31. Chancado y batido de la mezcla.....	34

Figura 32. Maquinaria usada para el batido de la mezcla.....	35
Figura 33. Ladrillo extruido.....	35
Figura 34. Pre-secado de ladrillo después de la extrusión.....	35
Figura 35. Secado de la teja en galpones.....	36
Figura 36. Horno rectangular de cocción de tejas.....	38
Figura 37. Horno cilíndrico de cocción de ladrillos.....	38
Figura 38. Dimensiones y partes generales del horno artesanal rectangular.....	39
Figura 39. Extractor de gases al medio.....	39
Figura 40. Pino.....	40
Figura 41. Quema del material de combustión.....	40
Figura 42. Almacenamiento de leña.....	40
Figura 43. Alimentación de la cámara de combustión.....	41
Figura 44. Alimentación de la cámara de combustión sin ninguna medida de seguridad..	41
Figura 45. Perdida de calor por escape de los gases.....	41
Figura 46. Horno Circular emanando gases hacia el medio.....	43
Figura 47. Esquema del proceso.....	44
Figura 48. Datos Psicométricos.....	47
Figura 49. Grafica JUMO PCA-3000.....	48
Figura 50. Selección del factor de fricción.....	54
Figura 51. Extracción de la Termocupla después de la quema.....	55
Figura 52. La gráfica de color morado indica termocupla correspondiente a los gases de combustión .....	56
Figura 53. Ventilador centrifugo ANZOLA.....	56
Figura 54. Área de Trabajo.....	57
Figura 55. Dimensiones del largo y ancho del secadero.....	58
Figura 56. Vista Superior: Dimensiones de los espacios en el largo de la cámara.....	58
Figura 57. a) vista frontal, b) vista lateral, c) diseño de estante.....	59
Figura 58. a) Sentido del colocada de $T_{\blacksquare}$ , $T_O$ , $L_d$ , b) sentido de colocado de la madera de pino .....	59
Figura 59. Horno de Secado.....	61
Figura 60. Izquierda: Vista frontal horno - Derecha Corte de Cámara de secado.....	61
Figura 61. Dimensiones del Área libre.....	63
Figura 62. Factor de corrección y fricción.....	65
Figura 63. Ventiladores Axiales.....	65

Figura 64. Intercambiador de calor.....	66
Figura 65. a) Vista lateral Temperaturas de la cámara b) vista superior distribución del flujo del calor.....	71
Figura 66. Red de resistencias térmicas.....	71
Figura 67. Red de resistencias térmicas de la puerta.....	74
Figura 68. Red de resistencias térmicas en la pared de la cámara .....	74
Figura 69. Entalpías de evaporación.....	79
Figura 70. Configuración del banco de tubos de forma escalonada.....	82
Figura 71. Materiales para la obtención de la humedad en el horno de estufa.....	110
Figura 72. Preparación de la probeta del ladrillo hueco.....	110
Figura 73. Preparación de la teja.....	110
Figura 74. Obtención de la humedad de ladrillo hueco y teja mediante el método directo.....	111
Figura 75. Termocupla tipo K colocada en la pared lateral de la Cámara de combustión del horno.....	112
Figura 76. Equipo de TRABAJO JUMO.....	112
Figura 77. Termocuplas ubicadas en la cámara de combustión del horno de cocción de ladrillos .....	112
Figura 78. Grafica psicrométrica.....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos Teja Común Tipo A.....	11
Tabla 2. Características técnicas del ladrillo hueco #4.....	11
Tabla 3. Factores de la ladrillera Racar.....	31
Tabla 4. Teja cuadrada y circular.....	36
Tabla 5. Dimensiones generales de ladrillo.....	37
Tabla 6. Ladrillos y Tejas producción .....	37
Tabla 7. Producción de los Hornos .....	37
Tabla 8. Coste por ladrillo y teja .....	37
Tabla 9. Factores de emisión EPA.....	42
Tabla 10. Partículas emitidas en Cuenca-Ecuador.....	43
Tabla 11. Porcentajes totales del biocombustible.....	44
Tabla 12. Composición másico del biocombustible .....	44
Tabla 13. Peso Molecular y Número de moles de los componentes.....	45
Tabla 14. Fracciones molares.....	45
Tabla 15. Pesos Moleculares de algunos elementos.....	46
Tabla 16. Pesos Moleculares.....	49
Tabla 17. Calores específicos.....	50
Tabla 18. Cálculo Difusión.....	50
Tabla 19. Viscosidad de los gases.....	51
Tabla 20. Características de técnicas del extractor.....	56
Tabla 21. Dimensiones del espacio a utilizar.....	57
Tabla 22. Productos a secar.....	59
Tabla 23. Componentes de la Cámara de Secado.....	62
Tabla 24. Caudal necesario para cada situación.....	62
Tabla 25. Dimensiones de las ventilas.....	63
Tabla 26. Características técnicas del ventilador.....	65
Tabla 27. Masa de los diferentes materiales a secar.....	66
Tabla 28. % de Humedad de los diferentes materiales a secar.....	67
Tabla 29. Flujo Turbulento.....	72
Tabla 30. Número de Nusselt.....	72
Tabla 31. Coeficientes de convección.....	73



Tabla 32. Resistencia Total.....	73
Tabla 33. Resistencias de conducción en la pared de la cámara de secado.....	75
Tabla 34. Cálculo del # de Grashoft.....	76
Tabla 35. Constantes de convección.....	77
Tabla 36. Cálculo de Nusselt para R2.....	77
Tabla 37. Resistencia de convección libre.....	77
Tabla 38. Perdida de calor total en la cámara de secado.....	78
Tabla 39. Calor total para calentar la cámara de secado.....	79
Tabla 40. Datos de tubería.....	81
Tabla 41. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de la cimentación.....	86
Tabla 42. Equipos necesarios para la implementación de la cimentación.....	87
Tabla 43. Costos de mano de obra.....	87
Tabla 44. Costo final de la implementación de la cimentación.....	87
Tabla 45. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de paredes....	87
Tabla 46. Equipos necesarios para la implementación de paredes.....	88
Tabla 47. Costos de mano de obra.....	88
Tabla 48. Costo final de la implementación de paredes.....	88
Tabla 49. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de cavidades.	89
Tabla 50. Equipos necesarios para la implementación de cavidades.....	89
Tabla 51. Costos de mano de obra.....	89
Tabla 52. Costo final de la implementación de cavidades .....	89
Tabla 53. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de puerta.....	90
Tabla 54. Equipos necesarios para la implementación de puerta.....	90
Tabla 55. Costos de mano de obra.....	90
Tabla 56. Costo final de la implementación de puerta....	91
Tabla 57. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de cimentación techo.....	91
Tabla 58. Equipos necesarios para la implementación de cimentación techo.....	92
Tabla 59 .Costos de mano de obra.....	92
Tabla 60. Costo final de la implementación de cimentación techo.....	92
Tabla 61. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de estantes....	93
Tabla 62. Costos de mano de obra.....	93
Tabla 63. Equipos necesarios para la implementación de estantes.....	93

Tabla 64. Costo final de la implementación de estantes.....	94
Tabla 65. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación deflector.....	94
Tabla 66. Costos de mano de obra.....	94
Tabla 67. Equipos necesarios para la implementación deflector.....	94
Tabla 68. Costo final de la implementación deflector.....	95
Tabla 69. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de ductos.....	95
Tabla 70. Costos de mano de obra.....	95
Tabla 71. Equipos necesarios para la implementación de ductos.....	96
Tabla 72. Costo final de la implementación de ductos.....	96
Tabla 73. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación intercambiador .....	96
Tabla 74. Costos de mano de obra.....	97
Tabla 75. Equipos necesarios para la implementación de intercambiador.....	97
Tabla 76. Costo final de la implementación de intercambiador.....	97
Tabla 77. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de chimenea...	97
Tabla 78. Costos de mano de obra.....	98
Tabla 79. Equipos necesarios para la implementación de chimenea.....	98
Tabla 80. Costo final de la implementación de chimenea.....	98
Tabla 81. Costos de los diferentes equipos que conforman la cámara de secado.....	99
Tabla 82. Resumen de costos de todos los elementos que conforman la cámara de secado .....	99
Tabla 83. Costo final necesario para la implementación de la cámara de secado .....	99
Tabla 84. Humedad por método de estufa de los ladrillos recién extruidos.....	107
Tabla 85. Humedad por método de estufa de los ladrillos para la cocción.....	108
Tabla 86. Datos de la Cámara de combustión de la termocupla 1 (AI01).....	113
Tabla 87. Temperatura en la chimenea representada por R1 .....	115

## RESUMEN

Este proyecto presenta una alternativa para el aprovechamiento energético de los hornos artesanales ubicados en la zona de Racar de la parroquia Sinincay de la Ciudad de Cuenca y que por muchos años han sido utilizados para la cocción de tejas y ladrillos. La propuesta, como proyecto piloto presenta el diseño de una cámara para el secado de tejas o ladrillos y madera de pino, aprovechando el calor de los gases de combustión que resultan del proceso de cocción de tejas y ladrillos que desarrolla el señor Angel Sinchi en su horno artesanal.

Estos hornos artesanales generan grandes cantidades de calor y su vez grandes cantidades de gases de efecto invernadero como producto de una combustión incompleta debido a la humedad excesiva en la biomasa utilizada para la combustión (madera de pino). Dichos gases fluyen a través de la cúpula hacia la chimenea y son expulsados de forma directa al medio ambiente, lo cual se deriva en una pérdida de recursos y sobre todo una gran contaminación ambiental.

La cámara diseñada cumple la función de secado de las tejas y ladrillos necesaria para disminuir el porcentaje de humedad de estos productos y así contar con las características requeridas para el desarrollo del proceso de cocción en el horno artesanal. Además, es posible utilizar esta cámara para secar la madera de pino, necesaria para contar con un proceso de combustión eficiente y así generar la energía suficiente para conseguir en la cámara de cocción temperaturas que oscilen alrededor de 850 °C, lo que garantiza una buena calidad en los productos.

**Palabras clave:** Horno de tiro invertido, eficiencia energética, cámara de secado, cocción de tejas y ladrillos.

## ABSTRACT

This project presents an alternative for the energy use of the artisanal kilns located in the Racar area of the Sinincay parish of the City of Cuenca and that for many years have been used for the firing of tiles and bricks. The proposal, as a pilot project, presents the design of a chamber for drying tiles or bricks and pinewood, taking advantage of the heat of the combustion gases that result from the tile and brick firing process that Mr. Angel Sinchi develops in his artisan oven.

These artisanal ovens generate large amounts of heat and in turn large amounts of greenhouse gases as a product of incomplete combustion due to excessive humidity in the biomass used for combustion (pinewood). These gases flow through the dome towards the chimney and are expelled directly to the environment, which results in a loss of resources and above all a great environmental pollution.

The designed chamber fulfills the function of drying the tiles and bricks necessary to reduce the percentage of humidity of these products and thus have the characteristics required for the development of the cooking process in the artisan oven. Furthermore, it is possible to use this chamber to dry the pine wood, necessary to have an efficient combustion process and thus generate enough energy to achieve temperatures in the firing chamber that oscillate around 850 ° C, which guarantees a good quality in the products.

**Keywords:** Reverse draft kiln, energy efficiency, drying chamber, tile and brick firing.

## **1. Tema**

Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas – cámara de secado para leña, tejas o ladrillos.

## **2. Introducción**

En este proyecto se presenta una propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal de cocción de tejas o ladrillos mediante el diseño de un secadero, basados en principios de transferencia de calor, termodinámica y diseño de ingeniería, aborda de manera eficaz el tema del secado de tejas o ladrillos, material de combustión (madera de pino) y los factores que involucran el diseño para el desarrollo final.

Para el DISEÑO DE UNA CÁMARA SECADO de tejas, ladrillos y madera se considera el aprovechamiento de calor de los gases de combustión que emanan los hornos artesanales de cocción de tejas o ladrillos, dichos gases son transportados mediante ductos para posteriormente ser llevados hacia un intercambiador de calor. Con los parámetros de diseño seleccionados y el flujo de aire considerado se logra establecer las condiciones necesarias para el secado de las tejas, ladrillos y madera; obteniéndose un beneficio en el proceso de producción, además de reducir la cantidad de gases que se envían directamente al ambiente, esto debido a que se consigue una combustión completa por la reducción del contenido de humedad de la madera.

## **3. Planteamiento del Problema**

### **3.1 Antecedentes del problema**

Existen alrededor de 499 ladrilleras artesanales y 40 ladrilleras semi-mecanizadas dedicadas a la cocción de tejas y ladrillos que usan hornos netamente tradicionales. [1]

La fabricación de estos productos en el Ecuador se considera un método artesanal, las principales consecuencias del uso de hornos artesanales encargados de la cocción de los productos son: la contaminación del medio ambiente causada por los gases de combustión, pérdida de calor al ambiente, el uso irrazonable del suelo y la baja eficiencia térmica. [2]

La mayoría de las tejas o ladrillos se producen mediante la aplicación de hornos artesanales de baja tecnología, principalmente utilizan leña (madera con altos contenidos de humedad, en algunos casos con residuos y otros tipos de biomasa) como combustible. En este proceso, una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son enviados de forma directa al ambiente causando contaminación al ecosistema, lo que

se debe principalmente a la poca tecnificación y concientización en el proceso de fabricación. [3]

### ***3.2 Definición del problema***

La Municipalidad de Cuenca a través de un proyecto relacionado con la gestión ambiental y de acuerdo con los registros de la CGA (Comisión de Gestión Ambiental) y la EELA (Eficiencia Energética en ladrilleras) han identificado que en la ciudad existen 499 ladrilleras artesanales que se dedica a la cocción de ladrillos y tejas, mismas que por su baja eficiencia energética alrededor del 9,6% [4], ocasionada principalmente por el alto gradiente de temperatura dentro de la cámara de cocción, generan varios problemas, entre ellos está la presencia de un gran número de ladrillos y tejas en mal estado por la inadecuada cocción de los mismos, además de generar la emanación de gases de efecto invernadero al ambiente debido a que el material base (madera) utilizado como combustible no se combustiona completamente, ocasionando la generación principalmente de monóxido de carbono afectado directamente a la salud de los trabajadores, animales y plantas de la zona, así como importantes áreas y comunidades que se encuentra en zonas aledañas a las ladrilleras [5].

La investigación realizada por la auditoría ADVANCE señala que el 93% de ladrilleras son artesanales y apenas el 7% son semi-mecanizadas. El 100% de las ladrilleras artesanales utilizan hornos tradicionales y troncos de madera como combustible para la quema artesanal [6].

### ***3.3 Problema general***

¿Se podrá desarrollar una cámara para secar tejas, ladrillo o madera a fin de mejorar la eficiencia del proceso de cocción realizado en hornos artesanales utilizados para la quema de tejas y ladrillos?

### ***3.4 Problemas Específicos***

- ¿Es posible analizar la situación actual de los gases que emanan los hornos artesanales de cocción de ladrillos para el diseño de una cámara de secado para leña?
- ¿Existen información del estado de la técnica al respecto de aprovechamiento energético de los gases de combustión para secar leña y disminuir el contenido de humedad en tejas o ladrillos?

- ¿Se podrá diseñar una cámara de secado para leña, aprovechando los gases de la combustión, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes al ambiente?
- ¿Se podrá diseñar una cámara de secado para ladrillos o tejas, aprovechando los gases de la combustión, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes al ambiente?
- ¿Es posible valorar económicamente los sistemas diseñados para una posible implementación?

#### **4. Objetivos**

##### **4.1 Objetivo General**

- Elaborar una propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal mediante la implementación de una cámara de secado para leña, tejas o ladrillos.

##### **4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la situación actual de los gases que emanan los hornos artesanales para el diseño de una cámara de secado para leña, tejas o ladrillos.
- Estudiar el estado de la técnica para el aprovechamiento de gases de combustión en sistemas de secado de leña, tejas o ladrillos.
- Diseñar una cámara de secado para leña, aprovechando los gases de la combustión del horno artesanal.
- Diseñar una cámara de secado para ladrillos o tejas, aprovechando los gases de la combustión del horno artesanal.
- Analizar los costos de implementación de los sistemas diseñados.

#### **5. Marco Teórico Referencial**

##### **5.1 Sistemas De Secado**

###### **5.1.1 Secado Natural**

Este proceso se considera el método más simple para secar cualquier tipo de material en este caso: teja, ladrillo y madera, ya que se exponen directamente al medio ambiente, a las condiciones de humedad relativa, la velocidad y presión del viento que son variables que no se pueden controlar, (Ver figura 1).



*Figura 1. Secado Natural Tejas. Fuente: Autor.*

### **5.1.2 Secado Artificial**

Este sistema controla variables de temperatura, presión, velocidad y humedad relativa del aire, con la finalidad de reducir el contenido de humedad de cualquier material, tiempos de secado, agilizando la producción.

Las cámaras de secado son generalmente construidas de materiales de alta resistencia al impacto y corrosión como el acero o aluminio son completamente herméticas, con puertas y techos compuestas de materiales aislantes como fibra de vidrio por su coeficiente de conductividad térmica relativamente bajo. Las ventilas son las encargadas del sistema ventilación, puede accionarse de forma manual o automática, permiten la salida del aire húmedo producto de la evaporación del agua en los materiales dentro de la cámara para remplazarlo aire del ambiente. El aire que expulsa los ventiladores dentro de la cámara debe poseer una presión y velocidad adecuada la cual acelere el movimiento de las partículas de humedad interna que poseen los materiales del interior al exterior del ladrillo, teja o madera. El secado depende de los materiales a secar que serán: teja, ladrillo y madera, además de la humedad inicial y final que se desee obtener en los materiales.

[7]

#### **5.1.2.1 Fases del secado**

##### **- Calentamiento**

Se calienta el aire dentro de la cámara hasta el valor determinado para no ocasionar ningún tipo de defecto en los materiales a secar, esto se logra con el control de la humedad relativa del aire que debe humectarse de manera superficial para lograr una humedad homogénea en la pieza.



- **Secado**

En la primera fase se debe eliminar el contenido de humedad inicial de los materiales a secar hasta que las paredes y cavidades celulares estén libres de agua, con baja temperatura, estabilidad de humedad relativa y velocidad de secado constante. Se dividen en las siguientes fases:

- **Acondicionamiento**

Se baja la temperatura de la cámara de secado a condiciones climáticas y que el contenido de humedad superficial de los materiales sea menor al contenido de humedad de equilibrio, esto se logra uniformizando la humedad dentro de los materiales disminuyendo la variación de humedad.

- **Enfriamiento**

Se deja de suministrar el aire caliente, dando paso a las ventilas que permiten el cambio del aire del medio con el interior de la cámara de secado, se debe llegar a la temperatura exterior de la cámara gradualmente. [8]

**5.1.2.2 Sistemas más usados en el secado artificial**

Los diferentes tipos de sistemas de secado artificial más usados son:

- **Convección**

Es uno de los sistemas más utilizados en la industria trabajan a temperaturas elevadas de 60 a 90°C, para general el calor estos sistemas usan como combustible diésel o gas, en algunos casos residuos. Su función principal es intercambiar el aire saturado de agua con aire fresco (Ver Figura 2).

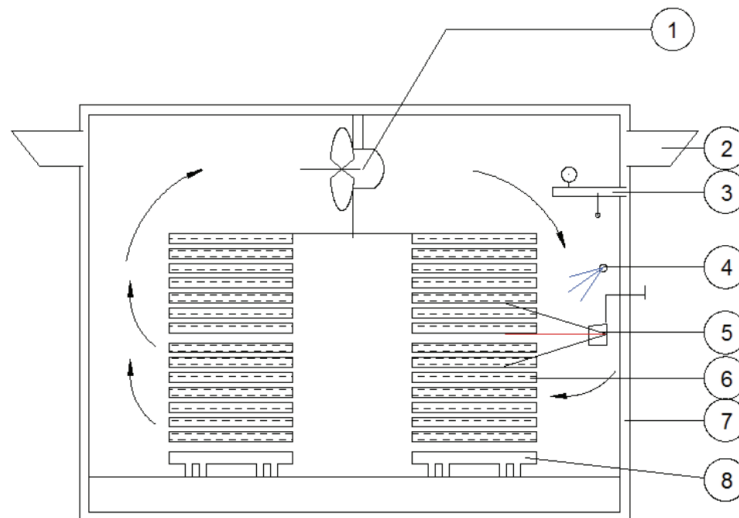


Figura 2. Ventilador (1), Ventilas regulables (2), Intercambiador de calor (3), Sistema de humectación (4), Sistema de mando y control (5), Material a secarse (6), Cámara de secado (7), Coches. Fuente [9].

- **Condensación**

Este sistema consiste en que el aire que circula por los materiales en la cámara de secado, absorba la humedad contenida en estos, por lo cual el aire disminuye la capacidad de poder absorber agua y aquí la utilización de un equipo de condensación ya que el agua evaporada empieza a condensarse y a salir de forma líquida hacia el exterior de la cámara, de esta manera se mantiene la capacidad de absorción del aire que recircula dentro de la cámara ya que sin este fenómeno el aire se saturaría por el contenido de humedad presente en los materiales, (Ver Figura 3). La temperatura del aire puede alcanzar temperaturas como 15 - 72°C.

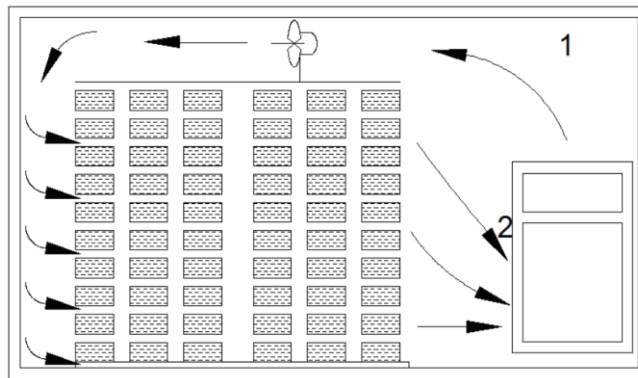


Figura 3. Sistema de condensación. Fuente [9].

- **Energía Solar**

El tiempo de secado y la temperatura interior de estos hornos depende del clima ya que aprovecha la energía calorífica del sol para calentar el aire que es creado por los ventiladores que componen el horno de secado, se controla los parámetros de temperatura, humedad, velocidad, etc. Estos hornos dependen básicamente de la corriente de aire que generan los ventiladores lo que lo vuelve poco eficaz ya que se requieren altos costos de operación debido al consumo de energía eléctrica para poner en marcha el funcionamiento de los ventiladores (Ver Figura 4).

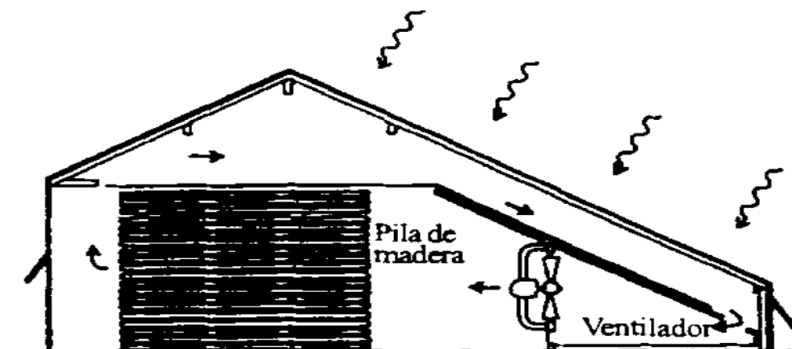
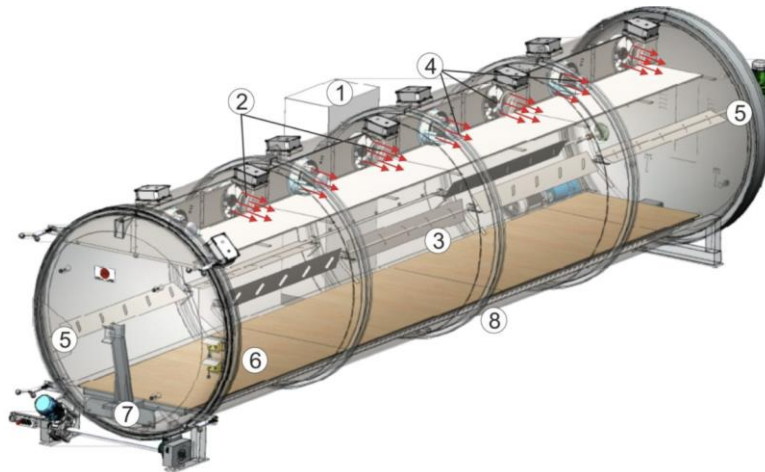


Figura 4. Secador Solar. Fuente: [10].

### - *Al Vacío*

Este sistema trata de reducir la temperatura de ebullición del agua y la resistencia que esta ejerce al pasar por el material a secarse mediante una reducción de la presión atmosférica el cual acelera el proceso de eliminación de agua en cualquier material. Este sistema de secado es más rápido que los sistemas convencionales, su forma es tubular de acero con un cierre hermético realizando su proceso de secado de forma cíclica.

El aire calienta los materiales a secarse que son colocados en los coches de alimentación, como fase inicial se calientan los materiales a su temperatura de secado para posteriormente conectar una bomba de vacío encargada de succionar el aire húmedo de la cámara de secado produciendo un enfriamiento en la superficie de los materiales, esto debido a la temperatura inferior de ebullición del agua en presiones bajas (Ver Figura 5).



*Figura 5. Partes del secador a vacío: Panel eléctrico (1), Resistencias del calentamiento (2), Espaciado de carga de materiales a secar (3), Ventiladores de doble flujo (4), Turbulencia (5), Sondas de humedad (6), Carro de carga motorizado (7), Condensadores (8). Fuente: [11].*

### - *Radio Frecuencia*

En el calentamiento por radio frecuencia similar a un microondas, la generación de ondas las produce un oscilador que aplica sobre dos electrodos entre los cuales se ubica un material dieléctrico en este caso madera, las células con agua se ven obligadas a vibrar con alta frecuencia lo cual genera un calentamiento de sus células. Es recomendable para madera gruesas ya que la penetración es profunda y lenta, (Ver Figura 6). Las condiciones de aplicación de radio frecuencia se los realiza con las combinaciones de temperatura, espesor diámetro, tiempo y tipo de ambiente. [12]



Figura 6. Secador radiofrecuencia. Fuente: [12].

### 5.1.3 Configuración básica de un secador

En un secador fluye el aire producto de un ventilador a una cierta velocidad y presión, este aire se calienta por cualquier método de calefacción que circula a través de los materiales dispuestos en la cámara de secado (Ver Figura 7).

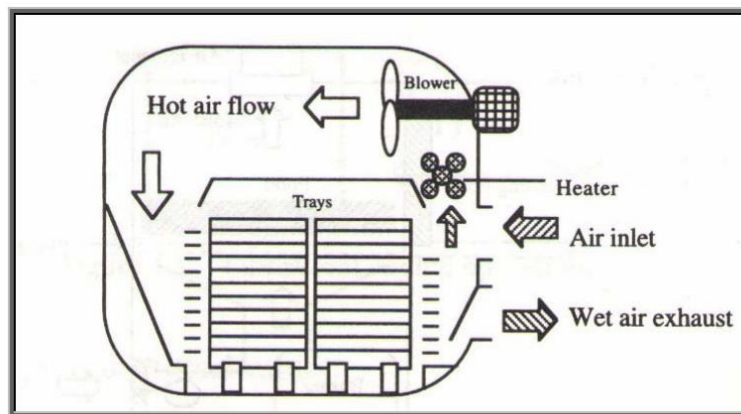


Figura 7. Componentes básicos de un secador. Fuente: [13].

**Generador de aire:** Esto se realiza por la acción de ventiladores los cuales extraen el aire del medio y lo envía por la cámara que circula a una cierta velocidad.

**Calefactor:** Es el sistema encargado de calentar el aire, se lo puede hacer de manera directa o indirecta.

**Control:** Son los elementos encargados de verificar el estado de funcionamiento de la cámara mediante termómetros, medidores de presión y dispositivos de control de humedad.

## 5.2 Características Técnicas de los Materiales a Secar

### 5.2.1 Teja común curva

Las tejas artesanales es uno de los elementos más usados en el ámbito de la construcción debido a sus características depende del proceso de fabricación, por lo tanto, no deben presentar grietas, fisuras, descamación, laminaciones, deformaciones y roturas durante el proceso de obtención.

Los requisitos técnicos que deben seguir la teja común tipo A según la Norma INEN, (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Requisitos Teja Común Tipo A. Fuente: [14].

Teja Común Tipo A	Promedio cinco Tejas	Individual
Resistencia Flexión $\text{kg/cm}^2$	100	80
Absorción Agua (%)	18	20

### 5.2.2 Ladrillo hueco

Poseen perforaciones interiores de nomas del 20% de su volumen total, estos agujeros sirven para alojar aire que cumple la función de actuar como aislante al frio o al calor. Los tiempos de cocción son menores debido a que sus paredes son delgadas.

Los ladrillos cerámicos se pueden clasificar en diferentes tipos, para ladrillero hueco le corresponde el Tipo D ya que posee más aplicaciones del mismo en los sistemas de construcción que los demás tipos, además de poseer diferentes características técnicas, (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Características técnicas del ladrillo hueco # 4. Fuente: [15].

Ladrillo Tipo D	Promedio cinco Ladrillos	Individual
Resistencia minina a la Compresión (MPa)	6	5
Resistencia minina a la Flexión (MPa)	4	
Absorción Agua (%)	16	

### 5.2.3 Madera de pino

Los hornos de cocción de ladrillos y tejas usan como elemento principal de combustión madera pino, este material recién aserrado es adquirido por los artesanos y almacenado en espacios específicos, por lo cual no interesa obtener una buena calidad superficial sino más bien se requiere extraer la mayor cantidad de humedad posible del material.

### 5.2.3.1 Agua en la madera

La cantidad de agua o humedad que posee la madera dependerá de las situaciones climáticas y debido a que este material se comercializa recién extraído. Esta cantidad puede dividirse en tres partes:

- **Agua Libre**

Es el agua más fácil de extraer debido a que se localiza en las cavidades interiores celulares, está limitado por el volumen de poros que se pierden por evaporación. Este punto de evaporación se lo conoce como punto de saturación de las fibras que corresponden a un contenido de humedad del 21% y 32%

- **Agua Higroscópica**

Se localiza en las paredes celulares, cuando se evapora el agua libre la humedad que contiene la madera se suprime lentamente hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmosfera.

- **Agua de Constitución**

Es el agua más difícil de eliminar en el proceso de secado debido a que forman parte de la materia celular, para eliminar el agua de esta tendríamos que recurrir a la ruina del material. [16]

### 5.3 Contenido de Humedad de los Materiales

La humedad de los diferentes materiales teja, ladrillo y madera de pino se las puede determinar por método directo o estufa, el cual expresa la relación existente entre la masa de agua que se encuentra en la madera y la masa seca o anhidra. Se lo calcula con la siguiente ecuación. [17]

$$CH = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

$CH$  – contenido de humedad (%)

$P$  – masa original de la muestra en (g)

$P_{sh}$  – masa de la muestra anhidra (g)

En el método directo se realiza mediante un higrómetro el cual utiliza un sensor digital que capta y muestra la humedad del entorno. Para la obtención de estos datos se opta por usar los dos métodos de obtención de humedad los cuales serán proporcionados por la Universidad de Cuenca los cuales se los puede visualizar en el ANEXO B.

### 5.3.1 Densidad de los materiales

Es la cantidad de masa existente dependiente del contenido de humedad por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5.2)$$

$\rho$  – densidad de los materiales  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$m$  – masa de los materiales (kg)

$V$  – volumen de los materiales ( $m^3$ )

### 5.4 Tiempo de Secado de los Materiales

Depende de los siguientes parámetros:

- Espesor.
- Porcentaje de Humedad inicial y Final.
- Temperatura de secado.
- Velocidad del aire.
- Calidad superficial del producto.

#### 5.4.1 Teja y Ladrillo

Para el diseño de un secador de tejas y ladrillos es necesario analizar las curvas de secado de estos materiales. A medida que transcurre el tiempo la masa de agua contenida en el material disminuye en forma exponencial decreciente, (Ver Figura 8).

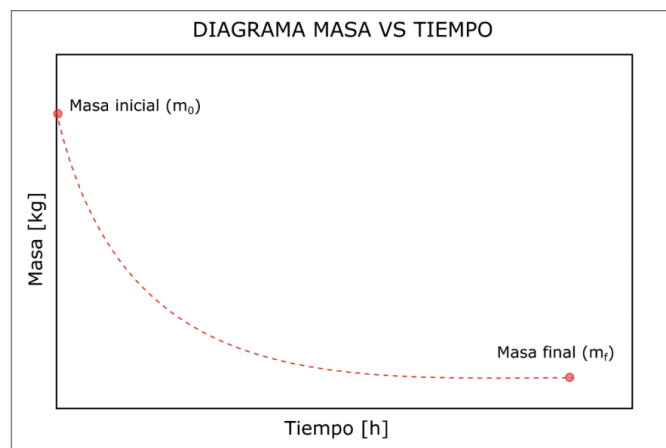


Figura 7. Curva ideal: masa del material vs tiempo. Fuente: [18].

En el proceso de secado es indispensable conocer el comportamiento del material en las variables de tiempo y humedad el cual esta representado como una curva ideal, (Ver Figura 9).

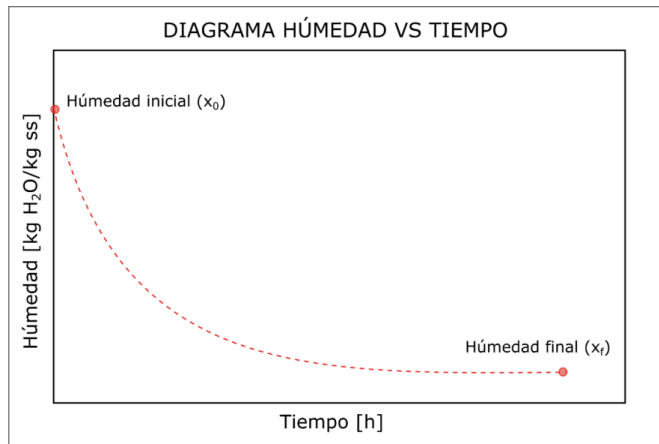


Figura 8. Humedad vs Tiempo. Fuente: [18].

El secado de un material con respecto a las variables de tiempo y temperatura, se realiza un precalentamiento hasta llegar a una temperatura óptima para evaporar el agua contenida en el material, (Ver Figura 10).

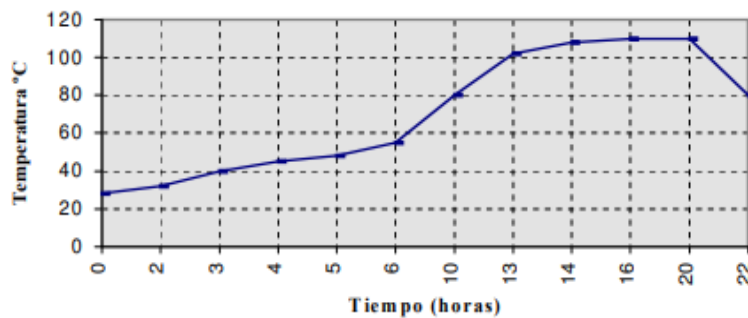
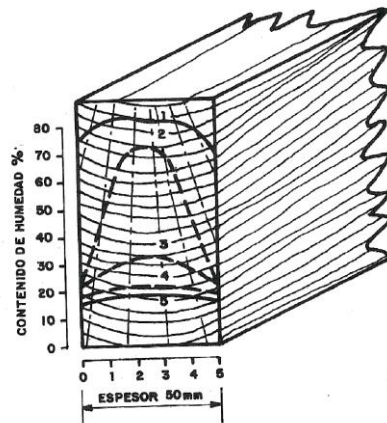


Figura 9. Tiempo de secado. Fuente: [7].

### 5.4.2 Madera de Pino

En el proceso de secado artificial existen dos valores del contenido de humedad de la madera que es de gran importancia para establecer el comportamiento del secado. Estos valores son el contenido de humedad real de la madera en un determinado momento y el contenido de humedad de equilibrio hacia el cual tiende la madera de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa fijadas dentro del secadero. En la Figura 11 se puede denotar la distribución del contenido de humedad en la madera en la sección transversal de una pieza de madera. [19]





Secado al aire libre de un tablón de HAYA de 50 mm de espesor.

1. Distribución del contenido de humedad al inicio del secado.
2. Después de 6 semanas.
3. Después de 6 meses.
4. Después de 12 meses.
5. Después de 18 meses.

Figura 10. Distribución del contenido de la humedad. Fuente: [19].

El secado de la madera depende si está por encima o por debajo de la curva, (Ver Figura 12), si está por encima este punto la velocidad de secado en condiciones estables de temperatura y humedad, permanecen constantes y el movimiento del agua libre líquida es causado por fuerzas capilares. Cuando se evapora el agua libre no se producen tensiones dentro de la madera.

Cuando avanza el secado con contenidos de humedad por debajo del punto de saturación, la permeabilidad de la estructura juega un papel importante en el proceso de remoción del agua. La gráfica de la velocidad de secado cambia de una línea recta a una curva exponencial decreciente, presentándose una zona de transición. En este rango el agua retenida en la madera por fuerza de naturaleza molecular y/o eléctricas se mueve por difusión a través de las paredes, debido al gradiente de humedad que se crea entre las paredes de las células vecinas. Finalmente, la curva tiende hacia a un valor límite que no es otro que la humedad de equilibrio de la madera correspondiente a las condiciones climáticas establecidas.

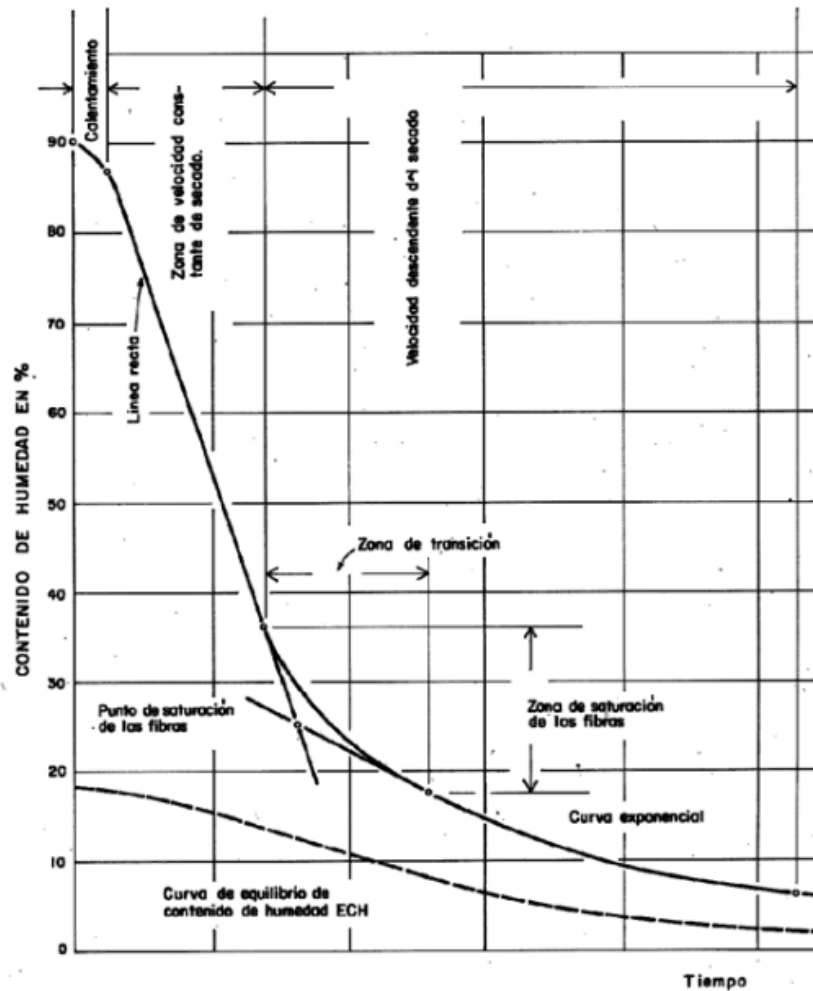


Figura 11. Curva teórica del secado. Fuente: [19].

## 5.5 Parámetros Considerados para el Diseño de la Cámara de Secado

### 5.5.1 Aire Atmosférico

Este compuesto principalmente por oxígeno, nitrógeno, argón, dióxido de carbono y otros elementos, a toda esta mezcla se la considera aire atmosférico que está presente en el ambiente por medio de aire seco y vapor de agua.

Este vapor de agua es fundamental para el cálculo de las propiedades del aire atmosférico.

[9]

#### 5.5.1.1 Bulbo seco

Es la temperatura que marca cualquiera termómetro común cuando este encuentra seco.

(Ver Figura 13). [9]



Figura 12. Termómetro común. Fuente: [20]

### 5.5.1.2 Bulbo húmedo

Es la temperatura que marca el termómetro cuando está humedecido y sobre él existe un flujo de aire, los datos obtenidos de estos dos termómetros indican la humedad relativa del aire (Ver Figura 14). [9]

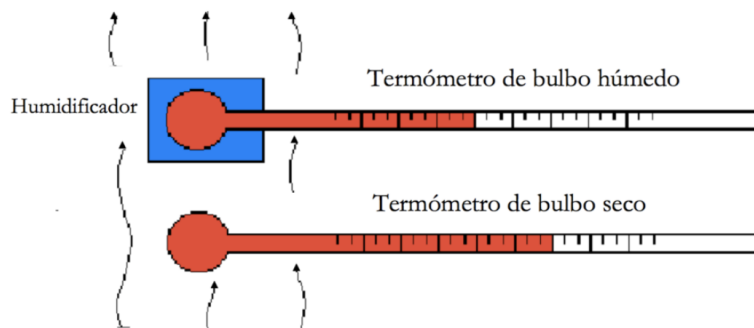


Figura 13. Termómetros: bulbo seco y húmedo. Fuente: [21]

### 5.5.2 Velocidad del aire

Para garantizar el secado de los materiales la velocidad del aire que circulara dentro de la cámara debe transmitir la energía requerida para calentar el agua y evaporarla, además de transportar toda esta humedad que expulsan los materiales. Cuando el aire que circula en la cámara es relativamente alto se obtienen buenos resultados, por lo tanto, para maderas de secado rápido se escoge un valor de 5m/s y para madera con mayor densidad y secado lento se escoge un valor de 2m/s, escoger una adecuada velocidad reflejara sus resultados en la calidad superficial de los materiales. [7]

### 5.5.3 Humedad relativa

La humedad relativa hace referencia al contenido de vapor de agua que existe en el aire ambiente, la cual depende de la presión atmosférica y temperatura.

Con la ayuda de la carta psicométrica, temperaturas iniciales y de saturación se puede determinar la humedad relativa, (Ver Figura 15). [8]

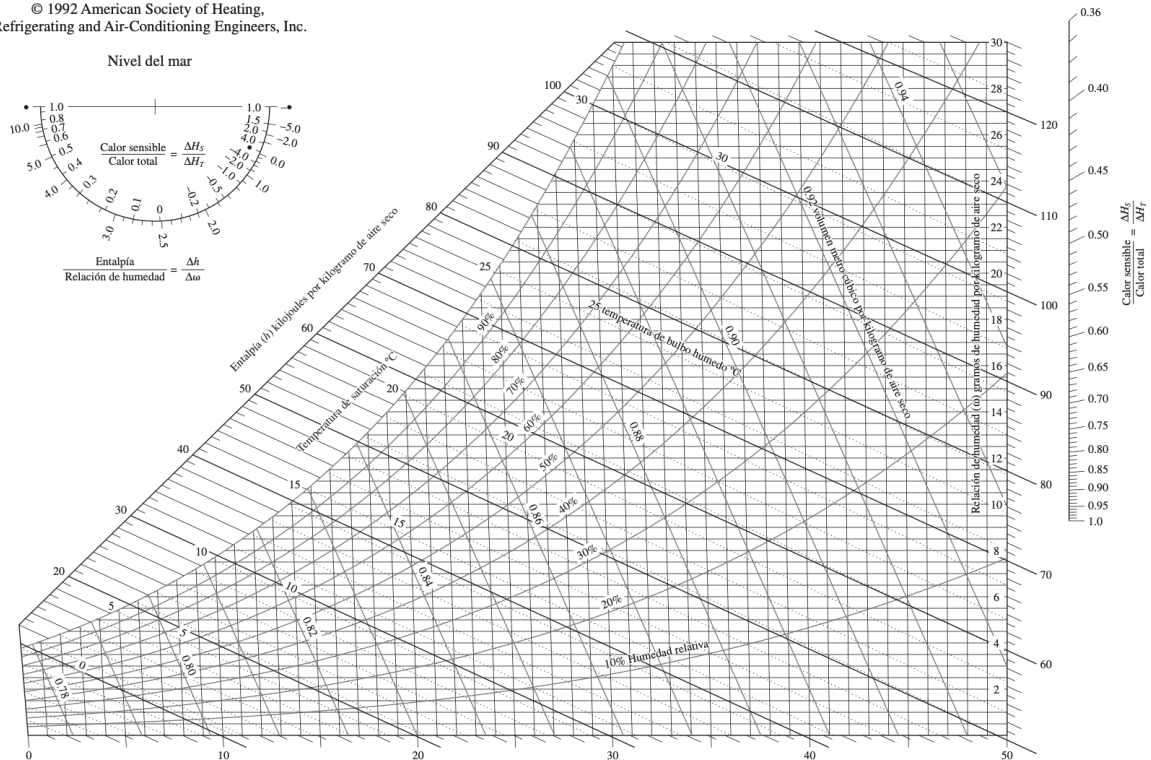


Figura 14. Carta Psicométrica. Fuente: [22]

### 5.5.4 Temperatura

El agua es evaporada de material mediante el aumento de la temperatura de aire, el cual aumenta su capacidad para aumentar capacidad de secado y absorción del agua. Para el calentamiento de la cámara de secado se escoge como criterios de diseño un valor de 40°C para el precalentamiento y para el proceso de secado una temperatura de 70 °C.

### 5.5.5 Presión del aire

Para una correcta circulación de aire, la presión debe tener un valor suficiente le permita recorrer a través del material que se encuentra dentro de la cámara de secado, para ello debe escogerse ventiladores que satisfagan estas características. [7]

## 5.6 Componentes de Construcción de una Cámara de Secado

### 5.6.1 Materiales de construcción de la cámara de secado

Para la construcción de la cámara de secado deben elegirse materiales que puedan soportar golpes que puedan ocurrir durante la descarga y carga del material. Los componentes de una cámara de secado se denotan a continuación.

### **5.6.1.1 Cimentación**

Debe ser capaz de soportar pesos elevados, además del peso de los materiales que van a secarse, este compuesto básicamente de hormigón con cadenas de amarre. Según el código Ecuatoriano de la Construcción, la altura mínima de la losa es de 0,12 m. [23]

### **5.6.1.2 Paredes y Techo**

Es el elemento que debe impedir la salida del aire y calor para asegurar una eficiente utilización del calor, por lo tanto, se toma como elemento de construcción el ladrillo común ya que resulta más económico, además de poseer buenas condiciones de resistencia y asilamiento.

Los puntos de contacto que existe entre las paredes y techos no deben existir lugares en donde circule al aire del exterior al interior de la cámara. [7]

### **5.6.1.3 Puerta**

La puerta puede localizarse en la parte frontal o lateral de la cámara de secado con la finalidad de dinamizar la carga y descarga de los materiales a secar, se debe considerar un buen aislamiento debido a que la implementación del mismo considera un porcentaje de pérdidas de calor. Para ello se emplea láminas de acero inoxidable para las cubiertas y fibra de vidrio para el aislamiento térmico. [9]

Las condiciones principales de la puerta son:

- Hermeticidad
- Aislamiento
- Resistencia a temperaturas elevadas
- Ligero y de fácil movimiento
- Formada de materiales resistentes a la corrosión.

### **5.6.1.4 Aislamiento**

La finalidad del aislamiento es retener el calor en el interior de la cámara con el fin de evitar pérdidas con el ambiente exterior. Es necesario cubrir la pared de la cámara para mejorar su aislamiento, en este caso con una capa de ladrillo refractario aislante de 100x200x25mm, el cual puede soportar altas temperaturas y por su coeficiente de conductividad relativamente bajo. [7]

#### ***5.6.1.5 Ventilación controlada***

Las ventilas que están dispuestas en la cámara de secado tiene como finalidad renovar el aire interno, es decir, dejar salir el aire húmedo producto del proceso de secado y remplazado por aire ambiente. Pueden ser accionadas de forma manual o automática, otra forma de eliminar esta humedad es mediante la aplicación de humidistato el cual extrae el agua del aire. [7]

#### ***5.6.1.6 Deflectores***

Están compuestas básicamente de láminas de metal que eviten la corrosión, las cuales permitan direccionar el flujo de aire que producen los ventiladores hacia los materiales colocados en la cámara de secado. Su forma de es curva semejante a un cuarto de circunferencia, las dimensiones dependen del volumen interno de la cámara y están destinados a aprovechar el flujo de aire y la capacidad de cubrir todos los elementos a secarse dentro de la cámara. [24]

#### ***5.6.1.7 Circulación de aire de secado***

En el secado artificial es necesario la aplicación de ventiladores los cuales pueden ser colocados en diferentes posiciones teniendo en cuenta que si se colocan en el interior de la cámara deberán ser protegido de un buen aislamiento.

El aire que circula en los materiales será el encargado de la evaporación de moléculas de agua contenida en los materiales, mientras mayor sea la velocidad del aire con más rapidez absorberá la humedad en la superficie de los materiales. Se pretende colocar ventiladores por encima de las pilas de materiales que se desea secar. Los ventiladores son de tipo axial destinados a mover grandes volúmenes de aire con velocidades que varían de 1 a 7m/s que están en función del diámetro, distancia de los ventiladores y numero de revoluciones del motor. [7]

#### ***5.6.1.8 Banco de tubos***

Para calentar el aire en la cámara de secado se utiliza un intercambiador de calor que contiene un banco de tubos, los cuales se colocan en una coraza, en estos fluyen gases calientes producto de la combustión donde fluye el aire de los ventiladores entre los espacios de los tubos para posteriormente calentarse y llagar a cumplir la función de secar los materiales que se encuentra en la cámara, (Ver Figura 16). [25]



Figura 15. Patrones de flujo para los bancos de tubos alineados o escalonados Fuente: [25].

### 5.6.1.9 Ductos

Es el dispositivo de transportar los gases que emanan los hornos artesanales hacia la cámara de secado, generalmente están contruidos de tol galvanizado. Para la construcción de estos ductos se rige a la norma de ductos en plancha metálica para transporte de aire.

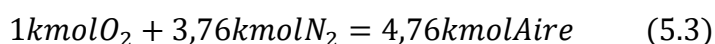
## 5.7 Reacciones Químicas

### 5.7.1 Combustión

Cualquier material que pueda quemarse para liberar energía se denomina combustible, la mayoría de estos se componen inicialmente por moléculas de carbono e hidrogeno. Estos hidrocarburos existen en todas las fases y algunos son el carbón, la gasolina y el gas natural. El principal constituyente del carbón mineral es el carbono que está formado por ciertos porcentajes de oxígeno azufre nitrógeno, humedad y cenizas.

El oxidante que se aplica en el proceso de combustión es el aire atmosférico para aplicaciones más especializadas se puede optar por el oxígeno puro.

En una base molar el aire seco está compuesto por 21% de Oxígeno, 78.1% de nitrógeno, 0.9% de Argón y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, Elio e hidrogeno. Por lo tanto, se trata al argón como nitrógeno y se descarta los gases que existen en cantidades pequeñas, debido a que cada mol de oxígeno que entra una cámara de combustión está acompañado de:



Durante la combustión, el nitrógeno se comporta como un gas inerte y no reacciona con otros elementos químicos más que para formar una pequeña cantidad de óxidos nítricos. A pesar de esto, la presencia de nitrógeno influye de manera considerable en el resultado

de un proceso de combustión, pues el nitrógeno suele entrar a una cámara de combustión en grandes cantidades a temperaturas bajas, y salir a temperaturas considerablemente altas, absorbiendo una gran porción de energía química liberada en la combustión, (Ver Figura 17). [22]

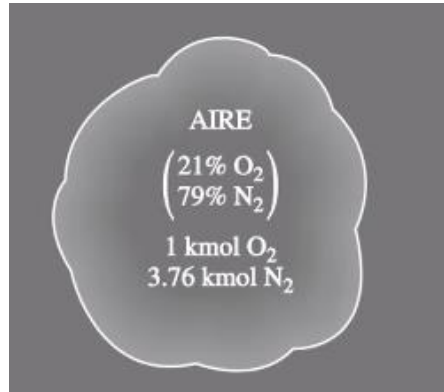


Figura 16. Cada  $\text{KmolO}_2$  en el aire se acompaña de  $3,76 \text{ kmolN}_2$ . Fuente: [22].

El oxidante que entra en la cámara de combustión contiene algo de vapor de agua o humedad. En los procesos de combustión la humedad en el aire y el agua que se forma en la combustión puede tratarse como un gas inerte, como nitrógeno. La combustión los componentes que existen antes de la reacción reciben el nombre de reactivos y los componentes que existe después de la reacción se denominan productos. [22]

#### 5.7.1.1 Relación AC.

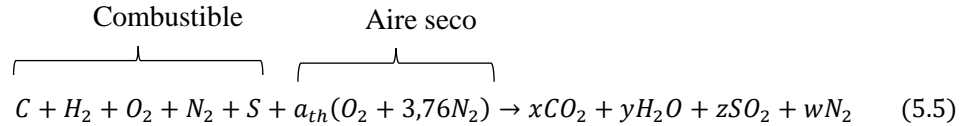
Una cantidad que se utiliza frecuentemente en los procesos de combustión para cuantificar las cantidades de combustible y aire es la relación aire-combustible. Suele expresarse en una base de masa y se define como la relación entre la masa del aire y la masa de combustible en un proceso de combustión. [22]

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}} \quad (5.4)$$

#### 5.7.1.2 Balance de ecuación de combustión.

El proceso de combustión ideal durante el cual un combustible se quema en su totalidad con aire teórico se conoce como estequiométrica o teórica de ese combustible. La ecuación de balance está formada por los porcentajes de los diferentes componentes de la madera de pino. [22]





En los procesos de combustión reales es una práctica común emplear más aire que la cantidad estequiométrica, con el fin de aumentar las oportunidades de combustión completa o para controlar la temperatura de la cámara de combustión. La cantidad de aire en exceso de la cantidad estequiométrica se llama exceso de aire. La cantidad de exceso de aire suele expresarse en términos del aire estequiométrico como exceso de aire porcentual o aire teórico porcentual. Por ejemplo, 50 por ciento de exceso de aire equivale a 150 por ciento de aire teórico, y 200 por ciento de exceso de aire equivale a 300 por ciento de aire teórico. La representación del balance de masa para todos los elementos que constituyen un material de combustión (madera de pino) se lo realiza mediante la aplicación de sus fracciones molares. [22]

### 5.7.1.3 Fracción molar.

Es la razón del número de moles del soluto en solución sobre el total del número de moles de soluto y solvente. [22]

$$x_{i_{compuesto}} = \frac{N_{compuesto}}{moles_{compuesto}} \quad (5.6)$$

### 5.7.1.4 Número de moles.

Las sustancias simples están constituidas por átomos de una sola clase es decir el mismo número atómico, por lo tanto, cada sustancia se le corresponde un único número atómico. [22]

$$N_{compuesto} = \frac{\%C_{compuesto}}{M_{compuesto}} = \frac{kmol}{kmol} \quad (5.7)$$

## 5.7.2 Aire para la combustión

### 5.7.2.1 Peso molecular efectivo para aire seco

La masa molecular aparente del aire seco es de 28,9645 kg-mol, normalmente este aire seco tiene un vapor de agua asociado que se le denomina aire húmedo el cual es una mezcla de aire seco y vapor de agua. [26]

### 5.7.2.2 Caudal y flujo másico del aire

El caudal necesario para la elección de los ventiladores se calcula a partir de la masa de aire y de la densidad mediante la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que la masa de aire es igual a la masa del combustible por la relación aire-combustible. [8]

$$Caudal = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire}} \quad (5.8)$$

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_c \cdot A/C \quad (5.9)$$

La más del combustible se calcula a través de la relación masa de la leña y tiempo de operación.

$$\dot{m}_c = \frac{M}{t_{OP}} \quad (5.10)$$

## 5.7.3 Gases de combustión

### 5.7.3.1 Peso molecular de los gases

Al ser una mezcla de gases el peso molecular se obtiene mediante la fracción y peso molecular de cada gas que tiene la mezcla. El volumen que ocupa cualquier gas ideal con presión y temperaturas iguales depende únicamente del número de moles. [27]

$$P_{M_{gases}} = \sum xi \cdot PM \quad (5.11)$$

### 5.7.3.2 Densidad

Esta variable depende de la presión atmosférica, además de la constante de gases ideales, la temperatura real de combustión.

$$\rho_{gases} = \frac{P_{M_{gases}} \cdot P}{R \cdot T} \quad (5.12)$$

### 5.7.3.3 Calor específico

Es la cantidad de calor que absorbe un gramo masa de gas calentado a presión constante para que aumente progresivamente la temperatura. Se determina a través de una tabulación de datos mediante una fracción molar y calores específicos de los componentes. [28]

$$Cp_{gases} = \sum xi \cdot Cp \quad (5.13)$$

#### 5.7.3.4 Viscosidad

Los gases a diferencia de los fluidos al aumentar la temperatura aumentan su viscosidad, debido a la agitación o movimiento de moléculas contenidas en dicho gas. Un aumento de la viscosidad se debe por un incremento en la presión y la temperatura. [29]

$$\mu_{gases} = \sum_{e=1}^n \frac{\mu_e}{1 + \sum_{\substack{c=1 \\ c \neq 1}}^n \phi_{e,c} \left(\frac{x_c}{x_e}\right)} \quad (5.14)$$

Para calcular la viscosidad es necesario determinar la difusividad el cual se hace referencia a que tan rápido se difunde el calor a través del material, es decir es la inercia térmica de un material dado. [30]

$$\phi_{e,c} = \frac{\left(1 + \left(\frac{\mu_e}{\mu_c}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{PM_c}{PM_e}\right)^{0,25}\right)^2}{\sqrt{8\left(1 + \frac{PM_e}{PM_c}\right)}} \quad (5.15)$$

#### 5.7.3.5 Coeficiente de conductividad térmica

Caracteriza la velocidad de variación de la temperatura, si es muy alto menor será la temperatura de los distintos lugares del cuerpo para condiciones de calentamiento y enfriamiento.

$$K_{gases} = \sum_{e=1}^n \frac{k_e}{1 + \sum_{\substack{c=1 \\ c \neq 1}}^n A_{e,c} \left(\frac{x_c}{x_e}\right)} \quad (5.16)$$

#### 5.7.3.6 Número de Prandtl

Es un valor adimensional que se calcula a partir de los valores específicos de los gases, viscosidad de los gases y la conductividad térmica de los mismos.

$$Pr_{gases} = \frac{Cp_{gases} \cdot \mu_{gases}}{K_{gases}} \quad (5.17)$$

#### 5.7.3.7 Calor de los gases de combustión

Este flujo de calor depende del flujo másico, la temperatura de combustión y del calor específico, con la finalidad de conocer el calor necesario por unidad de tiempo.

$$Q_{gases} = \dot{m}_{gases} \cdot Cp_{gases} (T_{h,output} - T_{amb}) \quad (5.18)$$

### 5.7.3.8 Ecuación de Bernoulli

Se conoce generalmente como el principio de conservación de energía y establece que la energía total de un sistema aislado permanece constante

La ecuación de Bernoulli puede considerarse como una declaración del principio de conservación de energía apropiado para fluidos. Es una de las ecuaciones más importantes y útiles en mecánica de fluidos. Pone en una relación presión y velocidad en un flujo invisible incompresible, tiene restricciones en su aplicabilidad.

$$\frac{P_a}{\gamma_a} + \frac{V_a^2}{2} + Z_a = \frac{P_b}{\gamma_b} + \frac{V_b^2}{2} + Z_b + h_{perdidas} \quad (5.19)$$

### 5.7.3.9 Velocidad de los gases

Es la rapidez por la que se desplaza el gas por el conducto que depende únicamente del flujo másico, el área y la densidad de los gases.

$$V_{gases} = \frac{\dot{m}_{gases}}{A \cdot \rho_{gases}} \quad (5.20)$$

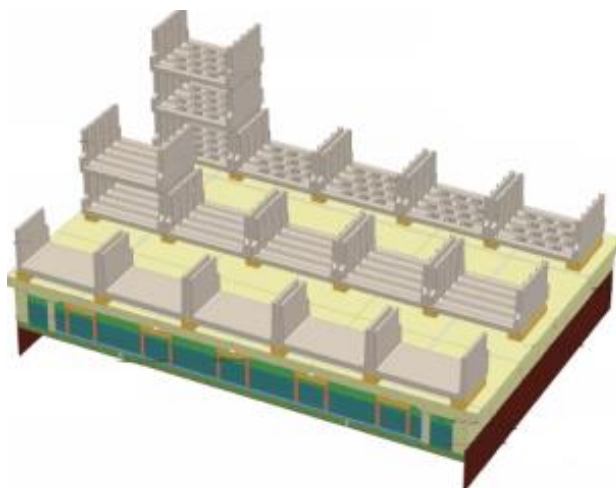
## 5.8 Calentamiento de la Cámara de Secado y los Materiales

### 5.8.1 Estantes

Los estantes deben estar fabricados con materiales que eviten la corrosión además de que deben ser especializados en secar y escurrir la humedad producto de la evaporación del agua que está contenida en los materiales.

#### 5.8.1.1 Sistemas en U

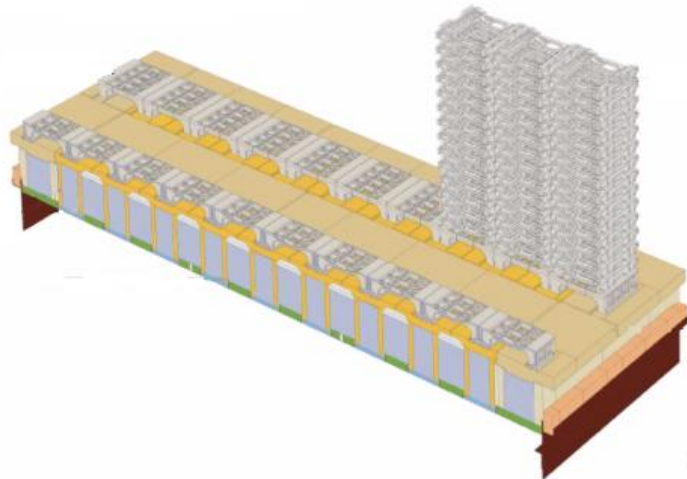
En este sistema las tejas se secan en forma vertical, el casett en U esta perforado para recibir el calor proporcionado por el secadero, (Ver Figura 18). [31]



*Figura 17. Estantes para secado. Fuente: [31]*

### **5.8.1.2 Sistemas en H**

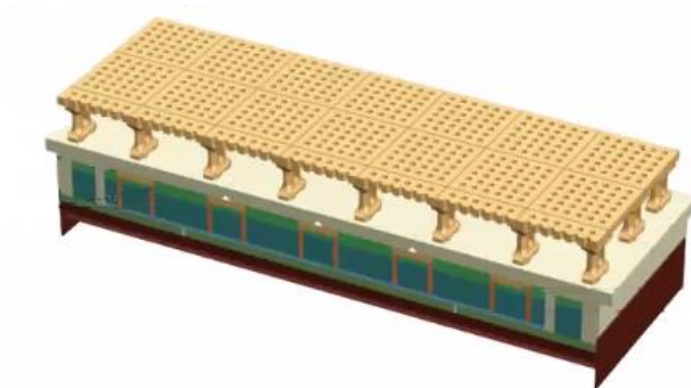
Este sistema es utilizado para conseguir un secado homogéneo y de alta calidad, especialmente para la cocción de tejas enlucidas y vidriadas. Su distribución es de forma horizontal debido a la forma de su estante el cual consta de varios monos casets perforados para permitir la entrada del calor (Ver Figura 19). [31]



*Figura 18. Estante en H. Fuente [31]:*

### **5.8.1.3 Sistema lateral**

El secado de cualquier material se lo hace a través de las placas perforadas que permiten el intercambio de calor hacia los materiales. Se colocan de forma vertical. (Ver Figura 20). [31]



*Figura 19. Estante para sistema lateral. Fuente: [31]*

### **5.8.2 Colocación de los materiales**

La de tejas y ladrillos se colocan sobre un estante los cuales van distribuidos de forma ordenada respetando siempre el espaciado entre ellas. La colocación de la madera de pino

al no poseer una forma definida, su distribución sobre los estantes será hasta ocupar el volumen total dispuesto en ellos (Ver Figuras 21 y 22).

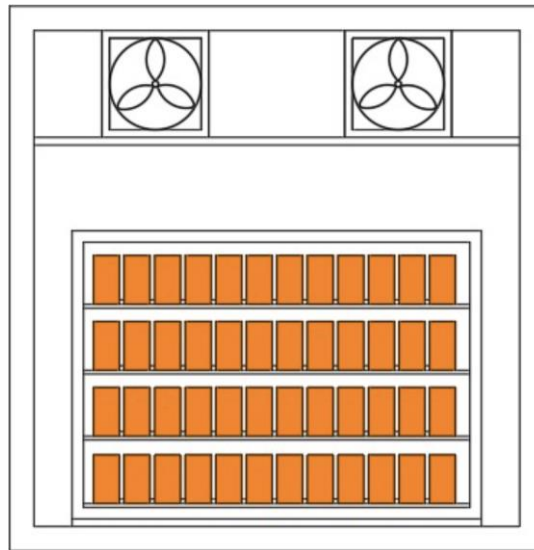


Figura 20. Acomodado de tejas en los estantes en vista lateral. Fuente: Autor.

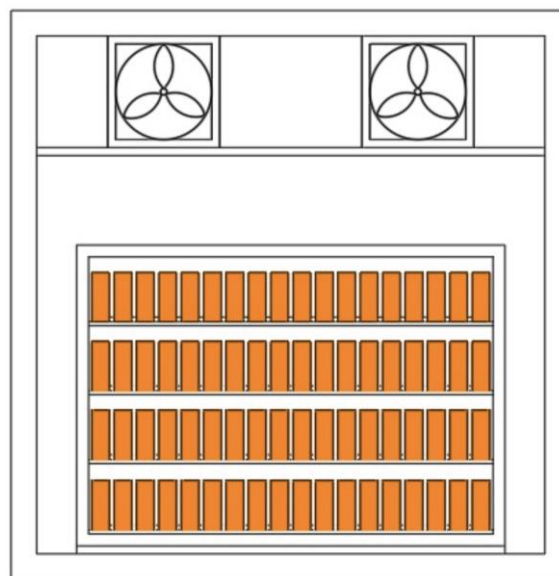


Figura 21. Acomodado de ladrillos sobre los estantes vista lateral. Fuente: Autor.

### 5.8.3 Caudal de un ventilador

El caudal de un ventilador es la más del aire que este puede desplazar en unidad de tiempo, se expresa en metros cúbicos por hora o CFM y se calcula de la siguiente manera. [32]

$$Q = V \cdot A \quad (5.21)$$

### 5.8.3.1 Curva de un ventilador

Es la unión de dos graficas de caudal y presión que representa los puntos de trabajo del ventilador, el cual su funcionamiento se rige a un acoplamiento en paralelo o serie (Ver figura 23). [32]

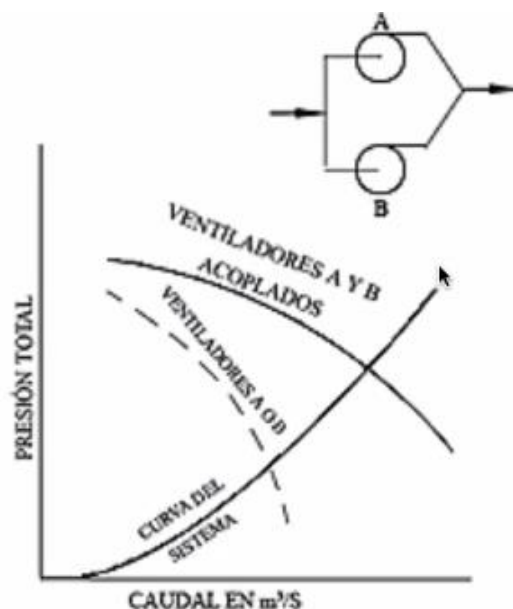


Figura 22. Curva característica de un ventilador con acoplamiento en paralelo. Fuente: [32]

### 5.8.3.2 Ventilás

Son elementos que sirven para la admisión o extracción del aire, se sitúan en redes de conductos o en aperturas al exterior o interior de un local, estos elementos son fabricados generalmente de aluminio o con plásticos. La actividad principal de la ventila en el cámara desecado será permitir la renovación del aire hacia el interior de la cámara mediante el control manual o automático que posea el sistema. [33]

$$Av = \frac{V_r}{\#_v \cdot V_{aire}} \quad (5.22)$$

## 5.9 Calentamiento del Aire en la Cámara

### 5.9.1 Intercambiador de calor

Son aparatos que facilitan el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. En un intercambiador, la transferencia de calor suele comprender convección en cada fluido y conducción a través de la pared que los separa. En el análisis de los intercambiadores de calor (Ver Figura 24), resulta conveniente trabajar con un coeficiente total de

transferencia de calor  $U$  que toma en cuenta la contribución de todos estos efectos sobre dicha transferencia.

En los intercambiadores compactos los dos fluidos suelen moverse de manera perpendicular y esa configuración de flujo se la conoce como flujo cruzado, el cual se clasifica más como flujo no mezclado o mezclado dependiendo de su configuración. [25]

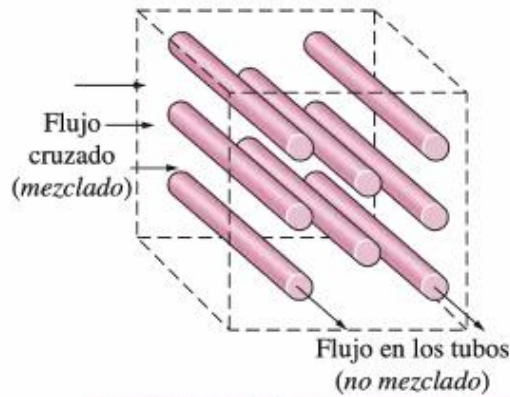


Figura 23. Un fluido de flujo mezclado, un fluido no mezclado. Fuente: [25]

El intercambiador de calor más común utilizado en aplicaciones industriales es de tubos y coraza. Este intercambiador tiene un gran número de tubos empacados en una carcasa. La transferencia de calor se da a medida que uno de los dos fluidos se mueve por dentro de los tubos, mientras que el otro fluido se mueve por fuera. [25]

### 5.9.1.1 Intercambiadores de calor de flujo cruzado

La selección de un intercambiador de calor es para lograr un cambio de temperatura específica de una corriente de fluidos de masa conocida, además de predecir las temperaturas de salida de las corrientes de fluido caliente y de frío, (Ver figura 25). Por lo tanto, la primera ley de la termodinámica requiere que la velocidad de la transferencia de calor del fluido caliente sea igual a la transferencia de calor se hacia el fluido frío. [25]

$$\dot{Q} = m_c \cdot Cp_c (T_{c,sal} - T_{c,ent}) \quad (5.23)$$

$$\dot{Q} = m_h \cdot Cp_h (T_{h,sal} - T_{h,ent}) \quad (5.24)$$

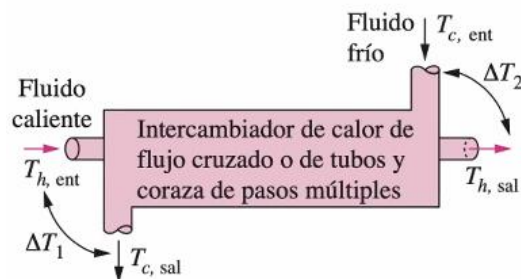


Figura 24. Intercambiador de calor de tubos y corazas. Fuente: [25]



### 5.9.2 Red de resistencias térmicas

Es la representación de los fenómenos de conducción y convección que pueden encontrarse dependiendo del sistema en serie o en paralelo (Ver Figura 26). [25]

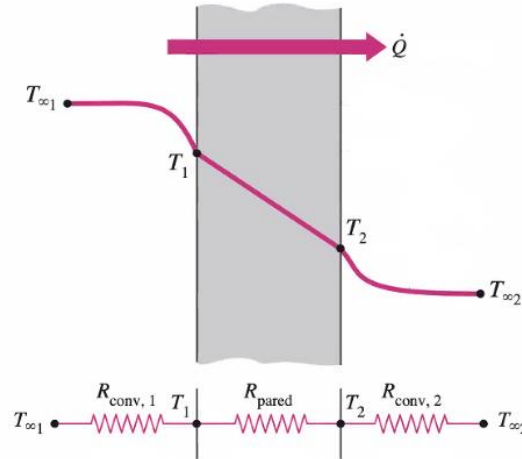


Figura 25. Red de resistencias térmicas. Fuente: [25]

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

## 6 Situación Actual del Horno Artesanal del Sr. Ángel Sinchi Localizado en la Parroquia de Racar de la Ciudad de Cuenca-Ecuador

La producción de algunos tipos de ladrillos y tejas se dan en la parroquia Racar de manera artesanal, uno de los productores de tejas circular y cuadrada o ladrillo es el Sr. Ángel Sinchi el cual ocupa un horno artesanal de tipo rectangular para la cocción de tejas o ladrillos para posteriormente llevarlos a la comercialización. El estudio con respecto a la situación actual que se da en este horno se los define en los siguientes factores, (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Factores de la ladrillera Racar. Fuente: Autores.

Factor	Situación Actual del horno artesanal
L	La obtención de teja o ladrillo se da de manera netamente artesanal, es decir sin control de la cantidad de agua y material necesarias para su fabricación.
M	Antes de iniciar la fase de cocción de ladrillos o tejas estos deben ser transportados desde el lugar en donde se realiza el proceso de secado al sitio donde se realiza el proceso de cocción, involucrando así pérdidas de tiempo y dinero.
N	Para el proceso de secado se lo hace de manera natural es decir a temperatura ambiente sin ningún tipo de control de humedad o temperatura, por experiencia al pasar un lapso de quince días y de acuerdo a el color el ladrillo estará listo para

	entrar al horno. Si se desea acelerar el proceso de secado debido a un incremento en la demanda de los productos estos materiales se secan aprovechando el calor del horno a través del fenómeno de convección.
O	En épocas de invierno el proceso de secado de las tejas o ladrillos se ven severamente afectados debido al tiempo extra que se debe considerar para producir cualquiera de los productos.
P	La madera de pino es el material adquirido para el proceso de combustión, el cual posee un gran contenido de humedad y como consecuencia una combustión incompleta lo que representa una gran cantidad de contaminación.
Q	Para terminar el proceso de alimentación con madera de pino en el horno, se debe verificar el aspecto rojizo que alcanza la cámara de cocción.
R	No se llevan ningún tipo de control en cuanto a la calidad y a las características generales que deben cumplir dichos productos.
S	Es necesario de llevar el control de las ventas y comercialización de los diferentes productos.
T	No consideran las pérdidas de tejas o ladrillos al momento de iniciar y culminar el proceso general. Cocción comercialización

### 6.1 Fases de la Obtención de Teja o Ladrillo

Se establecen las fases para la fabricación de tejas y ladrillos que realiza el Sr. Sinchi en su empresa de producción artesanal, (Ver Figura 27).

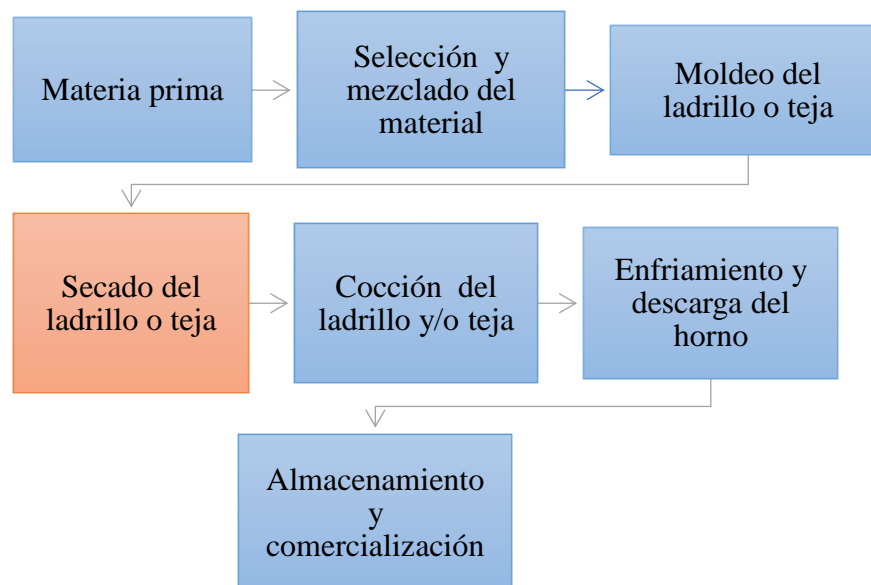


Figura 26. Fases del producto Teja y Ladrillo. Fuente: Autor.

### **6.1.1 Materia prima**

La arcilla está formada por partículas muy finas (50% es  $< 2\mu m$ ), contiene filosilicatos y otros minerales que le imparten las mismas propiedades (minerales de la arcilla), es sedimentaria que al mezclarse con agua es moldeable y mediante la aplicación del calor tiende a endurecerse. [34]

Las condiciones generales de la materia prima que establece la NTE INEN-293 dice: Los ladrillos deben fabricarse de arcilla o tierra arcillosa, a veces con adición de otros materiales, de suficiente plasticidad o consistencia para que puedan tomar forma permanente y secarse sin presentar grietas, nódulos o deformaciones. [35]

Las fuentes provenientes de la materia prima "arcilla arenosa" se encuentran en los terrenos terciarios y cuaternarios que no han sufrido metaforismo y conservan mejor sus propiedades plásticas uno de ellos es las minas de Santa Ana la Unión y Cumbe los cuales son los sectores provenientes de la materia prima (Ver figura 28).



*Figura 27. Materia prima Arcilla. Fuente: Autores.*

### **6.1.2 Mezclado del material**

Esta fase consiste en mezclar la "arcilla arenosa" de forma manual, de tal modo que se consiga una mezcla homogénea con un porcentaje aproximado del 70% de material arenoso y un 30% de material que los artesanos lo denominan como cera, esto con la finalidad de seguir una receta de los mismos productores obtenida a base de la experiencia. Este procedimiento se lo realiza para obtener teja o ladrillo (Ver figura 29).

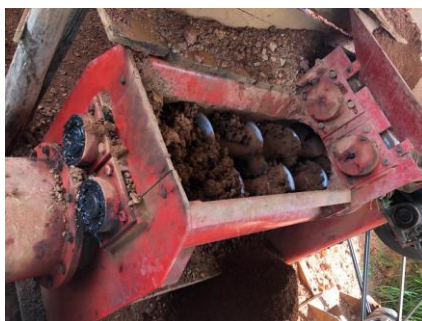


*Figura 28. Proceso de mezclado. Fuente: Autor.*

### **6.1.3 Batido y Moldeo del material**

#### **6.1.3.1 Ladrillo**

Con ayuda de maquinaria el material mezclado desciende a través de una tolva para revolverla y así conseguir una masa homogénea pastosa que posteriormente para a ser extruida (Ver figura 30).



*Figura 29. Maquinaria usada para el batido de la mezcla. Fuente: Autor.*

#### **6.1.3.2 Teja**

Este proceso es similar al batido del ladrillo con la única diferencia que se añade un proceso de chancado de la mezcla para posteriormente ser transportado y batido (Ver figura 31).



*Figura 30. Chancado y batido de la mezcla. Fuente: Autor.*

Una vez realizado el batido se procede a obtener el producto "teja" o ladrillo a través de un molde o matriz que realiza la acción de extruir en serie el material con los diferentes modelos de teja circular o cuadrada o ladrillos huecos#4. Cuando el material es extruido en serie se lo corta mediante un filamento de acero para así obtener el producto con las dimensiones deseadas, (Ver Figura 32 y 33).



*Figura 31. Teja extruida. Fuente: Autor.*



*Figura 32. Ladrillo extruido. Fuente: Autor.*

#### **6.1.4 Secado de teja o ladrillo**

Durante el secado de tejas y ladrillos se aprovecha la acción natural del sol y viento, es recomendable construir cobertizos techados, el tiempo que se requerirá para el secado de estos materiales estará en función del clima y del procedimiento que empela el productor el cual será de ocho días después de la extrusión como Pre-secado y posterior mente colocarlos bajo galpones el cual es conocido como secado hasta cumplir un tiempo de quince días, (Ver Figura 34 y 35).



*Figura 33. Pre-secado de ladrillo después de la extrusión. Fuente: Autor.*



Figura 34. Secado de la teja en galpones. Fuente: Autor.

### **6.1.5 Cocción del ladrillo y/o teja**

Cuando se realiza este procedimiento se colocan las tejas o ladrillos en la cámara de cocción a una temperatura aproximada de 800 -1000°C durante 10 horas, datos obtenidos a través de la medición con termocuplas, posteriormente son retiradas de la cámara de cocción para aplicar un barnizado a la teja y al ladrillo no.

### **6.1.6 Enfriamiento y Descarga del horno**

Una vez el proceso de cocción se deja enfriar el horno por un día, para posteriormente retirar las tejas o ladrillos y almacenarlos para su comercialización.

### **6.1.7 Almacenamiento y comercialización**

Las tejas o ladrillos son almacenados bajo techo para posteriormente venderse a comerciantes debido a que los productores no comercializan directamente con los consumidores.

## **6.2 Antecedentes Generales del Horno Rectangular**

### **6.2.1 Productos Finales**


Los productos que se fabrican en la empresa artesanal del Sr. Angel Sinchi se denota a continuación (Ver Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Teja cuadrada y circular. Fuente: Autor.

<b>Producto</b>	
Teja Redonda	
Teja Cuadrado	

Tabla 5. Dimensiones generales de ladrillo. Fuente: Autor.

Producto
Ladrillo Hueco #4



### 6.2.2 Datos de producción

Los datos de producción y de costos que se mantienen en la empresa artesanal del Sr. Angel Sinchi se denota a continuación, (Ver Tabla 6 ,7 y 8).

Tabla 6. Ladrillos y Tejas producción. Fuente: Autor.

Producto	Producción mensual (\$)
Teja	15.000
Ladrillo	9.000

Tabla 7. Producción de los Hornos. Fuente: Autor.

Producto	#Quemas/mes	Tiempo/quema	Cantidad/quema
Teja	3	16	6.000
Ladrillo	3	7	3.000

Tabla 8. Coste por ladrillo y teja. Fuente: Autor.

Producto	Precio cd/u
Teja	0,18\$
Ladrillo #4	0,18\$

### 6.3 Componentes de un Horno Rectangular y Cilíndrico utilizados en la Cocción de Ladrillos y Tejas.

Las partes que conforman los hornos de cocción artesanales de ladrillos y tejas dependerá si es de tipo circular, rectangular o cuadrado, pero la mayoría comparten características en común. El horno artesanal rectangular y cilíndrico utilizados para la cocción de ladrillos y tejas posee las siguientes características, (Ver Figura 36 y 37).



Figura 35. Horno rectangular de cocción de tejas. Fuente: Autor.



Figura 36. Horno cilíndrico de cocción de ladrillos. Fuente: Autor.

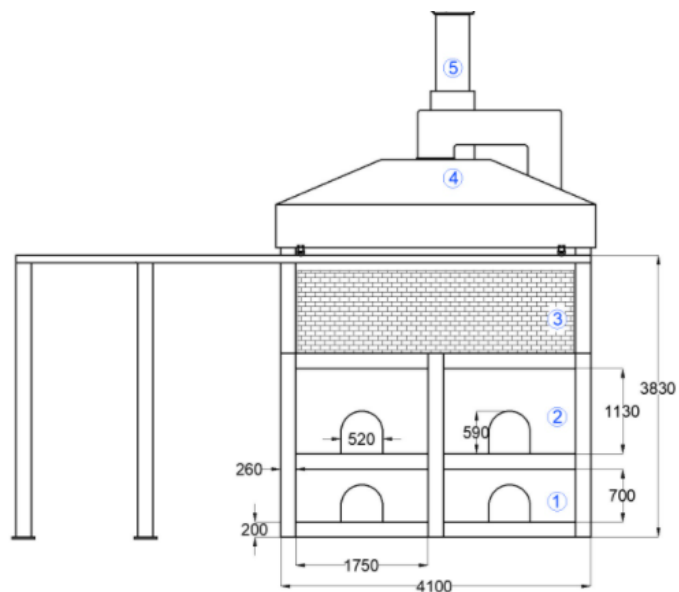


Figura 37. Dimensiones y partes generales del horno artesanal rectangular: 1. Cenicero, 2. cámara de combustión, 3. Cámara de cocción, 4. Cúpula, 5. Chimenea. Fuente: Autor.



**Cenicero:** esta cámara es la encargada de recolectar todo el material ya combustionado.

**Cámara de combustión:** es el componente fundamental para lograr la cocción de ladrillos o tejas (Fig.38), la finalidad de esta cámara es calcinar toda la madera conocida como pino la cual es introducida en la cámara, controla el precalentamiento de la cámara de cocción y la temperatura usada en la misma para la obtención del producto final.

**Cámara de cocción:** esta cámara se encarga de cocer el producto (teja o ladrillo) mediante el alcance de las temperaturas deseadas obtenidas a través de la combustión.

**Cúpula:** Componente estructural el cual tiene la finalidad evitar las pérdidas de calor hacia el medio ambiente de forma directa mediante la recirculación de los gases. Este sistema consta de: sistema de guiado, soporte.

**Chimenea:** Es el componente por el cual los gases de combustión se evacuan hacia el medio ambiente, (Ver Figura 39).



Figura 38. Extractor de gases hacia el medio. Fuente: Autor.

#### **6.4 Material de Combustión**

El material encargado del proceso de combustión será el "Pino", (Ver Figura 40), el cual se lo obtiene en ciertas secciones y es colocado en la cámara de combustión, (Ver Figura 41). El propietario a través de métodos empíricos logra establecer una regulación de las temperaturas en la cámara de cocción mediante la alimentación del material en la cámara de combustión.



*Figura 39. "Pino". Fuente: Autor.*



*Figura 40. Quema del material de combustión. Fuente: Autor.*

#### **6.4.1 Almacenamiento de la madera**

El material de combustión que se utiliza para el proceso de cocción de los ladrillos y tejas se encuentra en ciertos casos expuestos hacia el medio ambiente o simplemente se colocan plásticos con finalidad de mitigar la humedad en lo más posible. (Ver Figura 42).



*Figura 41. Almacenamiento de leña. Fuente: Autor.*

#### **6.4.2 Metodología de alimentación de la cámara de combustión**

El material de combustión es introducido en fragmentos grandes y pequeños que poco a poco se van consumiendo, (Ver Figura 43). El operario después de un tiempo empírico realimenta la cámara cuantas veces sea necesario hasta lograr una estabilización en la cámara de cocción.



*Figura 42.- Alimentación de la cámara de combustión. Fuente: Autor.*

La alimentación de la cámara de combustión la realiza un operario sin ninguna medida de seguridad que lo hace vulnerable al calor y a los gases emanados por el horno, (Ver Figura 44).



*Figura 43. Alimentación de la cámara de combustión sin ninguna medida de seguridad. Fuente: Autor.*

Debido a que cuando se realiza el precalentamiento el horno se encuentra expuesto hacia el medio, los gases de combustión se dispersan hacia todos los sentidos, esto quiere decir que una cierta cantidad de energía calorífica es desperdiciada, (Ver Figura 45). De igual forma cuando se realiza la cocción del producto los gases de la combustión son extraídos y enviados por la chimenea, este flujo calor es desperdiciado por lo que se pretende recircularlos hacia una cámara de secado para poder aprovecharlo.



*Figura 44. Perdida de calor por escape de los gases. Fuente: Autor.*

## 7 Gases de Combustión de Madera de Pino

Un proceso de combustión está completo si todo el carbono en el combustible se transforma en  $CO_2$ , todo el hidrogeno se transforma en  $H_2O$  y todo el azufre si lo hay se transforma en  $SO_2$ , por otro lado, un proceso de combustión es incompleto si los productos de combustión contienen algo de combustible o componentes no quemados, como C,  $H_2$ , CO, OH. El exceso o la insuficiencia de oxígeno es una razón obvia para la combustión incompleta.

$$\text{Combustible} + \text{Aire} = \text{Energia} + \text{Gases de Combustión}$$

### 7.1 Gases Contaminantes de un Horno de Cocción de Tejas o Ladrillos

Las emisiones producidas por las diferentes ladrilleras artesanales incluyen partículas menores o iguales a 10 micras de diámetro (PM-10), inferior o igual a 2.5 micras de diámetro (PM-25), óxido nitroso NOx, dióxido de azufre, hidrocarburos y compuestos orgánicos (COV). Los factores que pueden afectar a las emisiones incluyen la composición de la materia prima (madera de pino) y el contenido de humedad, tipos de combustibles, parámetros de funcionamiento del horno y diseño de la planta.

#### 7.1.1 Factores de emisión en ladrilleras artesanales

Los factores de emisión que se representan en la tabla 9 fueron seleccionados de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.) esto debido a la falta de información de la localidad.

Tabla 9. Factores de emisión EPA. Fuente: [36].

Contaminante	Factor de emisión	Factor de emisión
PM10	$1.57 \times 10^{-5}$	t/kg
Monóxido de carbono	$1.97 \times 10^{-5}$	t/kg
Dióxido de azufre	$1.80 \times 10^{-7}$	t/kg
Óxido de nitrógeno	$1.18 \times 10^{-6}$	t/kg
Compuestos orgánicos volátiles	$2.10 \times 10^{-5}$	t/kg
Emisiones por ladrillo quemado	$2.15 \times 10^{-5}$	t/kg

#### 7.1.2 Calidad del aire en la ciudad de Cuenca

De acuerdo con el último inventario de emisiones del Cantón Cuenca elaborado con año base 2014 (EMOV EP, 2016), las fuentes de emisión por contaminante primario son: (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Partículas emitidas en Cuenca-Ecuador Fuente: [37].

Contaminante	Porcentaje
Material particulado fino (MP2.5)	ladrilleras artesanales 38.5%,
Material particulado (MP10)	ladrilleras artesanales 24.6%.

## 7.2 Gases de combustión

Los Hornos artesanales que se usan para la fabricación de tejas o ladrillos se producen a través de métodos empíricos y procedimientos poco técnicos que es usado utilizados por toda la industria ladrillera, (Ver Figura 46). Los gases producidos por el material de combustión (madera de Pino) y otros elementos producen gases ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{25}$ ) perjudiciales para la salud de los productores y moradores del sector, además la mayoría de los hornos se encuentran expuestos directamente al ambiente lo que representa una gran pérdida de energía térmica no aprovechada, la cual puede ser utilizada con otro fin.



Figura 45. Horno Circular emanando gases hacia el medio. Fuente: Autor.

La cantidad mínima de aire necesaria Para la combustión completa de un combustible recibe el nombre de aire estequiométrico o teórico. De esta manera que cuando un combustible se quema por completo con aire teórico, no estará presente el oxígeno sin combinar el producto de los gases. EL aire teórico también se conoce como *cantidad* de aire únicamente correcta o aire 100 por ciento teórico.

El proceso de combustión ideal durante el cual un combustible se quema por completo con aire teórico se conoce como combustión estequiométrica o teórica.

Las principales características de los biocombustibles que se utilizan en la ladrillera artesanal están representadas en la tabla 6, la materia prima de combustión es denominado

pino o aserrín. La composición elemental de estos biocombustibles se denota a continuación, (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Porcentajes totales del biocombustible. Fuente: [38].

Biocombustible	% de humedad promedio	Poder calorífico inferior (kcal/kg)	Procedencia
Rama, corteza y madera de pino	50	2500	Restos de podas, raleos y cosecha de plantaciones forestales
Aserrín	45	3000	Etapas de aserrado y reproceso

Tabla 12. Composición másica del biocombustible. Fuente: [38].

Biocombustible	%C	%H	%O	%S	%N	%Cenizas
Madero de pino	51	6,3	41,4	0,1	0,2	1

### 7.2.1 Ecuación de estequiometria

Para el siguiente caso se toma en cuenta que se quema combustible madera de pino con la cantidad teórica de aire, para obtener la ecuación balanceada de combustión es necesario considerar los siguiente, (Ver Figura 47).

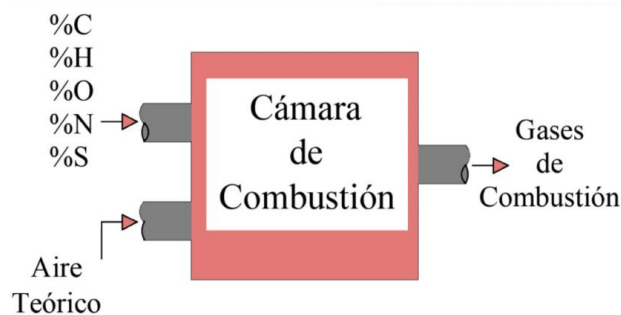


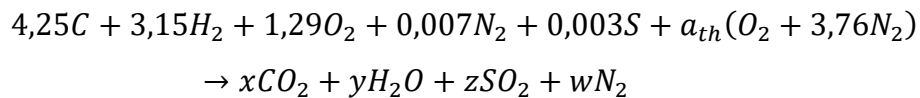
Figura 46. Esquema del proceso. Fuente: Autor.

- La ceniza consiste en el material no combustible, por lo tanto, la masa del contenido de ceniza que entra a la cámara de combustión es igual al contenido másico que sale por lo tanto es despreciable. "
- Los porcentajes máxicos (%m/m) a las diferentes masas constituyentes serán las indicadas en la tabla 12.
- La combustión es estequiométrica por lo tanto los productos de combustión contienen  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$  y  $N_2$ .
- El peso molecular y la fracción molar se denota a continuación, (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Peso Molecular y Numero de moles de los componentes. Fuente: Autor.

Elementos	kg/kmol	kmol
C	12	4,25
H	2	3,15
O	32	1,29375
N	28	0,00714286
S	32	0,003125

- Siendo así la ecuación de combustión se puede escribir como:



- Realizando el balance de masa para los constituyentes, se obtiene

Balance C:  $x = 4,25$

Balance H:  $y = 3,15$

Balance S:  $z = 0,003$

Balance O:  $1,29 + a_{th} = x + 0,5y + z$

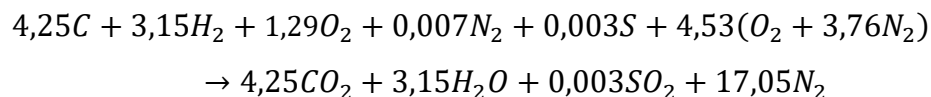
$$a_{th} = 4,25 + 0,5(3,15) + 0,003 - 1,29$$

$$a_{th} = 4,534375$$

Balance N:  $w = 0,0071 + 3,76 \cdot a_{th}$

$$w = 17,05639286$$

- La ecuación balanceada de combustión sin la ceniza resulta



### 7.2.2 Relación másica Aire-Combustible

Las fracciones molares de los gases producto se determinan de la siguiente manera.

$$N_{\text{prod}} = 4,25 + 3,15 + 0,003 + 17,05 = 24,45 \text{ kmol}$$

Tabla 14. Fracciones molares. Fuente: Autor.

Elementos	Fracción molar
$xCO_2$	0,1738
$xH_2O$	0,1288
$xSO_2$	0,00012781
$xN_2$	0,6976
$xO_2$	0,23

La masa molar aparente de los gases se presenta a continuación, (Ver Tabla 15).

Tabla 15.- Pesos Moleculares de algunos elementos. Fuente: [25].

Elementos	Peso Molecular (kg/kg mol)
$CO_2$	44
$H_2O$	18
$SO_2$	64

$$M = \frac{m_{prod}}{N_{prod}} \quad (7.1)$$

$$M = \frac{(4,25 \cdot 44 + 3,15 \cdot 18 + 0,003 \cdot 64 + 17,05 \cdot 28) \text{ kg}}{24,45 \text{ kmol}}$$

$$M = 29,51 \text{ kg/kmol}$$

Finalmente, como resultado de la relación másica aire- combustible representada como:

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{(NM)_{aire}}{(NM)_c + (NM)_{H_2}} \quad (7.2)$$

El número de moles del oxígeno  $a_{th}$  corresponde a 4,53 según la ecuación de estequiometría.

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = 10,91 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg combustible}}$$

### 7.2.3 Humedad del ambiente

La ciudad de Cuenca – Ecuador está sujeta a las siguientes condiciones ambientales las cuales serán escogidas como las situaciones más desfavorables a las que puede llegar en el Cantón.

$$T_{amb} = 10,9 \approx 11^\circ\text{C} .[39]$$

$$H_{relativa} = 96 \% . [39]$$

$$Altitud = 2560\text{m} . [6]$$

Para el cálculo de la humedad absoluta se basa en una herramienta de Ingeniería denominada calculadora y diagrama de parámetros psicométricos, (Ver Figura 48).



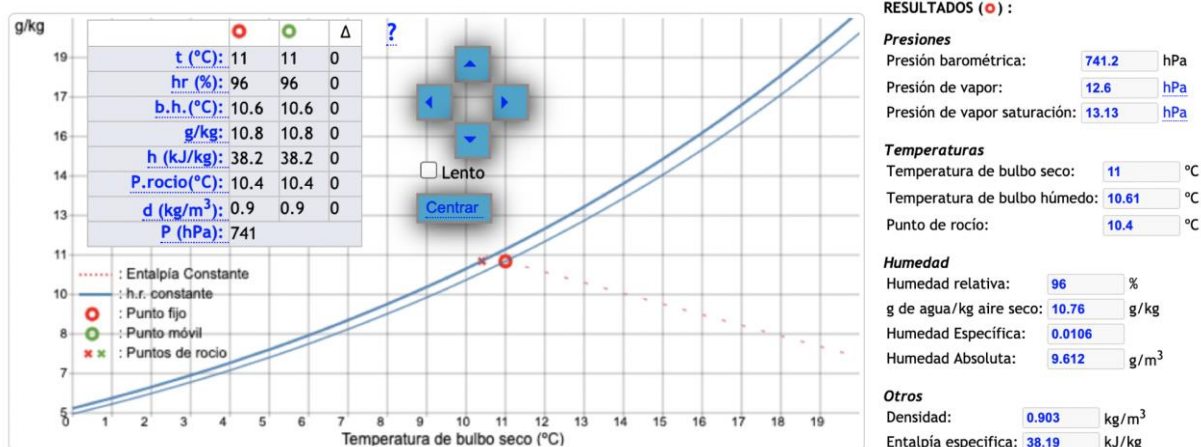


Figura 47. Datos Psicométricos. Fuente [40].

Esta humedad está representada por el valor de  $0,0106 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}$ , cuando la cantidad de agua es baja se denomina aire seco su valor se conoce como: 28,96 kg de aire seco. Por lo tanto:

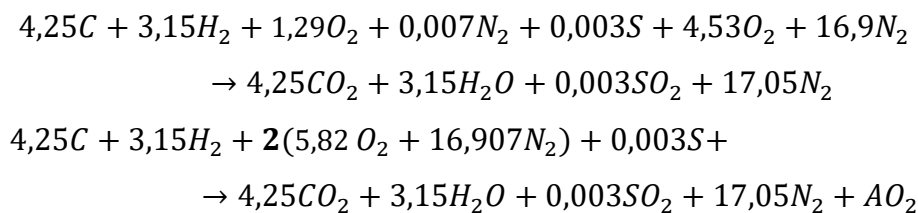
$$\frac{\# \text{ moles de agua}}{\# \text{ moles de aire seco}} = 0,0106 \cdot \frac{28,96 \text{ kg de aire seco}}{18 \text{ H}_2\text{O}} = 0,017$$

Ahora es necesario adicionar el número de moles de agua en la ecuación estequiométrica con el siguiente balance de aire seco:

$$\begin{aligned} & a_{th}(O_2 + 3,76N_2) \\ & 4,53(O_2 + 3,76N_2) \\ & 9,06O_2 + 17,032 = 26,092 \text{ moles de aire seco} \\ & \# \text{ moles de agua} = 0,455 \end{aligned}$$

### 7.2.4 Relación Oxígeno O<sub>2</sub>

Al momento de alimentar la cámara de combustión es imposible obtener una mezcla homogénea del combustible con el carburante, esto obliga a establecer una cantidad de aire mayor a la estequiométrica, con la única opción de obtener una reacción completa. Debido a que el exceso de aire satisface dichas necesidades se considera un caso extremo establecemos un porcentaje de 200%. [8]

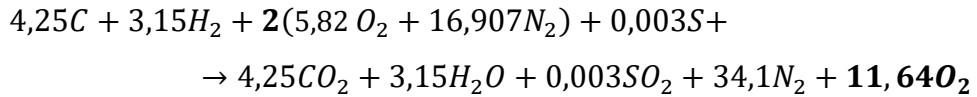
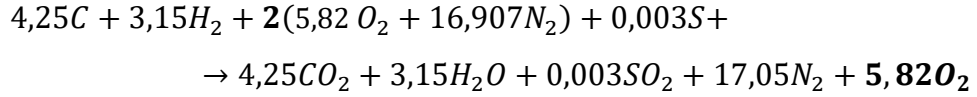


Relación  $O_2$ :

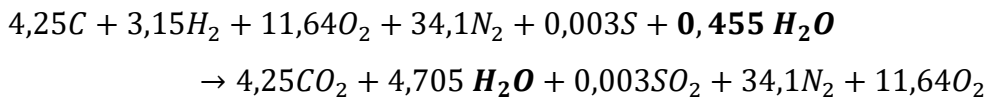
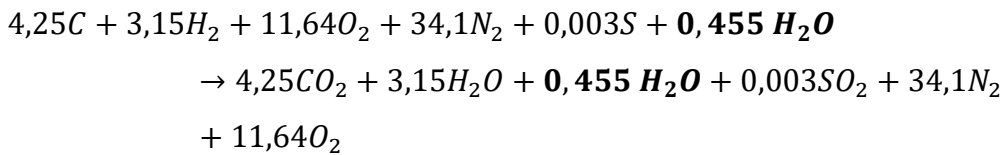
$$23,296 = 8,5 + 3,15 + 0,006 + 2A$$

$$A = 5,82$$

Sustituyendo en la ecuación estequiométrica:



Considerando los moles de agua y la relación de  $O_2$  sustituyendo se obtiene la siguiente ecuación final.



### 7.2.5 Temperatura de la cámara de combustión

Para determinar esta temperatura fue necesario considerar la aplicación de termocuplas tipo – K (NiCr-NiK) las cuales fueron colocadas en la cámara de combustión del horno artesanal de cocción de tejas o ladrillos, (Ver Figura 49). El equipo es de marca *JUMO LOGOSCREEN 601*. Con la ayuda del programa *JUMO PCA 300* se obtiene las siguientes graficas de  $T^{\circ}C$  vs Tiempo. También se puede revisar el ANEXO C.

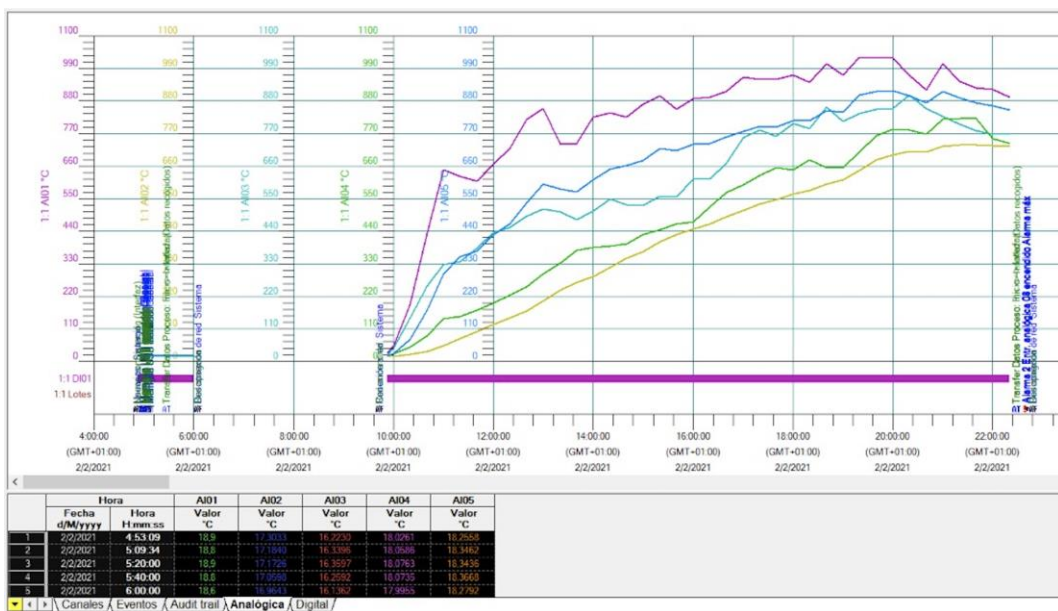


Figura 48. Grafica JUMO PCA-3000. Fuente: Autor.

En definitiva, se puede concluir que la temperatura real presente de combustión es de 800 a 1000 °C, temperatura que es alcanzada durante un lapso de 4h.

$$T_{\text{combustión}} = 800 \text{ °C}$$

### 7.3 Característica de los gases de combustión

#### 7.3.1 Peso Molecular

$$P_{M_{\text{gases}}} = \sum xi \cdot PM \quad (7.3)$$

$xi$  – fracción molar

$PM$  – peso molecular de cada componente

$P_{M_{\text{gases}}}$  – peso molecular de los gases.

Tabla 16.- Pesos Moleculares. Fuente Autor.

Elementos	Peso Molecular (kg/kg mol)
$xCO_2$	7,64
$xH_2O$	2,31
$xSO_2$	0,00817
$xN_2$	19,53
$xO_2$	7,36
<b>Total</b>	<b>36,84</b>

#### 7.3.2 Densidad

$$\rho_{\text{gases}} = \frac{P_{M_{\text{gases}}} \cdot P}{R \cdot T} \quad (7.4)$$

$P$  – Presión atmosférica Cuenca – Ecuador (102,7Kpa ; 770,31mm Hg)

$R$  – Constante universal de los gases ( $8,31447 \frac{Kpa \cdot m^3}{kg \cdot mol \cdot ^\circ K}$ )

$T$  – Temperatura de la cámara de combustión (800°C)

$$\rho_{\text{gases}} = 0,42 \text{ kg/m}^3$$

#### 7.3.3 Calor Especifico de la mezcla de gases

$$Cp_{\text{gases}} = \sum xi \cdot Cp \quad (7.5)$$

$Cp_{\text{gases}}$  – Calor específico de los gases

$Cp$  – Calor específico de cada gas

Tabla 17. Calores específicos. Fuente: Autor.

Elementos	Fración molar	Cp (kJ/ kg °C)	Cp
CO <sub>2</sub>	0,1738	0,8439	0,1466
H <sub>2</sub> O	0,1288	1,865	0,2402
SO <sub>2</sub>	0,00012781	0,6228	0,0000796
N <sub>2</sub>	0,6976	1,04	0,7255
O <sub>2</sub>	0,23	0,9180	0,2111
<b>Cp<sub>gases</sub> (kJ/ kg °C)</b>			<b>1,3234</b>

### 7.3.4 Viscosidad

El cálculo de la viscosidad de los gases de combustión depende del coeficiente de difusión el cual se lo calcula con la siguiente formula, los resultados se muestran a continuación, (Ver Tabla 18 y 19).

$$\phi_{e,c} = \frac{(1 + (\frac{\mu_e}{\mu_c})^{0,5} \cdot (\frac{PM_c}{PM_e})^{0,25})^2}{\sqrt{8(1 + \frac{PM_e}{PM_c})}} \quad (7.6)$$

$\phi_{e,c}$  – Coeficiente de difusión

$\mu_e$  – viscosidad dinámica del elemento ( $\frac{kg}{m} \cdot s$ )

$\mu_c$  – viscosidad dinámica del componente ( $\frac{kg}{m} \cdot s$ )

$PM_c$  – peso molecular del componente ( $\frac{kg}{kg} \text{ mol}$ )

$PM_e$  – peso molecular del elemento ( $\frac{kg}{kg} \text{ mol}$ )

Tabla 18.- Calculo Difusión. Fuente: Autor.

Elementos <i>e</i>	Viscosidad dinámica $\mu_e$	Componentes <i>c</i>	Viscosidad dinámica $\mu_c$	Peso Molecular $PM_c$	Peso Molecular $PM_e$	$\phi_{e,c}$
CO <sub>2</sub>	0,000043052	H <sub>2</sub> O	3,99x10 <sup>-5</sup>	18		0,638003651
		N <sub>2</sub>	4,13x10 <sup>-5</sup>	28	44	0,805300829
		O <sub>2</sub>	5,08x10 <sup>-5</sup>	32		1,117464904
H <sub>2</sub> O	0,000039966	CO <sub>2</sub>	4,30x10 <sup>-5</sup>	44		1,676257231
		N <sub>2</sub>	4,13x10 <sup>-5</sup>	28	18	1,49678328
		O <sub>2</sub>	5,08x10 <sup>-5</sup>	32		1,399577976

N2	0,000041368	C02	$4,30 \times 10^{-5}$	44	28	1,497074551
		H20	$3,99 \times 10^{-5}$	18		1,181382946
		O2	$5,08 \times 10^{-5}$	32		1,253711885
O2	0,000050848	C02	$4,30 \times 10^{-5}$	44	32	1,604028756
		H20	$3,99 \times 10^{-5}$	18		1,249746029
		N2	$4,13 \times 10^{-5}$	28		1,420215781

$$\mu_{gases} = \sum_{e=1}^n \frac{\mu_e}{1 + \sum_{\substack{c=1 \\ c \neq e}}^n \phi_{e,c} \left( \frac{x_c}{x_e} \right)} \quad (7.7)$$

$x_c$  – Fracción molar del componente

$x_e$  – Fracción molar del elemento

Tabla 19. Viscosidad de los gases. Fuente: Autor.

Elementos $e$	Viscosidad dinámica $\mu_e$	Componentes $c$	fracción molar $x_e$	fracción molar $x_c$	$1 + \sum_{\substack{c=1 \\ c \neq e}}^n \phi_{e,c} \left( \frac{x_c}{x_e} \right)$	$\mu_{gases}$
C02	0,000043052	H20	0,12888	0,1738	6,183945089	$6,96 \times 10^{-6}$
		N2	0,6976			
		O2	0,23			
H20	0,000039966	C02	0,1738	0,12888	23,70400627	$1,68 \times 10^{-6}$
		N2	0,6976			
		O2	0,23			
N2	0,000041368	C02	0,1738	0,6976	2,843561235	$1,45 \times 10^{-5}$
		H20	0,12888			
		O2	0,23			
O2	0,000050848	C02	0,1738	0,23	7,219521806	$7,04 \times 10^{-6}$
		H20	0,12888			
		N2	0,6976			
$\mu_{gases} = 3,0239 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$						

### 7.3.5 Calor de los gases de combustión

$$Q_{gases} = \dot{m}_{gases} \cdot C_{p_{gases}} (T_{h,output} - T_{amb}) \quad (7.8)$$

$$Q_{gases} = 6550,83 \text{ W}$$

$\dot{m}_{gases}$  – caudal másico de los gases de combustión (0,03kg/s)

$C_{p_{gases}}$  – calor específico de los gases de combustión (1,3234KJ/kg · °C)

$T_{h,output}$  – Temperatura de salida del fluido caliente (176°C)

$T_{amb}$  – Temperatura ambiente (11°C)

### 7.3.6 Flujo másico

$$\text{Caudal} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire}} \quad (7.9)$$

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_c \cdot A/C \quad (7.10)$$

$\dot{m}_{aire}$  – caudal masico del aire

$\dot{m}_c$  – consumo del combustible (pino)

$\rho_{aire}$  – densidad del aire  $T_{amb}$

$\frac{A}{C}$  – relación aire combustible

$$M = \delta \cdot V \quad (7.11)$$

$$\dot{m}_c = \frac{M}{t_{OP}} \quad (7.12)$$

$M$  – masa de la leña

$\delta$  – densidad del pino

$V$  – volumen de la leña

$t_{OP}$  – tiempo de operación del horno (36000s)

$$M = \left( 390 \frac{kg}{m^3} \right) \cdot (5m^3)$$

$$M = 2730 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_c = \frac{2730 \text{ kg}}{36000s}$$

$$\dot{m}_c = 0,075 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{aire} = 0,075 \frac{kg_{combustible}}{s} \cdot 10,91 \frac{kg \text{ aire}}{kg_{combustible}}$$

$$\dot{m}_{aire} = 0,818 \frac{kg \text{ aire}}{s}$$

Por lo tanto, el caudal necesario para la selección del ventilador es:

$$\text{Caudal} = \frac{0,818 \frac{kg \text{ aire}}{s}}{1,2418 \frac{kg}{m^3}} = 0,65m^3/s$$

### 7.3.7 Masa de gases de combustión por unidad de tiempo

De acuerdo punto 7.2.4, se toman los siguientes valores de la siguiente ecuación estequiométrica:

$$m_{gases} = \frac{(4,25CO_2 + 3,15H_2O + 0,003SO_2 + 16,907N_2 + 5,82O_2)kg \text{ mol}}{2730 kg_{combustible}} \cdot P_{M_{gases}}$$

La masa de los gases producto de la combustión generada por la madera de pino es:

$$m_{gases} = (0,011 kgmol/kg_{combustible}) \cdot \frac{36,84kg}{kg} mol$$

$$m_{gases} = 0,4 kg/kg_{combustible}$$

Finalmente se obtiene el caudal másico de los gases de combustión con un valor de:

$$m_{gases} = 0,4 kg/kg_{combustible} \cdot 0,075 \frac{kg}{s} = 0,03 kg/s$$

### 7.3.8 Velocidad de los gases de combustión

$$V_{gases} = \frac{\dot{m}_{gases}}{A \cdot \rho_{gases}} \quad (7.13)$$

$\dot{m}_{gases}$  – Flujo másico de los gases  $\left(0,03 \frac{kg}{s}\right)$

$\rho_{gases}$  – densidad de los gases  $\left(0,42 \frac{kg}{m^3}\right) \dots$

$A$  – Área transversal del ducto ( $m^2$ )

$a$  – ancho trasnversal del ducto (0,18m)

$b$  – altura transversal del ducto (0,22m)

$$D_h = \frac{4S}{P} = \frac{4(a \cdot b)}{2(a + b)} = \frac{2a \cdot b}{(a + b)} \quad (7.14)$$

$$D_h = 0,198 m$$

Cuando se obtiene el diámetro hidráulico se procede a calcular el área:

$$A = \frac{\pi \cdot Dh^4}{4} \quad (7.15)$$

$$A = 0,0307m^2$$

Finalmente, la velocidad de los gases resulta ser:

$$V_{gases} = 3 m/s$$

### 7.3.8.1 Tiro de la chimenea

Se la siguiente ecuación de Bernoulli teniendo en cuenta las siguientes suposiciones:

$$\frac{P_a}{\gamma_a} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a = \frac{P_b}{\gamma_b} + \frac{V_b^2}{2g} + Z_b + h_{perdidas} \quad (7.16)$$

$P_a$  – presión en el punto a (Pa)

$\gamma_a$  – peso específico  $\left(\frac{m^3}{kg}\right)$

$V_b^2$  – velocidad del  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$Z_a - Z_b$  – diferencias de altura (m)

$h_{perdidas}$  – pérdidas de fricción(m)

$g$  – gravedad  $\left(\frac{9,81m}{s^2}\right)$

El factor de fricción para flujo laminar se lo calcula con diagrama de Moody ingresando como dato el # de Reynolds 1326,16, (Ver Figura 50).

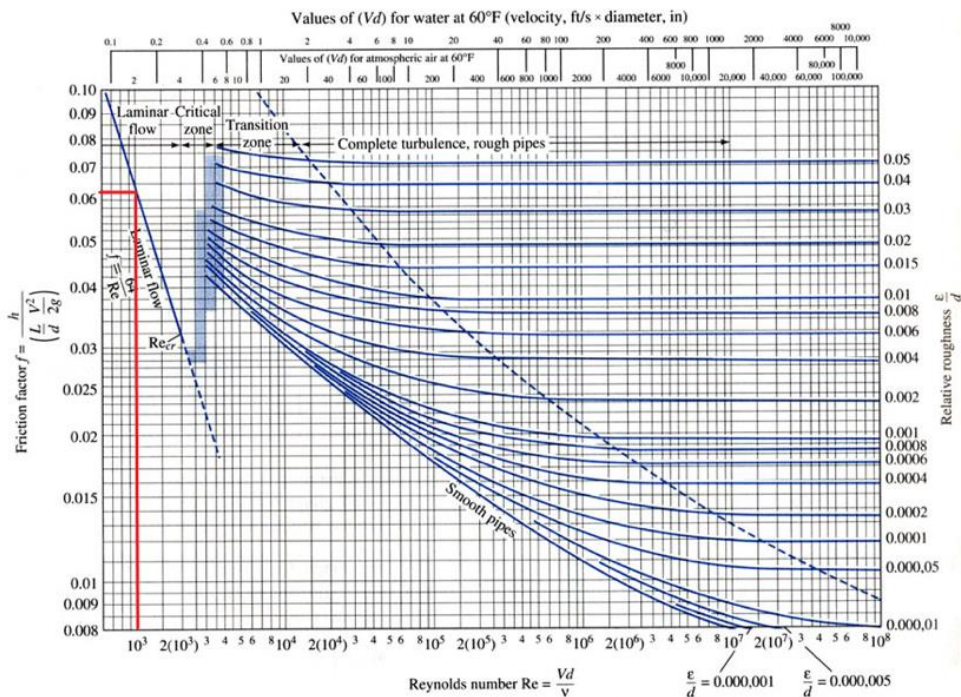


Figura 49. Selección del factor de fricción. Fuente: [41].

$$h_{perdidas} = f \cdot \frac{L}{Dh} \cdot \frac{V_b^2}{2 \cdot g} \quad (7.17)$$

$L$  – longitud (3.5m)

$f$  – factor de fricción (0,064)

$D$  – diámetro hidráulico (0,198m)



$h_{perdidas}$  – peridas del tramo  $a, b$  (0,52 m)

$\rho_b$  – densidad de los gases ( $0,42 \frac{kg}{m^3}$ )

$\rho_a$  – densidad a temeptratura ambiente ( $1,2418 \frac{kg}{m^3}$ )

Finalmente, la altura que tendrá la chimenea se la calcula despejando:

$$\frac{P_a}{\gamma_a} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a = \frac{P_b}{\gamma_b} + \frac{V_b^2}{2g} + Z_b + h_{perdidas}$$

$$\rho_a \cdot g \cdot h = \rho_b \cdot g \cdot h + \frac{V_b^2}{2} \rho_b + h_{perdidas}$$

$$hg(\rho_a - \rho_b) = \frac{V_b^2}{2} \rho_b + h_{perdidas}$$

$$h = \frac{\frac{V_b^2}{2} \rho_b + h_{perdidas}}{g(\rho_a - \rho_b)} \quad (7.18)$$

$$h = 0,5468 \approx 0,55 \text{ m}$$

### 7.3.9 Temperatura de los gases de combustión en el horno de cocción tejas y ladrillos

Mediante la aplicación de una termocupla tipo K en la chimenea, (Ver Figura 51) se toma como valor experimental la temperatura de  $176^\circ\text{C}$  que alcanzan dichos gases producto de la combustión, (Ver Figura 52). ANEXO C.



Figura 50. Extracción de la Termocupla después de la quema. Fuente: Autor.

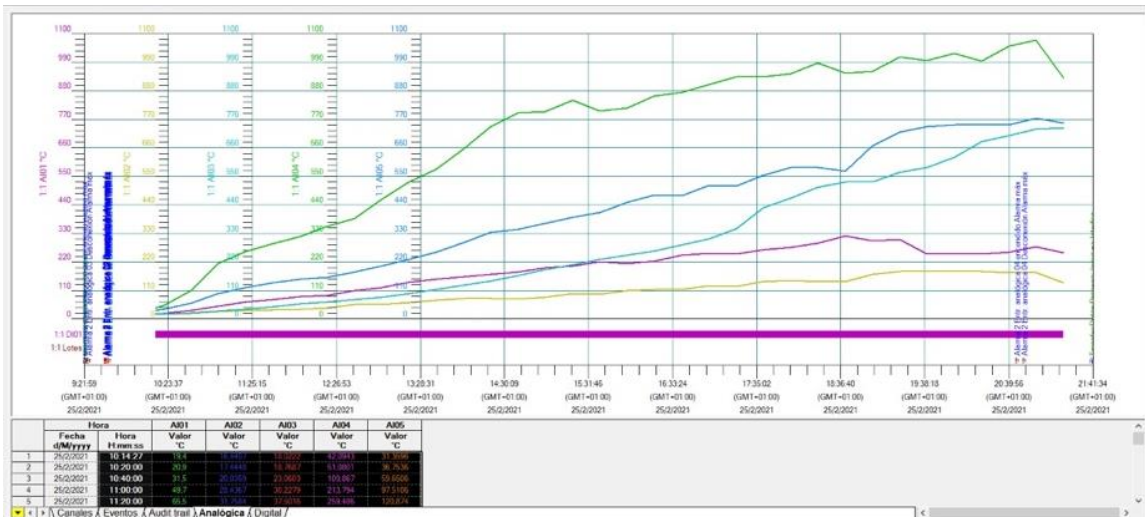


Figura 51. La gráfica de color morado indica termocupla correspondiente a los gases de combustión. Fuente: Autor JUMO PCA 3000.

### 7.3.10 Determinación del extractor de gases

Es necesario considerar que para la selección del extractor de gases se establece un caudal de  $0,65\text{m}^3/\text{s}$  – $2371\text{ m}^3/\text{h}$ - 1377 CFM y para superar las caídas de presión en los intercambiadores y chimenea escogemos como referencia 1in de H<sub>2</sub>O. Por lo tanto, se ha seleccionado el siguiente equipo, (Ver Figura 53).

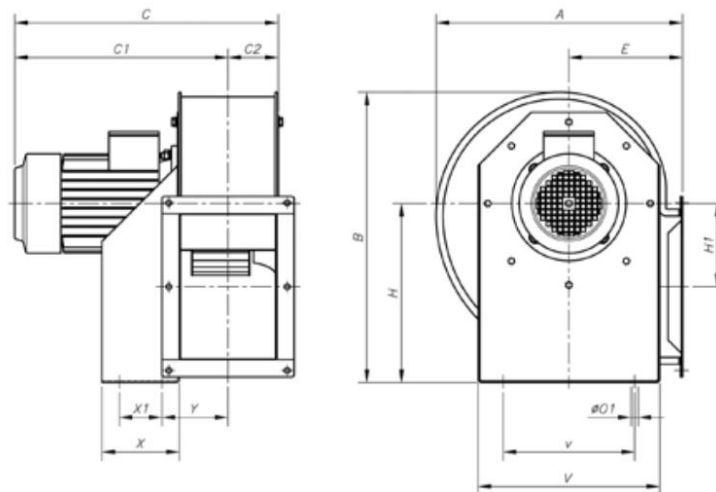


Figura 52. Ventilador centrífugo ANZOLA. Fuente: [42].

Tabla 20. Características de técnicas del extractor. Fuente: Autor.

Modelo	Caudal	Velocidad	Potencia	Presión
Extractor centrífugo ANZOLA BP-250	$3600\text{ m}^3/\text{h}$	1700 rpm	1,5 HP	200mm c. a

## 8. Diseño de la Cámara de Secado

Para el desarrollo de la cámara de secado de teja, ladrillo y madera de pino se utiliza el horno artesanal de tipo rectangular perteneciente al Sr. Ángel Sinchi, esta cámara será utilizada mientras se realice la fase de cocción del producto ya que los gases de combustión que genera el horno serán transportados hacia la misma. Mediante un intercambiador de calor se pretende calentar aire expuesto en la cámara de tal manera que pueda realizar el proceso de secado.

### 8.1 Dimensionado de la Cámara de Secado

#### 8.1.1 Dimensiones generales para la implementación del secadero

Las dimensiones generales para la implementación de esta cámara de secado son dados por los artesanos de acuerdo al espacio disponible que ellos disponen, (Ver Tabla 21). El material principal de construcción será el ladrillo debido a la reducción en los costos de implementación.

Tabla 21. Dimensiones del espacio a utilizar. Fuente: Autor.

Lado	a	b	c
(m)	3,5	4	3,4

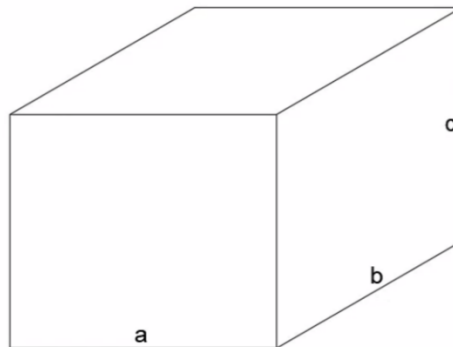


Figura 53. Área de Trabajo. Fuente: Autor.

#### 8.1.2 Dimensiones del volumen de la cámara de secado

Para evitar las pérdidas de calor en la cámara de secado se utilizará una capa de ladrillo refractario como aislante en el interior de la cámara y ladrillo común para el exterior dando así un espesor total de 16 cm, (Ver Figura 55).

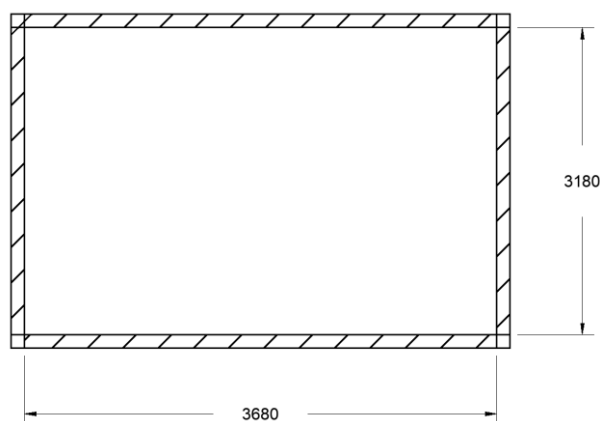


Figura 54. Dimensiones del largo y ancho del secadero. Fuente: Autor.

Al momento de determinar el volumen de la cámara se considera los siguientes aspectos: dimensiones establecidas del ancho del deflector de 50cm, espaciado de 25cm en cada lado para la circulación del aire y 40cm para el pasillo que servirá como el ingreso del personal y material, (Ver Figura 56).

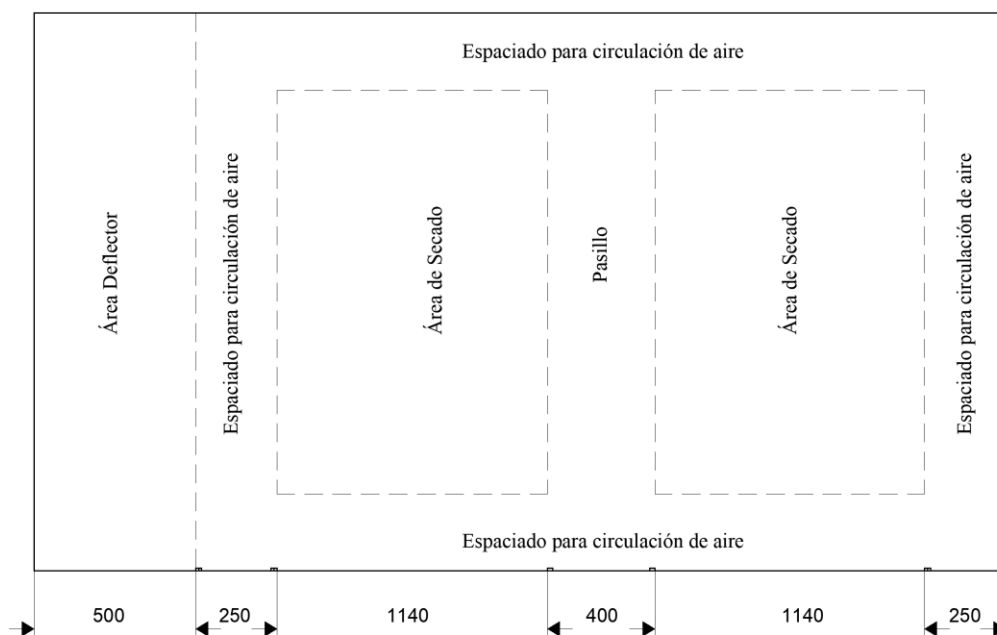


Figura 55. Vista Superior: Dimensiones de los espacios en el largo de la cámara. Fuente: Autor.

Para el área de secado 1140 x 2680 se considera la implementación de estantes, (Ver Figura 57), el cual está formado por tubo cuadrado (75x75x2) y rejillas encargadas de albergar ladrillo, teja y madera de pino. Debido a que las dimensiones máximas de fabricación de un ladrillo según la Norma INEN [35] es de 40cm de altura, se establece cuatro pisos (#pisos), con una separación de 407 mm entre ellos.

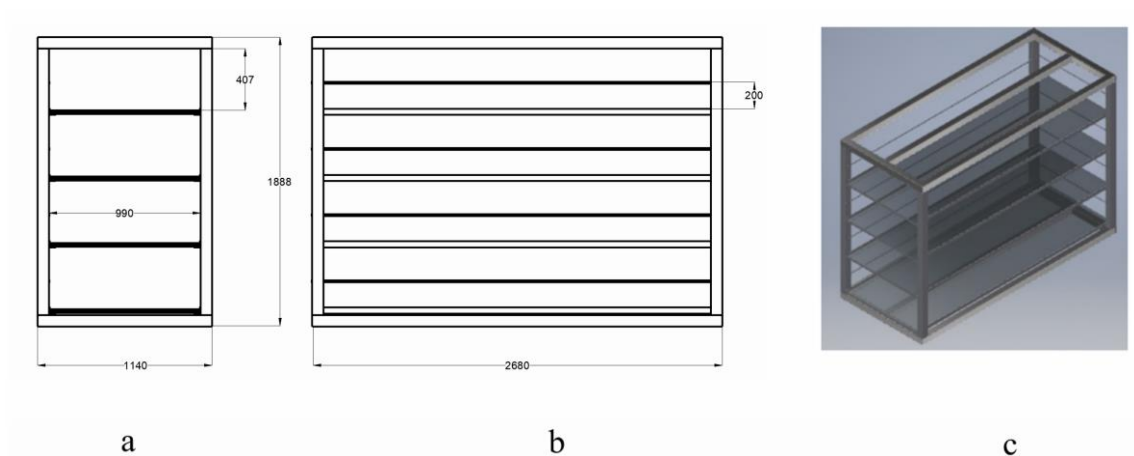


Figura 56. a) vista frontal, b) vista lateral, c) diseño de estante. Fuente: Autor.

Si se desea determinar el volumen libre de secado de cada piso en un estante se establecen las siguientes dimensiones (1,14 x 2,53 x 0,407) m.

$$V_{\text{libre de secado}} = 1,14 \cdot 2,53 \cdot 0,407 = 1,17 \text{ m}^3$$

### 8.1.3 Volumen de secado y capacidad de teja, ladrillo y madera de combustión

Tabla 22. Productos para secar. Fuente: Autor.

Húmedo	Dimensiones (cm)		
	Alto	Ancho	Profundidad
Madera de pino			
Teja Cuadrada ( $T_{\blacksquare}$ )	6	17	34
Teja Circular ( $T_{\bigcirc}$ )	5	17	34
Ladrillo 4 huecos ( $L_d$ )	12	16	31

Las dimensiones del área libre y el sentido de colocación de los materiales a secar se denotan a continuación, (Ver Figura 58). los cuales servirán para el cálculo del volumen de todos los materiales a secar.

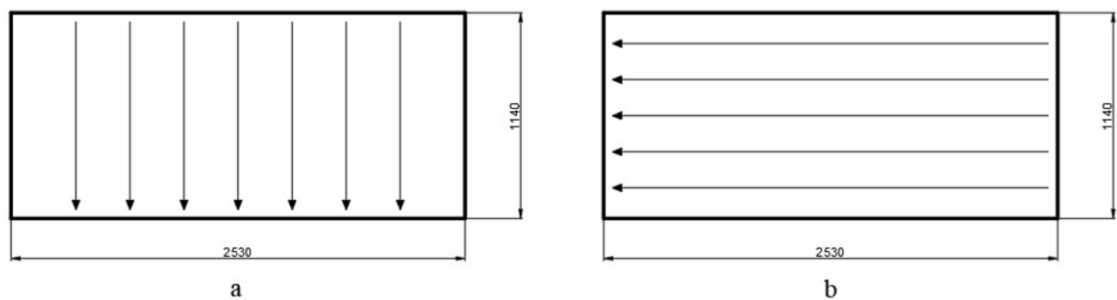


Figura 57. a) Sentido del colocada de  $T_{\blacksquare}, T_{\bigcirc}, L_d$ , b) sentido de colocado de la madera de pino.

Fuente: Autor.

El cálculo de la capacidad de la teja en el volumen libre de secado se toma en cuenta el sentido de ubicación de las mismas, con el fin de buscar una buena circulación de aire, se establece un separador de filas ( $S_{fila}$ ) entre teja y teja el cual estará construida de madera con las siguientes dimensiones 30x30x1140mm. por lo tanto se divide en el largo del área libre de secado para el ancho de cada teja con el separador dando como resultado:

$$\#filas_{T_{\blacksquare}, T_0} = \frac{\text{largo area libre de secado}}{\text{ancho}_{T_{\blacksquare}} + S_{fila}}; \frac{\text{largo area libre secado}}{\text{ancho}_{T_0} + S_{fila}} \quad (8.1)$$

$$\#filas_{T_{\blacksquare}, T_0} = \frac{2530}{170 + 30} = 12 \text{ filas de } T_{\blacksquare}/\text{piso y } T_0 / \text{piso}$$

El secado de las tejas se lo realiza colocando las tejas una detrás de otra, esto quiere decir que existe una relación la cual es, que en 620 mm se acomodan 40 tejas cuadradas y en 670mm 40 tejas redondas, por lo tanto:

$$620 \rightarrow 40 T_{\blacksquare}$$

$$1140 \rightarrow x_1$$

$$x_1 = \frac{1140}{620} * 40 \approx 73 T_{\blacksquare}/\text{fila}$$

$$\#T_{\blacksquare}/\text{piso} = x_1 \cdot \# T_{\blacksquare} = 876 T_{\blacksquare}/\text{piso}$$

$$\#T_{\blacksquare}/\text{estante} = 876 \cdot 4 = 3504$$

$$670 \rightarrow 40 T_0$$

$$1140 \rightarrow x_2$$

$$x_2 = \frac{1140}{670} * 40 \approx 68 T_0/\text{fila}$$

$$\#T_0/\text{piso} = x_2 \cdot \# T_0 = 816 T_0/\text{piso}$$

$$\#T_0/\text{estante} = 816 \cdot 4 = 3264$$

El desarrollo para el cálculo de la capacidad del ladrillo en el volumen libre, se calcula tomando en cuenta el alto del ladrillo y el separador visto anteriormente.

$$\#filas_{L_d} = \frac{\text{largo area libre}}{\text{alto}_{L_d} + S_{fila}}$$

$$\#filas_{L_d} = \frac{2530}{120 + 30} \approx 16 \text{ filas}_{L_d}/\text{piso}$$

$$\#L_d/\text{fila} = \frac{\text{ancho area libre}}{\text{ancho}_{L_d}} = 1140/160$$

$$\#L_d/\text{fila} = 9L_d/\text{fila}$$

$$\#L_d/\text{piso} = \#L_d/\text{fila} \cdot \#filas_{L_d}$$

$$\#L_d/piso = 144 \#L_d/piso$$

$$\#L_d/estante = 576$$

Debido a que el material de combustión (madera de pino) no posee una geometría definida se establece un volumen total que representanta la capacidad máxima para el secado de madera.

$$V_{leña} = V_{libre\ de\ secado} \cdot \#pisos \cdot \#estantes \quad (8.2)$$

$$V_{leña} = 9,36m^3$$

## 8.2 Cámara secado

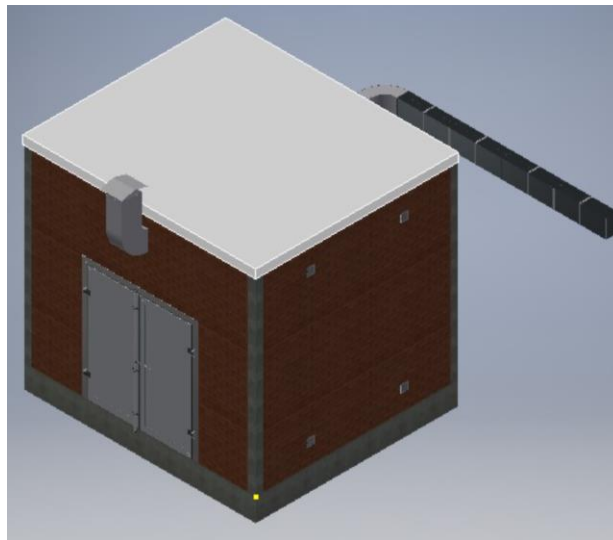


Figura 58. Horno de Secado. Fuente: Autor.

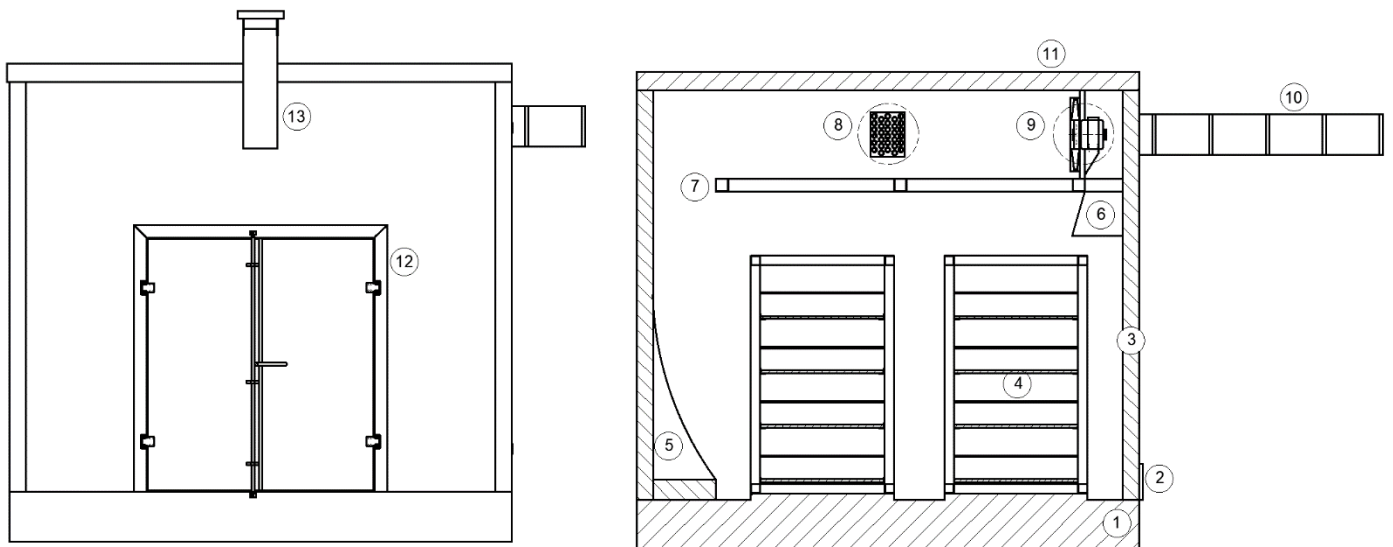


Figura 59. Izquierda: Vista frontal horno - Derecha Corte de Cámara de secado. Fuente: Autor.

Tabla 23. Componentes de la Cámara de Secado. Fuente: Autor.

Numeración	Elemento
1	Piso
2	Ventila
3	Pared
4	Estantes
5	Deflector
6	Tobera de recirculación
7	Cielo Falso
8	Intercambiador de Calor
9	Ventilador Axial
10	Ductos de transporte de gases de combustión
11	Techo
12	Puerta
13	Chimenea

### 8.3 Ventilación

En el sistema de ventilación en la cámara de secado constara de ventiladores axiales los cuales irán colocados sobre el techo falso, este ventilador se utiliza donde se requiera manejar bajas presiones y grandes caudales tomando en cuenta que el consumo de energía siempre es menor.

#### 8.3.1 Caudal proporcionado por lo ventiladores

$$Q_{vent} = V_{aire} \cdot A_L \quad (8.3)$$

$Q_{vent}$  – Caudal del ventilador

$V_{aire}$  – velocidad del aire  $\frac{2m}{s}$

$A_L$  – Área libre por donde circula el aire (teja, ladrillo, madera)

Mediante el software AutoCAD 2018 – Student Versión, se calcula el área libre por donde circulara el aire a través de la pila de tejas, ladrillos y madera, (Ver Figura 61). Esta área está representada a continuación, (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Caudal necesario para cada situación. Fuente: Autor.

Elementos a secar	$A_L \text{ m}^2$	$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$	CFM
Tejas	2,43	4,86	10297
Ladrillos	2,57	5,14	10891
Madera de pino	2,62	5,24	11102



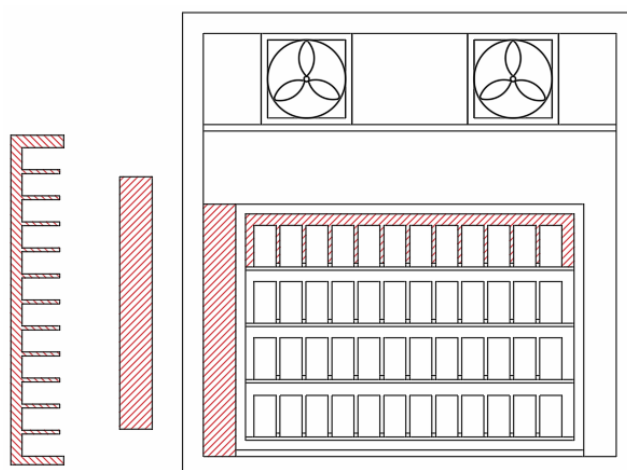


Figura 60. Dimensiones del Área libre. Fuente: Autor.

### 8.3.2 Dimensiones de ventilas

La aplicación de estas ventilas será con la finalidad de liberar el contenido excesivo de humedad presenta en la cámara de secado, la reposición del aire será de un 20 % del caudal máximo.

$$Av = \frac{V_r}{\#_v \cdot V_{aire}} \quad (8.4)$$

$$Av = 0,012 \text{ m}^2$$

$$V_{aire} - \text{velocidad del aire } \frac{2m}{s}$$

$$\#_v - \text{número de ventilas } 2$$

$$V_r - \text{aire de reposición } 0,048 \frac{\text{m}^3}{s}$$

$$\sqrt{Av} = d_v \quad (8.5)$$

$$d_v = 0,109 \text{ m}$$

$$Av - \text{Área de la ventila } \text{m}^2$$

$$d_v - \text{dimensión de ventila } m$$

Tabla 25. Dimensiones de las ventilas. Fuente: Autor.

	a (m)	b(m)	c(m)
Ventilas	0,109	0,109	0,16

### 8.3.3 Caídas de presión

Debido a que el aire pasa a través de los elementos de secado debe romper la resistencia a la fricción que se lo representa como la caída de presión en las pilas de madera y tejas o ladrillos los cuales depende de los diferentes factores.

$$T_m = \frac{T_c + T}{2} \quad (8.6)$$

$$T_m = 55^\circ\text{C}$$

$T_i$  – Temperatura inicial  $11^\circ\text{C}$

$T_c$  – Temperatura de calentamiento  $40^\circ\text{C}$

$T$  – Temperatura final  $70^\circ\text{C}$

$$\gamma_{\text{aire}} = \frac{P}{286(273 + T_c)} \quad (8.7)$$

$$\gamma_{\text{aire}} = 1,13 \text{ kg/m}^3$$

$\gamma_{\text{aire}}$  – peso específico del aire

$P$  – presión atmosférica de cuenca  $101900 \text{ Pa}$

$$\Delta P1 = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot F \cdot A_e \cdot V_{\text{aire}}^2 \cdot \gamma_{\text{aire}}}{2 \cdot S_{\text{fila}} \cdot g} \quad (8.8)$$

$$\Delta P1 = 2,77 \text{ mm H}_2\text{O} - 27.16 \text{ Pa}$$

$\lambda$  – Factor de apereza madera  $0,05$

$A_e$  – ancho de los estantes  $2,68 \text{ m}$

$V_{\text{aire}}$  – velocidad del aire  $2 \text{ m/s}$

$S_{\text{fila}}$  – separador de fila  $30 \text{ mm}$

$g$  – gravedad

$F$  – profundidad de recorrido del aire  $2,68 \text{ m}$

### 8.3.4 Caídas de presión en el intercambiador de calor

$$\Delta P2 = N_L \cdot f \cdot x \frac{\rho \cdot (V_{\text{max}})^2}{2} \quad (8.9)$$

$N_L$  – # de tubos de columna (2)

$f$  – factor de fricción (0,7)

$x$  – factor de corrección (1)

$\rho$  – densidad del aire  $\left(1,2418 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$V_{max}^2$  – velocidad máxima del aire ( $10 \frac{m}{s}$ )

$Re_e$  – número de Reynolds ( $2 \times 10^4$ )

El factor de corrección (x) y el factor de fricción (f), se lo calcula en base a la siguiente gráfica, tomando como datos de entrada el número de Reynolds (Re) y el espaciado ( $P_T = 1,25$ ), (Ver Figura 62).

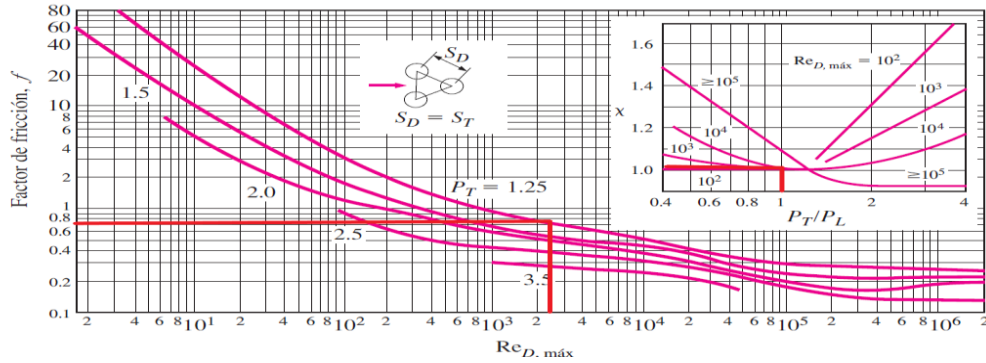


Figura 61. Factor de corrección y fricción. Fuente: [25].

$$\Delta P_2 = 86,92 \text{ Pa} = 8,86 \text{ mm H}_2\text{O}$$

### 8.3.5 Selección de ventiladores axiales

Para la selección del ventilador se debe considerar la caída de presión y el caudal necesario para el proceso el cual es 11102 CFM, por lo que se escoge dos ventiladores.

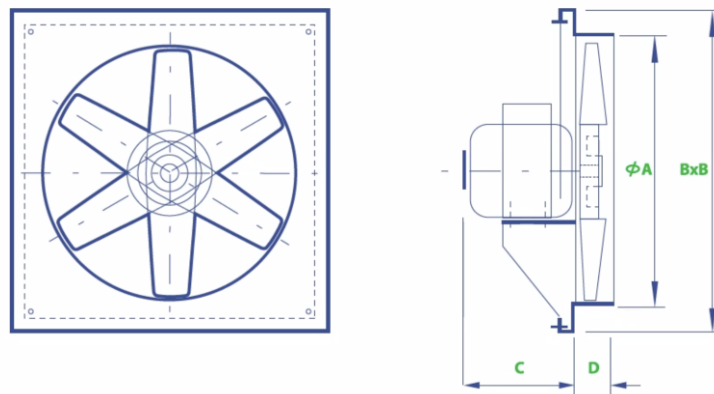


Figura 62. Ventiladores Axiales. Fuente: [42].

$$\Delta P = \Delta 1 + \Delta 2 \quad (8.10)$$

$$\Delta P = 11,63 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Tabla 26. Características técnicas del ventilador. Fuente: Autor.

Modelo	Caudal	Velocidad	Potencia	Presión
Ventilador Axial DA-60010L-40	$10800 \text{ m}^3/\text{h}$	1075rpm	$3 \frac{3}{4} \text{ Hp}$	$11,75 \text{ mmH}_2\text{O}$

### 8.4 Sistema de calentamiento

Sistema encargado de calentar el aire dentro de la cámara de secado, mediante la aplicación de un intercambiador de calor de flujo cruzado. El funcionamiento general se basa en la aplicación de los gases de combustión producto de la quema de madera de pino, que circulará como el fluido caliente a través de una tubería, (Ver Figura 64) posteriormente recibe el aire del ventilador en forma perpendicular que será el fluido a calentarse.

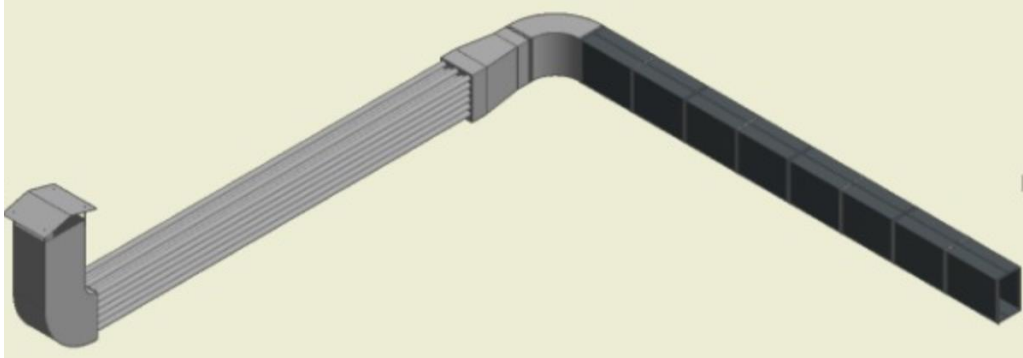


Figura 63. Intercambiador de calor. Fuente: Autor.

#### 8.4.1 Transferencia de calor en la cámara de secado

El dimensionamiento del intercambiador se lo realiza en base a la potencia necesaria que se debe tener la cámara de secado.

##### 8.4.1.1 Calor en los materiales

Tabla 27. Masa de los diferentes materiales a secar. Fuente: Autor.

Materiales	masa(kg)
Teja Cuadrada	2,44
Teja Circular	2,46
Ladrillo	3,79

$$Q_{m \text{ pino}} = \frac{m_m \cdot C_{pm} \cdot (T_c - T_{amb})}{t} \quad (8.11)$$

$$Q_m = 10,14 \frac{KJ}{s}$$

$\delta$  – densidad del pino  $390 \frac{kg}{m^3}$

$V_{leña}$  – volumen de la leña  $9,36m^3$

$m_m$  – masa de leña  $3650,4kg$

$C_{pm}$  – Calor específico de la madera  $1,38 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ K}$

$T_c$  – Temperatura de calentamiento  $40^\circ C$

$t$  – tiempo de calentamiento  $14400 s$

$T_{amb} = 10,9 \approx 11^\circ C$

$$Q_{teja} = \frac{m_{teja} \cdot C_{pteja} \cdot (T_c - T_{amb})}{t} \quad (8.12)$$

$$Q_{teja} = 92,3984 \frac{KJ}{s}$$

$m_{teja}$  – masa de teja  $17099 kg$

$C_{pteja}$  – calor específico de la teja  $2,683 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$

$$Q_{ladrillo} = \frac{m_{ladrillo} \cdot C_{ladrillo} \cdot (T_c - T_{amb})}{t} \quad (8.13)$$

$$Q_{ladrillo} = 8,08 KJ/s$$

$m_{ladrillo}$  – masa ladrillo  $4366 kg$

$C_{pladrillo}$  – calor específico del ladrillo  $0,92 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$

#### 8.4.1.2 Calor para calentar el agua contenida en madera teja y ladrillo

Tabla 28. % de Humedad de los diferentes materiales a secar. Fuente: Autor.

Materiales	% $H_i$	% $H_f$
Madera de Pino	80	10
Teja Cuadrada	22,29	4,42
Teja Circular	20,09	4,41
Ladrillo	20,43	6,21

En el caso de la madera se considera lo siguientes aspectos.

$$m_{agua} = m_m \cdot \%H \quad (8.14)$$

$$m_{agua} = 2920 kg$$

$m_{agua}$  – masa de agua de la leña

$m_m$  – masa de leña  $3650,4 kg$

% $H$  – Humedad madera de pino  $(80 - 10)\%$

$$Q_{\text{agua madera}} = \frac{m_{\text{agua}} \cdot C_{p \text{ agua}} \cdot (T_c - T_{\text{amb}})}{t} \quad (8.15)$$

$$Q_{\text{agua madera}} = 16,38 \text{ KJ/s}$$

$T_c$  – Temperatura de calentamiento 40°C

$t$  – tiempo de calentamiento 21600 s

$C_{p \text{ agua}}$  – calor epecifico del agua 4,18  $\frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}$

$T_{\text{amb}} = 10,9 \approx 11^\circ\text{C}$

La transferencia de calor en la teja se la calcula tomando la entalpia de evaporización del agua contenida que se desea evaporar. Esta temperatura de vaporización es de 100°C, por lo tanto, se obtiene:

$$m_{\text{agua teja}} = m_{\text{teja}} \cdot \%H_{i \text{ teja}} \cdot \#T_{\blacksquare} \quad (8.16)$$

$$m_{\text{agua teja}} = 3811,48 \text{ kg}$$

$m_{\text{agua teja}}$  – masa de agua de la teja

$m_{\text{teja}}$  – masa de la teja 2,44 kg

$\%H_{i \text{ teja}}$  – contenido de humedad de la teja 22,29%

$\#T_{\blacksquare}$  – numero de tejas 7008

$$Q_{\text{agua teja}} = \frac{h_{fg} \cdot m_{\text{agua teja}}}{t} \quad (8.17)$$

$$Q_{\text{agua teja}} = 398,26 \text{ KJ/s}$$

$h_{fg}$  – entalpia 2257 KJ/kg

$t$  – tiempo de operación 21600 s

$$m_{\text{agua Ladrillo}} = m_L \cdot \%H_{iL} \cdot \#L \quad (8.18)$$

$$m_{\text{agua Ladrillo}} = 891,99 \text{ kg}$$

$m_{\text{agua ladrillo}}$  – masa de agua del ladrillo

$m_L$  – masa del ladrillo 3,79 kg

$\%H_{iL}$  – contenido de humedad deL ladrillo 20,43%

$\#L$  – número de Ladrillos 1152

$$Q_{\text{agua Ladrillo}} = \frac{h_{fg} \cdot m_{\text{agua ladrillo}}}{t} \quad (8.19)$$

$$Q_{\text{agua Ladrillo}} = 93,20 \text{ KJ/s}$$

$h_{fg}$  – entalpia masa de agua de la teja 2557 KJ/kg

$t$  – tiempo de operación 21600 s

### 8.4.1.3 Calor para calentar el aire en la cámara

Al calentar el aire de la cámara es necesario considerar el volumen total de aire que existe dentro de la cámara de secado teniendo en cuenta que se va a secar madera, teja y ladrillo. Para obtener el volumen de aire a calentar dentro de la cámara, se calcula el volumen total de toda la cámara de secado y se le resta el volumen que ocupa los estantes y materiales a secarse.

$$V_{a,m} = V_{cámara} - V_{o,m} \quad (8.20)$$

$$V_{a,m} = 16,83m^3$$

$V_{a,m}$  – volumen de aire madera

$V_{cámara}$  – volumen de la cámara  $28,006m^3$

$V_{o,m}$  – volumen de la madera  $11,17 m^3$

$$V_{a,T} = V_{cámara} - V_{o,T}$$

$$V_{a,T} = 16,4 m^3$$

$V_{a,m}$  – volumen de aire teja

$V_{cámara}$  – volumen de la cámara  $28,006m^3$

$V_{o,T}$  – volumen de teja  $11,6m^3$

$$V_{a,L} = V_{cámara} - V_{o,L}$$

$$V_{a,L} = 16,71m^3$$

$V_{a,m}$  – volumen de aire ladrillo

$V_{cámara}$  – volumen de la cámara  $28,006m^3$

$V_{o,L}$  – volumen de ladrillo  $11,29m^3$

La masa de aire seco se calcula tomando en cuenta las condiciones más extremas de temperatura (°C), altitud (m.s.n.m) y humedad relativa (%). VER ANEXO E.

$$m_{aire,m@ 11°C} = \rho_{aire@ 11°C} \cdot V_{a,m} \quad (8.21)$$

$$m_{aire,m@ 11°C} = 20,9 \text{ kg de aire seco}$$

$m_{aire,m@ 11°C}$  – masa de aire seco de madera

$\rho_{aire@ 11°C}$  – densidad de aire  $1,2418 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$m_{aire,T@ 11°C} = 20,37 \text{ kg de aire seco}$$

$$m_{aire,L@ 11°C} = 20,75 \text{ kg de aire seco}$$

Finalmente, el calculo de la potencia para calentar el aire se calcula con la siguiente formula:

$$Q_{aire,m} = \frac{m_{aire,m@11^{\circ}C}(h2 - h1)}{t} \quad (8.22)$$

$$Q_{aire,m} = 248,57 \text{ J/s}$$

$Q_{aire,m}$  – potencia para calentar el aire con madera

$h2$  – entalpia del aire final 209,46KJ/kg

$h1$  – entalpia del aire inicial 38,19KJ/kg

$$Q_{aire,T} = 242,27 \text{ J/s}$$

$$Q_{aire,L} = 246,79 \text{ J/s}$$

#### 8.4.1.4 Calor en los estantes

El calor que existe se lo calcula en base a la siguiente formula:

$$Q_{es} = \frac{m \cdot Cp_{acero} \cdot (T - T_{amb})}{t} \quad (8.23)$$

$$Q_{es} = 493,83 \frac{J}{s}$$

$Cp_{acero}$  – calor especifico del acero 0,486  $\frac{KJ}{kg \cdot ^{\circ}C}$

$\rho_{acero}$  – densidad del acero 7753  $\frac{kg}{m^3}$

$V_e$  – volumen de un estante 0,04m<sup>3</sup>

$m$  – masa de dos estantes 620 kg

$T$  – Temperatura final 70°C

$T_{amb}$  – Temperatura ambiente 11°C

#### 8.4.1.5 Calor en el aire de reposición

Se desea asegurar una recirculación del aire en la cámara del 80%.

$$\dot{m}_{aire} = \rho_{aire} \cdot Q \quad (8.24)$$

$$\dot{m}_{aire} = 6,5 \text{ Kg/s}$$

$$\rho_{aire} = 1,2418 \frac{kg}{m^3}$$

$Q$  – caudal del aire 5,24 m<sup>3</sup>/s

$$\dot{m}_{a,r} = 0,2 \cdot \dot{m}_{aire}$$

$$\dot{m}_{a,r} = 1,30 \text{ kg/s}$$

$\dot{m}_{a,r}$  – masa de aire de reposición



$$T_{m,r} = \frac{T_c + T}{2} \quad (8.25)$$

$$T_{m,r} = 55^\circ\text{C}$$

$T_{m,r}$  – Temperatura media de reposición

$T_c$  – Temperatura de calentamiento  $40^\circ\text{C}$

$T$  – Temperatura final  $70^\circ\text{C}$

$$\Delta T = T_{m,r} - T_{amb} \quad (8.26)$$

$$\Delta T = 44^\circ\text{C}$$

$$Q_{aire,r} = \frac{\dot{m}_{a,r} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (\Delta T)}{t} \quad (8.27)$$

$$Q_{aire,r} = 2,66 \text{ J/s}$$

$Q_{aire,r}$  – Calor de aire de reposición

$C_{p_{aire}}$  – calor específico del aire  $1007 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$

### 8.4.1.6 Perdidas de calor

#### 8.4.1.6.1 Perdidas de calor en la cámara de secado

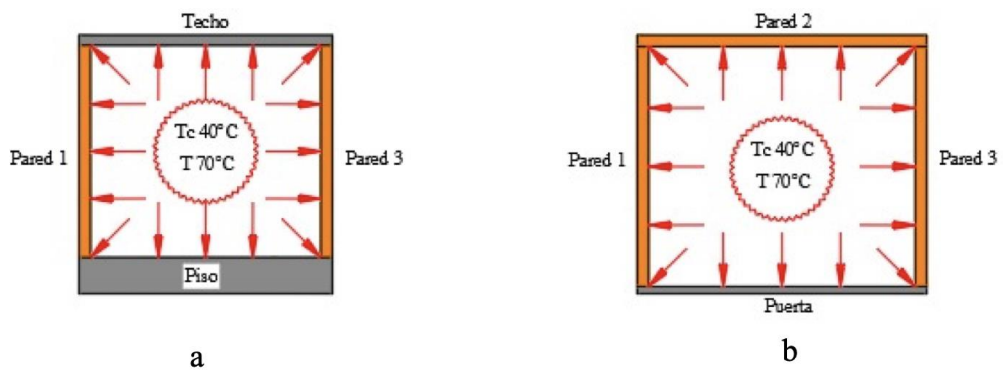


Figura 64. a) Vista lateral Temperaturas de la cámara b) vista superior distribución del flujo del calor.

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta que el flujo que entra a la pared es igual a flujo que sale de la misma, se tiene la siguiente red de resistencias, (Ver Figura 66).

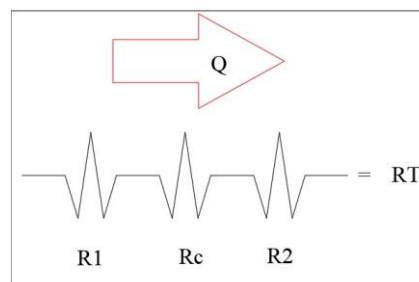


Fig. 65.- Red de resistencias térmicas. Fuente: Autor.

$$R_t = R1 + R_c + R2 \quad (8.28)$$

$R_t$  – Resistencia total

$R1$  – Resistencia entre la convección del aire caliente y pared de la cámara

$R_c$  – Resistencia de conducción en la pared de la cámara

$R2$  – Resistencia de convección de la pared hacia el medio ambiente

Para determinar si el flujo es de carácter laminar o turbulento, se determina mediante las siguientes condiciones, (Ver Tabla 29). La viscosidad cinemática se la calcula por tablas de transferencia de calor el cual el valor escogido es a una temperatura de 70°C.

$$R_e \leq 2300 \text{ Flujo Laminar}$$

$$2300 \leq R_e \leq 4000 \text{ Flujo Transicional}$$

$$R_e \geq 4000 \text{ Flujo Turbulento}$$

$$R_e = \frac{V_{aire} \cdot L_c}{\nu} \quad (8.29)$$

$V_{aire}$  – velocidad del aire

$L_c$  – Longitud característica

$\nu$  – viscosidad cinemática

Tabla 29. Flujo Turbulento. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
Velocidad de aire (m/s)	2	2	2	2	2	2
Longitud característica(m)	3,5	4	3,5	4	4	4
viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )	0,00001995	0,00001995	0,00001995	0,00001995	0,00001995	0,00001995
Reynolds ( $R_e$ )	350877	401002	350877	401002	401002	401002
Tipo de flujo	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento

Al determinar que el tipo de flujo es turbulento se pretende calcular el número de Nusselt, (Ver Tabla 30). El número de Prandtl se la calcula por tablas de transferencia de calor el cual el valor escogido es a una temperatura de 70°C.

$$N_{u,R1} = 0,029R_e^{0,8} \cdot P_r^{0,43} \quad (8.30)$$

Tabla 30. Número de Nusselt. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
Prandtl ( $P_r$ )	0,7177	0,7177	0,7177	0,7177	0,7177	0,7177

Nusselt R1 (Nu)	686,400477	763,785016	686,400477	763,785016	763,785016	763,785016
-----------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

El cálculo del coeficiente de convección se denota a continuación, (Ver Tabla 31). La conductividad térmica del aire se lo obtiene mediante tablas de transferencia de calor a una temperatura de 70°C.

$$h_1 = \frac{N_u \cdot K}{L_c} \quad (8.31)$$

$h_1$  – coeficiente de convección

$K$  – conductividad térmica del aire

Tabla 31. Coeficientes de convección. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
Nusselt	686,400477	646,889095	686,400477	763,785016	763,785016	763,785016
Longitud característica (m)	3,5	4	3,5	4	4	4
Conductividad térmica ( $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ )	0,02881	0,02881	0,02881	0,02881	0,02881	0,02881
Coefficiente de convección ( $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ )	5,6500565	5,50116158	5,6500565	5,50116158	5,50116158	5,50116158

Finalmente se calcula la resistencia térmica **R1**, (Ver Tabla 32).

$$R1 = \frac{1}{h_1 \cdot A} \quad (8.32)$$

$R1$  – Resistencia entre la convección del aire caliente y pared de la cámara

$A$  – Área

Tabla 32. Resistencia Total. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1 (3,5·3,25)	Pared 2 (4·3,25)	Pared 3 (3,5·3,25)	Puerta (1,8·2)	Techo (4·3,5)	Piso (4·3,5)
Área ( $m^2$ )	11,375	13	11,375	3,6	14	14
Coefficiente de convección ( $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ )	5,6500565	5,73442302	5,6500565	5,50116158	5,50116158	5,50116158
$R1(\frac{^\circ C}{W})$	0,01555951	0,01398306	0,01555951	0,01398306	0,01298427	0,01298427

#### - Diseño y cálculo del espesor de la puerta

La puerta está formada por: Acero inoxidable AISI 304 con espesor de 1,5 mm y como aislamiento fibra de vidrio, por lo tanto, se calculó el espesor que debe tener este material.

Se debe considerar que las pérdidas de calor en la puerta de la cámara de secado deben ser igual a las pérdidas de calor en las paredes de la cámara, (Ver Figura 67).

$$Q_{puerta} = Q_{pared}$$

$$Q_{puerta} = \frac{T_{amb} - T}{R_{conv1} + R_{cond} + R_{conv2}} \quad (8.33)$$

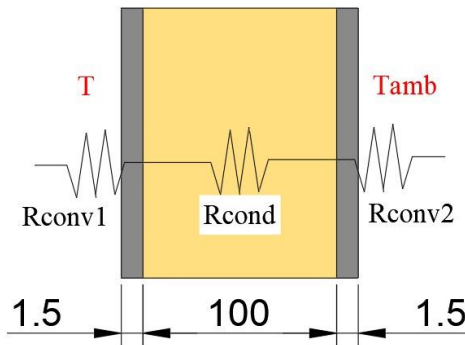


Figura 66. Red de resistencias térmicas de la puerta. Fuente: Autor.

$$Q_{puerta} = \frac{(T_{amb} - T)^{\circ C}}{\frac{1}{h1 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right) \cdot A(m^2)} + \frac{e(m)}{K \left(\frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}\right) \cdot A(m^2)} + \frac{1}{h2 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right) \cdot A(m^2)}} \quad (8.34)$$

$e$  – espesor de la fibra

$K$  – coeficiente de conductividad de la fibra 0,038

$h1, h2$  – coeficientes de convección

$A$  – Área unitaria de transferencia

$R_{conv1}$  – Resistencia de convección

$R_{cond}$  – Resistencia de conducción

$$Q_{pared} = \frac{T_{amb} - T}{R_{conv1} + R_{cond1} + R_{cond2} + R_{conv2}} \quad (8.35)$$

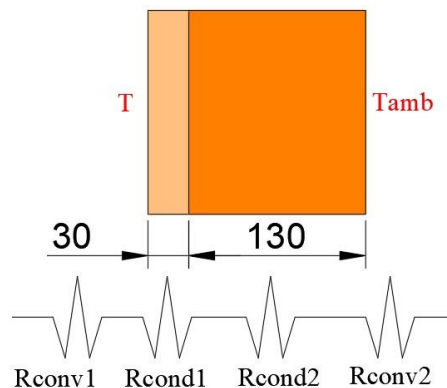


Figura 67. Red de resistencias térmicas en la pared de la cámara. Fuente: Autor.

$$Q_{puerta} = \frac{(T_{amb} - T)^{\circ C}}{\frac{1}{h1(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}) \cdot A(m^2)} + \frac{L1(m)}{K(\frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}) \cdot A(m^2)} + \frac{L2(m)}{K(\frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}) \cdot A(m^2)} + \frac{1}{h2(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}) \cdot A(m^2)}} \quad (8.36)$$

*L1 – Longitud del ladrillo refractario*

*L2 – Longitud del ladrillo*

*T<sub>amb</sub> – Temperatura ambiente*

*T – Temperatura final*

*K – coeficiente de conductividad de ladrillo refractario 0,5*

*K1 – coeficiente de conductividad de ladrillo 0,72*

Finalmente, el espesor final de la fibra de vidrio es:

$$Q_{puerta} = Q_{pared} = \frac{(T_{amb} - T)^{\circ C}}{\frac{1}{h1 \cdot A} + \frac{e}{K \cdot A} + \frac{1}{h2 \cdot A}} = \frac{(T_{amb} - T)^{\circ C}}{\frac{1}{h1 \cdot A} + \frac{L1}{K \cdot A} + \frac{L2}{K1 \cdot A} + \frac{1}{h2 \cdot A}}$$

$$\frac{(T_{amb} - T)^{\circ C}}{\frac{1}{h1 \cdot 1} + \frac{e}{0,038 \cdot 1} + \frac{1}{h2 \cdot 1}} = \frac{(T_{amb} - T)^{\circ C}}{\frac{1}{h1 \cdot A} + \frac{0,03}{0,5 \cdot 1} + \frac{0,130}{0,72 \cdot 1} + \frac{1}{h2 \cdot 1}}$$

$$e = 0,914 \text{ cm} \approx 1 \text{ cm}$$

El **cálculo de la Rc** resistencia térmica de conducción se lo realiza con la ecuación, los resultados se denotan a continuación, (Ver Tabla 33).

$$Rc = \frac{e}{k \cdot A} \quad (8.37)$$

*R1 – Resistencia térmica de conducción*

*e – espesor*

*A – Área*

*k – conductividad térmica de cada material*

Tabla 33. Resistencias de conducción en la pared de la cámara de secado. Fuente Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta		Techo	Piso
				Acero AISI 304	Fibra de vidrio		
Espesor (m)	0,16	0,16	0,16	0,015	0,1	0,14	0,2
Área (m <sup>2</sup> )	11,375	13	11,375	3,6	3,6	14	14
Conductividad							
Térmica (W/m °C)	0,72	0,72	0,72	14,9	0,038	1,4	1,4
Rc (W/ °C)	0,01953602	0,01709402	0,01953602	0,0002516	0,657894737	0,00714286	0,01020408

La **Resistencia R2** de convección de la pared al medio ambiente se lo calcula con la siguiente ecuación. Los datos de viscosidad cinemática se calculan a través de las tablas de transferencia de calor a una Temperatura de 70 °C, y el número de Prandtl (Pr) y la conductividad térmica se evaluará en 55 °C , (Ver Tabla 34).

$$\Delta T = T_c - T_{amb} \quad (8.38)$$

$\Delta T$  – Variación de temperatura

$T_c$  – Temperatura de calentamiento 40°C

$$\beta = \frac{1}{T_{amb} + 273} \quad (8.39)$$

$\beta$  – coeficiente de dilatación cubica

$T_{amb}$  – Temperatura final 11 °C

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_c - T_{amb}) L_c^3}{\nu^2} \quad (8.40)$$

$Gr$  – # de Grasshoft

$T_c$  – Temperatura cámara

$T_{amb}$  – Temperatura ambiente

$g$  – gravedad  $\frac{m^2}{s}$

$\nu$  – viscosidad cinemática

$L_c$  – Longitud característica

Tabla 34. Calculo del # de Grashoft. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
Longitud característica (m)	3,5	4	3,5	4	4	4
Área (m <sup>2</sup> )	11,375	13	11,375	3,6	14	14
Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Coeficiente de dilatación cubica	0,003521127	0,00352113	0,00352113	0,00352113	0,00352113	0,00352113
$\Delta T$ (°C)	29	29	29	29	29	29
viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	0,00001995	0,00001995	0,00001995	0,00001995	0,00001995	0,00001995
Grashof (Gr)	1,07911E+11	1,6108E+11	1,0791E+11	1,6108E+11	1,6108E+11	1,6108E+11

Se realiza la siguiente correlación de transferencia de calor por convección libre en placas verticales calientes, (Ver Tabla 35). La finalidad es de encontrar el número de Nusselt, (Ver Tabla 36).

Tabla 35. Constantes de convección. Fuente: [8].

Convección libre constantes			
	Gr·Pr	C	m
Planos Verticales	$1 \times 10^9 - 1 \times 10^{13}$	0,1	$\frac{1}{3}$

$$N_{U,R2} = C(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^m \quad (8.41)$$

Tabla 36. Cálculo de Nusselt para R2. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
Pr	0,7215	0,7215	0,7215	0,7215	0,7215	0,7215
Gr·Pr	77858016172	1,1622E+11	7,7858E+10	1,1622E+11	1,1622E+11	1,1622E+11
Coefficiente de conductividad Térmica (W/m °C)	0,027715	0,027715	0,027715	0,027715	0,027715	0,027715
Nusselt R2 (Nu)	427,006	488,007	427,006	488,007	488,007	488,007

Finalmente, el cálculo de R2 se lo realiza con las siguientes ecuaciones y se denotan a continuación, (Ver Tabla 37).

$$h_{\text{libre}} = \frac{N_{U,R2} \cdot K}{L_c} \quad (8.42)$$

$h_{\text{libre}}$  – coeficiente de convección libre

$N_{U,R2}$  – número de Nusselts

$K$  – coeficiente de conductividad térmica

$L_c$  – longitud característica

$$R2 = \frac{1}{h_{\text{libre}} \cdot A} \quad (8.43)$$

$R2$  – resistencia de convección de la pared al medio ambiente

$A$  – Área

Tabla 37. Resistencia de convección libre. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
Área ( $m^2$ )	11,375	13	11,375	3,6	14	14

$h_{libre} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$	77858016172	1,1622E+11	7,7858E+10	1,1622E+11	1,1622E+11	1,1622E+11
R2 (W/ °C)	0,025999639	0,02274968	0,02599964	0,02274968	0,02112471	0,02112471

Por lo tanto, la resistencia total térmica y las pérdidas por las paredes se muestra a continuación, (Ver Tabla 38).

$$R_t = R1 + R_c + R2 \quad (8.44)$$

$$Q_p = \frac{T - T_{amb}}{R_t} \quad (8.45)$$

$Q_p$  – pérdidas en la cámara de secado

$R_t$  – Resistencia total

Tabla 38. Pérdida de calor total en la cámara de secado. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
$R_t$ (W/ °C)	0,061095164	0,05382676	0,06109516	0,03698442	0,692003714	0,04125183
$Q_p$ (W)	965,706547	1096,10904	965,706547	1595,26623	85,25965802	1430,23943
$Q_{pTotal}$ (W)	6138,2874					

#### 8.4.1.7 Calor para calentar el aire en la cámara

$$T_{int} = T - Q_p(R1) \quad (8.46)$$

$T$  – Temperatura final

$Q_p$  – Pérdidas en la cámara de secado

$R1$  – resistencia de convección

$$T_{ext} = T - Q_p(R2) \quad (8.47)$$

$T$  – Temperatura final

$R2$  – resistencia de conducción

$$Q_{se} = \frac{m \cdot C_p \cdot \left(\frac{T_{int} + T_{ext}}{2}\right) - T_{amb}}{t} \quad (8.48)$$

$m$  – masa de los componentes

$C_p$  – calores específicos de cada material

$T_{int}$  – Temperatura interior de la cámara

$T_{ext}$  – Temperatura exterior de la cámara

$t$  – tiempo de calentamiento

$T_{amb}$  – Temperatura ambiente



Tabla 39. Calor total para calentar la cámara de secado. Fuente: Autor.

Denominación	Pared 1	Pared 2	Pared 3	Puerta	Techo	Piso
Área (m <sup>2</sup> )	11,375	13	11,375	3,6	14	14
Espesor (m)	0,16	0,16	0,16	0,115	0,14	0,2
Volumen (m <sup>3</sup> )	1,82	2,08	1,82	1,495	1,96	2,8
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1922	1922	1922	7900	1920	1920
masa (kg)	3498,04	3997,76	3498,04	11810,5	3763,2	5376
Cp(J/kg°K)	920	920	920	486	840	840
$((T_{int}+T_{ext})/2) - T_{amb}$ (°C)	9,433030984	9,368453332	9,43303098	0,20074659	28,04594014	5,10799797
Tiempo (s)	36000	36000	36000	36000	36000	36000
$Q_{se}(W)$	843,2597258	957,127825	843,259726	32,0073874	2462,657912	640,747265
$Q_{se} Total (W)$	5779,059					

### 8.4.1.8 Calor para evaporar el agua contenida en la madera, teja y ladrillo

Para evaporar el agua que contienen estos elementos es necesario realizar el uso de la carta psicrométrica con la finalidad de determinar las entalpías, (Ver Figura 69).

#### RESULTADOS (●) :

##### Presiones

Presión barométrica:  hPa  
 Presión de vapor:  hPa  
 Presión de vapor saturación:  hPa

##### Temperaturas

Temperatura de bulbo seco:  °C  
 Temperatura de bulbo húmedo:  °C  
 Punto de rocío:  °C

##### Humedad

Humedad relativa:  %  
 g de agua/kg aire seco:  g/kg  
 Humedad Específica:   
 Humedad Absoluta:  g/m<sup>3</sup>

##### Otros

Densidad:  kg/m<sup>3</sup>  
 Entalpía específica:  kJ/kg

#### RESULTADOS (●) :

##### Presiones

Presión barométrica:  hPa  
 Presión de vapor:  hPa  
 Presión de vapor saturación:  hPa

##### Temperaturas

Temperatura de bulbo seco:  °C  
 Temperatura de bulbo húmedo:  °C  
 Punto de rocío:  °C

##### Humedad

Humedad relativa:  %  
 g de agua/kg aire seco:  g/kg  
 Humedad Específica:   
 Humedad Absoluta:  g/m<sup>3</sup>

##### Otros

Densidad:  kg/m<sup>3</sup>  
 Entalpía específica:  kJ/kg

Figura 68. Entalpías de evaporación. Fuente: [40].

$$Q_{e,agua\ madera} = \frac{(h_2 - h_1) \cdot m_{agua}}{t} \quad (8.49)$$

$$Q_{e,agua\ madera} = 131KJ/s$$

$Q_{e,agua\ madera}$  – calor para evaporar el agua de la madera

$m_{agua}$  – masa de agua de leña 2920kg

$t$  – tiempo de operación 21600s

$$h2 = \frac{1178,46KJ}{kg}$$

$$h1 = \frac{209,46KJ}{kg}$$

$$Q_{e,agua teja} = \frac{(h2 - h1) \cdot m_{agua teja}}{t}$$

$$Q_{e,agua teja} = 171KJ/s$$

$Q_{e,agua teja}$  – calor para evaporar el agua de la teja

$m_{agua teja}$  – masa de agua de la teja 3811,48 kg

$$Q_{e,agua ladrillo} = \frac{(h2 - h1) \cdot m_{agua ladrillo}}{t}$$

$$Q_{e,agua ladrillo} = 40,019KJ/s$$

$Q_{e,agua ladrillo}$  – calor para evaporar el agua del ladrillo

$m_{agua,ladrillo}$  – masa de agua de ladrillo 891,99 kg

Finalmente se calcula la potencia total considerando un Factor de seguridad ( $F_s$ ) del 30% para el diseño final.

$$Q_{total} = (Q_{teja} + Q_{agua teja} + Q_{aire,m} + Q_{es} + Q_{aire,r} + Q_p + Q_{se} + Q_{e,agua teja})F_s \quad (8.50)$$

$$Q_{total} = 202,96 KW$$

#### 8.4.2 Parámetros y diseño del intercambiador de calor

La diferencia media logarítmica de temperatura representa la diferencia de temperaturas temperatura entre los dos fluidos del intercambiador, se calcula así:

$$\Delta T_1 = T_{h,input} - T_{c,output} \quad (8.51)$$

$$\Delta T_1 = 730^\circ C$$

$$\Delta T_2 = T_{h,output} - T_{c,input}$$

$$\Delta T_2 = 165^\circ C$$

$T_{h,input}$  – Temperatura de entrada del fluido caliente (800°C)

$T_{c,output}$  – Temperatura de salida del fluido frio (70°C)

$T_{h,output}$  – Temperatura de salida del fluido caliente (176°C)

$T_{c,input}$  – Temperatura de entrada del fluido frio (11°C)

$\Delta T_{ml}$  – Diferencia logarítmica media de Temperatura

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (8.52)$$

$$\Delta T_{ml} = 379,9^\circ\text{C}$$

Para intercambiadores de calor con un sistema de flujo cruzado es necesario determinar un factor de corrección F, el cual depende la geometría y de las razones P y R que a su vez están en función de las temperaturas de los dos fluidos.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{T_{c,output} - T_{c,input}}{T_{h,input} - T_{h,output}} \quad (8.53)$$

$$R = 0,094$$

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{T_{h,output} - T_{h,input}}{T_{c,input} - T_{h,input}} \quad (8.54)$$

$$P = 0,79$$

$$F = 0,93 \text{ Factor de corrección}$$

A continuación, se presenta las dimensiones específicas de la tubería a utilizar, (Ver Tabla 40).

Tabla 40. Datos de tubería. Fuente: Autor.

Tubería Cedula (mm)	
$\phi_{ext}$	42,2
$\phi_{int}$	31,75
$e$	3,38
$K \left(\frac{w}{m \cdot ^\circ K}\right)$	41
L	3500

Para intercambiadores de calor de flujo cruzado y de tubos conviene relacionar la diferencia equivalente de temperatura con la relación de la diferencia media logarítmica para el caso de contraflujo.

$$\Delta T_{ml} = F \cdot \Delta T_{ml,CF} \quad (8.55)$$

$$\Delta T_{ml} = 353,33^\circ\text{C}$$

La razón de transferencia de calor en un intercambiador de calor se puede expresar de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{ml} \quad (8.56)$$

$\Delta T_{ml}$  – Diferencia media logarítmica de temperatura ( $^{\circ}C$ )

$\dot{Q}$  – Potencia final 202,96 (KW)

$U$  – Coeficiente total de transferencia de calor ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}K$ )

$A_s$  – Área de transferencia de calor ( $m^2$ )

Según la literatura los valores representativos de los coeficientes totales de transferencia en los intercambiadores de calor para nuestro caso  $U$  varia 10 – 40 ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}K$ ), el cual por condiciones de diseño se supone un valor de 35  $W/m^2 \cdot ^{\circ}K$ . Por lo tanto se procede a calcular el Área de transferencia:

$$A_s = \frac{\dot{Q}}{U \cdot \Delta T_{ml}} \quad (8.57)$$

$$A_s = 14,36m^2$$

El número de tubos  $N_T$  del intercambiador se lo calcula con la ayuda de la siguiente formula:

$$A_s = N_T \cdot \pi \cdot \phi_{ext} \cdot L \quad (8.58)$$

$$N_T = \frac{A_s}{\pi \cdot \phi_{ext} \cdot L} \quad (8.59)$$

$$n_T = 30 \text{ tubos}$$

La distribución del banco de tubos se lo realizara con un arreglo escalonado como se lo muestra a continuación, (Ver Figura 70).

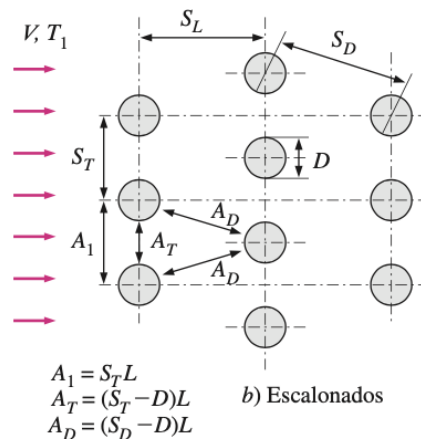


Figura 69.- Configuración del banco de tubos de forma escalonada. Fuente: [25].

La teoría indica que par dicha configuración se tendrá un espaciado de 1,25 veces el diámetro exterior del tubo, por lo tanto:

$$S_T = S_L = 1,25$$

$$S_T = S_L = 1,25 \cdot \phi_{ext}$$

$$S_T = S_L = 5,275 \text{ cm}$$

$S_T$  – Paso Transversal (cm)

$S_L$  – Paso Longitudinal (cm)

$$S_D = \sqrt{S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2} \quad (8.60)$$

$$S_D = 5,89 \text{ cm}$$

$S_D$  – Paso diagonal (cm)

$N_L$  – # de tubos longitudinal (6)

$N_T$  – # de tubos transversal (5)

#### - Aire

La velocidad máxima para una configuración escalonada se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{max} = \frac{S_T}{2(S_D - \phi_{ext})} \cdot V_{aire} \quad (8.61)$$

$$V_{max} = 10 \text{ m/s}$$

$V_{aire}$  – velocidad del aire  $\frac{2m}{s}$

$$R_e = \frac{\rho_{aire} \cdot V_{max} \cdot \phi_{ext}}{\mu_{aire}} \quad (8.62)$$

$R_e = 26399,97$  – FLUJO TURBULENTO

$R_e$  – # de Reynolds

$\mu_{aire}$  – viscosidad dinámica  $1,985 \times 10^{-5} \frac{kg}{m} \cdot s$

$\rho_{aire} = 1,2418 \frac{kg}{m^3}$

A continuación, se calcula el número de Nusselt para flujo cruzado sobre bancos de tubos.

$$N_U = 0,35(S_T/S_L)^{0,2} \cdot R_e^{0,6} \cdot P_r^{0,36} \cdot \left(\frac{P_r}{P_{rs}}\right)^{0,25} \quad (8.63)$$

$P_r$  – Número de Prandtl del aire (0,7215)

$P_{rs}$  – Número de Prandtl a temperatura media aritmética (0,694)

Las propiedades de  $P_{rs}$  se debe evaluar a la temperatura logarítmica media aritmética de las temperaturas de admisión y de salida del fluido, por lo tanto:

$$T_{m,aire} = \frac{T_{c,input} + T_{c,output}}{2} \quad (8.64)$$

$$T_{m,aire} = 40,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{m,gases} = \frac{T_{h,input} + T_{h,output}}{2}$$

$$T_{m,gases} = 488^{\circ}\text{C}$$

$$T_s = \frac{T_{m,aire} + T_{m,gases}}{2}$$

$$T_s = 264,25^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto, el número de Prandtl ( $P_{rs}$ ) se calcula por tablas de transferencia de calor a una temperatura de  $264,25^{\circ}\text{C}$ .

$$N_U = 141,32$$

Con la ayuda de  $N_U$  se procede al calculo del coeficiente de convección del aire con la siguiente formula:

$$h_{air} = \frac{N_U \cdot \phi_{ext}}{K} \quad (8.65)$$

$$h_{air} = 215,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}$$

$h_{air}$  – coeficiente de convección del aire

$K_{aire}$  – conductividad térmica  $2,77 \times 10^{-2} \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{K}$

$\phi_{ext}$  – diámetro exterior Cedula 40

#### - Gases

Para e análisis del número de Reynolds en los gases de combustión se calcula con la ayuda de la ecuación a continuación:

$$Re_{gases} = \frac{4 \cdot \dot{m}_{gases}}{n_T \cdot \pi \cdot \phi_{int} \cdot \mu_{gases}} \quad (8.66)$$

$$Re_{gases} = 1326,16 - \text{FLUJO LAMINAR}$$

$\dot{m}_{gases}$  – Caudal másico de los gases de combustión  $\left(\frac{0,03\text{kg}}{\text{s}}\right)$

$\mu_{gases}$  – viscosidad dinámica  $3,0239 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

El cálculo para el numero de Nusselt de los gases da un resultado de:

$$N_{u\ gases} = 0,023 \cdot (R_{e\ gases})^{0,8} \cdot (P_{r\ gases})^{0,3} \quad (8.67)$$

$$N_{u\ gases} = 6,43$$

$Pr_{gases}$  – Número de Prandtl (0,676)

Finalmente, el cálculo para el coeficiente de convección de los gases de combustión es:

$$h_{gases} = \frac{N_{u\ gases} \cdot K_{gases}}{\phi_{int}} \quad (8.68)$$

$$h_{gases} = 12\ W/m^2 \cdot ^\circ K$$

$K_{gases}$  – coeficiente de conductividad de los gases  $5,91974 \times 10^{-2} \frac{W}{m} \cdot ^\circ K$

#### 8.4.2.1 Coeficiente de transferencia de calor

Para este cálculo se utiliza los coeficientes de convección del aire y gases de combustión, entonces se lo calcula con la siguiente formula:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{air}} + \frac{1}{h_{gases}} \quad (8.69)$$

$$U = 6,83\ W/m^2 \cdot ^\circ K$$

#### 8.4.3 Eficiencia del secadero

$$Q_0 = Q_{aire,r} + Q_{ea} + Q_p \quad (8.70)$$

$$Q_0 = 179,8\ KW$$

$Q_0$  – calor de operación (W)

$Q_{aire,r}$  – calor en el aire de reposición (2,66 W)

$Q_{ea}$  – calor para evaporar el agua (171 KW)

$Q_p$  – calor de perdidas (6138,2874 W)

$$Q_{gc} = m_{gc} \cdot C_p \cdot (T_{h,output} - T_{amb})$$

$$Q_{gc} = 6550,83\ W$$

$Q_{gc}$  – Calor perdido en los gases de combustión

$$Q_s = Q \cdot t_c + Q_0 \cdot t_e + Q_{gc}(t_e - t_c) \quad (8.71)$$

$$Q_s = 6,85 \times 10^6$$

$$Q_{cea} = Q_{ea} \cdot t_e$$

$$Q_{cea} = 3,69 \times 10^6$$

$Q$  – calor total (202,96KW)

$t_c$  – tiempo de calentamiento (14400s)

$t_e$  – tiempo de evaporación (21600s)

$Q_{cea}$  – potencia para evaporar el agua (J)

Finalmente, la eficiencia de cámara resulta ser:

$$\eta = \frac{Q_{ca}}{Q_s} \cdot 100 \quad (8.72)$$

$$\eta = 53\%$$

## 9. Costos de Implementación de Obra Civil y Horno de Secado

En este capítulo se considera el costo de la cámara de secado de ladrillos, tejas y madera, además de los componentes y equipos necesarios para su implementación.

Estos costos se desarrollan mediante preformas y análisis de precios unitarios de todos los elementos, maquinaria y equipos.

### 9.1 Cámara de Secado

#### 9.1.1 Cimentación

Tabla 41. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de la cimentación. Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECI/U</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	
		<b>A</b>		<b>C=A*B</b>	
Columna de Hierro B5	u	4,00	27,78	111,12	
Piedra	m	2,00	30	60,00	
Ripio	m3	1,50	2,8	4,20	
Cemento Guapan	u	10,00	8	80,00	
Arena	m	1,50	35	52,50	
Tabla encofrado 2500x25	u	10,00	3	30,00	
Malla 6000x6000x6	m2	1,00	32	32,00	
<b>PARCIAL N</b>				<b>369,82</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA/U</b>	<b>DISTANCIA</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D=A*B*C</b>
Transporte de vigas, arena, piedra, tablas, cemento	u	1	10,00	1	10,00
<b>PARCIAL O</b>					<b>10,00</b>



Tabla 42. Equipos necesarios para la implementación de la cimentación. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b> A	<b>TARIFA</b> <b>HORA</b> B	<b>RENDIMIENTO</b> <b>HORAS/U</b> C	<b>COSTO</b> <b>TOTAL</b> D=A*B*C
Herramienta menor (Palas, Pico, Barreta, Carretilla, flexómetro, vallejo, nivel)	3%MO			3,14
<b>PARCIAL M</b>				3,14

Tabla 43. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b> A	<b>S.R.H.</b> B	<b>RENDIMIENTO</b> <b>HORAS/U</b>	<b>COSTO</b> <b>TOTAL</b> D=A*B*C
Albañil	1	3,65	17	62,05
Ayudante	1	2,50	17	42,50
				0,00
<b>PARCIAL P</b>				104,55

Tabla 44. Costo final de implementación de la cimentación. Fuente: Autor.

<b>TOTAL, COSTOS DIRECTOS X</b> = (M+N+O+P)	<b>487,51</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00% 97,50
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>585,01</b>

### 9.1.2 Paredes

Tabla 45. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de paredes. Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b> A	<b>PRECI/U</b>	<b>COSTO</b> <b>TOTAL</b> C=A*B
Ladrillo común 270x140x60	u	1445,00	0,25	361,25
Ladrillo refractario 100x200x25	u	712,00	0,75	534,00
Columna de Hierro B5	u	4,00	27,78	111,12
Arena	m	3,00	35	105,00
Ripio	m3	1,50	2,8	4,20

Cemento	u	13,00	8	104,00	
<b>PARCIAL N</b>				<b>1219,57</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte (ladrillo, columna, arena, ripio, cemento)	u	1	10,00	1	10,00
<b>PARCIAL O</b>				<b>10,00</b>	

Tabla 46. Equipos necesarios para la implementación de paredes. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (vailejo, pala, nivel, piola, flexómetro)	3%MO			7,38
<b>PARCIAL M</b>				<b>7,38</b>

Tabla 47. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Albañil	1	3,65	40	146,00
Ayudante	1	2,50	40	100,00
				0,00
<b>PARCIAL P</b>				<b>246,00</b>

Tabla 48. Costo final de implementación de paredes. Fuente: Autor.

<b>TOTAL, COSTOS DIRECTOS</b>	<b>1482,95</b>
<b>X = (M+N+O+P)</b>	
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00% 296,59
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>1779,54</b>

### 9.1.3 Cavidades Ventilación

Tabla 49. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de cavidades. Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>PRECI/U</b>	<b>COSTO TOTAL C=A*B</b>
Cemento	1	1,00	8	8,00
<b>PARCIAL N</b>				<b>8,00</b>

Tabla 50. Equipos necesarios para la implementación de cavidades. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Herramienta menor (Flexómetro, Nivel, Combo, Cinzel, Pala, Vailejo)	3%MO			0,66
<b>PARCIAL M</b>				<b>0,66</b>

Tabla 51. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>S.R.H. B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Albañil	1	3,65	6	21,90
<b>PARCIAL P</b>				<b>21,90</b>

Tabla 52. Costo final de implementación de cavidades. Fuente: Autor.

<b>TOTAL, COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>	<b>30,56</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00% 6,11
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>36,67</b>

### 9.1.4 Puerta

Tabla 53. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de puerta. Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>
-------------------

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Tubo Cuadrado 75x75x2	u	2,00	45,66	91,32
Lana de Vidrio 600x24x2,5	m	4,00	30	120,00
Plancha de Acero Inoxidable 2450x1220x1,5	u	2,00	31	62,00
Tubo Circular 25,4x2	u	1,00	15,42	15,42
Electrodos E-6011	kg	4,00	3,7	14,80
<b>PARCIAL N</b>				<b>303,54</b>

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte (tubos, placha de acero, electrodos)	u	1	10,00	1	10,00
Transporte (lana de vidrio)	u	1	50,00	1	50,00
<b>PARCIAL O</b>					<b>60,00</b>

Tabla 54. Equipos necesarios para la implementación de puerta. Fuente: Autor.

EQUIPO Y HERRAMIENTA				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Flexómetro, Escuadra, Rayador, Amoladora, Tijeras)	3%MO			1,48
Soldadora	1	15,00	3	45,00
<b>PARCIAL M</b>				<b>46,48</b>

Tabla 55. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

MANO DE OBRA				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Técnico Industrial	1	3,65	8	29,20
Ayudante	1	2,50	8	20,00
				0,00
<b>PARCIAL P</b>				<b>49,20</b>

Tabla 56. Costo final de implementación de puerta. Fuente: Autor.

<b>TOTAL, COSTOS DIRECTOS</b>		<b>459,22</b>
<b>X = (M+N+O+P)</b>		
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00%	91,84
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		
<b>VALOR PROPUESTO</b>		<b>551,06</b>

### 9.1.5 Cimentación Techo

Tabla 57. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de cimentación techo Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>PRECI/U</b>	<b>COSTO TOTAL C=A*B</b>	
Columna de hierro B5	u	4,00	20	80,00	
Ripio	m3	1,00	2,8	2,80	
Arena	m	1,00	35	35,00	
Cemento	m	10,00	8	80,00	
Malla 600x600x6	m2	1,00	32	32,00	
Plancha de madera 4000x800x6	m2	3,00	11,54	34,62	
			<b>PARCIAL N</b>	<b>264,42</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA/U B</b>	<b>DISTANCIA C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Transporte (transporte columnas y materiales)	u	1	10,00	1	10,00
			<b>PARCIAL O</b>	<b>10,00</b>	

Tabla 58. Equipos necesarios para la implementación de cimentación techo Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>	
Herramienta menor (Martillo, Clavos, Alambre, Vailejo, Nivel)	3%MO			1,20	
			<b>PARCIAL M</b>	<b>1,20</b>	

Tabla 59. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>S.R.H.</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>HORAS/U</b>	<b>TOTAL</b>
				<b>D=A*B*C</b>
Albañil	1	3,65	6,5	23,73
Ayudante	1	2,50	6,5	16,25
				0,00
			<b>PARCIAL P</b>	<b>39,98</b>

Tabla 60. Costo final de implementación de cimentación techo Fuente: Autor.

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>	
<b>X = (M+N+O+P)</b>	<b>315,59</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00% 63,12
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>378,71</b>

## 9.2 Elementos Complementarios de la Cámara

### 9.2.1 Estantes

Tabla 61. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de estantes. Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECI/U</b>	<b>COSTO</b>	<b>TOTAL</b>
		<b>A</b>			
Tubo Cuadrado 75x75x2	u	8,00	30,47		243,76
Platinas 12x3	u	2,00	2,61		5,22
Perfiles L 40x40x2	u	3,00	15,91		47,73
Rendijas Tol perforado 2000x1000x10	u	16,00	83		1328,00
			<b>PARCIAL N</b>		<b>1624,71</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA/U</b>	<b>DISTANCIA</b>	<b>COSTO</b>
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>TOTAL</b>
					<b>D=A*B*C</b>
Transporte (Tubos, Platinas, Rendijas, Perfiles)	u	1	10,00	1	10,00
			<b>PARCIAL O</b>		<b>10,00</b>

Tabla 62. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>S.R.H. B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Técnico Industrial	1	3,65	7,5	27,38
Ayudante	1	2,50	7,5	18,75
<b>PARCIAL P</b>				<b>46,13</b>

Tabla 63. Equipos necesarios para la implementación de estantes. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Herramienta menor (Rayador, Escuadra, Amoladora, Lima, cepillo metal)	3%MO			1,38
Soldadora	1	15,00	3,5	52,50
<b>PARCIAL M</b>				<b>53,88</b>

Tabla 64. Costo final de implementación de estantes. Fuente: Autor.

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>	<b>1734,72</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00% 346,94
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>2081,66</b>

### 9.2.2 Deflector

Tabla 65. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación deflector Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>PRECIU</b>	<b>COSTO TOTAL C=A*B</b>
Plancha de Aluminio 2220x2440x3	u	2,00	26	52,00
Pernos de Anclaje 23,81x6,35	u	5,00	2,25	11,25
<b>PARCIAL N</b>				<b>63,25</b>
<b>TRANSPORTE</b>				

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte (Plancha de Aluminio)	u	1	10,00	1	10,00
<b>PARCIAL O</b>					<b>10,00</b>

Tabla 66. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Albañil	1	3,65	2	7,30
<b>PARCIAL P</b>				<b>7,30</b>

Tabla 67. Equipos necesarios para la implementación deflector. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U	C COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, Brocas, Rachas, Bidas)	3%MO			0,22
Roladora	1	12,50	1,5	18,75
<b>PARCIAL M</b>				<b>18,97</b>

Tabla 68. Costo final de implementación deflector. Fuente: Autor.

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>	<b>99,52</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00% <b>19,90</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>119,42</b>

### 9.3 Sistema de Calentamiento

#### 9.3.1 Ductos

Tabla 69. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de ductos Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B



Tol Galvanizado (2440x1220x1,4)	u	3,00	58,53	175,59	
Taco Fisher	u	30,00	0,2	6	
Platinas 12x3	u	3,00	2,61	7,83	
Pernos M8X60	u	20,00	0,3	6	
<b>PARCIAL N</b>				<b>195,42</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA/U B</b>	<b>DISTANCIA C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Transporte	u	1	10,00	1	10
<b>PARCIAL O</b>				<b>10</b>	

Tabla 70. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>S.R.H. B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Técnico Industrial	1	3,65	9	32,85
<b>PARCIAL P</b>				<b>32,85</b>

Tabla 71. Equipos necesarios para la implementación de ductos. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Herramienta menor (martillo, taladro, brocas)	3%MO				0,9855
Dobladora	1	2,50	6		15
Cizalla	1	2,50	2		5
<b>PARCIAL M</b>					<b>20,99</b>

Tabla 72. Costo final de implementación de ductos. Fuente: Autor.

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X</b>		<b>259,26</b>
<b>= (M+N+O+P)</b>		
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00%	51,85
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		
<b>VALOR PROPUESTO</b>		<b>311,11</b>

### 9.3.2 Intercambiador

Tabla 73. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de intercambiador Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>PRECIU</b>	<b>COSTO TOTAL C=A*B</b>	
Tubos Cedula 40	u	30,00	19,44	583,2	
Electrodos E-6011	kg	25,00	3,7	92,5	
Plancha Negra (500x500x4)	u	2,00	15	30	
<b>PARCIAL N</b>				<b>705,7</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA/U B</b>	<b>DISTANCIA C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Transporte, tubos, plancha	u	1	10,00	1	10
<b>PARCIAL O</b>				<b>10</b>	

Tabla 74. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>S.R.H. B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Técnico Industrial	1	3,65	11,5	41,98
<b>PARCIAL P</b>				<b>41,975</b>

Tabla 75. Equipos necesarios para la implementación de intercambiador. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Herramienta menor (Rayador, Amoladora, brocas)	3%MO			1,25925
Soldadora	1	15,00	1	15
<b>PARCIAL M</b>				<b>16,26</b>

Tabla 76. Costo final de implementación de intercambiador. Fuente: Autor.

<b>TOTAL, COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>		<b>773,93</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00%	154,79

<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>928,72</b>

### 9.3.3 Chimenea

Tabla 77. Materiales y Transporte correspondientes a la implementación de chimenea. Fuente: Autor.

<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>PRECIU</b>	<b>COSTO TOTAL C=A*B</b>	
Tol Galvanizado (2440x1220x1,4)	u	1,00	58,53	58,53	
<b>PARCIAL N</b>				<b>58,53</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA/U B</b>	<b>DISTANCIA C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Transporte (plancha de Tol)	u	1	10,00	1	10
<b>PARCIAL O</b>				<b>10</b>	

Tabla 78. Costos de mano de obra. Fuente: Autor.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>S.R.H. B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Técnico Industrial	1	3,65	5	18,25
<b>PARCIAL P</b>				<b>18,25</b>

Tabla 79. Equipos necesarios para la implementación de chimenea. Fuente: Autor.

<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Herramienta menor (Rayador, Escuadra, Martillo)	3%MO				0,5475
Soldadora	1	15,00	1		15
Dobladora		2,50	2		5
Cizalla		2,50	2		5
<b>PARCIAL M</b>					<b>25,55</b>

Tabla 80. Costo final de implementación de chimenea. Fuente: Autor.

<b>TOTAL, COSTOS DIRECTOS X</b>		<b>112,33</b>
= (M+N+O+P)		
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>	20,00%	22,47
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		
<b>VALOR PROPUESTO</b>		<b>134,79</b>

#### 9.4 Equipos de la Cámara de Secado

Tabla 81. Costos de los diferentes equipos que conforman la cámara de secado. Fuente: Autor.

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Total (\$)
Ventilador Axial DA-60010L-40	2	600	1200
Ventilas	2	45	90
Extractor Centrifugó ANZOLA BP-250	1	1185	1185
		<b>Total (\$)</b>	<b>2475</b>

#### 9.5 Costos Finales

Tabla 82. Resumen de costos de todos los elementos que conforman la cámara de secado. Fuente: Autor.

<b>Proyecto: Diseño De Una Cámara De Secado Para: Teja, Ladrillo Y Madera</b>					
Nº	Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Cimentación	u	1	585,01	585,01
2	Paredes	u	1	1779,54	1779,54
3	Cavidades	u	1	36,67	36,67
4	Puerta	u	2	551,06	1102,12
5	Cimentación techo	u	1	378,71	378,71
6	Estantes	u	1	2081,66	2081,66
7	Deflector	u	1	119,42	119,42
8	Ductos	u	1	311,11	311,11
9	Intercambiador	u	1	928,72	928,72
10	Chimenea	u	1	134,79	134,79
				<b>TOTAL</b>	<b>7457,75</b>

Tabla 83. Costo final necesario para la implementación de la cámara de secado. Fuente: Autor.

<b>Costo Total</b>	
Costos Finales	7457,75
Costo de Equipos	2475
<b>TOTAL</b>	<b>9932,75 \$</b>

### **10. Resultados**

Los gases de combustión que emanan de los hornos artesanales de cocción de ladrillos y tejas, son altamente contaminantes y perjudiciales para el personal involucrado en la producción y la población aledaña; por lo tanto, con la finalidad de aportar con parte de la posible solución al problema, se ha diseñado una cámara de secado que cuenta con un sistema de extracción y transporte de gases de combustión a través de ductos hacia un banco de tubos, con los cuales mediante ventiladores se provoca el intercambio de calor en el interior de una cámara que cuenta con ciertas características y condiciones que posibilitan el secado de tejas, ladrillos o madera; lo que, en el caso que se llegase a implementar representaría una buena posibilidad de aprovechar la energía emanada de los gases de combustión del horno para el secado de los productos, retener cenizas y sobre todo botar a la atmósfera gases de combustión con temperaturas más bajas que las que se están sacando por la chimenea en la actualidad.

A continuación, se presentan algunas características que fueron desarrollados en el desarrollo de este proyecto y son importantes mencionar:

El deflector es el encargado de la circulación del flujo de aire caliente que se mueve hacia los estantes dentro de la cámara de secado, para aprovechar la mayor cantidad de calor se aplica una recirculación del aire caliente mediante toberas, para evacuar la humedad extraída de los materiales se utiliza ventilas de regulación.

Para evitar pérdidas de calor en el interior de la cámara, se ha diseñado paredes con ladrillo refractario y aislamientos que utilizan lana de vidrio y forros para puertas y cielo falso.

El cálculo de la eficiencia en la cámara de secado es relativamente alto en comparación de otros secaderos industriales, se considera que el resultado se debe fundamentalmente a que se trata de una producción artesanal y el número de productos a secarse es reducido en comparación con un proceso industrial.

En el subcapítulo de implementación del secadero se consideran todos los componentes necesarios para la construcción, los cuales totalizan un valor aproximado de 10.000,00 dólares de los Estados Unidos de América.

## ***11. Conclusiones y Recomendaciones***

### ***11.1 Conclusiones***

El secado por convección forzada es el método más empleado en secaderos de madera ya que los elementos que intervienen en el proceso de acción son identificables y alcanzables debido a que se tienen resultados de aprovechamiento de calor y control de la velocidad del aire, temperatura de los gases, humedades de los materiales a secarse, condiciones iniciales y demás parámetros seleccionados para la implementación del secadero.

Los gases de combustión que emanan las ladrilleras poseen un poder calorífico alto por lo que, si no se los aprovecha, resulta una pérdida de energía elevada; estos gases pueden ser utilizados mediante una recirculación para el diseño de una cámara de secado.

Se utilizarán dispositivos de extracción, conducción e intercambiador de calor debido a que los gases de combustión son altamente nocivos.

El diseño de la cámara de secado depende de las condiciones iniciales de temperatura ambiente, humedad relativa y de los materiales a secar, por lo tanto, se centró en eliminar la humedad de los materiales teniendo en cuenta que la calidad superficial es requerida en las tejas y ladrillos y no en la madera ya que al ser un material de combustión la calidad superficial no tiene importancia.

### ***11.2 Recomendaciones***

El método para el calentamiento del aire dentro de la cámara se lo debe realizar con un intercambiador de calor ya que los gases emanados por el horno son perjudiciales para la salud y no deben estar en contacto directo con los obreros.

Para tener un control del flujo de aire caliente hacia la pila de ladrillos y tejas dentro de la cámara es necesario implementar un deflector el cual lleva este aire de forma directa a los elementos a secarse, la salida directa de este aire caliente representaría una negativa consecuencia para el horno que podría perjudicar su estructura, por lo que siempre será mejor recircular el aire.

Si se requiere un mayor control en cuanto a la humedad presente en la cámara de secado se debe implementar un humedestato a fin de poder mantener las condiciones de humedad requeridas.

## **12. Bibliografía**

- [1] M. J. T. Tenesaca Guamán y J. Rasco Gómez, «Diseño de un modelo de negocios para el sector ladrillero artesanal del Cantón Cuenca, período 2017- 2019.», B.S. thesis, UNIVERSIDAD DE CUENCA, Cuenca - Ecuador, 2017.
- [2] M. I. González Escobar, «Determinar los Perfiles de Temperatura de un Horno para Ladrillos del Sector Chambo.», B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2011.
- [3] J. Sánchez-Molin, J. A. Orozco-Cacique, y L. Peñaloza-Isidro, «Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en Norte de Santander», Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, vol. 26, n.o 1, pp. 59-66, 2014.
- [4] A. F. C. Cabrera Zuñiga y R. A. Faicán Zari, «Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales», B.S. thesis, Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador, 2019.
- [5] M. E. Cepeda Ordoñez y A. A. Robalino Moreno, «Determinación de niveles de CO de ladrilleras y su posible afectación a la formación de carboxihemoglobina en el cantón Chambo.», B.S. thesis, Universidad Nacional de Chimborazo, 2018, Riobamba - Ecuador, 2018.
- [6] Universidad de Cuenca, «Análisis de vulnerabilidad del Cantón Cuenca. Perfil Territorial 2013». Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://isbn.cloud/9789942951168/analisis-de-vulnerabilidad-del-canton-cuenca-perfil-territorial-2013/>
- [7] T. Mendoza Narváez, «Diseño de un sistema de secado artificial para la producción de la ladrillera La Victoria», B.S. thesis, Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia, 2000.
- [8] Y. C. Chapalbay Aguilar y P. G. Reinoso Quiroz, «Diseño y simulacion del funcionamiento de un secador de flujo forzado para madera permeable con capacidad de 43 m<sup>3</sup>/mes utilizando un quemadro con biomasa», B.S. thesis, Escuela Politécnica del Ejército, Quito - Ecuador, 2011.
- [9] R. D. Coyago Toapanta y D. J. Criollo Cajamarca, «Diseño térmico de un horno para secado de madera con una capacidad de 23 metros cúbicos al mes», B.S. thesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador, 2013.

- [10] R. A. Muñoz Alvarado, «Evaluación de la respuesta al secado de madera de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el horno solar de la Unidad de Forestales de Zamorano», B.S. thesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras}, Zamorano, Honduras, 2015.
- [11] ISVE, «Secaderos al vacío modelo EM: introducción», ISVE Wood - Tratamiento madera. <https://www.isvewood.com/es/secaderos-al-vacio-modelo-em-introduccion/> (accedido oct. 31, 2021).
- [12] H. Esquivel-Reyes, V. Sepúlveda-Villarreal, J. Torres-Mella, L. Salvo-Sepúlveda, C. Salinas-Lira, y R. A. Ananías, «Calentamiento por radiofrecuencia para esterilizar *Pinus radiata* como material para embalajes. Parte 1: Tiempo total de tratamiento», *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 20, n.o 4, pp. 543-552, 2018.
- [13] G. V. Barbosa-Cánovas y H. Vega-Mercado, *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza - España: Universidad Autónoma Chapingo, Mexico Biblioteca Central, 2000.
- [14] INEN, Tejas cerámicas, requisitos, vol. CO 02 07-407. 1982, p. 5. Accedido: oct. 31, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_990.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_990.pdf)
- [15] INEN, LADRILLOS CERAMICOS REQUISITOS. 1977, p. 5. Accedido: oct. 31, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>
- [16] J. F. Arbeláez Gómez y V. Ferial Hoyos, «Diseño y construcción de una cámara para el secado de la madera», B.S. thesis, Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia, 2003.
- [17] INEN, DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, vol. INEN 1160. 2012, p. 8. Accedido: oct. 31, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>
- [18] A. M. Inca Cando y M. K. Oñate Moreano, «Diseño y construcción de un secador experimental para sólidos con control de flujo y temperatura de aire.», B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2019.
- [19] F. Ortiz Garcés y G. Ortiz Garcés, «Cálculo y diseño de un cuarto de secado de madera», B.S. thesis, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali - Colombia, 1994.
- [20] Dreamstime, «Termómetro Comun Fotos», 81,950 Termómetro Comun Fotos - Libres de Derechos y Gratuitas de Dreamstime, 2020. <https://es.dreamstime.com/photos-images/termometro-comun.html> (accedido oct. 31, 2021).



- [21] ESAII EPSEVG, «ESAIKI», Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (ESAII), 2020. [http://147.83.158.184/esaiiki/index.php/P%C3%A1gina\\_principal](http://147.83.158.184/esaiiki/index.php/P%C3%A1gina_principal) (accedido oct. 31, 2021).
- [22] Y. A. Cengel y M. A. Boles, Termodinámica, Séptima Edición. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2012. Accedido: nov. 22, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGRIUAN.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=027475>
- [23] Código Ecuatoriano de la Construcción, «Requisitos generales de diseño: Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente», CPE INEN, vol. 5, 2001.
- [24] S. A. Doerner Hitschefeld, «Proyecto cámara de secado para madera elaborada», B.S. thesis, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2009.
- [25] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, Transferencia de Calor y Masa, Fundamentos y aplicaciones, 4ta Edición. México DF.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2011. Accedido: jun. 15, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.passeidireto.com/arquivo/69295766/transferencia-de-calor-y-masa-4-ta-edicion-yunus-a-cengel-afshin-j-ghajar/2>
- [26] Laboratorio de Físico química I, «Determinación de peso molecular y densidad del aire», Laboratorio de Físico química I, México, 2, 2015.
- [27] L. A. J. Jiménez Medina y P. A. S. Serna Velasquez, «DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR DE UN VAPOR CONDENSADO POR EL MÉTODO DE DUMAS», Universidad de Antioquia, vol. 1, n.º 1, p. 9, ago. 2017.
- [28] L. M. Atarés Huerta, «Calorimetría», Universidad Politécnica de Valencia, 2010.
- [29] R. L. Mott, Mecanica de Fluidos, Sexta edición. Prentice Hall, 2006.
- [30] R. K. Rajput, Thermal engineering, Déima edición. Laxmi Publications, 2010.
- [31] Burton, «Refratechnik - Vagoneta», 2020. <https://www.refra.com/es/Tejas-Vagoneta/> (accedido oct. 31, 2021).
- [32] J. S. Perdomo Arcos y E. A. Rojas Castillos, «Implementación Banco de prueba tipo túnel de viento para el estudio de la curva caudal vs presión en ventilador centrífugo en la Universidad Antonio Nariño sede Neiva», B.S. thesis, Universidad Antonio Nariño, Neiva Buganviles, Colombia, 2021.

- [33] A. W. Flores Morales, «Instalación de ventilación de laboratorios con extracción de gases», B.S. thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2011.
- [34] E. Galán y P. Aparicio, «Materias primas para la industria cerámica», Seminarios de la sociedad española de mineralogía, vol. 2, pp. 31-49, 2006.
- [35] D. A. Benalcázar Chapi, «Análisis de las propiedades mecánicas de ladrillos prensados elaborados con arcilla y lodos residuales textiles, cumpliendo la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3049)», B.S. thesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador, 2020.
- [36] M. Z. Jacobson, W. G. Colella, y D. M. Golden, «Cleaning the air and improving health with hydrogen fuel-cell vehicles», Science, vol. 308, n.o 5730, pp. 1901-1905, 2005.
- [37] M. Oyarzún, «Contaminación aérea y sus efectos en la salud», Revista chilena de enfermedades respiratorias, vol. 26, n.o 1, pp. 16-25, 2010.
- [38] X. E. Castells, Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales: Reciclaje de residuos industriales, Primera Edición. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2012.
- [39] JEP, «El tiempo en Cuenca (Azúay, Ecuador)», 2021. <http://tiempoytemperatura.es/ecuador/cuenca.html#por-horas>. (accedido oct. 31, 2021).
- [40] Herramientas de Ingeniería, «Diagrama psicrométrico online y cálculo de las propiedades del aire húmedo», 2020. <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html> (accedido oct. 31, 2021).
- [41] R. L. Mott, Mecánica de fluidos aplicada, Cuarta Edición. España: Pearson Educación, 1996.
- [42] Airprotek, «Productos de ventilación», 2020. <http://airprotek.com.ec/> (accedido oct. 31, 2021).

### ***13. ANEXOS***

A continuación, se presentan en anexos algunos detalles utilizados en el cuerpo principal de este documento, mismo que está organizada de la siguiente manera:

Anexo A: Humedad de los Materiales.

Anexo B: Proceso de Obtención de Humedad.

Anexo C: Obtención de Temperaturas del Horno de Cocción.

Anexo D: Temperaturas Horno de Cocción.

Anexo E: Carta Psicométrica.

Anexo F: Diagrama de Procesos.

Anexo G: Planos Cámara de Secado.

**Anexo A**

*Tabla 84 .- Humedad por método de estufa de los ladrillos recién extruidos.*

Tipo	No. Pieza	No. Muestra	Extremos/Medios	Peso de envase contenedor	Peso muestra	PESO 1		PESO 2	PESO 3	PESO 4	% HUMEDAD
						Hora	10:00	12:52	15:00	17:00	
Ladrillo Hueco	1	1	Medios	49,295	20,48	65,55		65,52	65,52	65,52	20,78%
Ladrillo Hueco	1	2	Medios	49,6	20,52	65,81		65,84	65,82	65,83	20,91%
Ladrillo Hueco	1	1	Extremos	50,11	20,02	66,09		66,12	66,12	66,12	20,03%
Ladrillo Hueco	1	2	Extremos	47,755	20,22	63,78		63,84	63,81	63,84	20,45%
Ladrillo Hueco	2	1	Medios	48,835	20,01	64,65		64,67	64,68	64,69	20,76%
Ladrillo Hueco	2	2	Medios	46,92	20,1	62,87		62,87	62,88	62,88	20,60%
Ladrillo Hueco	2	1	Extremos	56,05	20,02	72,02		72,07	72,06	72,07	19,98%
Ladrillo Hueco	2	2	Extremos	50,585	20,54	67		67,02	67	67,01	20,03%
Teja Redonda	2	1	Medios	48,97	20,38	65,43		65,48	65,48	65,48	18,99%
Teja Redonda	2	2	Medios	47,51	20,93	64,22		64,27	64,26	64,28	19,88%
Teja Redonda	2	1	Extremos	50,74	20,36	66,91		66,97	66,97	66,97	20,28%
Teja Redonda	2	2	Extremos	49,705	20,29	65,95		66,02	66,01	66,02	19,59%
Teja Redonda	1	1	Medios	49,64	20,04	65,61		65,63	65,62	65,63	20,21%
Teja Redonda	1	1	Extremos	47,05	20,55	63,24		63,31	63,29	63,31	20,88%
Teja Cuadrada	1	1	Medios	84,38	20,52	100,32		100,33	100,32	100,33	22,27%
Teja Cuadrada	1	2	Medios	104,49	20,25	120,25		120,29	120,25	120,25	22,17%
Teja Cuadrada	1	1	Extremos	49,735	20,86	65,89		65,88	65,89	65,89	22,56%
Teja Cuadrada	1	2	Extremos	63,6	20,34	79,46		79,48	79,44	79,43	22,17%

*Tabla 85.- Humedad por método de estufa de los ladrillos para la cocción.*

Tipo	No. Pieza	No. Muestra	Extremos/Medios	Peso de envase contenedor	Peso muestra	PESO 1	PESO 2	PESO 3	% HUMEDAD
						8:30	12:52	15:00	
Ladrillo Hueco	1	1	Medios	50,73	20,31	69,7	69,7	69,7	6,60%
Ladrillo Hueco	1	1	Extremos	47,06	20,23	66	66	66	6,38%
Ladrillo Hueco	1	2	Medios	69,99	20,36	89,06	89,07	89,07	6,29%
Ladrillo Hueco	1	2	Extremos	49,09	20,32	68,14	68,15	68,15	6,20%
Ladrillo Hueco	2	1	Medios	47,17	20,22	66,15	66,15	66,15	6,13%
Ladrillo Hueco	2	1	Extremos	54,14	20,51	73,42	73,43	73,43	5,95%
Ladrillo Hueco	2	2	Medios	49,69	20,31	68,74	68,74	68,74	6,20%
Ladrillo Hueco	2	2	Extremos	49,68	20,02	68,5	68,5	68,5	5,99%
Teja Circular	1	1	Medios	51,28	20,27	70,68	70,68	70,68	4,29%
Teja Circular	1	1	Extremos	50,22	20,1	69,45	69,45	69,45	4,33%
Teja Circular	1	2	Medios	49,81	20,14	69,05	69,06	69,06	4,42%
Teja Circular	1	2	Extremos	47,02	20,03	66,17	66,17	66,17	4,39%
Teja Circular	2	1	Medios	53,64	20,31	73,07	73,06	73,06	4,38%
Teja Circular	2	1	Extremos	106,74	20,63	126,44	126,44	126,44	4,51%
Teja Circular	2	2	Medios	58,08	20,15	77,35	77,33	77,33	4,47%
Teja Circular	2	2	Extremos	51,56	20,31	70,95	70,94	70,94	4,58%
Teja Cuadrada	1	1	Medios	50,85	20,15	70,09	70,1	70,1	4,47%
Teja Cuadrada	1	1	Extremos	44,92	20,46	64,49	64,48	64,48	4,40%

Teja Cuadrada	1	2	Medios	53,94	20,15	73,2	73,2	73,2	4,42%
Teja Cuadrada	1	2	Extremos	56	20,56	75,66	75,67	75,67	4,33%
Teja Cuadrada	2	1	Medios	104,59	20,11	123,82	123,85	123,81	4,43%
Teja Cuadrada	2	1	Extremos	103,37	20,27	122,72	122,73	122,71	4,59%
Teja Cuadrada	2	2	Medios	101,75	20,24	121,1	121,1	121,1	4,40%

## Anexo B

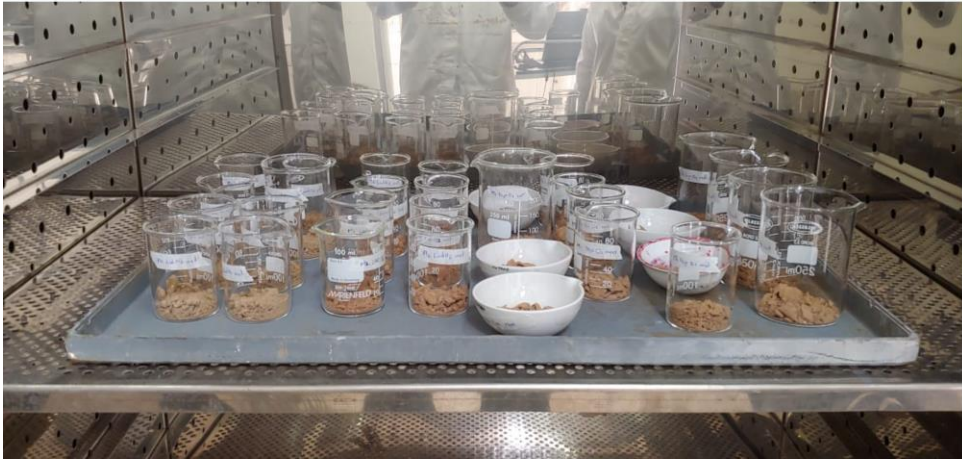


Figura 70. Materiales para la obtención de la humedad en el horno de estufa. Fuente: Autor.



Figura 71. Preparación de la probeta del ladrillo hueco. Fuente: Autor.



Figura 72. Preparación de la teja. Fuente: Autor.



*Figura. 73. Obtención de la humedad de ladrillo hueco y teja mediante el método directo. Fuente: Autor.*



## Anexo C



Figura 74. Termocupla tipo K colocada en la pared lateral de la Cámara de combustión del horno.

Fuente: Autor.



Figura 75. Equipo de TRABAJO JUMO. Fuente: Autor.



Figura 76. Termocuplas ubicadas en la cámara de combustión del horno de cocción de ladrillos. Fuente:

Autor.

Tabla 86. Datos de la Cámara de combustión de la termocupla 1 (AI01).

Hora	Hora	AI01
Fecha/d/M/yyyy	Hora/H:mm:ss	Valor/°C
2/2/2021	4:53:09	18,9
2/2/2021	5:09:34	18,8
2/2/2021	5:20:00	18,9
2/2/2021	5:40:00	18,8
2/2/2021	6:00:00	18,6
2/2/2021	9:52:14	28,5
2/2/2021	10:00:00	51,9
2/2/2021	10:20:00	191,6
2/2/2021	10:40:00	434
2/2/2021	11:00:00	647,3
2/2/2021	11:20:00	624,6
2/2/2021	11:40:00	609,3
2/2/2021	12:00:00	667,3
2/2/2021	12:20:00	719
2/2/2021	12:40:00	818,9
2/2/2021	13:00:00	854,7
2/2/2021	13:20:00	734,5
2/2/2021	13:40:00	736,8
2/2/2021	14:00:00	825,2
2/2/2021	14:20:00	839,9
2/2/2021	14:40:00	824,6
2/2/2021	15:00:00	867,8
2/2/2021	15:20:00	898
2/2/2021	15:40:00	851,2
2/2/2021	16:00:00	889,3
2/2/2021	16:20:00	892,2
2/2/2021	16:40:00	912,8
2/2/2021	17:00:00	960,7
2/2/2021	17:20:00	952,1
2/2/2021	17:40:00	954,2
2/2/2021	18:00:00	968,2
2/2/2021	18:20:00	943,5
2/2/2021	18:40:00	1006,5

2/2/2021	19:00:00	968,6
2/2/2021	19:20:00	1027,8
2/2/2021	19:40:00	1024,9
2/2/2021	20:00:00	1026,4
2/2/2021	20:20:00	968,6
2/2/2021	20:40:00	917,9
2/2/2021	21:00:00	1006,2
2/2/2021	21:20:00	946,6
2/2/2021	21:40:00	924,2
2/2/2021	22:00:00	919,9
2/2/2021	22:20:00	891,9

## Anexo D

*Tabla 87. Temperatura en la chimenea representada por R1.*

Tiempo (min)	Temperaturas (C)				
	R1	R2	R3	R4	R5
0					
20	41,2	24,34	26,51	166,13	79,123
40	59,2	32,22	34,2	240,75	114,51
60	70,9	32,57	42,23	283,24	131,8
80	80,6	35,98	52,51	351,16	152,6
100	86,5	34,66	62,92	287,9	146,57
120	102,7	51,548	70,442	351,45	175,26
140	113,8	56,064	80,704	427,9	198,46
160	135,2	60,2	91,07	513,53	218,76
180	147,8	73,83	106,92	555,94	247,03
200	163,9	71,84	124,23	650,61	285,49
220	172,9	79,42	140,24	685,10	323,10
240	176,2	72,16	162,06	748,7	328,67
260	199	86,88	183,72	813,29	359,66
280	204,9	97,661	202,98	876,49	395,66
300	222,6	88,67	227,60	776,22	398,78
320	211,2	101,99	246,93	834,48	422,24
340	223,7	116,42	258,02	832,86	482,74
360	244,9	112,71	280,75	883,59	474,37
380	243,6	121,37	335,95	905,75	501,54
400	260,3	132,32	419,19	953,86	528,73
420	264,2	146,03	458,23	901	571,99
440	292,9	135,43	500,51	1000	542,26
460	324,6	141,69	523,64	987,13	563,60
480	309,5	174,81	523,56	922,01	659,48
500	301,1	176,38	553,25	1019,3	705,93
520	263,1	182,29	576,97	1008,5	739,79
540	250,3	182,03	607,5	1063,5	745,84
560	245,5	176	671,21	974,31	747,55
580	249,7	176,39	706,15	1069,5	740,69
600	271,3	171,75	727,11	1092,3	763,06
620	237	165,73	738,3	970,79	774,36

# Anexo E

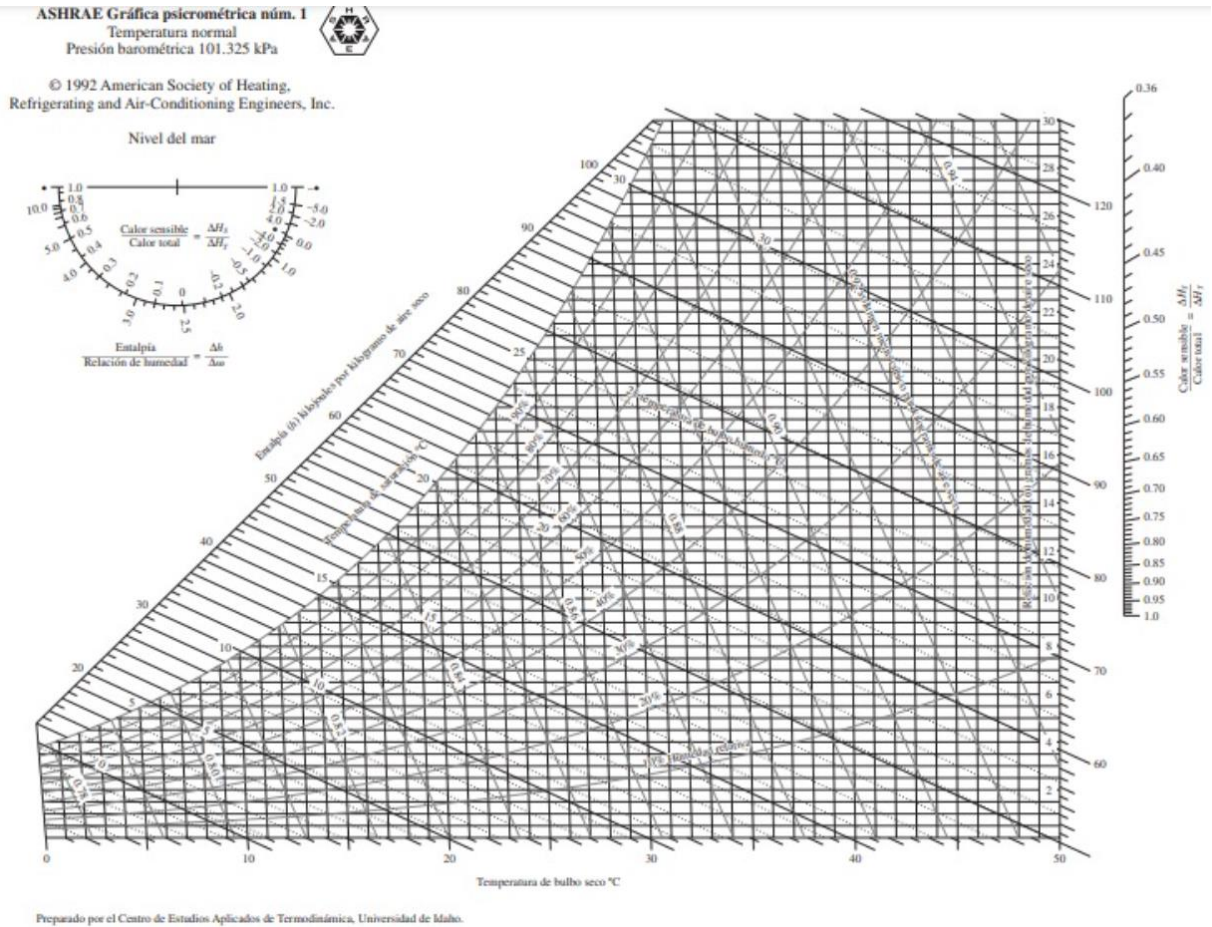
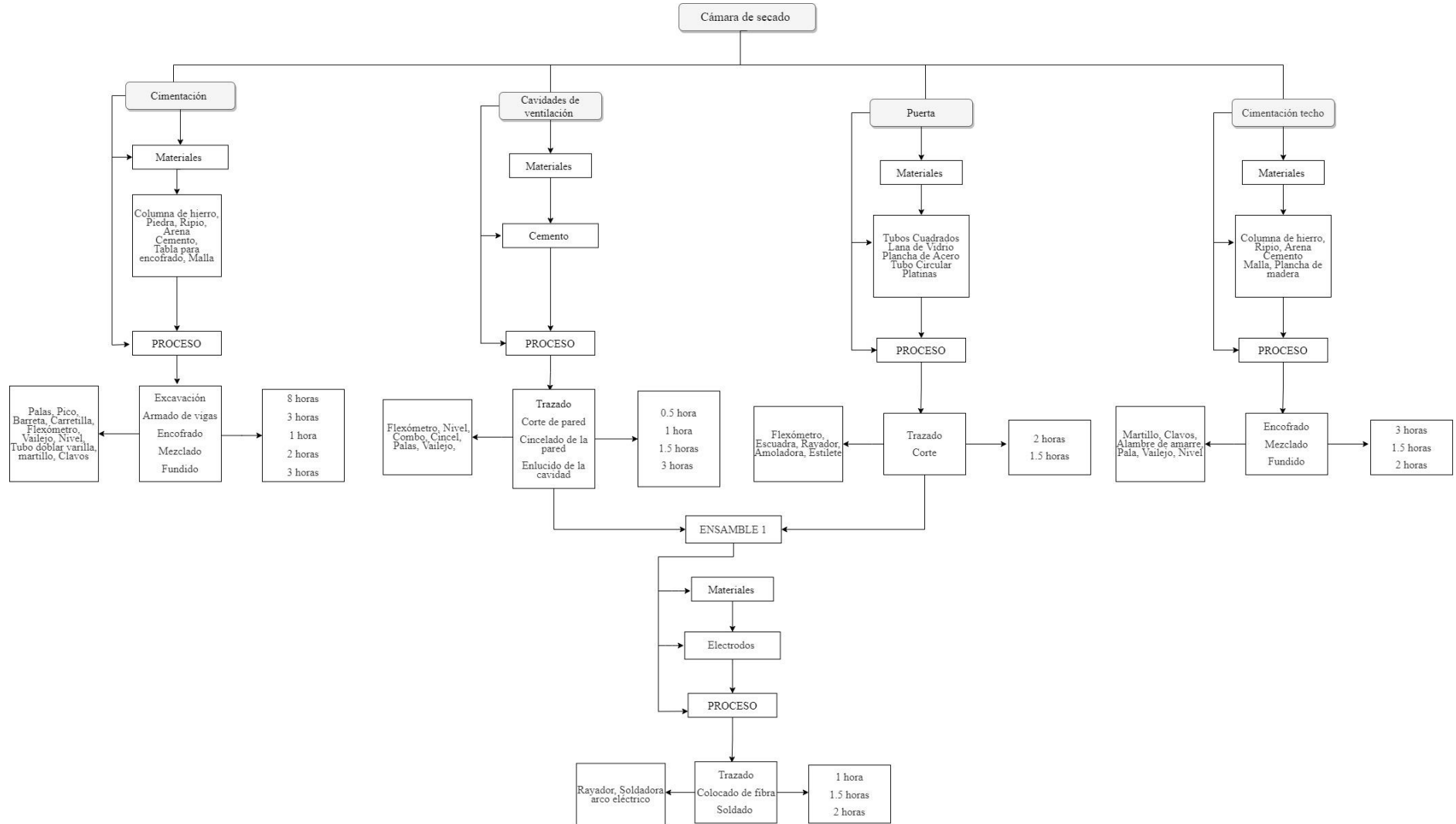
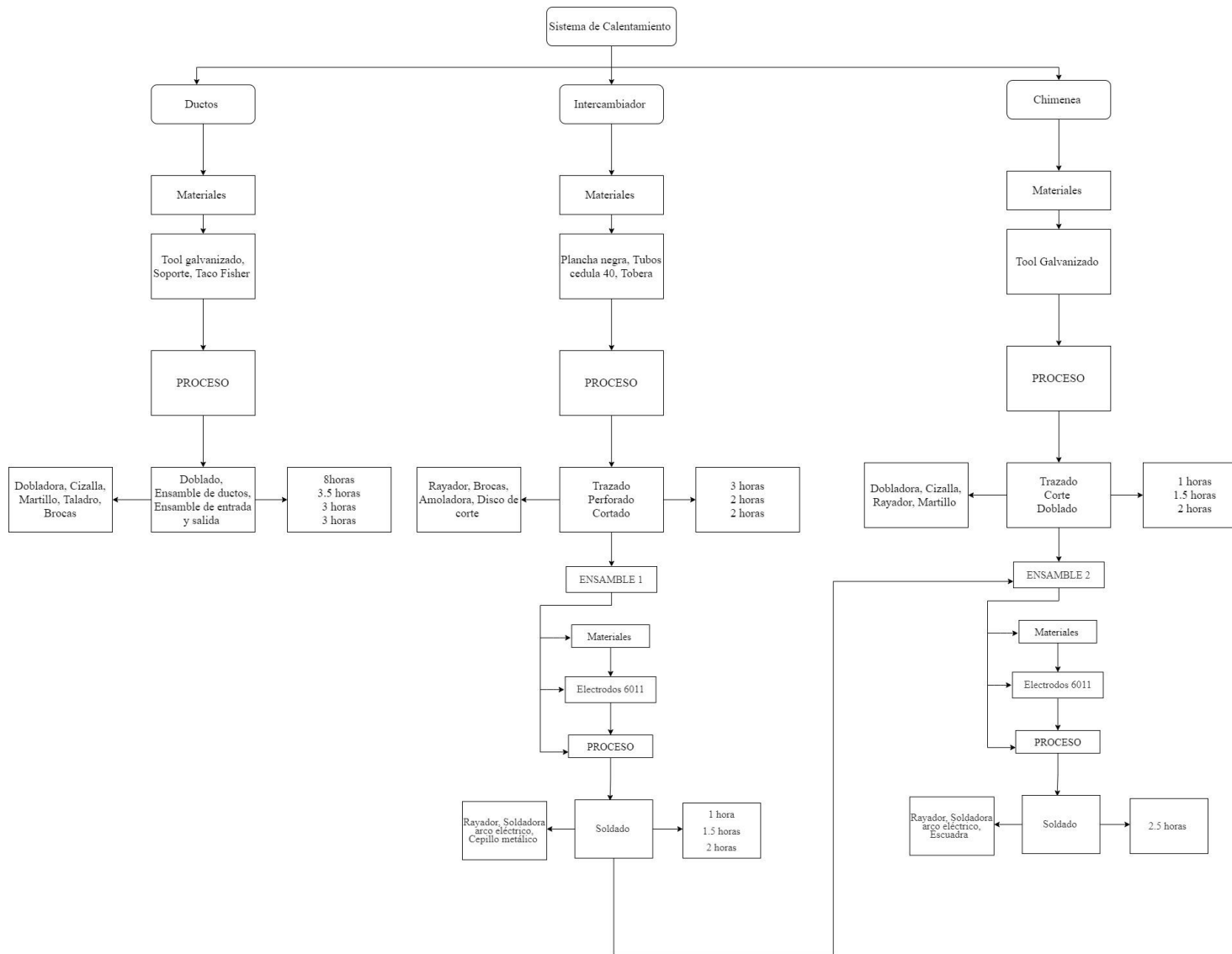


Figura 77. Gráfica psicrométrica.

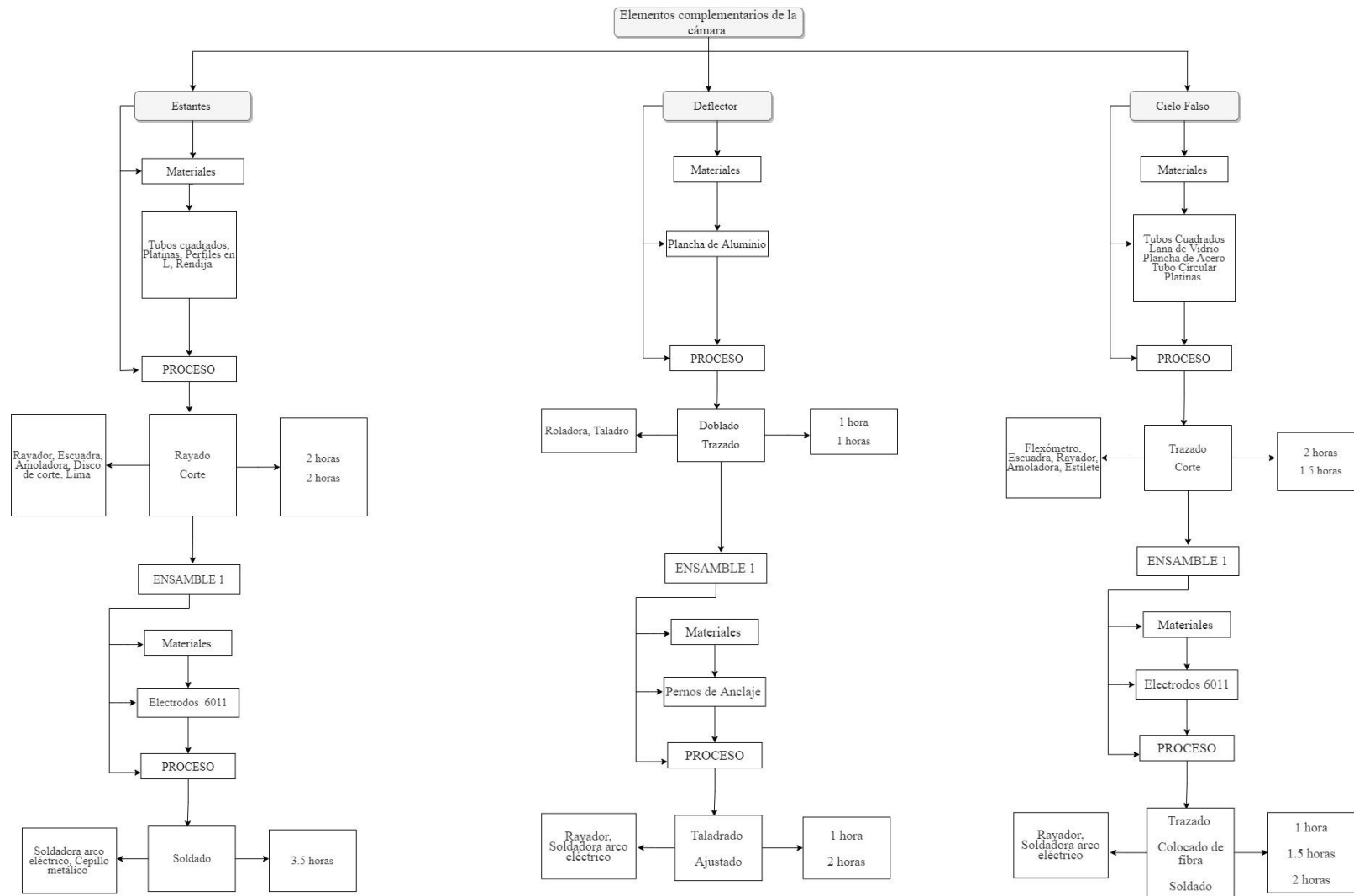


## Anexo F

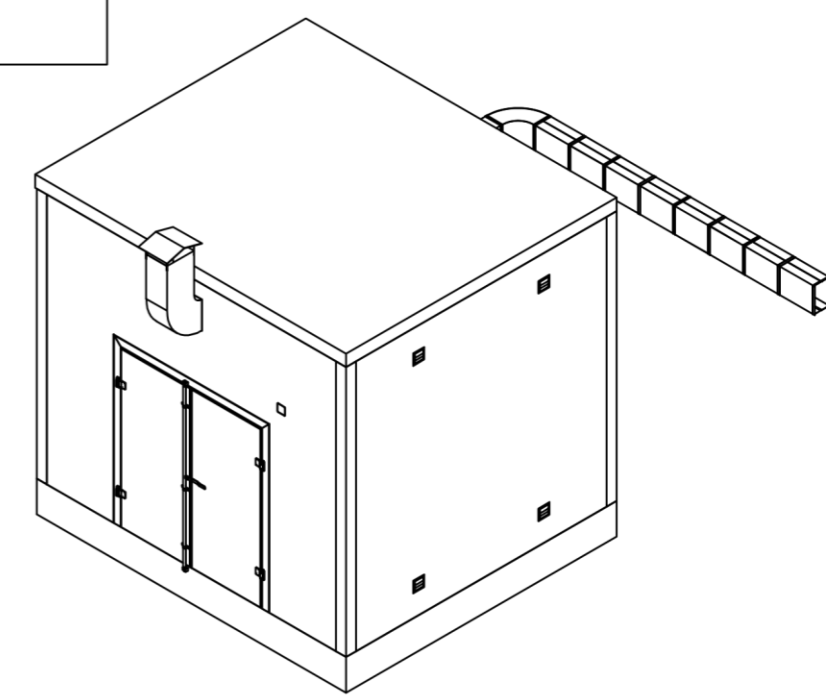
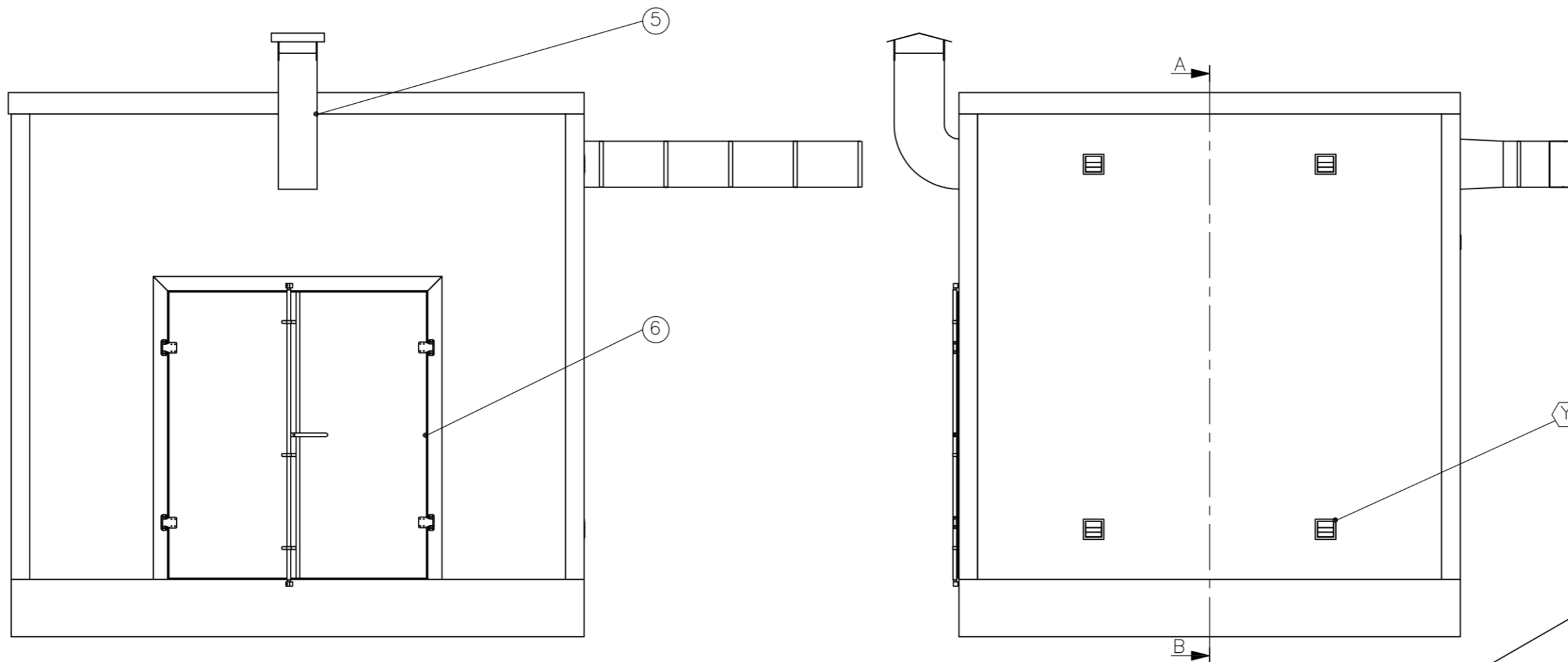




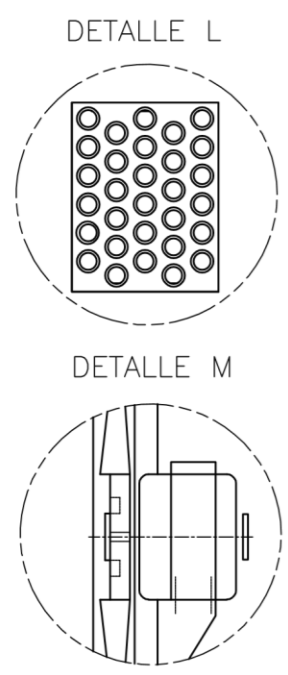
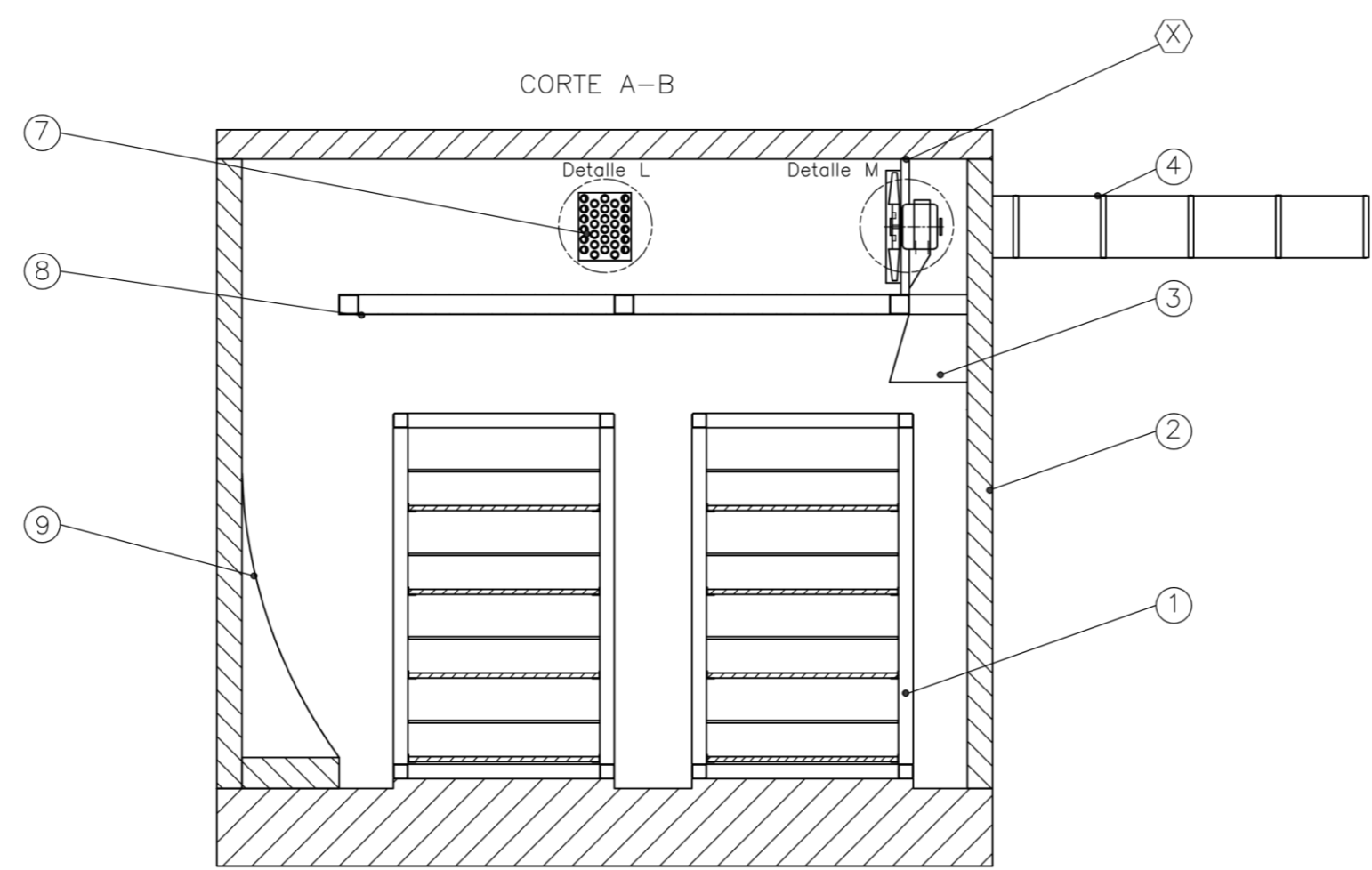




## **Anexo G**

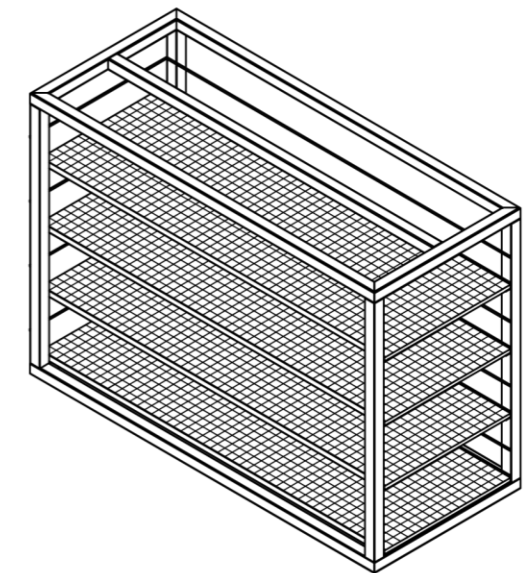
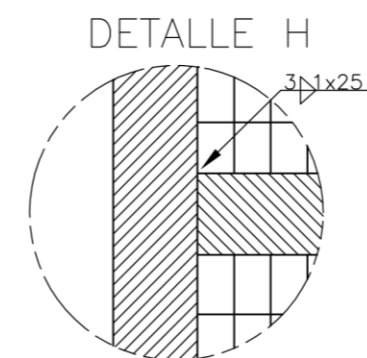
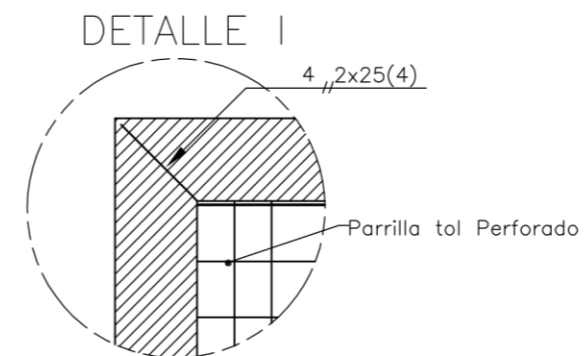
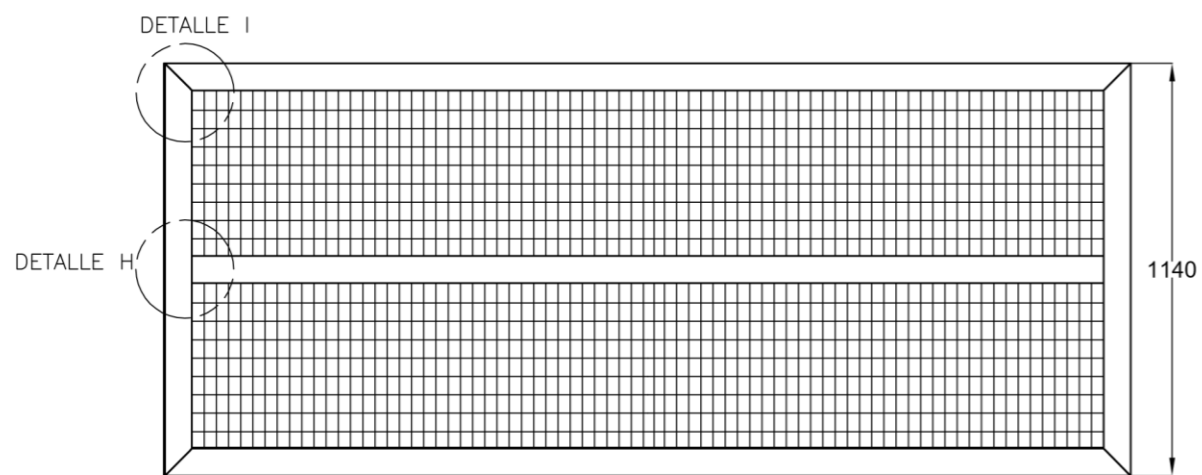
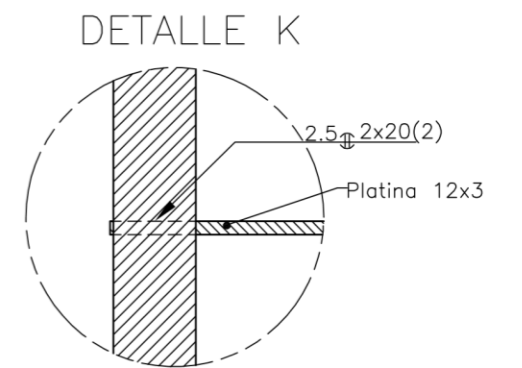
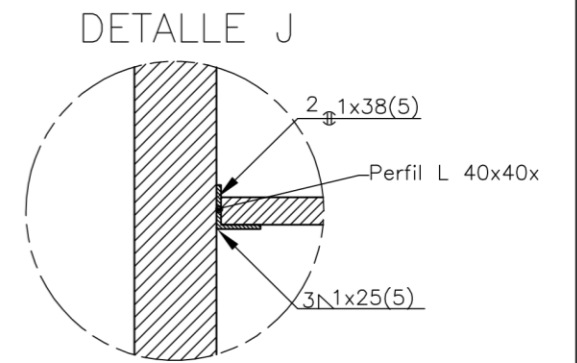
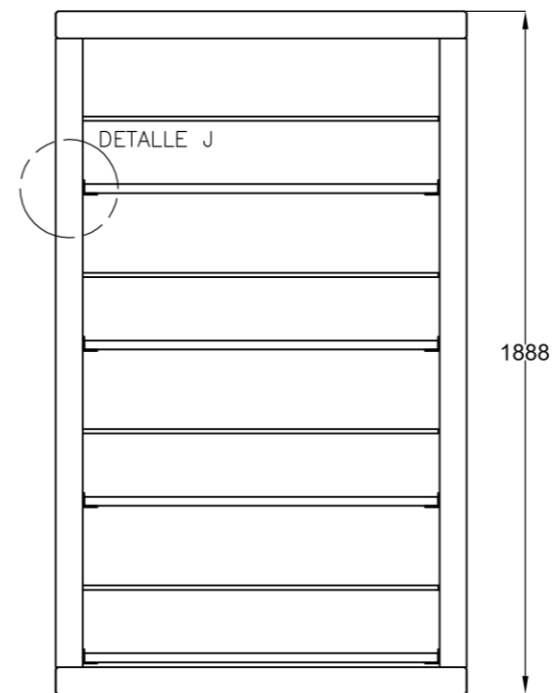
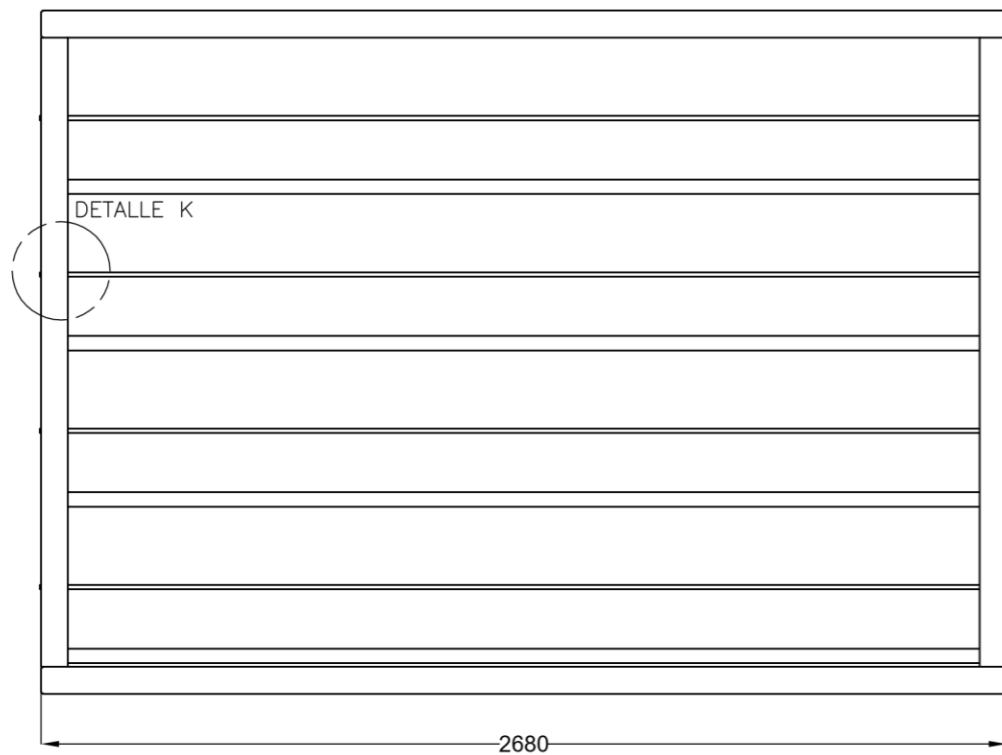



CORTE A-B



Y	1	Ventila			
X	1	Ventilador Axial Anzola BP			
9	1	Deflector	ASTM-1200	Aluminio	2220x2440x3
8	1	Cielo falso	INEN 115	Acero Galvan.	2240x1220x1,5
7	1	Intercambiador	AISI P20	ASTM A53	1/2 x 3/4
6	1	Puerta	AISI 304	AISI 304	2240x1220x1,5
5	1	Chimenea	INEN 115	Tol Galvaniz.	2240x1220x1,4
4	1	Ducto de gases	INEN 115	Tol Galvaniz.	2240x1220x1,4
3	2	Toberas de recirculación	INEN 115	Tol Galvaniz.	2240x1220x1,4
2	4	Paredes		Ladrillo	270x140x60
1	2	Estantes	AISI 304	Acero Inoxi.	75x75x2
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha		
Dibujado		Ortiz, Aucapina	05/05/2021	Laboratorios Área Mecánica SEDE	
Comprobado		Ing. Nelson Jara. Phd		MATRIZ CUENCA	
Proyección					Escala: 1:1
CÁMARA DE SECADO LADRILLO-TEJA-MADERA					Lámina N° 01/01





1	2	Estante	AISI 304	Acero Inoxidable	75x75x2
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	Autores	Fecha	Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA	 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b>	Escala: 1:1
Comprobado		27/04/2021			
Proyección	ESTANTERIA				Lámina N° 01/02

A6  
148x105

A5  
210x148

A4  
297x210

A3  
420x297

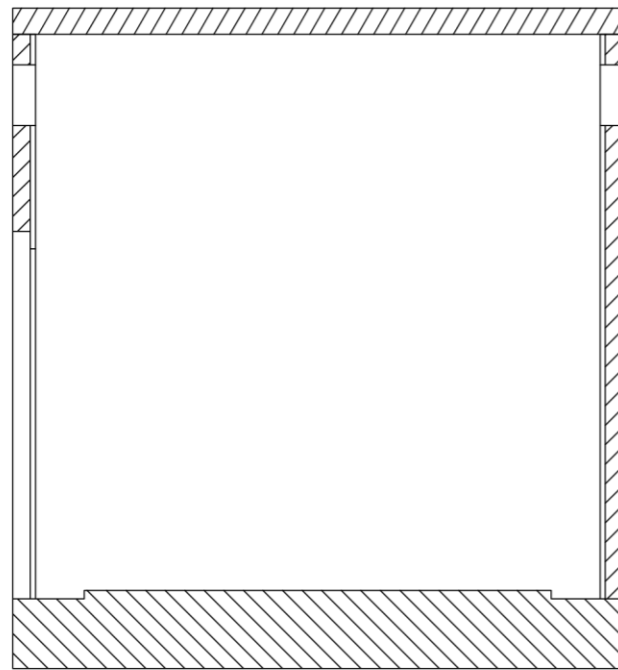
A2  
594x420

A1  
841x594

A0  
1189x841

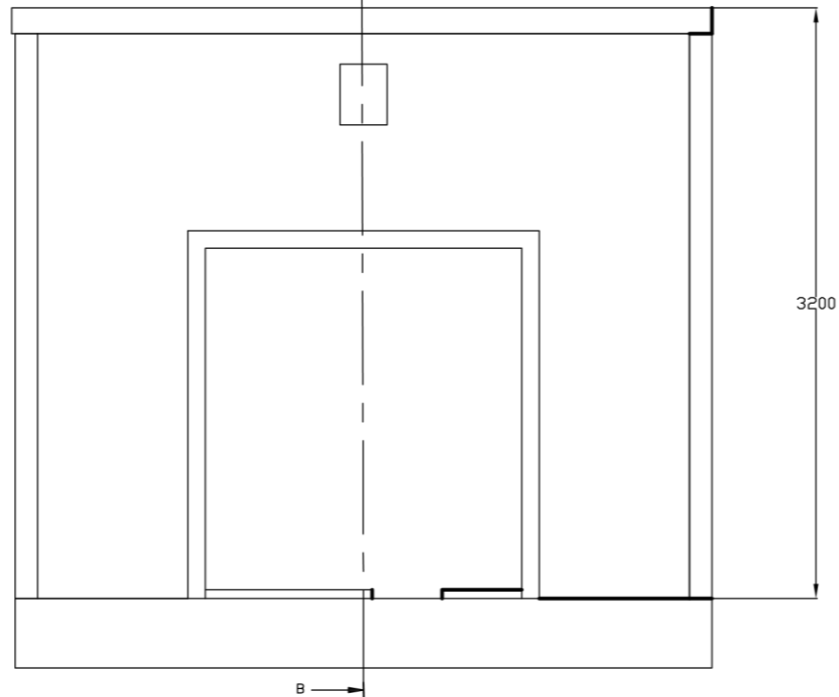
Hoja de enseñanza Técnica

CORTE A-B

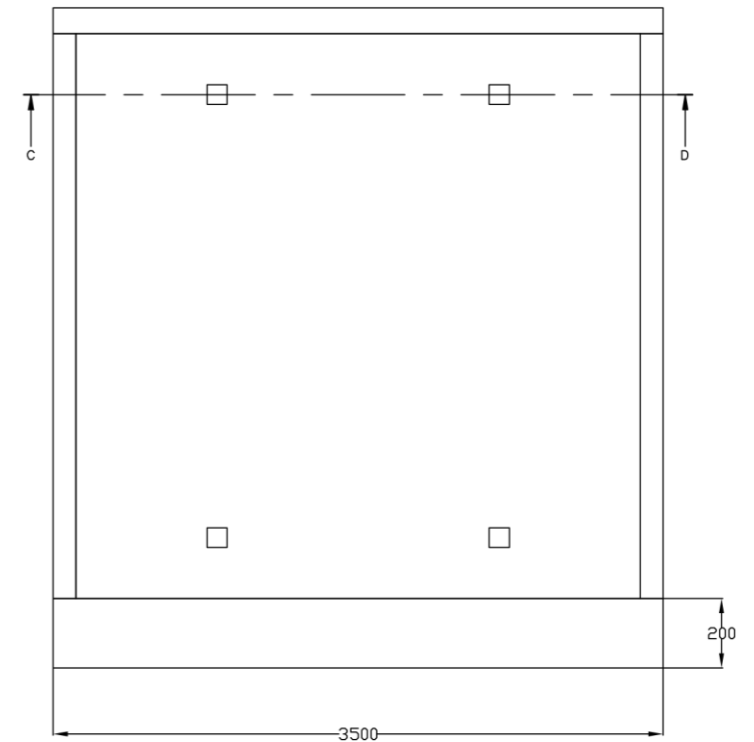


A

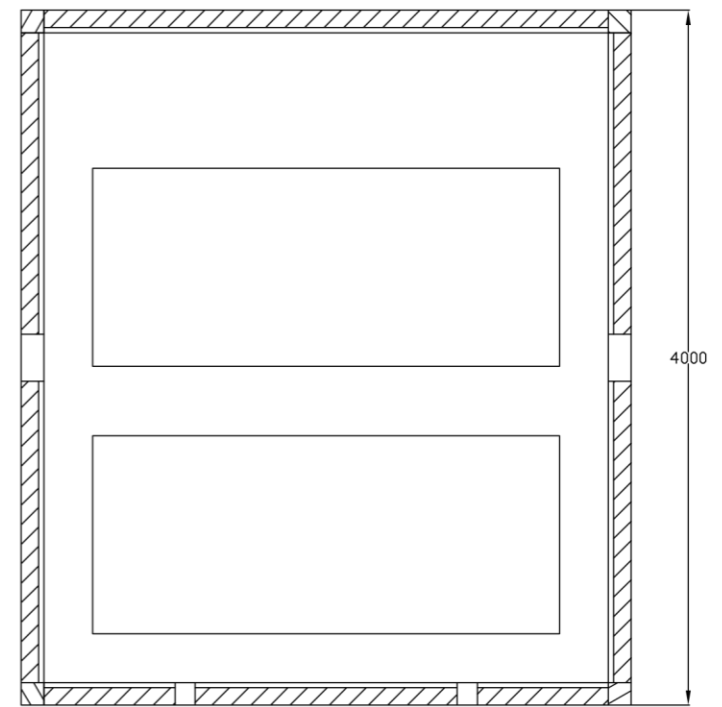
B



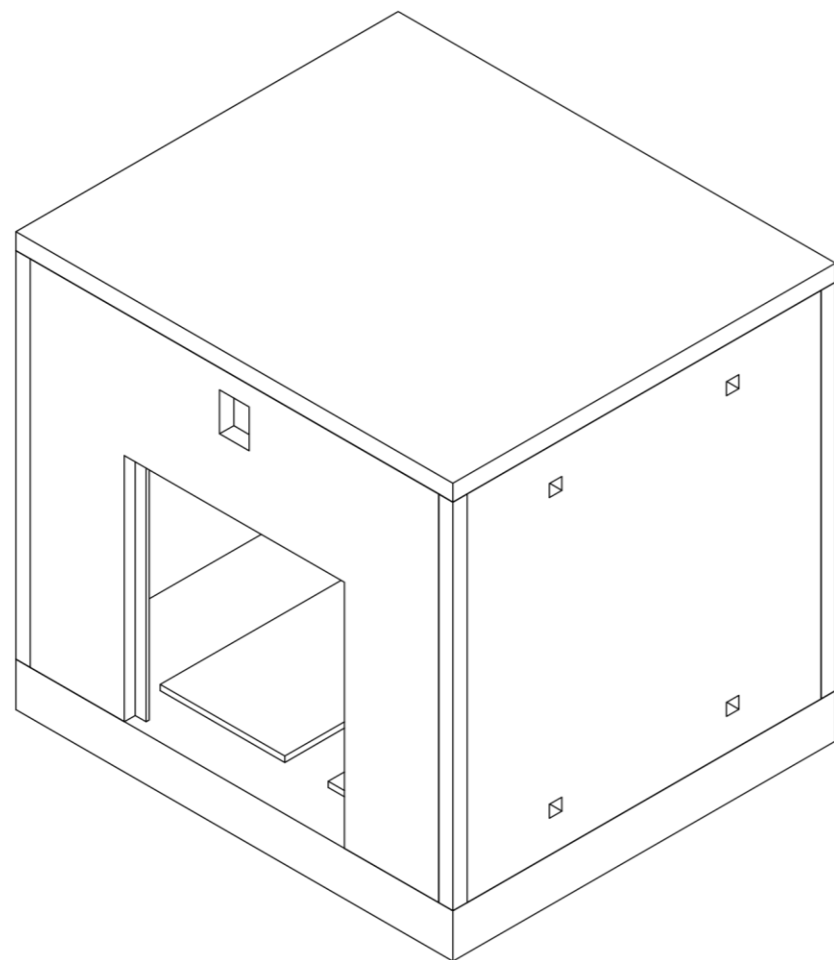
3200



CORTE C-D



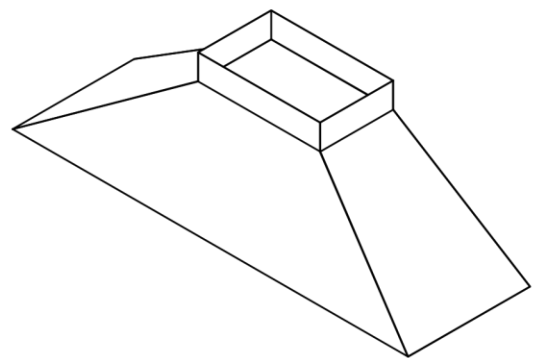
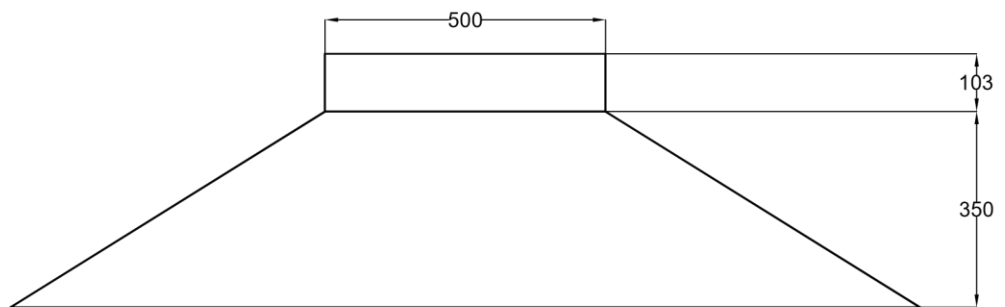
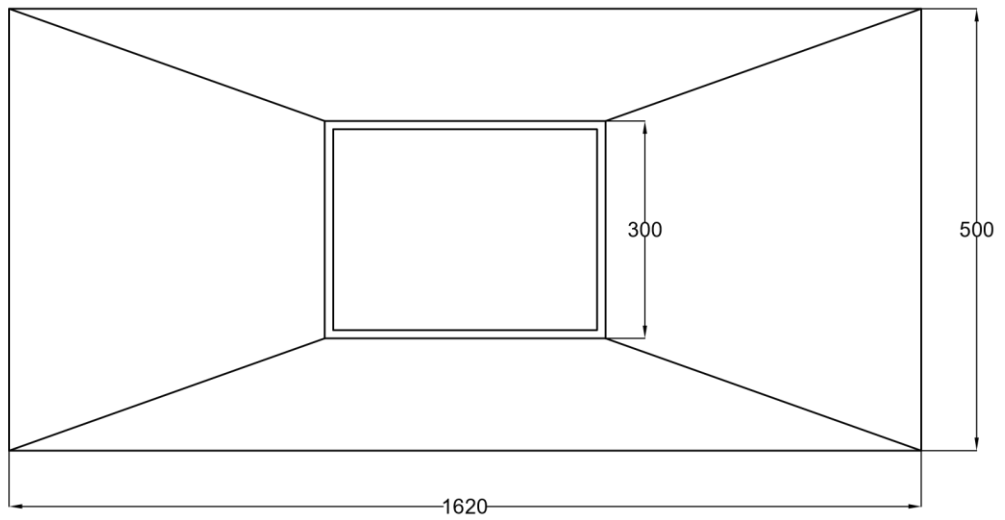
4000


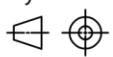


2	4	Paredes	NTE INEN 24-15	Ladrillo Común	270X140X60
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	Nombre	Fecha	Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Autores	10/04/2021			
Proyección	Paredes				Escala: 1:2.5
					Lámina N° 01/03

A6  
148x105

A5  
210x148



1	2	Tobera de recirculación		NTE INEN 115	Tol Galvanizado	2240x1120x1,4	
Pos.	Cant.	Denominación		Norma	Material	Dim. en bruto	
		Nombre	Fecha	Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA	 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b>	Escala: 1:1 124 Lámina N° 01/04	
Dibujado	Autores		01/05/2021				
Comprobado							
Proyección		TOBERA DE RECIRCULACIÓN					
							

A6  
148x105

A5  
210x148

A4  
297x210

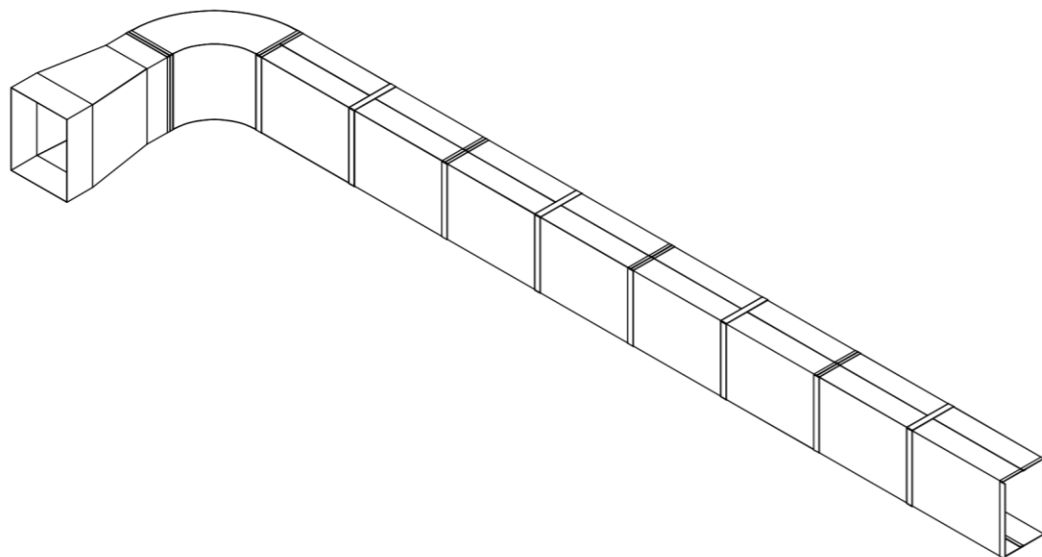
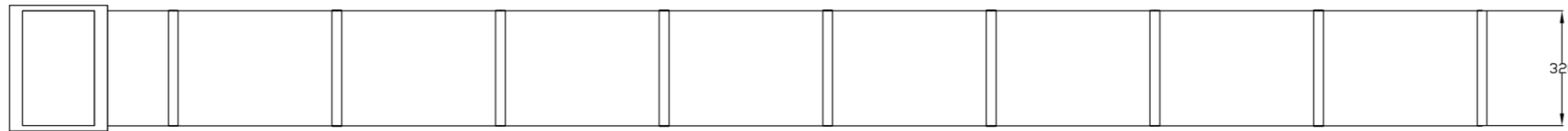
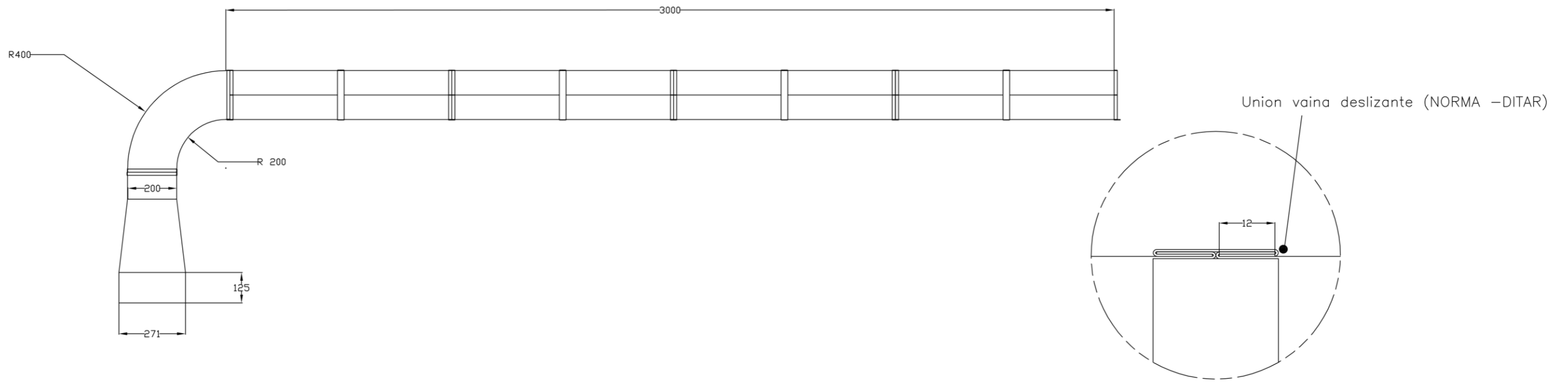
A3  
420x297

A2  
594x420

A1  
841x594

A0  
1189x841

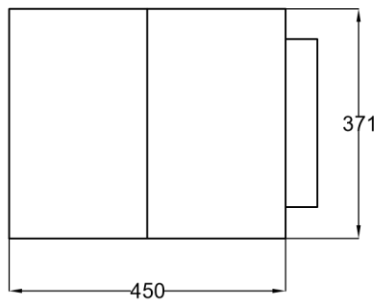
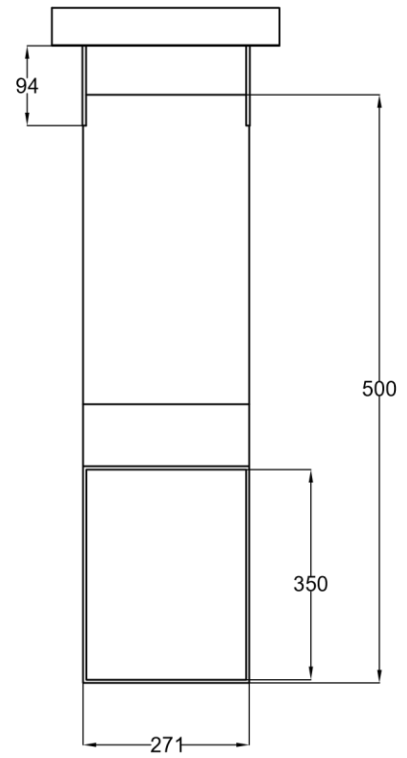
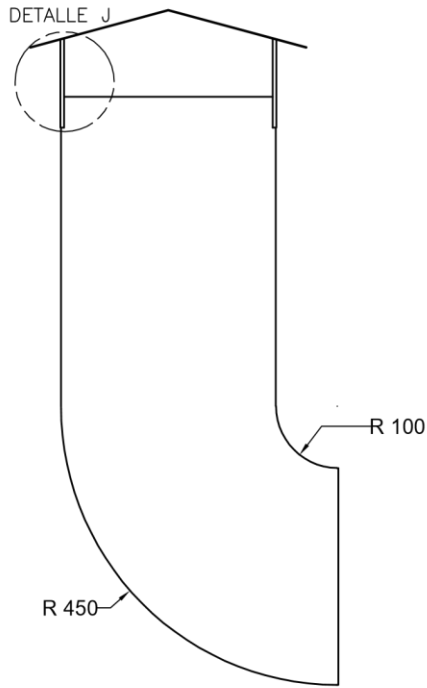
Hoja de enseñanza Técnica



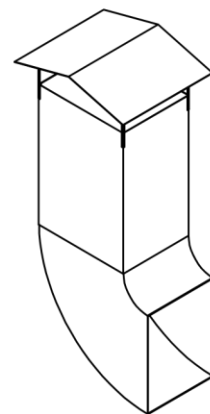
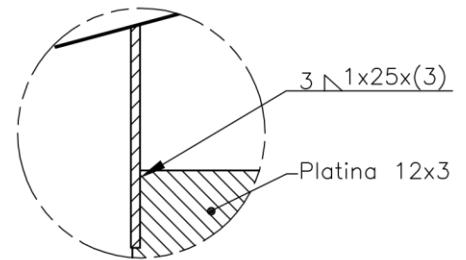
4	1	Ductos	INEN 115	Ductos	2240x1220x1,4
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	<b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b> 125	
Dibujado		Autores	10/04/2021		
Comprobado					
Proyección					Escala: 1:1 Lámina N° 01/05
Ducto de Gases					


A6  
148x105

A5  
210x148



DETALLE J

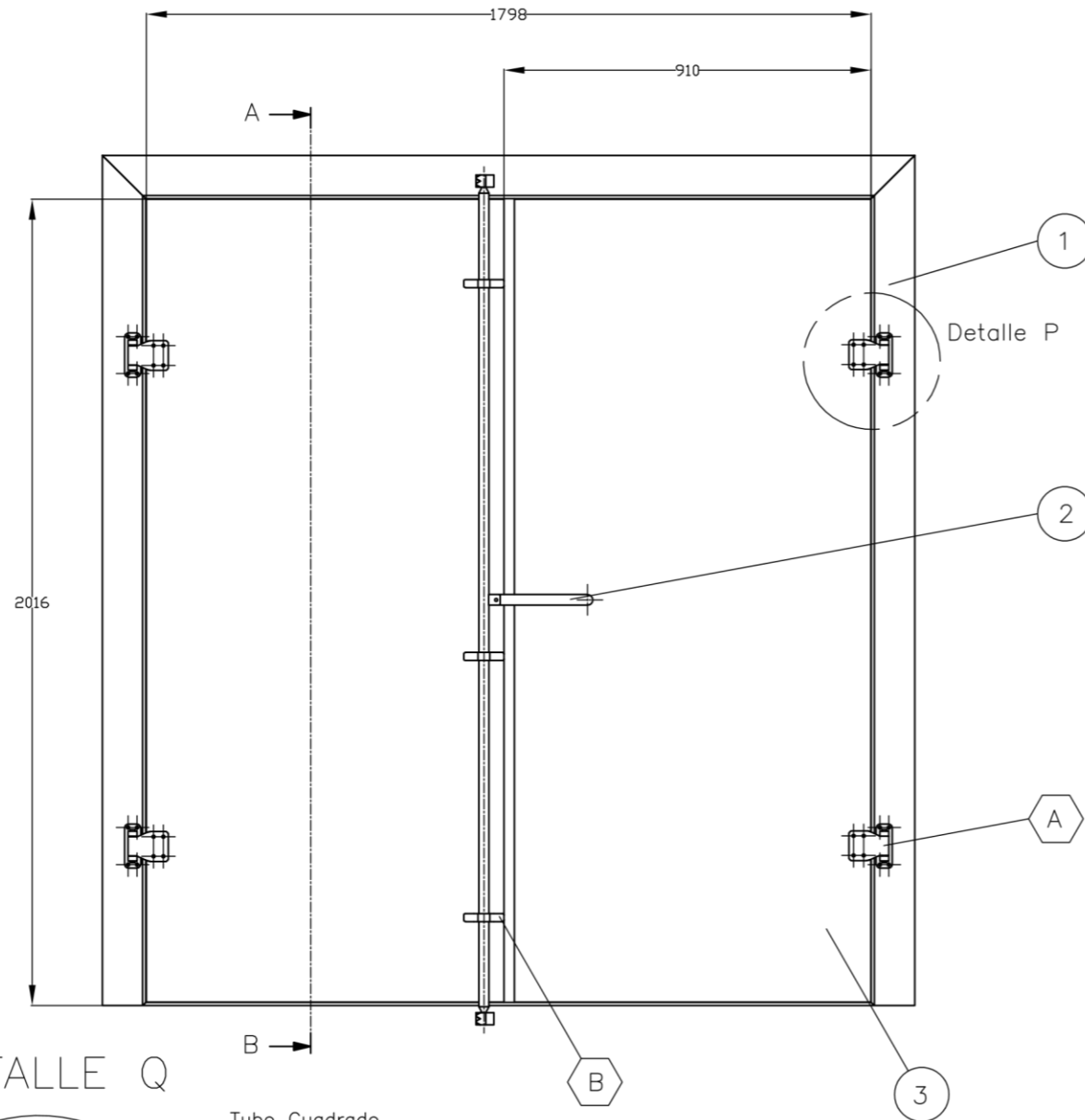


5	1	Chimenea	NTE INEN 115	Tol Galvanizado	2240x1120x1,4
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	Autores	Fecha	Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA	 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b>	Escala: 1:1
Comprobado		01/05/2021			
Proyección	CHIMENEA				Lámina N° 01/06
					

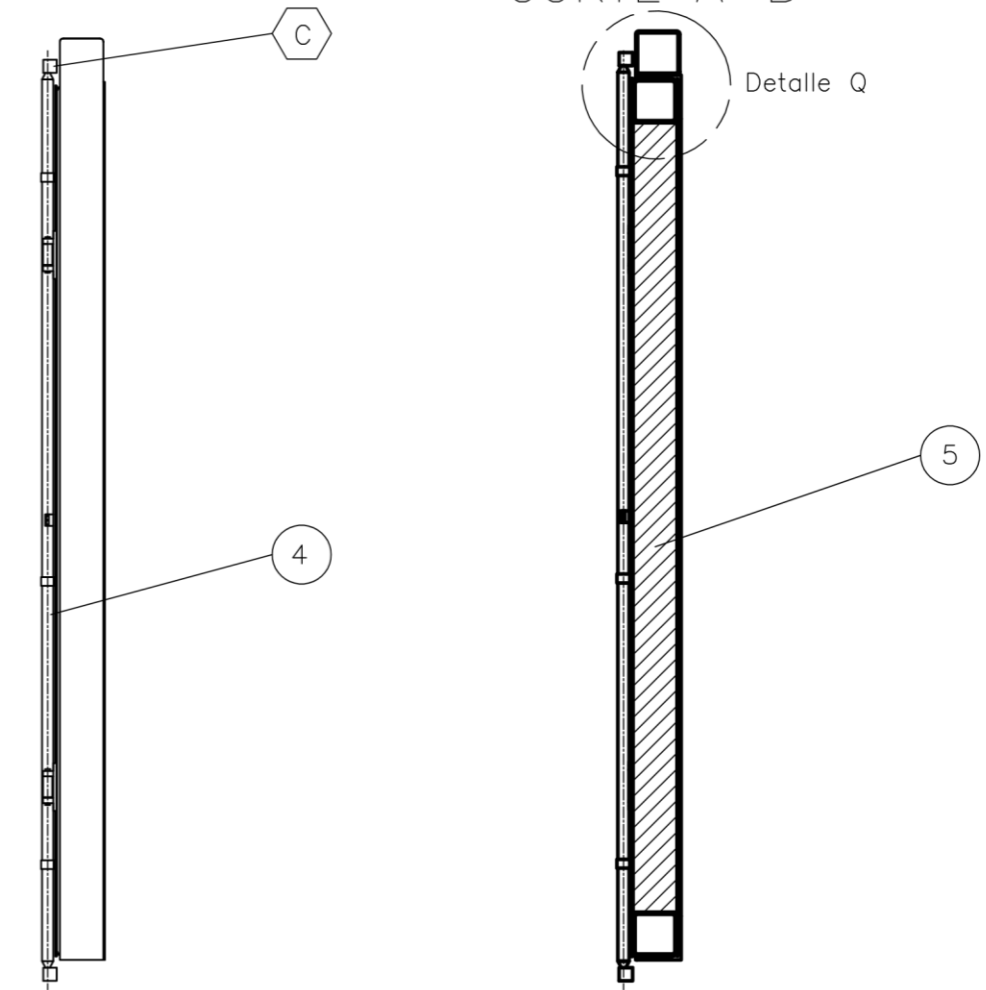


A6  
148x105  
A5  
210x148  
A4  
297x210  
A3  
420x297  
A2  
594x420  
A1  
841x594  
A0  
1189x841

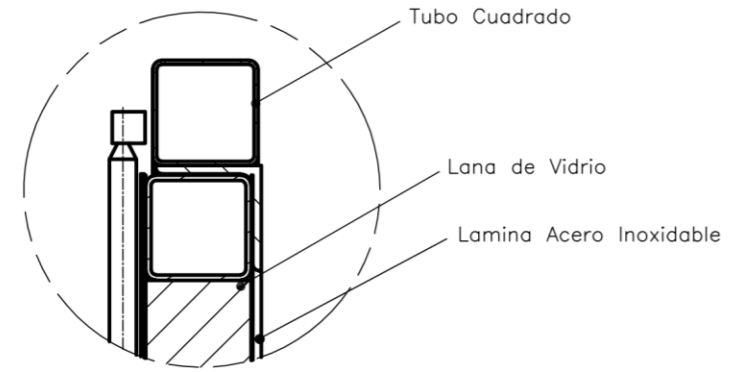
Hoja de enseñanza Técnica



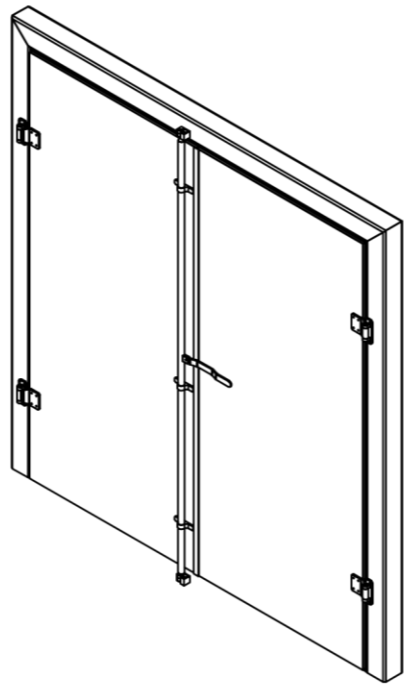
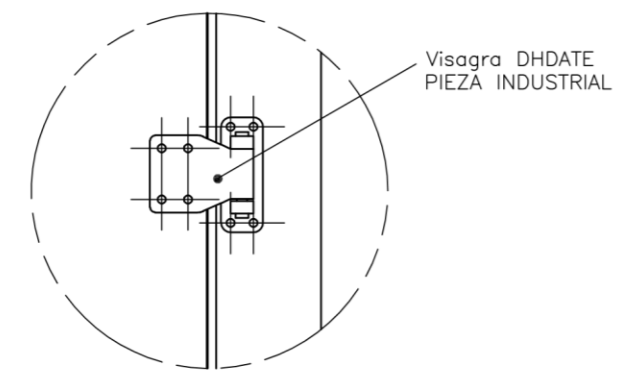
CORTE A-B



DETALLE Q



DETALLE P

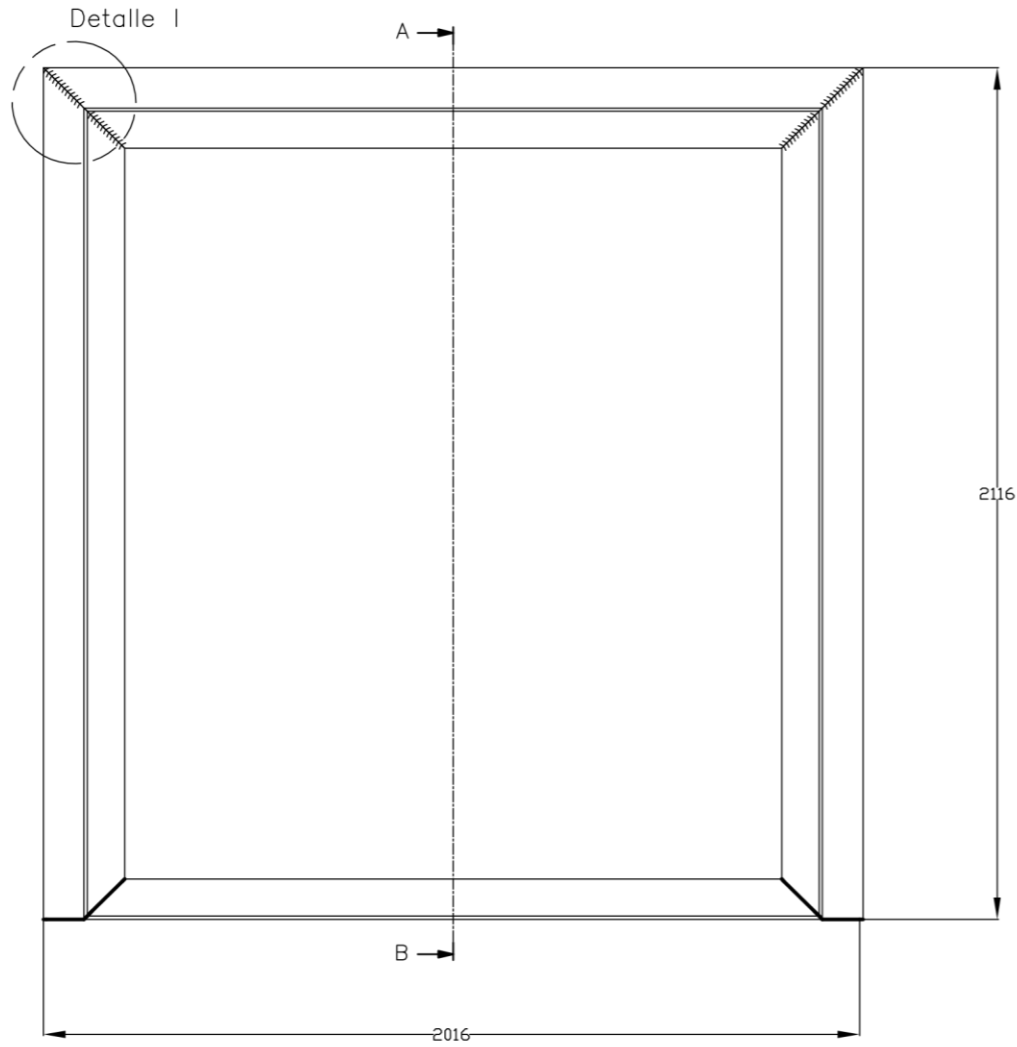


Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
C	2	Seguro puerta	AISI 307	Acero Inoxidable	30X3
B	2	Soporte del eje	AISI 307	Acero Inoxidable	55X40
A	2	Bisagra	ASTM 53	Acero	45X45X5
1	2	Aislante		Lana de Vidrio	600X24X2,5
4	2	Eje puerta	AISI 307	Acero Inoxidable	25,4x2
3	2	Puerta	AISI 307	Acero Inoxidable	2450x1120x1,5
2	1	Manija	ASTM 53	Tubo Acero	25,4x2
1	1	Marco Puerta	AISI 304	Acero Inoxidable	75x75x2

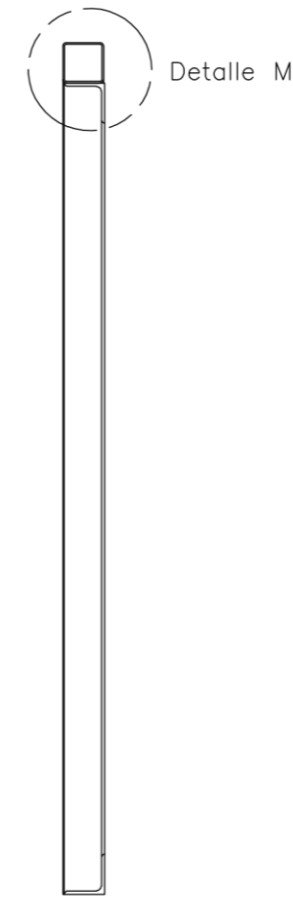
Dibujado	Nombre	Fecha	Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA	 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b> 127
Comprobado	Autores	10/04/2021		
Proyección	PUERTA			Escala: 1:1 Lámina N° 01/07

A6  
148x105  
A5  
210x148  
A4  
297x210  
A3  
420x297  
A2  
594x420  
A1  
841x594  
A0  
1189x841

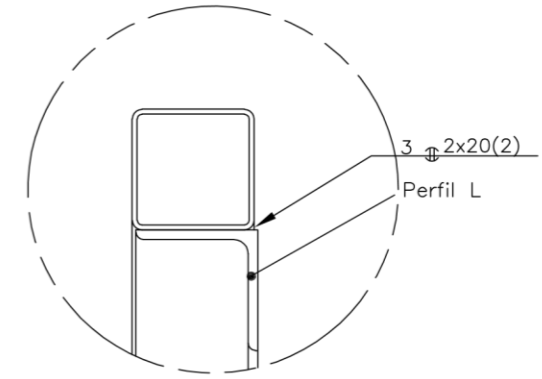
Hoja de enseñanza Técnica



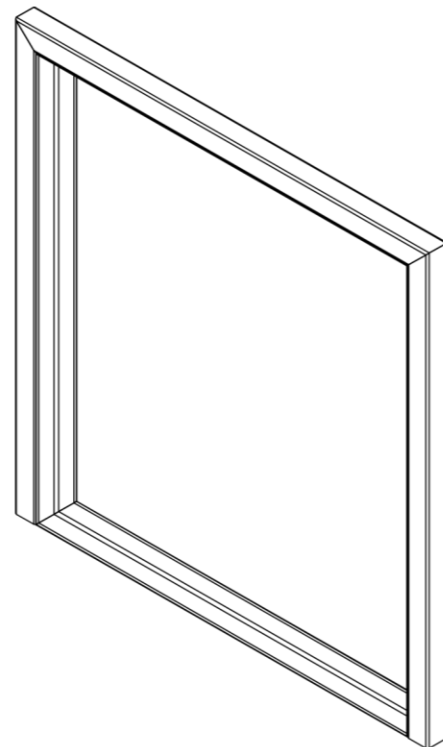
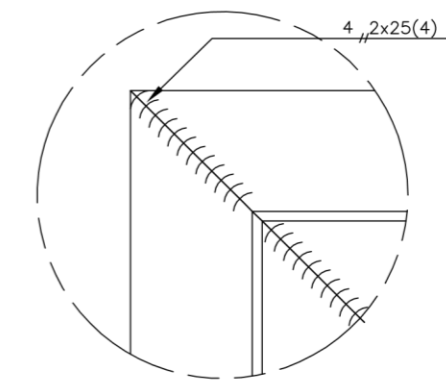
CORTE A-B




DETALLE M

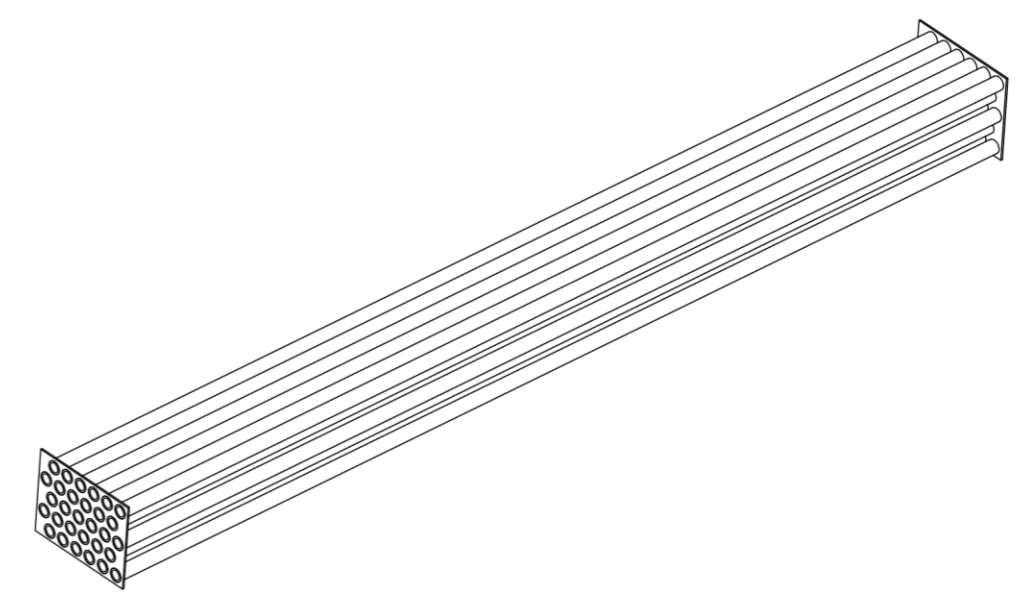
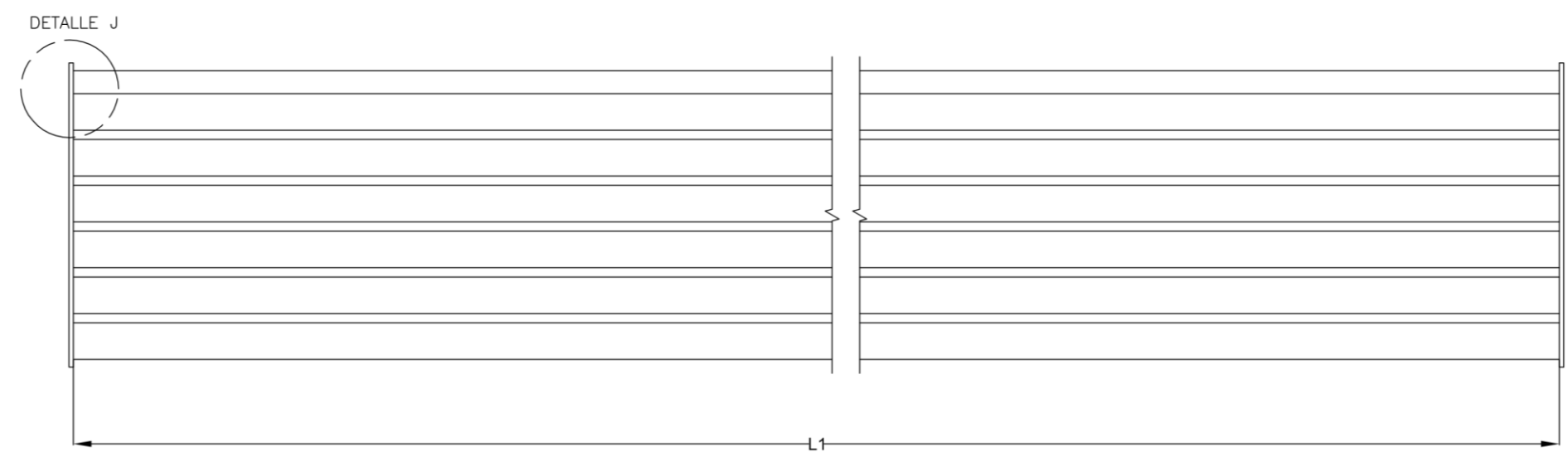
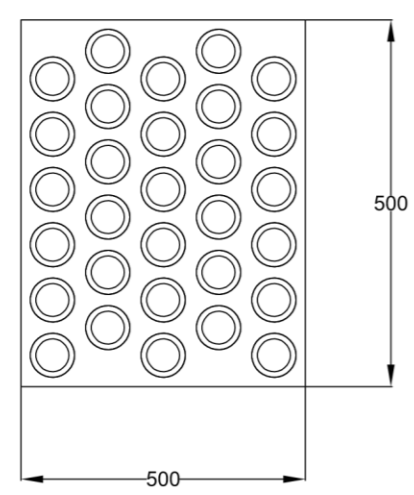
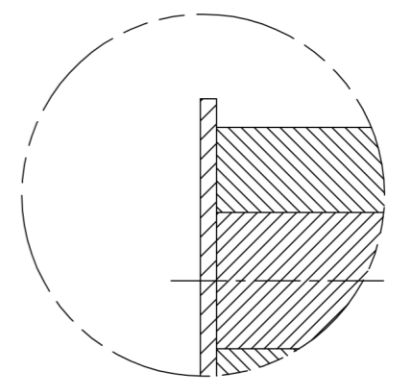


DETALLE I



1	1	Marco Puerta	AISI 307	Acero Inoxidable	75x75x2
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	Comprobado	Nombre	Autores	Fecha	10/04/2021
Proyección		Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA			 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b> 128
MARCO PUERTA					Escala: 1:1 Lámina N° 01/08

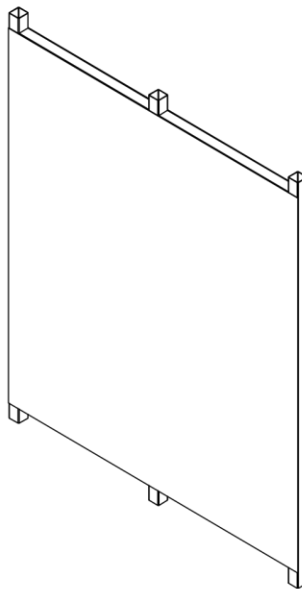
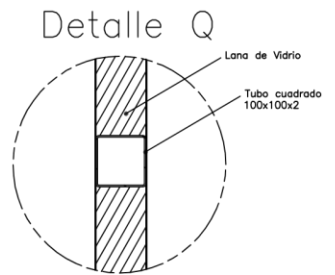
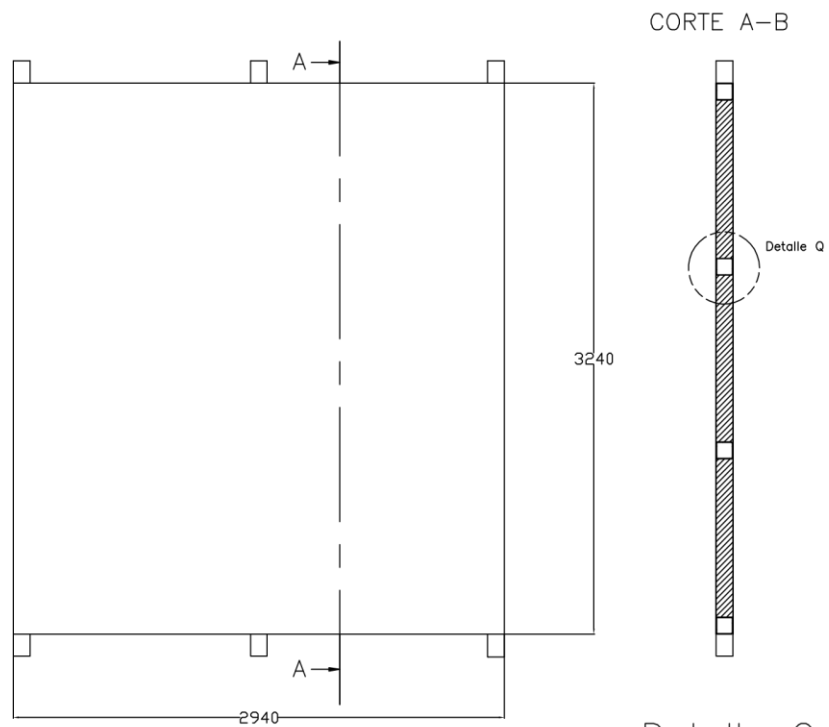
# DETALLE J



1	1	Intercambiador		AISI P20	ASTM A53	1/2 X3/4
Pos.	Cant.	Denominación		Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	Comprobado	Nombre	Fecha	Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA	 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b>	129
		Autores	03/05/2021			
Proyección		TUBERIA INTERCAMBIADOR DE CALOR				Escala: 1:1 Lámina N° 01/09

A6  
148x105

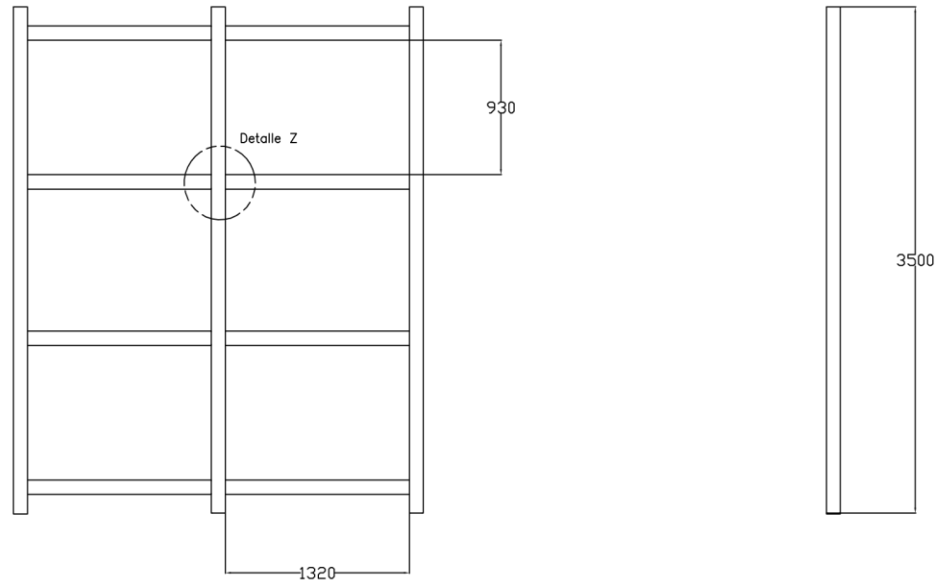
A5  
210x148



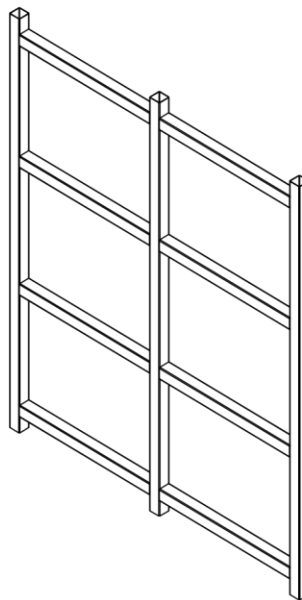
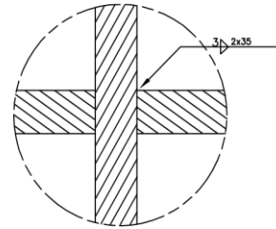
1	1	Cielo	NTE INEN 115	Acero Galvanizado	2240x1120x1,5	
Pos.	Cant.	Denominación		Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Laboratorios Área Mecánica SEDE MATRIZ CUENCA	<b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b>	Escala: 1:2.5 130 Lámina N° 01/108
Dibujado	Autores		01/05/2021			
Comprobado						
Proyección		Cielo Falso				

A6  
148x105

A5  
210x148



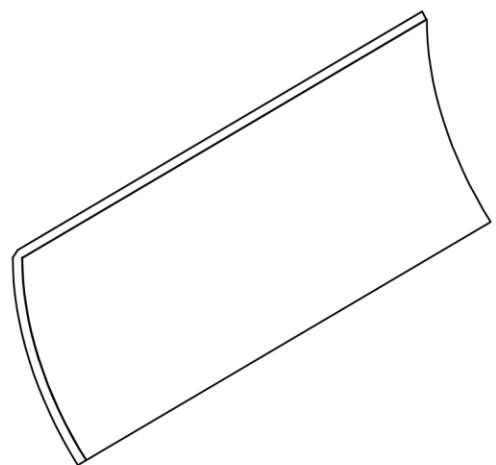
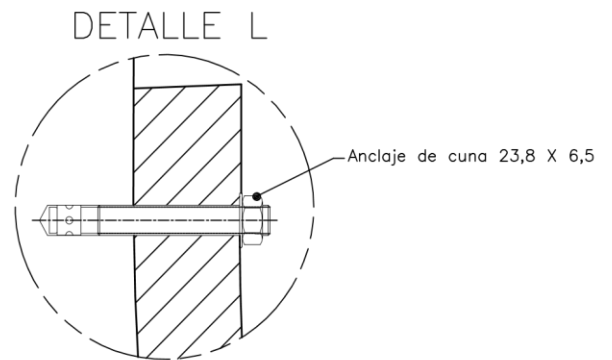
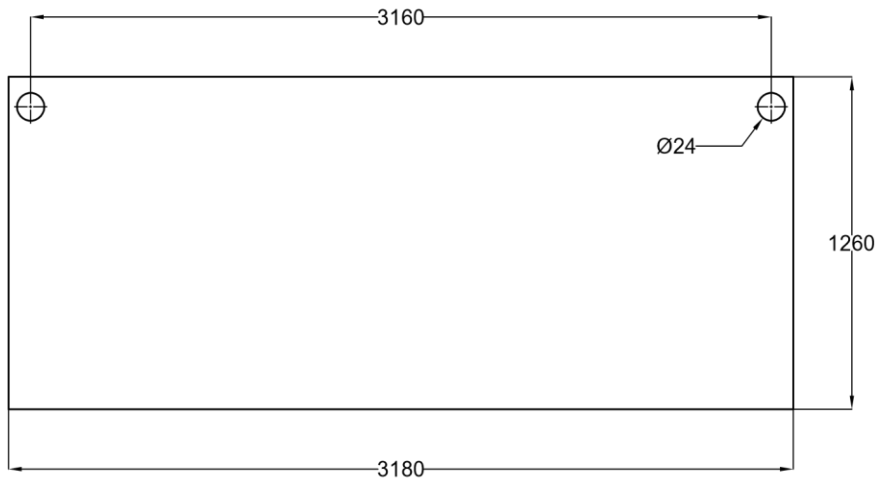
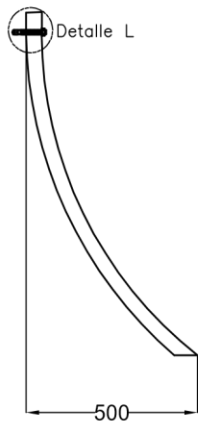
Detalle Z




1	2	Estructura	NTE INEN 115	Tubo Cuadrado	75x75x2
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado		Nombre	Fecha	<b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b> 131	
		Autores	01/05/2021		
Comprobado					
Proyección		Estructura Cielo Falso			Escala: 1:2.5
					Lámina N° 01/11

A6  
148x105

A5  
210x148



1	1	Deflector	ASTM 1200	Aluminio	2220x2440x3
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA</b> 132	
Dibujado		Autores	01/05/2021		
Comprobado					
Proyección	DEFLECTOR				Escala: 1:1 Lámina N° 01/11
