

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE CÁMARA DE SECADO DE MADERA 25m<sup>3</sup> PARA  
DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO EN EL DISTRITO DE JOSÉ  
LEONARDO ORTIZ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**ROGER TERRONES QUINTOS**

**ASESOR**

**JONY VILLALOBOS CABRERA**

<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>

**Chiclayo, 2022**

**DISEÑO DE CÁMARA DE SECADO DE MADERA 25m<sup>3</sup> PARA  
DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO EN EL DISTRITO DE  
JOSÉ LEONARDO ORTIZ**

PRESENTADA POR:

**ROGER TERRONES QUINTOS**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

William Villareal Albitres

PRESIDENTE

Jorge Alberto Villanueva Zapata

SECRETARIO

Jony Villalobos Cabrera

VOCAL

## **Dedicatoria**

Con todo corazón a mi esposa Kelly e hija Giuliana, son ustedes mi motivación más grande, para alcanzar objetivos y metas, tanto personales como profesionales.

A mi padre Balerio, que me supo guiar y aconsejar en todo momento, por enseñarme a tener fe cuando se presentan problemas; sé que desde el cielo estará muy feliz y orgulloso, dándome siempre su bendición, un beso al cielo padre amado.

A mi madre Justiniana, gracias por su apoyo incondicional y por su sacrificio para sacar adelante a toda su familia.

A mis hermanos, gracias por sus consejos, enseñanzas, por su tiempo y sobre todo por su apoyo incondicional.

# TESIS II 100%

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo Trabajo del estudiante	1%
8	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	

# Índice

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	17
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3.1 Justificación Económica.....	19
1.3.2 Justificación Social.....	19
1.3.3 Justificación Tecnológica.....	19
1.3.4 Justificación Ambiental.....	19
1.3.5 Justificación Institucional.....	20
1.4 OBJETIVO.....	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	20
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	21
2.1. Antecedentes .....	21
2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS .....	22
2.2.1. Diseño en ingeniería.....	22
2.2.2. Madera.....	23
2.2.3. Partes de la madera.....	23
2.2.4. Importancia de la madera .....	24
2.2.5. Proceso de secado de la madera .....	24
2.2.6. Apilado y cargado de la cámara .....	24
2.3. Métodos de secado.....	25
2.3.1. Secado por bomba de calor .....	26
2.3.2. Secado artificial.....	27
2.4. CARACTERÍSTICA DE LA MADERA.....	27

2.4.1.	Propiedades físicas de la madera.....	27
2.4.2.	Propiedades mecánicas de la madera .....	28
2.4.3.	Colapso.....	29
2.4.4.	Agrietamiento.....	29
2.4.5.	Humedad .....	30
2.4.6.	Bombas de calor .....	30
2.5.	Ventilador .....	30
2.5.1.	Ventiladores centrífugos .....	30
2.5.2.	Velocidad del aire.....	31
2.5.3.	Presión de aire .....	32
2.5.4.	Calor específico.....	32
2.6.	CÁLCULO DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA.....	32
2.6.1.	Capacidad .....	33
2.6.2.	Densidad.....	33
2.6.3.	Calor útil para evaporar el agua de la madera .....	34
2.6.4.	Procesamiento de la razón de agua evaporada .....	34
2.6.5.	Contenido de humedad en la madera .....	34
2.6.6.	Calor sensible para calentar la madera .....	35
2.6.7.	Calor necesario para evaporar el agua contenida en la madera.....	35
2.6.8.	Calor útil.....	35
2.6.9.	Eficiencia térmica en el interior de la cámara de secado: .....	35
2.6.10.	Humedad específica del aire .....	36
2.6.11.	Calor específico de la madera .....	36
2.6.12.	Proceso de secado.....	36
2.6.13.	Corte de la madera.....	37
2.6.14.	Almacenamiento de la madera en cámara de secado .....	37

2.6.15.	Espesor de los separadores .....	38
2.6.16.	Contenido de humedad en la madera .....	38
2.6.17.	Humedad relativa .....	39
2.7.	CONDUCCIÓN DE CALOR EN PAREDES PLANAS.....	39
2.7.1.	Transferencia de calor en la ingeniería .....	39
2.7.2.	Mecanismo de transferencia de calor .....	39
2.7.3.	Conducción.....	40
2.7.4.	Conductividad térmica de un material .....	40
2.7.5.	Transferencia de calor a través de la pared plana.....	41
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>43</b>
3.1.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	43
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	43
3.3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	43
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO .....	43
3.4.1.	Población.....	43
3.4.2.	Muestra.....	44
3.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	44
3.5.1.	Variable independiente:.....	44
3.5.2.	Variable dependiente:.....	44
3.6.	MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	46
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	47
3.7.1.	Encuesta: .....	47
3.7.2.	Validación de contenido .....	47
3.8.	Procedimiento para la recolección de datos .....	48
3.9.	Procedimiento y Análisis de Datos .....	48
3.10.	Metodología de diseño .....	49

3.11. Consideraciones para el funcionamiento del diseño .....	49
3.12. Lista de exigencias.....	50
3.13. Caja negra .....	51
3.14. Funciones del dispositivo .....	51
<b>IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
4.1. Diagnóstico situacional del proceso de secado convencional de la madera. ....	52
4.1.1. Aplicación de la encuesta .....	52
4.2. Determinación de los parámetros, tipo, componentes y dimensiones de la cámara. .	57
4.2.1. Matriz morfológica.....	57
4.2.2. Disposición básica.....	59
4.2.3. Evaluación de concepto óptimo para el diseño .....	60
4.2.4. Filtrado de conceptos .....	60
4.2.5. Evaluación de conceptos .....	62
4.2.6. Datos técnicos de diseño de la cámara de secado. ....	63
4.2.7. Dimensiones de la cámara de secado. ....	65
4.2.8. Determinación del volumen total de la madera y volumen de los separadores. 66	
4.2.9. Determinación de coeficientes de transferencia de calor en las paredes.....	70
4.2.10. Sistema de ventilación.....	82
4.2.11. Cantidad necesaria de aire.....	82
4.2.12. Cálculo de la masa del tablón de madera .....	84
4.2.13. Presencia de agua en la madera.....	85
4.2.14. Energía necesaria para calentar el agua.....	85
4.2.15. Energía necesaria para calentar la madera .....	86
4.2.16. Energía indispensable para el calentamiento del aire.....	86
4.2.17. Periodo de secado de la madera .....	89
4.2.18. Energía indispensable para eliminar el agua en la madera.....	89

4.2.19.	Humedad final de la madera.....	90
4.2.20.	Energía requerida para la eliminación del H <sub>2</sub> O de la madera.....	91
4.2.21.	Energía total para eliminar el agua de la madera .....	91
4.2.22.	Energía necesaria para calentar el aire de reposición.....	91
4.2.23.	Energía requerida para el secado de la madera .....	94
4.2.24.	Selección de equipos .....	94
4.3.	Análisis y simulación de la cámara de secado .....	100
4.3.1.	Pérdidas de temperatura a través de las paredes y techo .....	100
4.3.2.	Perdidas de temperatura a través de la puerta .....	105
4.3.3.	Análisis en Flow Simulation de la cámara de secado .....	108
4.4.	Evaluación económica del diseño de la cámara. ....	113
4.4.1.	Costo de material.....	113
4.4.2.	Costo de los equipos.....	114
4.4.3.	Costo de mano de obra .....	114
4.4.4.	Costos de instalación de equipos.....	115
4.4.5.	Costos de insumos y otros .....	115
4.4.6.	Costo total aproximado del proyecto .....	116
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>124</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>126</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>131</b>

## Lista de figuras

Figura 1. Estructura del tronco de madera .....	23
Figura 2. Cortes de la madera.....	24
Figura 3. Secado al vacío .....	25
Figura 4. Deshumidificador de secado .....	25
Figura 5. Secado solar .....	26
Figura 6. Secado por bomba de calor .....	26
Figura 7. Secado artificial de madera.....	27
Figura 8. Flexión paralela a la fibra .....	28
Figura 9. Tensión paralela al cuerpo .....	28
Figura 10. Tensión perpendicular al cuerpo.....	28
Figura 11. Colapso y rajadura de la madera.....	29
Figura 12. Torceduras en la madera .....	29
Figura 13. Tipos de ventiladores centrífugos .....	31
Figura 14. Capa límite en el flujo laminar y turbulento .....	31
Figura 15. Cortes de la madera.....	37
Figura 16. Apilamiento de la madera en la cámara.....	37
Figura 17. Tipos de transferencia de calor a través de las paredes .....	40
Figura 18. Transferencia de calor en pared plana .....	41
Figura 19. Ubicación geográfica del sector Nuevo San Lorenzo 4ta etapa distrito JLO .....	52
Figura 20. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa .....	53
Figura 21. Productos con mayor demanda .....	54
Figura 22. Dimensiones de madera más utilizadas .....	55
Figura 23. Porcentaje de humedad de la madera.....	55
Figura 24. Porcentaje de humedad para comercializar la madera.....	56

Figura 25. Dimensiones del tablón cedro.....	63
Figura 26. Vista lateral de la carga y medida de los separadores.....	64
Figura 27. Vista isométrica de la carga de madera .....	64
Figura 28. Distribución de cargas (vista superior).....	65
Figura 29. Distribución de cargas (vista lateral) .....	66
Figura 30. Separador de los tablones .....	67
Figura 31. Vista isométrica y distribución de cargas .....	68
Figura 32. Estructura de la cámara de secado .....	69
Figura 33. Estructura de la pared de la cámara de secado.....	75
Figura 34. Estructura de la puerta .....	77
Figura 35. Estructura del techo .....	78
Figura 36. Estructura del falso techo.....	78
Figura 37. Componentes de la cámara .....	81
Figura 38. Vista superior de la cámara.....	82
Figura 39. Sección lateral de la cámara.....	83
Figura 40. Valor de la entalpía en el exterior de la cámara.....	92
Figura 41. Valor de la entalpía en el interior de la cámara .....	93
Figura 42. Bomba de calor .....	95
Figura 43. Funcionamiento de la bomba de calor de 16 kW.....	96
Figura 44. Ventilador de 4 000 m <sup>3</sup> /h .....	96
Figura 45. Dimensiones de ventilador centrífugo .....	97
Figura 46. Sensor de temperatura de platino PT100 .....	98
Figura 47. Dimensiones del sensor de temperatura PT100.....	99
Figura 48. Cámara de secado en SolidWorks .....	100
Figura 49. Distribución de temperaturas en la cámara.....	102

Figura 50. Mallado y coeficiente de convección de la estructura .....	103
Figura 51. Análisis de temperatura .....	104
Figura 52. Corte transversal de la cámara .....	104
Figura 53. Distribución de temperatura en la estructura de la puerta .....	106
Figura 54. Resultados de temperatura en las paredes de la puerta .....	107
Figura 55. Sección transversal de la puerta.....	108
Figura 56. Volumen de control .....	108
Figura 57. Distribución de temperatura.....	109
Figura 58. Temperatura distribuida en la madera .....	109
Figura 59. Temperatura en las paredes internas .....	110
Figura 60. Gráfico de transición de la temperatura .....	110
Figura 61. Temperatura total vs tiempo .....	111
Figura 62. Temperatura en las paredes vs tiempo .....	111
Figura 63. Temperatura del fluido vs tiempo .....	112
Figura 64. Periodo de recuperación en años .....	123
Figura 65. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa .....	145
Figura 66. Productos con mayor demanda .....	146
Figura 67. Dimensiones de madera más utilizadas .....	147
Figura 68. Periodo de adquisición de madera .....	147
Figura 69. Cantidad de madera adquirida .....	148
Figura 70. Porcentaje de humedad de la madera.....	149
Figura 71. Porcentaje de humedad para comercializar la madera.....	149
Figura 72. Disponibilidad de cámara de secado en los aserraderos .....	150
Figura 73. Disponibilidad de la empresa para adquisición de maquina secadora de madera	151
Figura 74. Conocimiento de maquinaria para el secado de madera.....	151

Figura 75. Ventajas de la cámara de secado.....	152
Figura 76. Desventajas que genera la cámara de secado de madera .....	153
Figura 77. Disponibilidad a pagar por un cámara .....	153
Figura 78. Características importantes para comprar una cámara de secado de madera .....	154

## Lista de tablas

Tabla 1. Espesor de los separadores.....	38
Tabla 2. Dimensiones de los tablones a secar .....	38
Tabla 3. Porcentaje de humedad de la madera recién aserrada. ....	38
Tabla 4. Operacionalización de variables .....	45
Tabla 5. Matriz de consistencia.....	46
Tabla 6. Cuadro – baremo .....	48
Tabla 9. Lista de exigencias. ....	50
Tabla 10. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa.....	53
Tabla 11. Productos con mayor demanda. ....	54
Tabla 12. Dimensiones de madera más utilizadas.....	54
Tabla 13. Nivel de humedad en la madera .....	55
Tabla 14. Porcentaje de humedad para comercializar la madera .....	56
Tabla 15. Resumen de resultados de la situación actual .....	56
Tabla 16. Matriz morfológica.....	58
Tabla 17. Tabla de Filtrado de Concepto .....	61
Tabla 18. Evaluación de conceptos .....	62
Tabla 19. Especificaciones técnicas del tablón cedro .....	63
Tabla 20. Parámetros iniciales para el proceso de secado.....	63
Tabla 21. Dimensiones internas de la cámara de secado .....	68
Tabla 22. Características de los componentes de la cámara. ....	69
Tabla 23. Dimensiones externas de la cámara de secado.....	69
Tabla 24. Propiedades del aire .....	71
Tabla 25. Características del aire a temperatura de 67,5 °C .....	73
Tabla 26. Conductividad térmica de los materiales para la pared.....	75
Tabla 27. Conductividad térmica de los materiales para la puerta.....	76

Tabla 28. Conductividad térmica del techo.....	77
Tabla 29. Elementos para la conductividad térmica del falso techo .....	78
Tabla 30. Consumo de energía que se requiere para excluir el agua de la madera.....	90
Tabla 31. Capacidad de los equipos .....	94
Tabla 32. Ficha técnica de bomba de calor de 16 kW.....	95
Tabla 33. Ficha técnica de ventilador centrífugo .....	97
Tabla 34. Ficha técnica del sensor de temperatura PT100.....	98
Tabla 35. Parámetros iniciales para el estudio térmico .....	100
Tabla 36. Propiedades del material .....	101
Tabla 37. Cargas térmicas .....	103
Tabla 38. Propiedades de los materiales de la puerta.....	105
Tabla 39. Cargas térmicas en la puerta .....	106
Tabla 40. Materiales para la construcción de la cámara de secado.....	113
Tabla 41. Costo de los equipos.....	114
Tabla 42. Costo de mano de obra .....	114
Tabla 43. Costos de instalación de equipos.....	115
Tabla 44. Costos de insumos y otros.....	115
Tabla 45. Costo total aproximado del proyecto .....	116
Tabla 46 Parámetros iniciales para el cálculo de los indicadores económicos .....	116
Tabla 47. Costo de madera cedro .....	119
Tabla 48. Costo de compra y venta de tablones cedro .....	119
Tabla 49. Ingresos anuales .....	120
Tabla 50. Costos de producción .....	120
Tabla 51. Costos de mantenimiento de equipos y cámara de secado.....	121
Tabla 52. Costos por consumo eléctrico .....	121
Tabla 53. Costo total anual.....	121

Tabla 54 Evaluación económica .....	122
Tabla 55. Indicadores económicos .....	123
Tabla 56. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa.....	145
Tabla 57. Productos con mayor demanda. ....	146
Tabla 58. Dimensiones de madera más utilizadas.....	146
Tabla 59. Periodo de adquisición de madera.....	147
Tabla 60. Cantidad de madera adquirida por la empresa .....	148
Tabla 61. Nivel de humedad en la madera .....	148
Tabla 62. Porcentaje de humedad para comercializar la madera .....	149
Tabla 63. Disponibilidad de cámara en los aserraderos .....	150
Tabla 64. Disponibilidad de la empresa para adquisición de maquina secadora de madera..	150
Tabla 65. Conocimiento de maquinaria para el proceso de secado .....	151
Tabla 66. Ventajas que se obtendrá con la cámara. ....	152
Tabla 67. Desventajas que se genera con la cámara .....	152
Tabla 68. Disponibilidad a pagar por una cámara.....	153
Tabla 69. Características importantes en el momento de comprar una cámara .....	154

## Resumen

En la presente investigación se plantea diseñar una cámara de secado de madera con una capacidad de  $25\text{m}^3$  con el objetivo de disminuir el tiempo de secado y obtener una mejor calidad del producto. La cual esta investigación se caracteriza por ser de tipo aplicada con un nivel descriptivo con un enfoque cuantitativo y con un diseño no experimental. Para ello se hizo una revisión del marco teórico existente y luego se procedió a visitar los aserraderos para realizar el diagnóstico inicial del proceso empírico de secado de madera y realizar la encuesta al personal involucrado. Donde se obtuvo como resultado que ningún aserradero contaba con un proceso de secado, simplemente lo desarrollaban de manera empírica.

Por esta finalidad se realizará el proceso de secado artificial mediante cámara con bomba de calor que permitirá disminuir considerablemente el periodo de secado y la aparición de insectos manchas, deformaciones mecánicas y deterioro durante el almacenamiento a largo plazo.

Por lo tanto, para el desarrollo de este proyecto la cámara de secado tiene como dimensiones internas de 6,5 metros de largo; 5,46 metros de ancho y 3 metros de alto, lo cual las paredes están conformadas en la parte interna con una plancha de aluminio de 3 mm de espesor, un aislante de fibra de vidrio de 50 mm de espesor, ladrillo y una capa de concreto, al igual que para el techo y piso. Sin embargo, la cantidad de energía que se requiere para este proceso de secado es de 35880,99 W o 30852 Kcal/h para la etapa de calentamiento y una energía de 30 049,14 W o 25 837,61 Kcal/h para la etapa de secado, siendo estos parámetros importantes para la selección de los equipos como ventiladores, controladores de temperatura y la bomba de calor. Cabe recalcar que el tiempo de secado tiene una duración de 10 días más 1 día de enfriamiento. Generando una inversión total de **S/ 85 180,14**. Sin embargo, mediante la evaluación económica se obtiene un VAN de **S/ 63 985,75** y un TIR del **28 %** lo cual lo convierte en un proyecto viable con un periodo de recuperación de **3** años y un costo-beneficio de **1,2**.

**Palabras claves:** Diseño, cámara de secado de madera, análisis térmico, simulación.

### Abstract

In the present investigation, it is proposed to design a wood drying chamber with a capacity of 25m<sup>3</sup> in order to reduce the drying time and obtain a better quality of the product. Which this research is characterized by being of an applied type with a descriptive level with a quantitative approach and with a non-experimental design. For this, a review of the existing theoretical framework was made and then the sawmills were visited to carry out the initial diagnosis of the empirical process of wood drying and carry out the survey of the personnel involved. Where it was obtained as a result that no sawmill had a drying process, they simply developed it empirically.

For this purpose, the artificial drying process will be carried out by means of a heat pump chamber that will considerably reduce the drying period and the appearance of insect stains, mechanical deformations and deterioration during long-term storage.

Therefore, for the development of this project, the internal dimensions of the drying chamber are 6,5 meters long, 5,46 meters wide and 3 meters high, which the walls are shaped on the inside with a 3 mm thick aluminum sheet, a 50 mm thick fiberglass insulation, brick and a layer of concrete, as well as for the ceiling and floor. However, the amount of energy required for this drying process is 35 880,99 W or 30 852 Kcal/h for the heating stage and an energy of 30 049,14 W or 25 837,61 Kcal/h for the heating stage. drying, these parameters being important for the selection of equipment such as fans, temperature controllers and the heat pump. It should be noted that the drying time lasts 10 days plus 1 cooling day. Generating a total investment of S/ 85 180,14. However, through the economic evaluation, a VNA of S / 63 985,75 and an TIR of 28% are obtained, which makes it a viable project with a recovery period of 3 years and a cost benefit of 1,2.

**Keywords:** Design, wood drying chamber, thermal analysis, simulation.

## I. INTRODUCCIÓN

La utilidad de la madera en el Perú es muy importante. Es por eso, que los procesos que se realizan para la utilización de la madera son necesarios a la hora de entregar un producto de buena calidad, con esta finalidad se lleva a cabo el diseño de una cámara para el proceso de secado de dicha materia prima.

Conseguir un producto apropiado para su elaboración es uno de los desafíos que se tiene, debido a que la madera tiende a sufrir cambios y deformaciones si no es tratado de manera adecuada. Sin embargo, el tratamiento de esta materia prima necesita de un secado no convencional, para obtener un acabado y resistencia de alta calidad, es por ello que mediante este proceso se logra reducir drásticamente la pérdida de tiempo del secado natural, logrando estándares óptimos de la madera, logrando obtener un grado humedad óptimo y evitar defectos o imperfecciones, colapsos, agrietamientos, etc. [1]

En particular, el secado por medios naturales, demanda de mayor tiempo, esfuerzo y sobre todo mayor cantidad de personal para el secado de madera. Sin embargo, se requiere de ambientes espaciosos para su acumulación debido a que no son procesados por su alto contenido de humedad, con la finalidad de no formar apilamientos de madera a largo plazo, que ocasiona pérdidas considerables de materia prima. Por otro lado, frente a esta situación también se adiciona los accidentes a los operarios, por el esfuerzo excesivo al realizar el apilamiento de la madera, ya que, el desarrollo de esta actividad implica esfuerzos reiterativos.

El proceso de secado es de gran importancia, porque nos permite tener un producto con mayores estándares de calidad y consistencia, motivo por el cual, nace la necesidad de contribuir con el nivel de conocimiento adquirido durante la formación profesional de la carrera, basándose en conocimiento teóricos y prácticos, fundamentados en la experiencia laboral, lo cual esto nos va permitir el desarrollo de este diseño con las características deseadas dando un porcentaje de humedad final adecuada para una madera de calidad en un menor tiempo, a diferencia del secado natural (expuesto a la intemperie).

## **1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En el mercado internacional los países con más producción de madera aserrada tenemos a China (18%); Estados Unidos de América (17%); Federación de Rusia (9%); Canadá (9%); Alemania (5%); Suecia (4%). Por lo tanto, la demanda de madera con bajo contenido de humedad cada vez es mayor, ya que es una materia prima que se utiliza en distintos procesos y bienes finales de acorde a las necesidades del cliente. A ello se le agrega un valor agregado como un secado de forma artificial con la finalidad de aprovechar de una manera más eficiente y sobre todo salvaguardando la integridad y el manejo sostenible de los bosques de vegetación. [2]

La producción de maderera en nuestro país es una actividad de gran demanda. Es por ello, que las técnicas involucradas en esta actividad son muy importantes, debido que al momento de entregar un producto de buena calidad va a depender mucho del proceso y el tipo de secado que se realice. Es decir, para lograr un producto de excelente calidad es uno de los tantos retos de todas las empresas madereras en nuestro país, ya que la madera presenta defectos si esta no es tratada adecuadamente. Por otra parte, la demanda de este producto requiere de un secado en forma artificial, debido a que mediante este proceso se logra reducir el tiempo en que se logran las condiciones óptimas de la madera, obteniendo la humedad requerida y evitando defectos como grietas, colapso, deformaciones, entre otras.

Debido a la suma importancia en la industria de la madera que viene a ser el tiempo de secado, muchas de estas empresas optan por desarrollar procesos automatizados los cuales se desarrollan en cámaras y hornos de secado, sin embargo en las empresas madereras del distrito de José Leonardo Ortiz, los procesos de secado se realizan por medios naturales exponiéndole al aire libre con un apilamiento conocido como caballete, por esta finalidad se realizará una cámara para secado de madera con una capacidad de 25 m<sup>3</sup>. Por ello en este proyecto se realizará el proceso de secado artificial mediante cámara con bomba de calor que permitirá disminuir considerablemente el periodo de secado y la aparición de insectos manchas, deformaciones mecánicas y deterioro durante el almacenamiento a largo plazo.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿De qué manera diseñar una cámara de secado de madera para poder disminuir el tiempo de secado manteniendo una buena calidad e incrementar su flujo de salida en los aserraderos del distrito de José Leonardo Ortiz provincia de Chiclayo?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1 Justificación Económica**

Las empresas madereras actualmente se han adaptado técnicas para extraer el contenido de agua presente en la madera tales como el secado natural, expuestos al aire libre, hacen que la producción sea de baja calidad, teniendo mayor dificultad en cubrir la demanda que se necesita como empresa, por lo cual las empresas tienen la madera almacenada desvalorizándose cada día, perdiendo su resistividad y calidad en color y tiempo de vida a causa de su humedad.

Entonces, el diseño de este proyecto permitirá reemplazar el tradicional método natural, para aprovechar al máximo la materia prima con la menor cantidad de desperdicios y aumentar su demanda optimizando tiempo y dinero con la mejor calidad final de la madera procesada.

Además, este diseño será de fácil construcción utilizando materiales comerciales que se encuentren en el mercado nacional, dicho diseño será hermético de materiales con buen aislamiento térmico, resistente a la humedad, altas temperaturas y corrosión.

### **1.3.2 Justificación Social**

Con el desarrollo de este proyecto se producirá mayor producción de madera, lo cual generará más puestos laborales, así como también se obtendrá un producto de mayor calidad sin agrietamientos ni deformaciones en los tablones de madera, lo cual permite obtener un producto final de mayor calidad permitiendo al usuario tener un mejor producto y sobre todo un mejor confort.

### **1.3.3 Justificación Tecnológica**

El diseño de la cámara consta de una combinación de dos potenciales energéticos, siendo una de ellas la energía térmica y otra la energía eléctrica. Lo cual consiste de una bomba de calor alimentado con energía eléctrica como fuente motriz, desarrollado con un control wifi facilitando al usuario de tener un control óptimo de temperatura en la parte interna de la cámara, siendo controlado por dos sensores de temperatura con lectores de pantalla LCD, llegando a obtener un nivel de humedad eficiente y disminuir las deformaciones, colapsos y agrietamientos durante el proceso de secado.

### **1.3.4 Justificación Ambiental**

En cuanto a la contaminación del medio ambiente se incluirá en el diseño de la cámara un dispositivo que permita controlar los gases hasta en un 80%, gases que se encuentran presentes debido a la evaporización y desperdicios del proceso, por lo tanto, estas emisiones no serán

agentes contaminantes ni deterioraran la capa de ozono, por otro lado estas emisiones también representa un peligro para la salud de los operarios de dicha empresa, puesto que la inhalación del aire puede ocasionar graves enfermedades ocupacionales y una dificultad severa para respirar. Por lo tanto, con este diseño se obtendrá beneficios muy eficientes.

### **1.3.5 Justificación Institucional**

La presente investigación servirá como antecedente a futuros investigadores que anhelan desarrollar un tema referente al diseño de cámaras de secado para madera, la cual contribuirá en la línea de investigación de la casa de estudios, por tal motivo existe una necesidad de realizar esta investigación que contribuirá en mejorar el conocimiento en este campo de estudio.

## **1.4 OBJETIVO**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar una cámara de secado de madera 25m<sup>3</sup> para disminuir el tiempo de secado en el distrito de José Leonardo Ortiz.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Diagnosticar la situación actual del proceso de secado convencional de madera en las empresas del distrito de JLO- Lambayeque.
2. Determinar los parámetros, tipo, componentes y dimensiones de la cámara para procesar el secado de tablones de madera.
3. Realizar una simulación térmica de la cámara para una mejor eficiencia de secado, usando el programa de SOLIDWORKS, que permita identificar el comportamiento de flujo de aire dentro de la cámara en temperatura, humedad y velocidad.
4. Realizar una evaluación económica del diseño de la cámara.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Según el autor Toapanta [2], en su proyecto de investigación nos presenta el diseño térmico que consiste en un horno para secado de madera con una capacidad de 23 metros cúbicos al mes, la cual tuvo como objetivo diseñar una cámara de acorde a las necesidades con el fin de disminuir el tiempo de secado, sin embargo, la metodología que empleo fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo de diseño experimental. Obteniendo como resultado un tiempo de secado de la madera aproximadamente de 360 horas, es decir 15 días, sin embargo, para la etapa de calentamiento necesitó un calor aproximado de 82,27 kW y una masa de combustible de 43,95 kg, obteniendo como costo de generación de 1 USD por cada kg de materia prima, siendo un total de 465,9 kg<sub>lpg.</sub> por cada carga establecida. por lo tanto, para su proyecto tuvieron una inversión de USD 22 074,6424, sin embargo, en su evaluación económica obtuvieron un TIR del 72,3%, con un costo beneficio de 1,16, con un periodo de recuperación de 1 año y 4 meses aproximadamente.

Según el autor Cazco [3], nos presenta en su investigación que consiste en el “Diseño de un sistema de secado de madera para la empresa parquet los pinos”, Con el objetivo de agilizar el tiempo de secado y minimizar los costos para incrementar los niveles de calidad, sin embargo, la metodología que utilizó de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo de diseño experimental. Lo cual seleccionaron como alternativa un secador convectivo, donde se obtuvo que las pérdidas de calor fueron no mayores al 4%, es decir las perdidas en las paredes del diseño representan un valor de 1 586,7 W y el calor necesario para el secado es de 43 312 W. Por lo tanto, para el desarrollo de su proyecto la inversión fue de USD 22 641.

Según el autor Alanoca [4], nos presenta en su investigación que consiste en el “Diseño de un horno para el secado de madera de 23,1 m<sup>3</sup> para la ciudad de el Alto” con el objetivo de agilizar el tiempo de secado mediante el proceso de convección y obtener mejores resultados en el menor tiempo posible. La metodología que desarrollaron tiene un enfoque cuantitativo de diseño experimental de tipo aplicada. En su diseño, para la calefacción del horno utilizaron un intercambiador de calor de tubos con aleta; sin embargo la madera a secar ingreso con un nivel de humedad del 60%. por otro lado, las pérdidas de calor por la estructura del horno son de 4 780,3 W y la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de secado es de 30 779,13 W, alcanzando como máximo un periodo de secado de 10 días. por lo tanto, el costo de su proyecto asciende a un monto de 133 497 (Bs).

Según el autor Aguilar [5], en su investigación “Rediseño e implementación de un horno de secado de madera, con capacidad de  $45 \text{ m}^3$ , perteneciente a la fábrica Promara CIA. LTDA”. Tiene como objetivo rediseñar los componentes principales de un horno convencional, teniendo como metodología un enfoque cuantitativo no experimental de tipo básica. Para este diseño se redujo las pérdidas de calor de las paredes internas del horno hasta un 2%, generando una disminución del 5% de combustible. sin embargo, este proyecto tiene una inversión de \$ 3 349,00. Siendo el VAN de \$ 215,40 y un TIR de 76,28%, haciendo que el proyecto sea viable.

Según el autor Doerner [6], en su investigación titulado “Proyecto cámara de secado para madera elaborada”, Tiene como objetivo plantear una cámara que cumpla con los requisitos de diseño como capacidad y tiempo de secado. Esta investigación se caracteriza por tener una metodología de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo con diseño no experimental. En este proyecto la cámara de secado tubo una capacidad de 1 000 pulgadas de madera pino, lo cual el grado de humedad inicialmente fue de un 80% obteniendo como resultado final de un 10% de humedad, todo este proceso tuvo una duración máxima de 7 días, lo cual se necesitó aproximadamente un poder calorífico de 54 000 kcal/hr. Por lo tanto, este proyecto cuenta con una inversión de \$.11 199,469.

## **2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS**

### **2.2.1. Diseño en ingeniería**

Según el autor Budymas [7], es idealizar un plan con el objetivo de llegar a satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, de poder ser fabricado y comercializado.

El diseño es un proceso llamativo y altamente iterativo. Asimismo, es una secuencia de toma de decisiones que en algunos casos se deben tomar con muy poca información, en otras con la mínima información, y en ocasiones con un exceso de información. Lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas.

También nos dice que es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. Los ingenieros deben interactuar

intercambiando ideas de manera eficaz y trabajar en equipo con mucha disciplina. De estas habilidades depende el éxito de un ingeniero.

### 2.2.2. Madera

Es un recurso natural importante desde la antigüedad ha venido siendo utilizada por el hombre. Es un material higroscópico, fibroso que está conformado por celular que constituyen el tejido leñoso del tronco. Así como también está compuesta de células transversales y longitudinales de distintas características.

La dureza de la planta va depender de su especie y variaciones climáticas, las maderas duras tienen los anillos más juntos entre sí que las maderas blandas. En conclusión, la dureza de este actúa como soporte a la penetración de hongos e insectos y al ataque de herramientas de trabajo en ella [8].

### 2.2.3. Partes de la madera

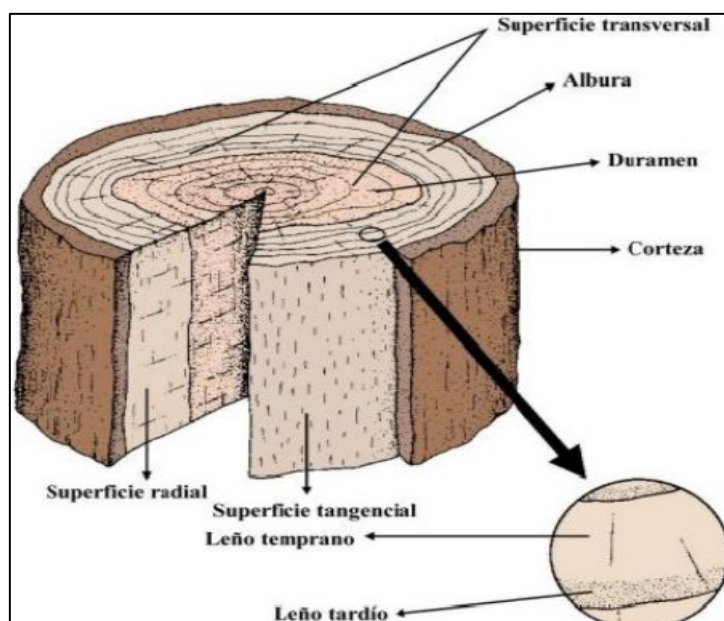


Figura 1. Estructura del tronco de madera



Figura 2. Cortes de la madera

#### **2.2.4. Importancia de la madera**

Desde la antigüedad la madera ha sido considerado como el principal elemento manipulado por el ser humano para su supervivencia por ser un material de fácil manejo y abundante dentro de la naturaleza.

Sin embargo, mediante el transcurso del tiempo la madera sigue siendo nuestro elemento básico en la cual realizamos casi un total de nuestros trabajos, utilizando siempre madera de calidad para diferentes construcciones, teniendo en cuenta el tamaño, orientación, contenido de humedad, etc. Lo mejor de todo es que la madera es un recurso renovable [9]

#### **2.2.5. Proceso de secado de la madera**

En este proceso se elimina la cantidad de agua que contiene la madera para favorecer su consecutivo proceso y regularidad. Esto consiste en tener una humedad requerida que presente un equilibrio con las características atmosféricas donde será utilizada, con la menor cantidad de degradación posible, para la mayoría de aplicaciones es importante reducir su humedad antes de su transformación en productos, para evitar efectos no deseables. Mientras mayor sea el número de células existentes mayor será su dureza de la madera [10].

#### **2.2.6. Apilado y cargado de la cámara**

La construcción del apilado dentro de la cámara es muy importante, dado que cuando se realiza un apilamiento no adecuado ocasiona mal aprovechamiento de la materia prima debido a sus rajaduras, torceduras, como también una circulación de flujo de aire no uniforme por todo el apilamiento.

### 2.3. Métodos de secado

Mediante el desarrollo de tecnología existen diferentes métodos para secar madera el más común es el secado artificial es aquí donde se mantiene las condiciones climáticas para que el aire dentro de la cámara este completamente seco controlando la humedad relativa.



Figura 3. Secado al vacío



Figura 4. Deshumidificador de secado

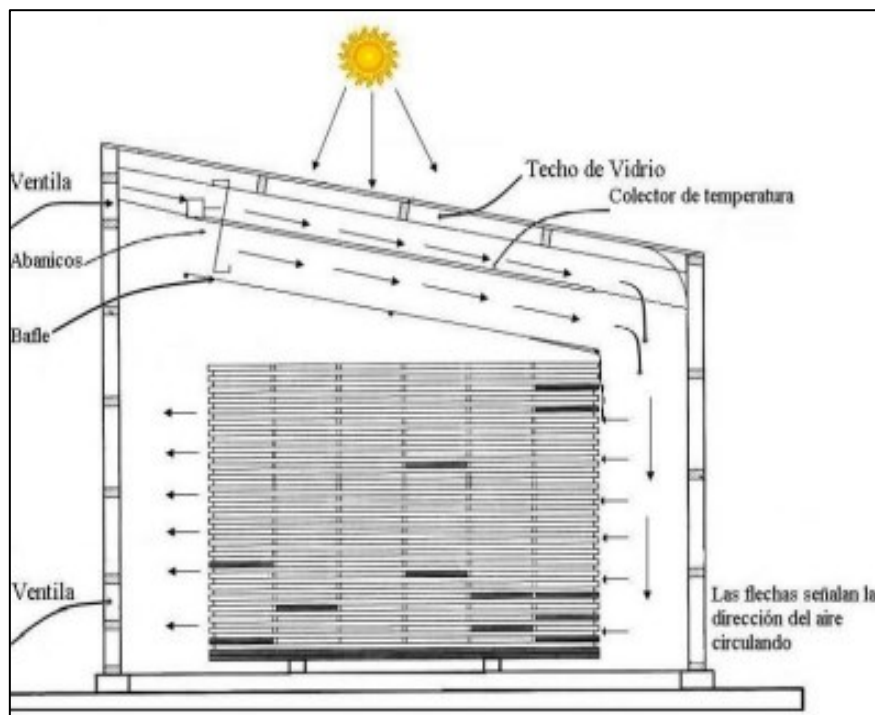


Figura 5. Secado solar

### 2.3.1. Secado por bomba de calor

Su principal función es aprovechar la temperatura del ambiente exterior para secar. Donde el aire se calienta en la bomba para luego llevar a un evaporador que le quita la humedad. [11].



Figura 6. Secado por bomba de calor

### 2.3.2. Secado artificial

Este tipo de proceso se desarrolla mayormente en horno o cámara de secado, que comúnmente estas cámaras son diseñadas con metal, aluminio, acero con protección calorífica en el interior o techo debido a su bajo coeficiente de transmisión térmica. Mediante este procedimiento se condensa agua en el interior de la cámara y se evapora por medio de chimeneas. Mayormente para este tipo de secado de madera se debe considerar los siguientes factores, especie, humedad inicial y final que se requiera [12].



Figura 7. Secado artificial de madera

## 2.4. CARACTERÍSTICA DE LA MADERA

Particularmente dependen de su especie, periodo de vida, climas y fortalezas del terreno a los que están expuestos. Por lo tanto, las características de la madera pueden considerarse como:

### a. Higroscópica:

Disponibilidad de la madera para atraer o liberar agua, mediante el cual la madera asciende o desciende su gravedad y magnitud según sea el caso.

### b. Anisotropía:

Por lo general la madera es considerada como anisotropía por presentar un comportamiento desigual, dicho de otra manera, por exhibir diversa conducta físicos y mecánicos [13].

### 2.4.1. Propiedades físicas de la madera

Wellmann afirma como propiedades físicas a la característica que presenta la madera incluyendo parámetros térmicos, químicos, eléctricas, las propiedades dimensionales, como dureza, densidad, pudrición, etc. [14].

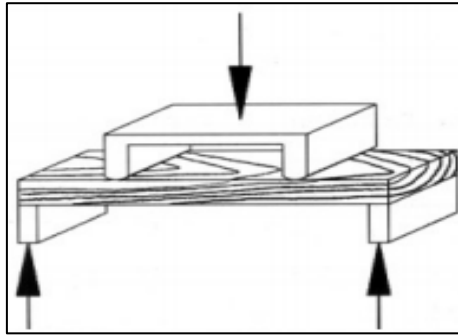


Figura 8. Flexión paralela a la fibra

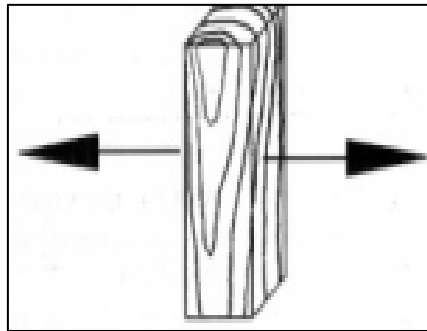


Figura 9. Tensión paralela al cuerpo

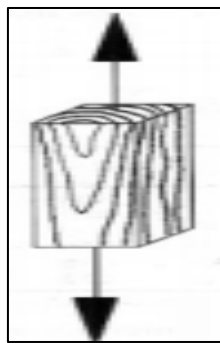


Figura 10. Tensión perpendicular al cuerpo

#### 2.4.2. Propiedades mecánicas de la madera

Particularmente dependen de la especie botánica y condiciones de crecimiento de la madera, ya que estos factores determinarán la rapidez de su crecimiento y la presencia de defectos las cual puede ser examinada mediante las fibras paralelas y perpendiculares. [15]

### 2.4.3. Colapso

Mayormente se define así a los defectos que presenta la madera generada por los factores climáticos perjudicando consecuentemente hasta provocar la muerte del árbol por falta de resistencia de la pared celular [16].



Figura 11. Colapso y rajadura de la madera

### 2.4.4. Agrietamiento

Los agrietamientos se generan por acción de dos efectos mediante el transcurso del secado de madera [16].

1. El primer factor es por efecto del colapso generado debido a que el esfuerzo producido es mayor a la resistencia mecánica de esta.
2. El segundo factor que ocasiona grietas, tiene su origen en el visco elasticidad de la madera debido a su alto contenido de humedad en sus paredes celulares.



Figura 12. Torceduras en la madera

### 2.4.5. Humedad

Según el autor Mateos [17] considera, que el volumen de agua en la madera se presenta en 3 formas diferentes, sean estas las siguientes:

1. **Agua de constitución.** – Es aquella agua que forma parte de un compuesto del suelo
2. **Agua de impregnación.** - Está adherida a las paredes celular de la planta, según sea su cavidad genera fenómenos de hinchamientos y retracción, se mantiene en equilibrio según el grado de humedad del medio ambiente. El agua de impregnación tiene gran importancia en las propiedades físico-mecánicas, y puede suprimirse parte de la misma mediante el secado en estufas a la temperatura aproximada de 105°C.
3. **Agua libre.** - Es el agua que rellena la cavidad de las células.

### 2.4.6. Bombas de calor

Según Cengel [18], indica que son dispositivos que transfieren calor de una temperatura baja a temperatura alta. Con la finalidad de mantener un espacio cálido con altas temperaturas.

Sin embargo, a este proceso que ejerce la bomba se define como, coeficiente de desempeño (COP). [19].

Las bombas de calor son máquinas térmicas eficientes, dado que obtienen un 75% de energía obtenida por el medio ambiente y un 25% por energía eléctrica.

## 2.5. Ventilador

Shavieth Subraya que los ventiladores son máquinas que realizan el movimiento de aire manteniendo un flujo continuo en la industria, lo cual está compuesto por una parte móvil que revoluciona a altas velocidades incrementando mayor cantidad de energía en el fluido [19].

### 2.5.1. Ventiladores centrífugos

[19], Subraya que, existen muchos diseños diferentes, pero por lo general la función de estos son lo mismo. Ya que el aire es capturado por las palas del rotor para luego ser expulsado hacia fuera por la fuerza centrífuga, por medio de una carcasa se recoge el aire para ser expulsado del rotor en una sola corriente.



Figura 13. Tipos de ventiladores centrífugos

### 2.5.2. Velocidad del aire

Es el movimiento continuo de un punto a otro dentro de la cámara causando la evaporación del líquido que presenta la madera debido a que esto forma la transferencia de calor. Obteniendo dos tipos de flujo siendo estos laminar y turbulento, sin embargo, este último más eficiente que el anterior [20].

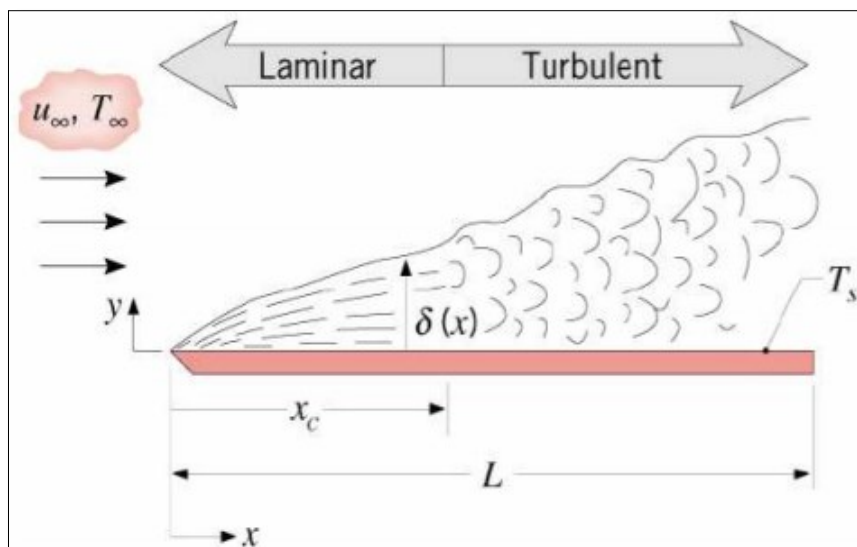


Figura 14. Capa límite en el flujo laminar y turbulento

### 2.5.3. Presión de aire

Según [21], La presión tiene que ser suficiente para su fluidez homogénea en toda la superficie de la cámara. Se debe considerar también que la construcción del apilado dentro de la cámara con las paredes se considera como mínimo de 20 cm para que exista un flujo de aire uniforme.

$$CLL = \frac{Vm}{Vc} \dots \dots \dots EC (1)$$

$Vm = \text{Volumen de madera}$

$Vc = \text{Volumen de la cámara}$

### 2.5.4. Calor específico

Este parámetro va depender del contenido de humedad y temperatura de la madera, pero es prácticamente independiente a la especie de cada madera y a su densidad. El calor de la madera seca se puede relacionar con una temperatura T, en grados Fahrenheit, mediante la ecuación siguiente [21].

$$C_p = 0,25 + 0,0006T \dots \dots \dots EC (2)$$

En el caso de la madera que contiene agua, su calor específico aumenta porque su calor específico del agua es superior a diferencia de la madera seca. Si el calor específico del agua es asumido como uno, el calor específico de la madera con un contenido de humedad m, donde m es el porcentaje de humedad dividido por 100, esto vendría a ser: [21]

$$C_p = \frac{0,25 + 0,0006T + m}{1 + m} \dots \dots \dots EC (3)$$

## 2.6. CÁLCULO DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA

En este análisis la estructura de la cámara debe resistir fuerzas externas e internas, es decir es necesario que soporte los esfuerzos, que generalmente son originados por el viento sobre las paredes de la cámara y de los componentes que conforman a esta [21].

Para calcular estas fuerzas de arrastre ocasionado por el viento se determina de la siguiente manera.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \dots \dots \dots EC (4)$$

Donde:

$F_D$ : Fuerzadearrastre. (N)

$C_D$ : Coeficiente de arrastre

$p$ : Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

$V$ : Velocidad del fluido ( $m/s$ )

$A$ : Área de la pared ( $m^2$ )

Calculo térmica fase de calentamiento inicial

Calor necesario para incrementar el nivel de temperatura de la carga desde temperatura del exterior hasta temperatura de trabajo y la carga pierda el contenido de agua, para ello se debe calentar para perder cierto grado de humedad que contiene dicho elemento para luego perder el agua ligada.

$$q_1 = V_m \cdot H_1 \cdot p_{mh} \cdot \Delta_t (kcal) \quad \dots \dots \dots EC (5)$$

Donde:

$V_m$ : Volumen de madera a secar

$H_i$ : Humedad inicial de la madera

$\Delta t$  = Diferencia de temperatura, desde la ambiental hasta la de operación

$C_{mh}$ : Calor específico de la madera húmeda

### 2.6.1. Capacidad

Para desarrollar dicho estudio, la cámara de secado cuenta con una amplitud de 25 m<sup>3</sup> lo cual las dimensiones de madera en tablones a secar son 2,5 m, 30 cm, 15 cm (largo, ancho, espesor), de la especie cedro, esto es el espacio, dimensiones y parámetros adquiridos con mayor interés para el diseño de la cámara de secado de madera.

### 2.6.2. Densidad

Según [22], la densidad de un elemento depende de la consistencia porosa que contenga su estructura celular, esto indica que a mayor cantidad de material sólido mayor densidad posee la madera.

Este parámetro se define como la relación entre la masa y el volumen de un elemento, es decir, cuando la humedad crece, la densidad también crece.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \dots \dots \dots Ec(6)$$

Donde:

$\rho =$  Densidad de la madera expresada (kg/m<sup>3</sup>)

$m =$  Masa de la madera (kg)

$v =$  Volumen de madera en (m<sup>3</sup>)

### 2.6.3. Calor útil para evaporar el agua de la madera

$$Q_c = H_v - H_a \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \right] \dots \dots \dots \text{EC (7)}$$

Siendo:

$Q_c =$  Calor necesario para elevar el agua (kcal/kg)

$H_v =$  Entalpia de vapor de agua (kcal/kg)

$H_a =$  Entalpia del agua (kcal/kg)

Las dos entalpias se calculan en función a la temperatura exterior del agua y de ebullición

$T_a =$  Temperatura ambiente es 23,10C° con lo que,  $H_a = 20,03$  kcal/kg

$T_e =$  Temperatura de ebullición es 87,9C° con lo que,  $H_v = 633,20$  kcal/kg

### 2.6.4. Procesamiento de la razón de agua evaporada

En primer lugar, sacaremos la masa total de los tablones con la siguiente ecuación

$$m = D \cdot V_p [Kg] \dots \dots \dots \text{EC (8)}$$

Siendo:

$m =$  Peso de una carga de madera (kg)

$D =$  Densidad de la madera (kg/m<sup>3</sup>)

$VP =$  Volumen de madera para el secado (m<sup>3</sup>)

### 2.6.5. Contenido de humedad en la madera

Se calcula mediante el agua que contiene los tablones respecto de su condición seca. Se calcula mediante la siguiente formula: [23]

$$H\% = \left( \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \right) \times 100 \dots \dots \dots \text{EC(9)}$$

- $H \geq 30\%$  : madera saturada de agua; todos los espacios interfíerales están llenos de agua, si se absorbe más, la madera se sobresatura.
- $23\% < H < 30\%$  : madera semiseca.
- $18\% < H < 23\%$  : madera comercialmente seca.
- $13\% < H < 18\%$  : madera seca al aire.
- $H < 13\%$  : madera desecada.
- $H = 0\%$  : madera anhidra, no contiene agua de impregnación, solo agua de constitución.

#### 2.6.6. Calor sensible para calentar la madera

$$q_1 = mp * C_p * \Delta T \dots \dots \dots EC(10)$$

Donde:

$mp$ =Masa de agua evaporada durante el proceso de secado (kg)

$C_p$ =Calor específico de la madera (Kcal/kg°C)

$\Delta T$ =Diferencia de temperatura entre el medio ambiente y el interior de la cámara de secado (°c).

#### 2.6.7. Calor necesario para evaporar el agua contenida en la madera

$$q_2 = m * h_{fg} \dots \dots \dots EC (11)$$

Donde:

$m$  = Masa de agua evaporada durante el proceso de secado (kg)

$h_{fg}$  = Calor latente del agua a 30,04c°=579,6kcal/h

#### 2.6.8. Calor útil

Entonces el calor útil será

$$Q_U = q_1 + q_2 \dots \dots \dots E.C. (12)$$

#### 2.6.9. Eficiencia térmica en el interior de la cámara de secado:

$$n = \frac{Q_U}{Q_{rad}} * 100 \dots \dots \dots EC (13)$$

Donde:

$Q_U$ =calor útil (kcal/h)

$Q_{rad}$ =transferencia de calor por radiación (kcal/h)

### 2.6.10. Humedad específica del aire

El contenido del aire de la atmosfera se combina con el aire seco y vapor de agua, la cual este parámetro es la relación que existe entre la masa de masa de aire seco y el vapor de agua.

$$w = \frac{m_v}{m_a} \dots \dots \dots EC (14)$$

Donde:

$w$  = humedad especifica (*kg vapor de agua/kg aire*)

$m_v$  = masa de vapor de agua (*kg*)

$m_a$  = masa aire seco (*kg*)

### 2.6.11. Calor específico de la madera

Este parámetro va depender del nivel de temperatura, humedad y densidad según el tipo de madera

Para determinar este valor se emplea la ecuación que se muestra a continuación.

$$cp_0 = 0,1031 + 0,3867 \times 10^{-2} \times T \dots \dots \dots EC (15)$$

$cp_0$  = calor específico de la madera seca ( $\frac{kJ}{kg/k}$ )

$T$  = temperatura a la que se encuentra la madera (*k*)

### 2.6.12. Proceso de secado

Para el secado de madera es primordial controlar de manera permanente los siguientes factores que influyen dentro del proceso.

- Temperatura de secado (C°)
- Humedad relativa
- Equilibrio higroscópico (%)
- Gradiente de secado

La temperatura de secado varía entre 45(°C) hasta 80(°C), en dependencia de la madera a secar.

### 2.6.13. Corte de la madera

Para obtener un mejor resultado es necesario tener conocimiento de cuáles son los tipos de corte que nos permitan en su totalidad aprovechar su potencial y mejorar el acabado de la madera (ver figura 15).

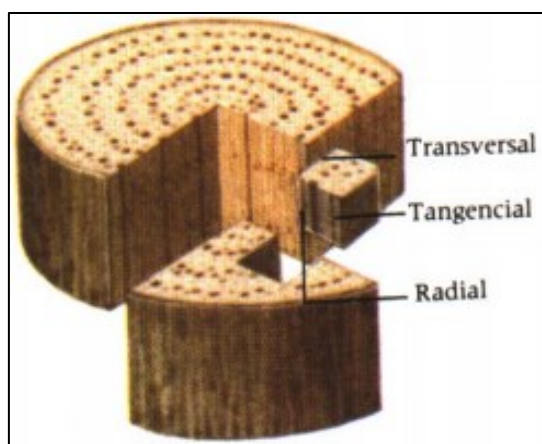


Figura 15. Cortes de la madera

### 2.6.14. Almacenamiento de la madera en cámara de secado

En este proceso se considera de qué manera podemos apilar la madera de acuerdo a su especie y espesor del tablón para obtener un secado ideal [24].

A continuación, se muestra la forma de apilamiento de la madera

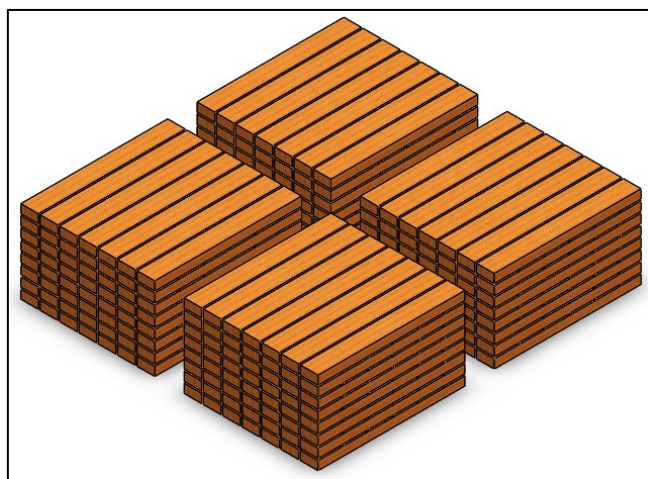


Figura 16. Apilamiento de la madera en la cámara

### 2.6.15. Espesor de los separadores

Según [24], recomienda las siguientes dimensiones de los separadores para diferentes espesores de madera a secar.

Tabla 1. Espesor de los separadores

Espesor de las tablas (mm)	Espesor de los separadores (mm)	Distancia entre separadores (mm)
Menos de 20	20	300 - 400
20 - 25	25	400 - 500
40 - 50	30	500 - 600
50 - 65	35	700 - 800
65 - 80	40	900
Más de 80	45	1000

Fuente: Extraído de [24]

Tabla 2. Dimensiones de los tablones a secar

DIMENSIÓN	
Largo	2,5 (m)
Ancho	0,30 (m)
Espesor	0,15 (m)

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.16. Contenido de humedad en la madera

El contenido de humedad que tiene el tablón va depender de su especie y la estación en la que se tale dicho árbol maderable.

Tabla 3. Porcentaje de humedad de la madera recién aserrada.

Variedad de la madera	Porcentaje de humedad (%)
Cedro	80-100%
Pino	70%
Tornillo	65- 90%

Fuente: Elaboración propia

### **2.6.17. Humedad relativa**

Se define como la relación entre la presión del vapor de agua y del vapor de equilibrio del agua a una temperatura dada. También podemos mencionar que la humedad relativa (HR) depende de la temperatura del sistema de interés, esto se puede expresar en la siguiente fórmula.

$$HR = \frac{W}{W_0} \times 100\% \dots \dots \dots \text{E. C (16)}$$

## **2.7. CONDUCCIÓN DE CALOR EN PAREDES PLANAS**

Al considerar una pared simple, homogénea ( $K = \text{cte.}$ ) de espesor, ( $e$ ) las áreas externas de la estructura permanecen a temperatura invariable a  $T_1$ ,  $T_2$  respectivamente.

### **2.7.1. Transferencia de calor en la ingeniería**

El equipo de transferencia de calor como los intercambiadores de calor, las calderas, los condensadores, los radiadores, calentadores, los hornos, y los colectores solares está diseñado tomando en cuenta el análisis de la transferencia de calor. Los problemas de esta ciencia que se encuentran en la práctica se pueden considerar en dos grupos [25].

1. Capacidad nominal. Los problemas de capacidad nominal tratan de la determinación de la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura.
2. Dimensionamiento. Los problemas de dimensionamiento tratan con la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia específica de temperatura.

### **2.7.2. Mecanismo de transferencia de calor**

Se define el calor como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. En un análisis termodinámico lo importante es la cantidad de calor transferido para dicho proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor [25].

El calor es transferido de tres maneras diferentes: convección, conducción y radiación.

Para todo el modo de transferir calor se requiere la existencia de diferencia de temperatura y todo ello se da del medio que posee la temperatura más elevada hacia una de temperatura más baja.

### 2.7.3. Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia adyacente menos energética, como resultados de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases [25].

### 2.7.4. Conductividad térmica de un material

[25], Se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área y por unidad de diferencia de temperatura también viene a ser la medida de la capacidad del material para conducir calor.

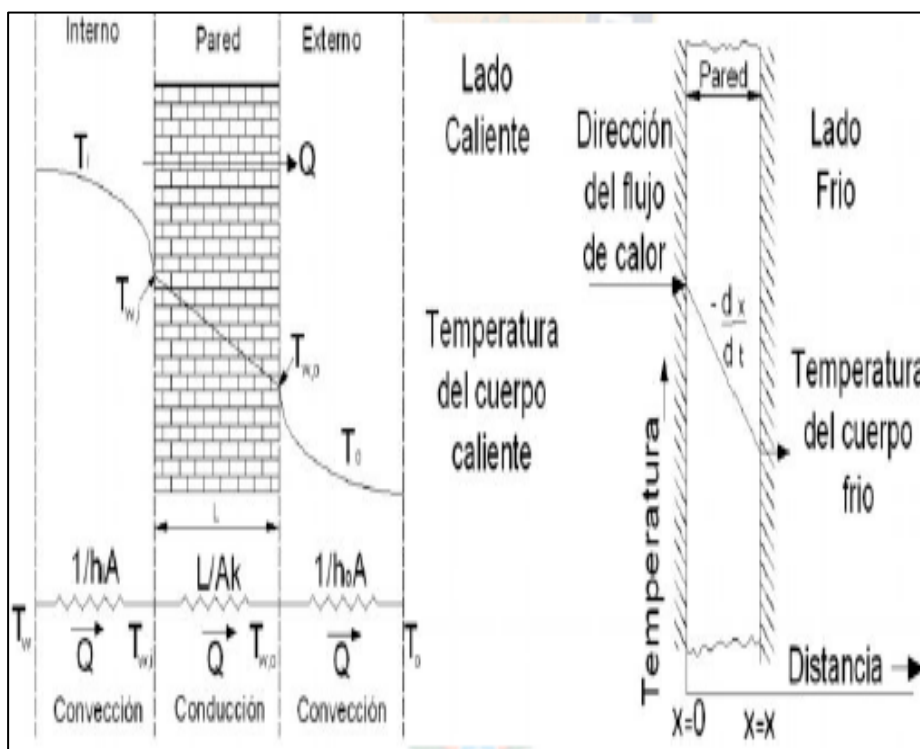


Figura 17. Tipos de transferencia de calor a través de las paredes

**2.7.5. Transferencia de calor a través de la pared plana**

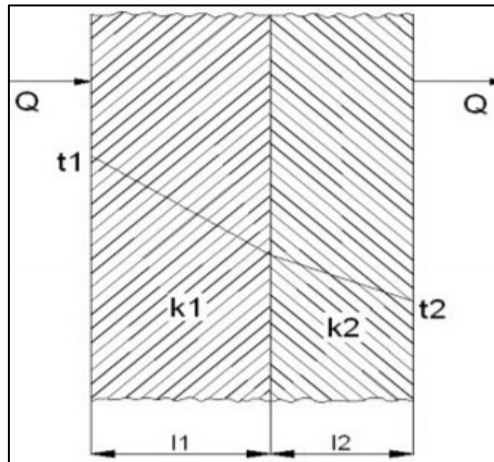


Figura 18. Transferencia de calor en pared plana

De la ecuación de Fourier tenemos:

$$q = KxAx \frac{T_1 - T_2}{e} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

q= Flujo de calor (W).

K= Conductividad térmica del material (W/m°C).

A= Área transversal al flujo calor de la pared (m<sup>2</sup>).

T1-T2= Temperatura de las paredes interior y exterior (°C).

e = Espesor de las paredes (m).

La ecuación más simplificada cambiando la resistencia térmica en un silo valor U, llamado coeficiente total de transferencia de calor para paredes de espesor diferente que se muestra a continuación [26].

$$U_{pared} = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{e_4}{k_4} + \frac{1}{h_e}} \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

U =Coeficiente total de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>x°K)

h<sub>1</sub>, h<sub>e</sub> = Son los coeficientes de transferencia de calor interna y externa (W/m<sup>2</sup>x°K)

e<sub>1</sub>, e<sub>n</sub> =Son los espesores de la pared de cada material que compone el horno (m)

$K_1, K_n$  = Son la conductividad térmica que tiene cada material (W/m °K)

[26], El coeficiente total de transferencia de calor U se puede emplear en cualquier área escogida este resultado puede garantizarse para incluir más paredes como en nuestro caso que usaremos para el diseño estará conformado de varias paredes

Para un análisis para cada área de cada pared podemos tener la siguiente ecuación.

$$Q^\circ = \sum_n^i U_i \times A_1 (T_{interna} - T_{exterior}) \dots \dots \dots (19)$$

Entonces la longitud del horno será

Donde:

$Q^\circ$  = Coeficiente de transferencia de calor (W), (KW)

U = Es el coeficiente total de transferencia de calor de las paredes (W/m<sup>2</sup>x °C

Ai = Son las áreas de transferencia de calor de la que compone las paredes (m<sup>2</sup>)

T<sub>exterior</sub> = Es la temperatura exterior (°C)

T<sub>interna</sub> = Es la temperatura interna (°C)

### **III. METODOLOGÍA**

Según [27] el marco metodológico hace referencia a los procedimientos y a las técnicas, que debe seguir un objeto de investigación para lograr una meta. Toda investigación tendrá un marco metodológico para la obtención de conocimientos.

#### **3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación cuenta con un nivel descriptivo con un enfoque cuantitativo, lo cual, según Azuero, este tipo de análisis se basa en un análisis estadístico, para efectuar la medición de las variables, además tendrá el uso de instrumentos de recolección de datos, lo que de alguna manera brindó una representación numérica. Es decir, para el desarrollo de este proyecto se recolectaron datos reales cuantificables como tipo de madera que se comercializa, grado de humedad, dimensiones, entre otros, por ende, estos parámetros son fundamentales para desarrollar los resultados [28].

#### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación será de tipo aplicada, debido a que empleará conceptos teóricos los cuales servirán como aportes para el diseño de una cámara de secado de madera. Según Gallardo sostiene que la investigación según su propósito también es definida como dinámica o activa y está relacionada a la básica o pura puesto que necesita de sus contribuciones teóricas [29].

#### **3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación tiene un diseño no experimental. Así mismo según Ñaupas et al, en una investigación no experimental, se realiza el estudio del comportamiento de la variable en un determinado tiempo y contexto, de modo que, no se altera la realidad en la que se encuentre. Es decir, en la presente investigación solo se observará y analizará las variables sin alterar el valor de su naturaleza [30].

#### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO**

El estudio de la población se sitúa en los aserraderos de madera en el Distrito de José Leonardo Ortiz, perteneciente al departamento de Lambayeque.

##### **3.4.1. Población**

Ñaupas et al. lo define como el conjunto de elementos o individuos que muestran rasgos comunes que lo asocian como el conjunto de unidades de estudio. Sin embargo, para el

siguiente trabajo de investigación estará conformada por los aserraderos de madera del sector Nuevo San Lorenzo 4<sup>ta</sup> etapa del Distrito de José Leonardo Ortiz [30].

### **3.4.2. Muestra**

Según Ñaupas et al. define como un fragmento de la población, donde está conformada por el universo en estudio, lo cual se realizó instrumentos de recopilación de información, esta puede estar constituida, por individuos, cosas, elementos o procesos, lo cuales tuvieron que cumplir con las características necesarias para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos del estudio En tal sentido se tomó una muestra aleatoria simple por conveniencia, la cual esta muestra está consignada por 9 aserraderos de madera del sector Nuevo San Lorenzo 4<sup>ta</sup> etapa del Distrito de José Leonardo Ortiz [30].

## **3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

### **3.5.1. Variable independiente:**

Cámara de secado

### **3.5.2. Variable dependiente:**

Tiempo de secado

Tabla 4. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable independiente</b> Cámara de secado	Una cámara de secado es un espacio herméticamente cerrado y equipado con sistemas de calefacción, sistemas de ventilación, controladores de temperaturas y otros equipos que permiten controlar un clima estandarizado al momento de cualquier proceso de secado [31].	Una cámara de secado permite controlar el nivel de humedad y el tiempo de secado del material seleccionado. Es decir, una cámara de secado nos permite tener un producto de mejor calidad y de mayor consistencia.	Volumen	m <sup>3</sup>
			Material	Tipo
<b>Variable dependiente</b> Tiempo de secado	El tiempo de secado es un parámetro que define con exactitud el tiempo que transcurre durante cualquier actividad de secado [32].	El tiempo de secado es el proceso de duración que tiene la madera para reducir su nivel de humedad dentro de la cámara de secado.	Humedad	%
			Temperatura	°C
			Tiempo	Horas
			Presión	Pa
			Caudal de aire	m <sup>3</sup> /s

Fuente: Elaboración propia.

**3.6. MATRIZ DE CONSISTENCIA**

Tabla 5. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	METODOLOGÍA
<b>General</b>	<b>General</b>	<b>Principal</b>	<b>Independiente:</b> Cámara de secado	Volumen de la cámara  Tipo de madera	<b>Tipo:</b> Aplicada  <b>Nivel:</b> Descriptivo  <b>Enfoque:</b> Cuantitativo  <b>Diseño:</b> No experimental
¿De qué manera poder disminuir el tiempo de secado manteniendo la buena calidad de madera para aumentar su flujo de salida en los aserraderos del distrito de José Leonardo Ortiz provincia de Chiclayo?	Diseñar una cámara para el secado de madera en el distrito de JLO-Lambayeque	El diseño de la cámara permitirá disminuir considerablemente el periodo de secado, así como también disminuir las deformaciones mecánicas en los tablones de madera y deterioro durante el almacenamiento a largo plazo.			
<b>Específicas</b>	<b>Específicas</b>	<b>Específicas</b>			
¿Cómo se analizará la situación actual sobre el proceso de secado convencional de madera en el distrito de J. L. O?	Diagnosticar la situación actual del proceso de secado convencional de madera en las empresas del distrito de JLO- Lambayeque.	Con el diagnóstico de la situación actual se determinará las necesidades y requerimientos de las empresas madereras del distrito de J.L.O.	<b>Dependiente:</b> Tiempo de secado	Humedad de la madera.  Temperatura de secado  Presión interna de la cámara  Caudal de aire	<b>Población</b> aserraderos de madera del Distrito de José Leonardo Ortiz  <b>Muestra:</b> 9 aserraderos de madera del Distrito de José Leonardo Ortiz  <b>Técnicas:</b> Encuesta.
¿Qué métodos se utilizará para determinar los parámetros, tipo, componentes y dimensiones de la cámara de secado?	Determinar los parámetros, tipo, componentes y dimensiones de la cámara para procesar el secado de tablones de madera.	Con la determinación de los parámetros, tipo, componentes y dimensiones de la cámara, se realizará el proceso de secado de los tablones de madera cedro.			
¿Cómo se realizará la simulación térmica de la cámara teniendo en cuenta los parámetros de velocidad temperatura y humedad mediante el software SOLIDWORKS?	Realizar una simulación térmica de la cámara para una mejor eficiencia de secado, usando el programa de SOLIDWORKS, que permita identificar el comportamiento de flujo de aire dentro de la cámara en temperatura, humedad y velocidad.	Mediante la simulación del proceso térmico en el software SOLIDWORKS se identificará y analizará el comportamiento de las variables como temperatura, velocidad y humedad de los tablones de madera cedro.			
¿Cómo se determinará la viabilidad económica de la propuesta?	Realizar una evaluación económica del diseño de la cámara.	Con el análisis de la evaluación económica se determinará los indicadores económicos y determinar la viabilidad del proyecto.			

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Según [33], nos habla que las técnicas son procedimientos que parten del método científico y nos permiten recolectar información mediante diversas técnicas, lo cual las técnicas más usadas y de obligatorio conocimiento por los investigadores son las siguientes, la entrevista, la observación y la encuesta. Sin embargo, para este proyecto se utilizó la encuesta

#### **3.7.1. Encuesta:**

La encuesta es un instrumento utilizado para recopilar información, que pueden ser de diferentes métodos, como por ejemplo de manera sistemática, presencial, telefónica, etc. [34].

Por lo tanto, para esta investigación esta técnica se llevará a cabo teniendo como instrumento un cuestionario de 13 preguntas y serán dirigidas a los jefes del área y operarios del aserradero, (Anexo 1) modelo del diagnóstico.

#### **3.7.2. Validación de contenido**

Con este parámetro se define la representación de los ítems considerados para realizar un estudio determinado.

Para realizar la validación se acude a “expertos”, el proceso es de manera lógica y racional, debido a que los expertos pueden o no tener concordancia en la validez de contenido del diagnóstico.

Este instrumento fue revisado por cuatro expertos los cuales son:

1. Ing. Amado Aguinaga Paz. Docente de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
2. Ing. Lucio Antonio Llontop Mendoza. Docente de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
3. Ing. Saúl Espinoza Ruiz. Jefe de prácticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
4. Ing. Alexander Querevalu Morante. Docente de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Para la evaluación de recolección de datos a los expertos citados anteriormente se les diseñó un cuadro-baremo donde cada ítem se analizó con las siguientes categorías.

Suficiencia, claridad, coherencia y relevancia, el cual se aplica una calificación numérica para cada una como se muestra en la tabla 6, en el Anexo 2 planilla juicio de expertos.

Tabla 6. Cuadro – baremo

CLASIFICACIÓN	
1	No cumple con el criterio
2	Bajo nivel
3	Moderado nivel
4	Alto nivel

Fuente: Elaboración propia

### 3.8. Procedimiento para la recolección de datos

Para la recolección de la información relevante en los aserradores de madera de José Leonardo Ortiz, se siguió los siguientes pasos:

- a) **Paso 1:** Establecer comunicación mediante vía telefónica con el gerente general de la empresa, para que nos otorgue la autorización de realizar el diagnóstico situacional.
- b) **Paso 2:** El gerente general programó las fechas y los horarios para llevar a cabo el diagnóstico.

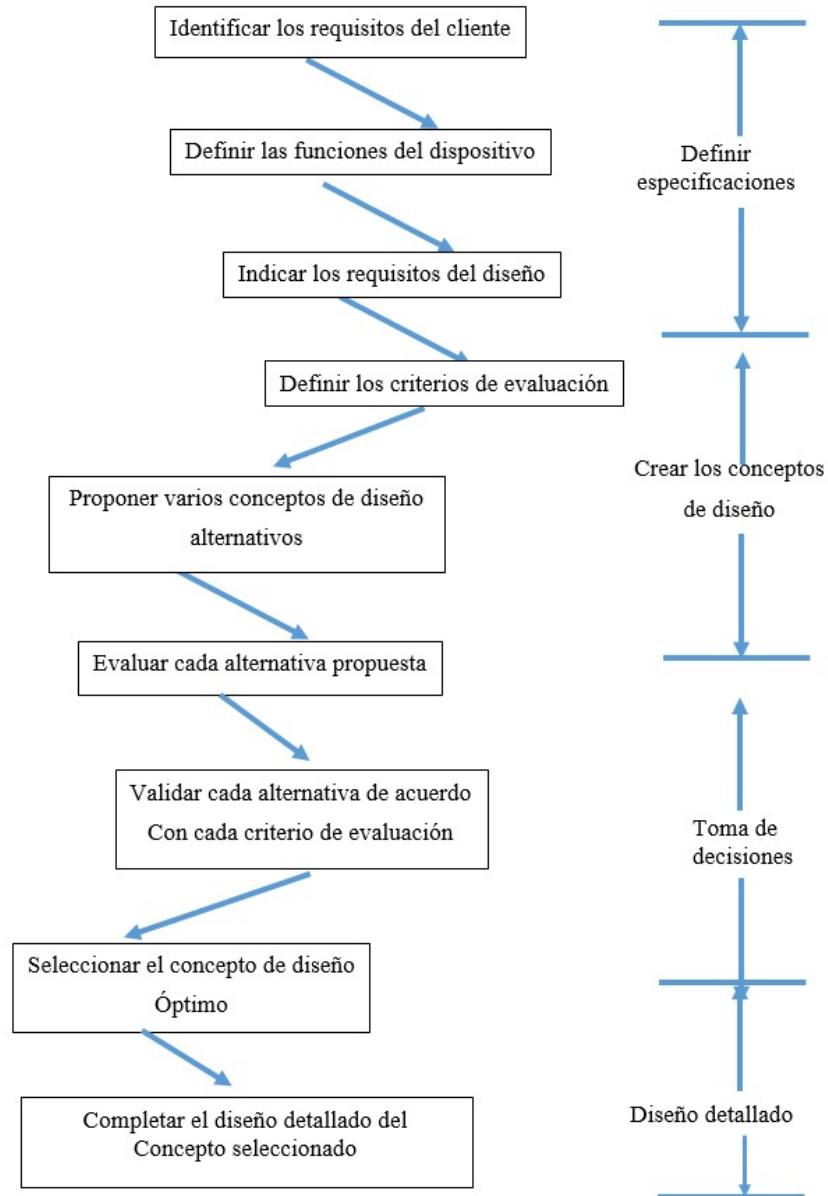
**Paso 3:** Acudimos a las instalaciones de la empresa, para realizar el diagnóstico inicial del proceso de secado de madera, aplicando los instrumentos ya mencionados.

### 3.9. Procedimiento y Análisis de Datos

Una vez culminado la recolección de datos obtenidos en la empresa, se tabularon los datos de los instrumentos aplicados, y para llevar a cabo su procesamiento se utilizó la herramienta de Microsoft Excel, teniendo tablas y gráficas para su posterior análisis y descripción.

### 3.10. Metodología de diseño

Según Robert L. Mott para el desarrollo metodológico se debe tener en cuenta el siguiente flujograma, donde se especifica los distintos niveles y consideraciones de un diseño [35].



Fuente: Robert L. Mott, P.E. Diseño de Elementos de Máquinas. 4a Ed. México 2006.

### 3.11. Consideraciones para el funcionamiento del diseño

Mediante las siguientes afirmaciones no cuantitativas, se indica el funcionamiento que debe realizar la máquina.

- Transferir calor necesario por parte de la bomba de calor al interior de la cámara
- Suministro eléctrico para el funcionamiento

- Tener buen aislamiento térmico en el interior de la cámara

### 3.12. Lista de exigencias

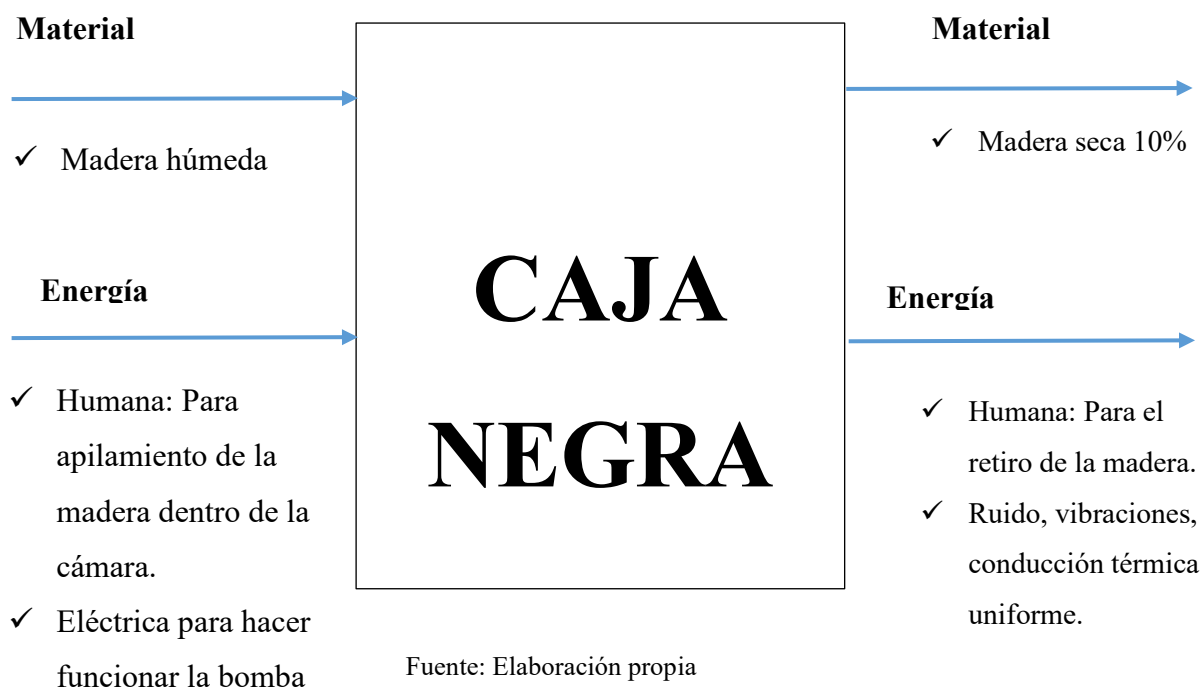
Se realiza una serie de exigencias para determinar de manera adecuada las exigencias (E) y deseos (D) que deben cumplir para la elaboración del diseño.

Tabla 7. Lista de exigencias.

LISTAS DE EXIGENCIAS		
Proyecto: <b>DISEÑO DE CÁMARA DE SECADO DE MADERA 25m<sup>3</sup> PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO EN EL DISTRITO DE JLO.</b>		
N°	Deseo o Exigencia	DESCRIPCIÓN
1	E	<b>FUNCION PRINCIPAL:</b> Disminuir el tiempo de secado de la madera
2	E	<b>ENERGÍA:</b> Requiere de energía eléctrica de la red
3	E	<b>TAMAÑO:</b> Es el área física que ocupa la cámara en los aserraderos de madera.
4	E	<b>MATERIAL:</b> Los materiales a utilizar sean duraderos de buen aislamiento térmico.
5	E	<b>OPERACIÓN:</b> Que la maquina debe ser operado por cualquiera de los trabajadores del aserradero, (fácil manejo)
6	E	<b>SEGURIDAD:</b> Es el parámetro de seguridad con la que debe contar la maquina
7	D	<b>VIDA UTIL:</b> La cámara por lo general debe estar diseñada para 8años de funcionamiento.
8	D	<b>MANTENIMIENTO:</b> Hace referencia a las actividades preventivas para tener un buen funcionamiento de máquinas y/o equipos
9	D	<b>REPARACION:</b> Debe considerarse fácil acceso a repuestos, por si algún componente del diseño llegue a fallar.
10	D	<b>COSTO:</b> Estar en un promedio de S/ 30 000 – S/ 40 000.

Fuente: Elaboración propia

### 3.13. Caja negra



### 3.14. Funciones del dispositivo

En esta fase se determinan todas las funciones del dispositivo a diseñar debe satisfacer para poder llevar a cabo su función principal.

#### a. Función principal

Para el diseño de esta cámara se puede explicar cómo una función total representada por una black box, donde se da una transformación, llamado proceso técnico, para dicha investigación su función principal es disminuir el tiempo de secado de la madera.

#### b. Funciones parciales

Las funciones de la cámara se sud dividen en funciones parciales que cumplan con una determinada función, satisfaciendo con el proceso requerido.

##### ✓ Alimentación:

Suministro de la materia prima (madera)

##### ✓ Accionamiento

Medio por el cual se genera la conversión de frío a calor

## IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1. Diagnóstico situacional del proceso de secado convencional de la madera.

El desarrollo de este estudio se realizó en el distrito de José Leonardo Ortiz cuarta etapa Nuevo San Lorenzo, Provincia de Chiclayo departamento de Lambayeque, la cual se encuentra ubicada al norte de Chiclayo con una latitud  $-6.75944$ , longitud:  $-79.8411$  además tiene un relieve plano con un clima cálido variado, aproximadamente de  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  y con una altitud de 40 m.s.n.m. también cuenta con una densidad poblacional de 5545,64 habitantes/km<sup>2</sup>, siendo una de sus actividades principales el comercio, tanto de productos agrícolas así como también productos maderables, que mayormente son obtenidos de la selva central y procesados en los distintos aserraderos para su última transformación en diferentes muebles [36].

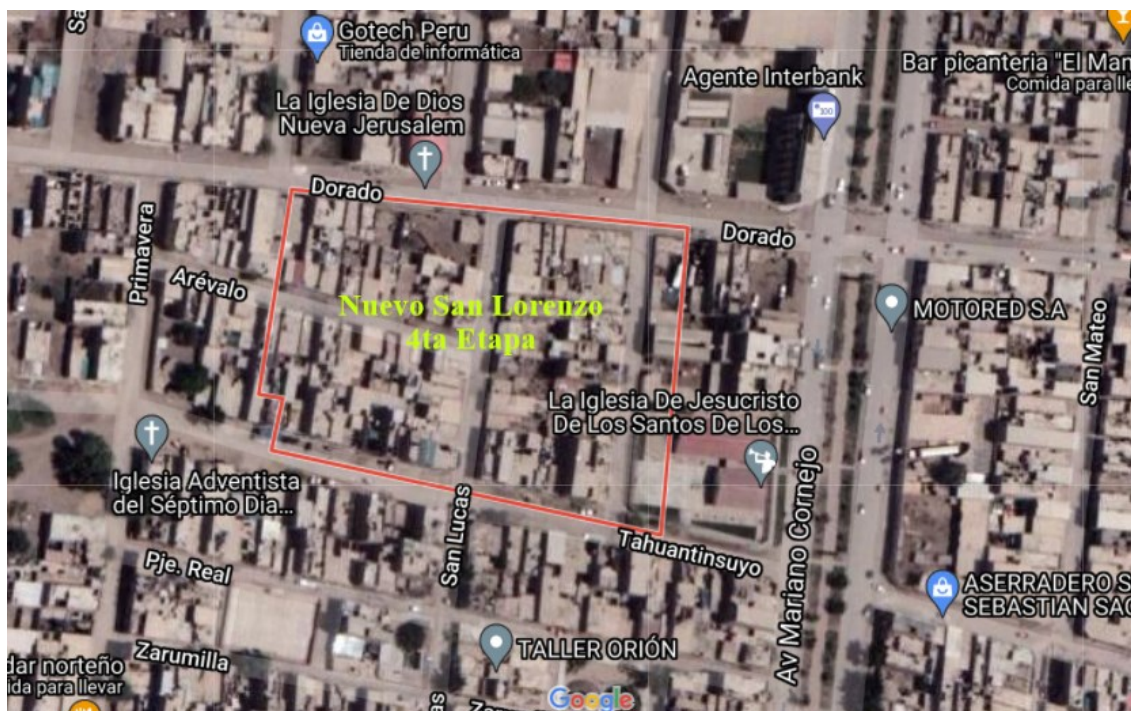


Figura 19. Ubicación geográfica del sector Nuevo San Lorenzo 4ta etapa distrito JLO

#### 4.1.1. Aplicación de la encuesta

Se aplicó una encuesta a los trabajadores que laboran en el establecimiento maderero en el sector Nuevo San Lorenzo 4<sup>ta</sup> etapa del distrito de JLO, para identificar el conocimiento técnico y los parámetros necesarios que emplean mediante el transcurso del secado de la materia prima. definiendo las dimensiones, materiales, planos entre otros.

Cabe recalcar que este estudio se desarrolló en los aserraderos ubicados en el sector Nuevo San Lorenzo 4<sup>ta</sup> etapa del distrito de JLO, los cuales estos se dedican a la

comercialización, corte y secado de madera, sin embargo, para el proceso de secado lo realizan de manera convencional es decir expuesto a la intemperie, para ello se realizó una muestra aleatoria simple por conveniencia conformado por 9 encuestas y se obtuvo resultados que se detallan en el ANEXO 5.

A continuación, se detalla los resultados más relevantes y un resumen general de los resultados de la situación actual y los requerimientos a tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

### 1. ¿Cuál es el tipo de madera que más comercializa su empresa?

Tabla 8. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa

Tipo de madera	Resultado	Porcentaje
Cedro	4	40%
Tornillo	2	20%
Roble	2	20%
Pino	1	10%
Otros	1	10%

Fuente: elaboración propia

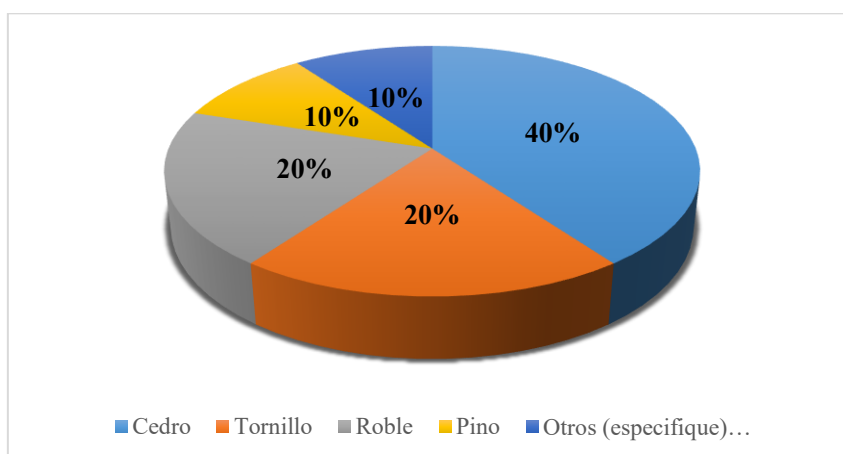


Figura 20. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa

De la figura 20 se puede visualizar que un 40% de madera más comercializada en los aserraderos del Distrito de JLO es el cedro. Por ser una madera duradera y muy resistente a plagas y enfermedades; así como también por su característico color rojizo lo hace un perfecto material para diversas construcciones.

## 2. ¿Qué productos aserrados compra?

Tabla 9. Productos con mayor demanda.

Producto más comprado	Resultado	Porcentaje
Tablas	1	10%
Tablones	5	50%
Vigas	3	30%
Otros (especifique)...	1	10%

Fuente: Elaboración propia

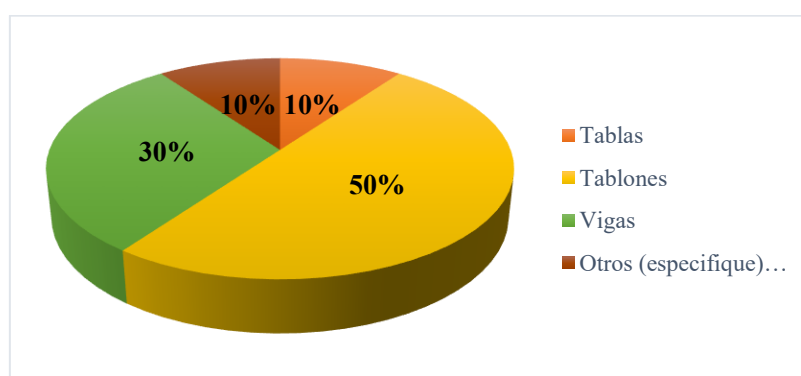


Figura 21. Productos con mayor demanda

De la figura 21 se visualiza que el 50% de aserraderos adquieren la madera en forma de tablones por ser manejable y de fácil proceso de transformación y elaboración de bienes finales (muebles, casas, embarcaciones, etc.).

## 3. ¿Cuáles son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?

Dimensiones de madera más utilizadas.

Tabla 10. Dimensiones de madera más utilizadas.

Dimensiones de la madera	Resultado	Porcentaje
2,5 x 0,30 x 0,15 m	4	40%
10 x 0,40 x 0,20 m	1	10%
8 x 0,35 x 0,20 m	3	30%
7 x 0,30 x 0,20 m	2	20%

Fuente: Elaboración propia

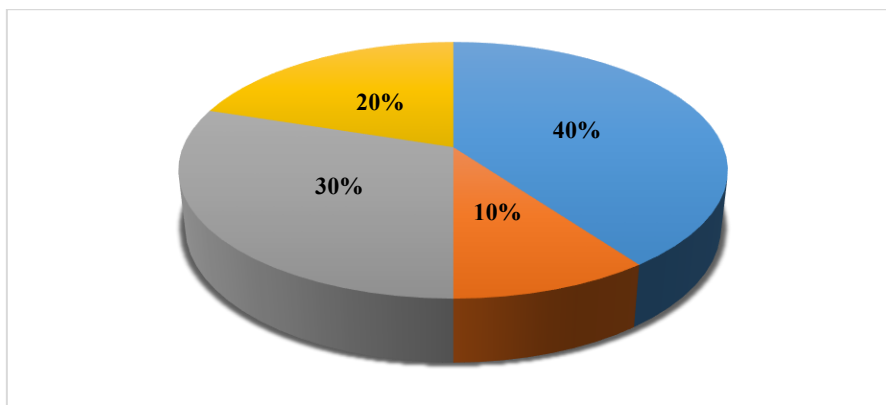


Figura 22. Dimensiones de madera más utilizadas

De la figura 22 podemos visualizar un 40% de la madera acerrada en las empresas encuestadas en el Distrito de JLO tienen como medidas 6 x 0,30 x 0,15 metros.

#### 4. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compra la madera?

Tabla 11. Nivel de humedad en la madera

Porcentaje de humedad	Resultado	Porcentaje
Madera verde (70% - 150%)	6	60%
Madera húmeda (20% - 40%)	2	20%
Madera seca al aire libre (13% - 18%)	1	10%
Madera seca en cámara (por debajo del 12%)	1	10%

Fuente: Elaboración propia

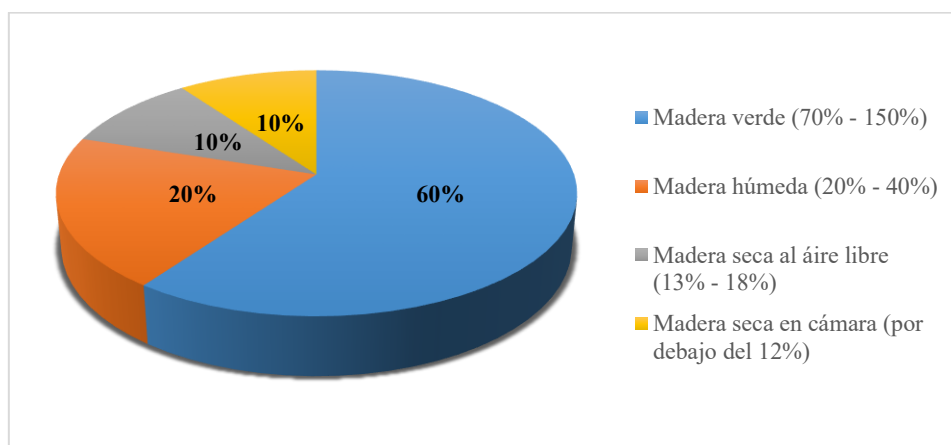


Figura 23. Porcentaje de humedad de la madera

De la figura 23 Se visualiza un 60% de la madera que adquieren los aserraderos del Distrito J.L.O es de un 70% a 150% de humedad.

## 5. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?

Tabla 12. Porcentaje de humedad para comercializar la madera

Porcentaje de humedad	Resultado	Porcentaje
30% - 50%	2	20%
20% - 25%	3	30%
10% - 15%	4	40%
Otros	1	10%

Fuente: Elaboración propia

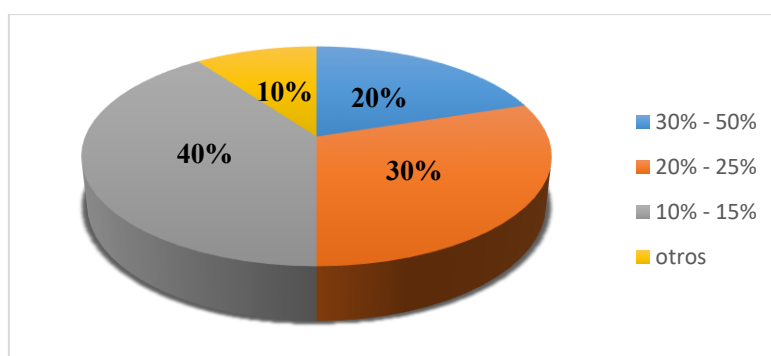


Figura 24. Porcentaje de humedad para comercializar la madera

De la figura 24 se concluye que el 40% de los aserraderos venden la madera las carpinterías entre 10% a 15% de humedad.

A continuación, se muestra un resumen general del diagnóstico la situación actual que se desarrolló mediante la encuesta.

Tabla 13. Resumen de resultados de la situación actual

1. ¿Cuál es el tipo que más comercializa su empresa?	Cedro
2. ¿Qué productos aserrados compra?	Tablones
3. ¿Cuáles son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?	2,5x0,30x0,15m
4. ¿Qué tan frecuente compra la madera	Quincenal
5. ¿Qué cantidad de madera compra su empresa?	40000 pies mensual
6. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compra la madera?	(70%-150%)

7. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?	(10%-15%)
8. Actualmente ¿cuenta la empresa con alguna máquina para el secado de madera?	No
9. ¿La empresa estaría dispuesta adquirir una cámara de secado de madera con el fin de disminuir el tiempo de secado?	Si
10. ¿Conoce usted alguna máquina para el secado de madera?	No
11. ¿Qué ventajas obtendrá con una cámara de secado?	Optimizar el flujo de salida
12. ¿Qué desventajas generaría una cámara para el secado de madera	Mayores medidas de seguridad
13. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una cámara de secado de madera?	30,000 – 40,000
14. ¿Qué características considera importante al comprar una máquina como lo es una cámara de secado de madera?	Material de fabricación duradero

Fuente: Elaboración propia




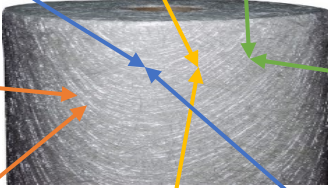
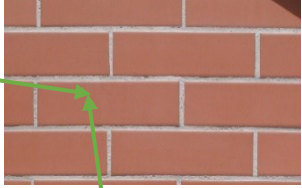


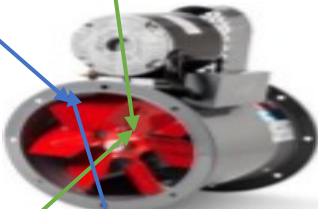

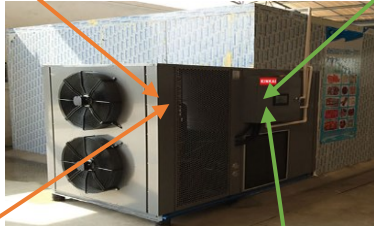


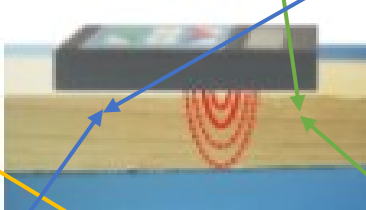
#### **4.2. Determinación de los parámetros, tipo, componentes y dimensiones de la cámara.**

Para determinar los parámetros y dimensionamiento de este diseño se tomará en cuenta las necesidades que se estudiaron en el capítulo anterior, lo cual nos permitirá dimensionar y seleccionar los equipos que conformará esta cámara. Para ello mediante la “matriz morfológica” de Zwicky se construirá las alternativas de solución más conveniente. Lo cual se muestra a continuación.

##### **4.2.1. Matriz morfológica**

Para el problema dado, el cual estarán agrupados mediante la secuencia de flechas del mismo color. Obtener distintas soluciones hay diferentes métodos, como los tradicionales, intuitivos y los discursos. Para esta investigación se realizará un esquema ordenado denominado “matriz morfológica” de Zwicky. Mediante este método se busca construir alternativas de solución.

Tabla 14. Matriz morfológica

1	Alimentación	 Manual	 Montacargas	
2	Estructura interna de la cámara	 aluminio	 fibra de vidrio	 Ladrillo
	Tipo de ventiladores	 centrífugo	 axial	 axial con motor
3	Tipos de secador	 convección	 bomba de calor	 radio frecuencia
4	Indicador de humedad de bolsillo	 corriente eléctrica	 campo magnético	
		CONCEPTO 1	CONCEPTO 2	CONCEPTO 3
				CONCEPTO 4

#### **4.2.2. Disposición básica**

Mediante esto se define que cada concepto debe satisfacer las funciones, parametros y requisisitos del diseño. Se presentara a modo de esquema la solucion cualitativa obtenida de dicha matriz morfologica para cada uno de la cuatro soluciones planteadas. Estas soluciones son denominadas concepto solucion, mediante el cual se realizara una evaluacion critica de las propiedades deseadas, de cada concepto del diseño, de tal modo poder concluir cual diseño es el mas optimo.

##### **a. Concepto de solución 1**

Para esta solución la madera húmeda es apilada dentro de la cámara por fuerza humana, lo cual la estructura interna sera fabricada de aluminio compuesto por materiales que tengan buen aislamiento termico para altos volumenes de madera tal como es la fibra de vidrio, asi mismo pueda soportar dilataciones entre otros ataques físicos, químicos a los que estará expuestos, asi mismo para que el flujo de calor en el interior de la cámara sea homogénio seran instalados ventiladores centrífugos con rotor de palas radiales, autolimpiantes, que estaran acoplados a un motor eléctrico mediante correas y poleas, el proceso de secado se realizará por medio de una bomba de calor encargada de transmitir calor al interior de la cámara, finalmente el porcentaje de humedad será medido por un aparato de bolsillo electrónico.

##### **b. Concepto de solución 2**

Para esta solución la madera humeda es apilada dentro de la cámara por fuerza humana, lo cual la estructura interna será fabricada de fibra de vidrio con buen aislamiento térmico que soporte dilataciones entre otros ataques físicos, químicos a los que estará expuestos, asi mismo para que el flujo de calor en el interior de la cámara sea homogénio seran instalados ventiladores axiales con rotor, que estaran acoplados a un motor eléctrico mediante correas y poleas, el proceso de secado será por radio frecuencia encargada de transmitir calor al interior de la cámara, finalmente el porcentaje de humedad será medido por un aparato de bolsillo magnético.

##### **c. Concepto de solución 3**

Para esta solución la madera humeda es apilada en el exterior de la cámara y usar un montacargas para ingresarla, lo cual la estructura interna era fabricada de fibra de vidrio con buen aislamiento térmico que soporte dilataciones entre otros ataques físicos,

químicos a los que estará expuestos, así mismo para que el flujo de calor en el interior de la cámara sea homogéneo serán instalados ventiladores axiales, que estarán acoplados a un motor eléctrico, el proceso de secado será por convección, finalmente el porcentaje de humedad será medido por un aparato de bolsillo eléctrico.

#### **d. Concepto de solución 4**

Para esta solución la madera húmeda es apilada en el exterior de la cámara y con el uso de un montacargas ingresarla, lo cual la estructura externa será construido de concreto y solo su interior con fibra de vidrio con buen aislamiento térmico que soporte dilataciones entre otros ataques físicos, químicos a los que estará expuestos, así mismo para que el flujo de calor en el interior de la cámara sea homogéneo serán instalados ventiladores centrífugos con rotor de palas radiales, autolimpiantes, que estarán acoplados a un motor eléctrico mediante correas y poleas, el proceso de secado se realizará por medio de una bomba de calor encargada de transmitir calor al interior de la cámara, finalmente el porcentaje de humedad será medido por un aparato magnético de bolsillo.

#### **4.2.3. Evaluación de concepto óptimo para el diseño**

Para determinar esta evaluación se debe tener en cuenta dos tipos de parámetros lo cual es el filtrado de conceptos y finalmente la evaluación de los mismos.

#### **4.2.4. Filtrado de conceptos**

Este proceso fue desarrollado por Stuart Pugh en los años 1980, que a su vez también es denominado matriz de conceptos Pugh. Siendo la finalidad de esta etapa minimizar ligeramente la cantidad de conceptos.

Se elaboró la matriz de selección, evaluando los conceptos contra el concepto de referencia usando un solo código (+ “mejor que”, 0 “igual que”, - “peor que”), para identificar algún concepto para su desarrollo siguiente.

Tabla 15. Tabla de Filtrado de Concepto

VALOR ECONÓMICO	CONCEPTOS			
CRITERIOS DE SELECCIÓN	ANARANJADO	CELESTE	AMARILLO	VERDE
Diseño	+	+	+	-
Confiabilidad	+	+	-	-
Seguridad	+	-	+	+
Fabricación	+	0	0	0
Tamaño	-	+	+	0
Vida útil	+	-	0	+
Mantenimiento	+	+	+	-
Suma +	6	4	4	2
Suma 0	0	1	2	2
Suma -	1	2	1	3
Evaluación neta	5	2	3	-1
Lugar	1	3	2	4
¿Continuar?	SI	NO	SI	NO

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.5. Evaluación de conceptos

La evaluación de conceptos se lleva a cabo en la resolución de conceptos con mayor resolución de ponderado entre los conceptos que compite. En esta etapa, el equipo pondera la importancia relativa de los criterios de selección y se enfoca en comparaciones más refinadas con respecto a cada criterio. Las evaluaciones del concepto están determinadas por la suma ponderada de las calificaciones.

Se elaboró la matriz de evaluación, utilizando una suma ponderada de las evaluaciones para determinar el concepto más óptimo. Se usó tres puntajes de calificación (0 “no tan bueno”, 2,5 “bueno, 5 “muy bueno”).

Tabla 16. Evaluación de conceptos

VALOR ECONÓMICO		CONCEPTOS							
Criterios de Selección		Anaranjado		Celeste		Amarillo		Verde	
Criterios de selección	Peso (%)	Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación
Diseño	25 %	2,5	0,625	2,5	0,625	2,5	0,25	2,5	0,625
Confiabilidad	30 %	5	1,5	2,5	0,75	5	1,5	2,5	0,75
Seguridad	20 %	5	1	5	1	5	1	5	1
Fabricación	7 %	5	0,35	5	0,35	5	0,35	2,5	0,175
Tamaño	5%	2,5	0,125	2,5	0,125	2,5	0,125	2,5	0,125
Vida útil	7%	5	0,35	2,5	0,175	5	0,55	2,5	0,175
Mantenimiento	6%	2,5	0,15	2,5	0,15	2,5	0,15	5	0,3
<b>Total, puntos</b>	100 %	4,1		3,175		3,925		3,15	
<b>Lugar</b>		1		4		2		3	
		<b>DESARROLLAR</b>		<b>NO</b>		<b>NO</b>		<b>NO</b>	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.6. Datos técnicos de diseño de la cámara de secado.

En la siguiente figura se muestran referencias técnicas para proyectar la cámara según su necesidad. Donde se considera los parámetros y dimensiones de la cámara de secado.

En la siguiente imagen se observa las dimensiones del tablón de madera cedro

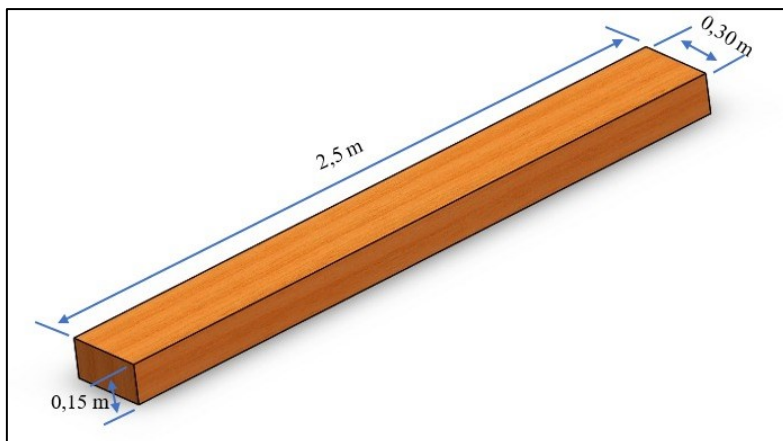


Figura 25. Dimensiones del tablón cedro.

Tabla 17. Especificaciones técnicas del tablón cedro

Especie de madera	Cedro
Densidad (verde)	760 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad (verde)	80 %
Largo	2,5 m
Ancho	30 cm
Espesor	15 cm
Calor específico	1,38 kJ/kg K

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Parámetros iniciales para el proceso de secado

Humedad final	10 %
Temperatura de secado	75 °C
Temperatura ambiente	23 °C
Volumen de la cámara	25 m <sup>3</sup>
Número de tablonces	224
Número de separadores	140
Número de cargas	4

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el proceso de secado de madera se utilizará 4 cargas, lo cual cada carga estará conformada por 56 tabones de  $2,5\text{ m} \times 0,30\text{ m} \times 0,15\text{ m}$  y 35 separadores de  $2,280\text{ m} \times 0,03\text{ m} \times 0,03\text{ m}$  y distribuidos de tal manera que la salida de aire permita circular equitativamente, mejorando así los procesos de transferencia de calor en la cámara.

En la siguiente figura se detalla la distribución de cada carga de madera y las dimensiones de los separadores.

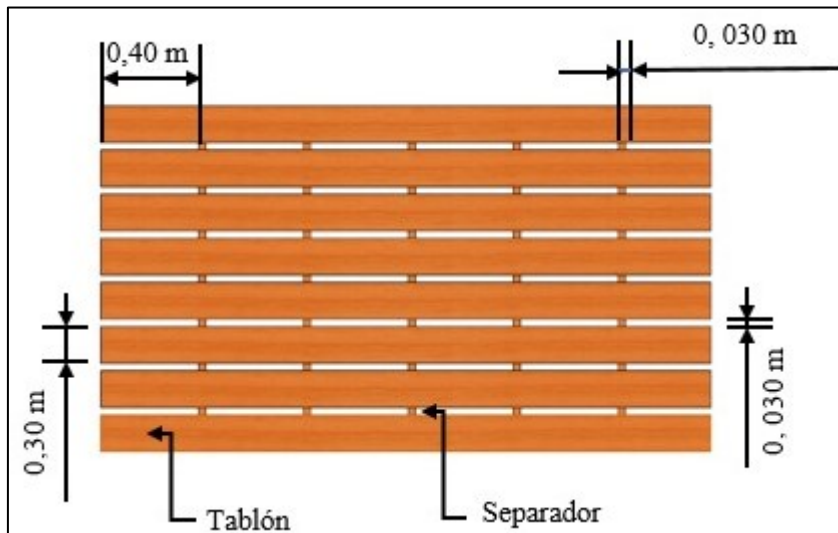


Figura 26. Vista lateral de la carga y medida de los separadores

A continuación, se detalla una vista isométrica de carga de madera y su dimensionamiento.

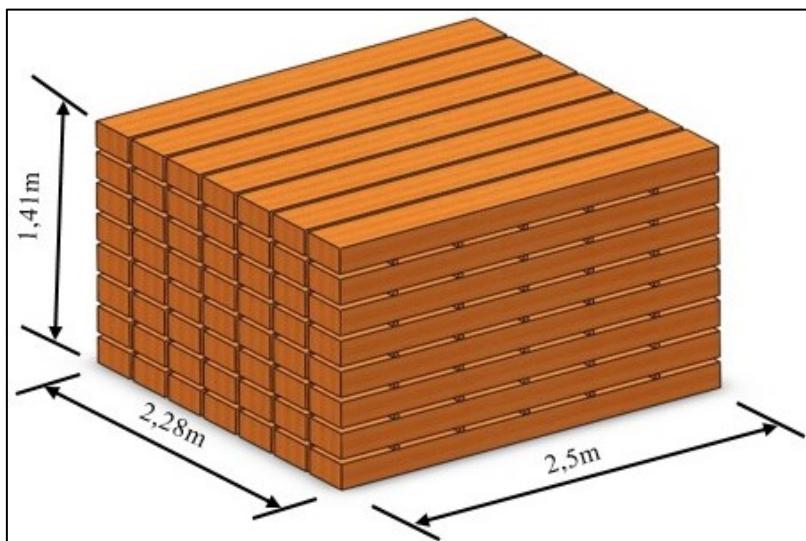


Figura 27. Vista isométrica de la carga de madera

En esta imagen se visualiza el ángulo superior, distribución de cargas y el tamaño de la cámara de secado.

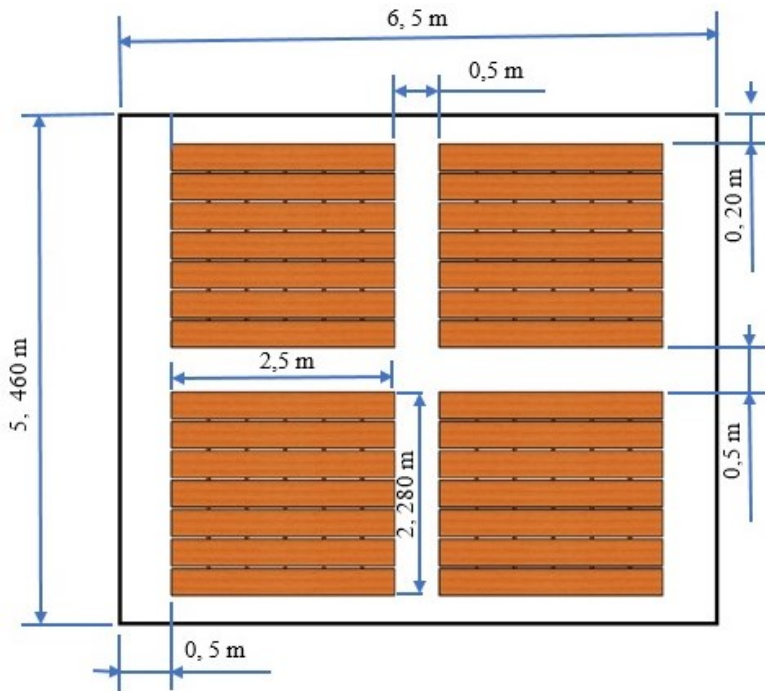


Figura 28. Distribución de cargas (vista superior)

Como se observa en la imagen anterior que detalla una vista superior, lo cual cada carga de madera está formada por 7 tablones de manera longitudinal, también se muestra la distribución de espacios libres lo cual servirá como acceso de circulación del personal para realizar el apilado, así como también para la instalación de equipos como sensores de temperatura, ventiladores, entre otros.

#### 4.2.7. Dimensiones de la cámara de secado.

Se debe tener en cuenta algunos parámetros y dimensiones de los tablones, así como también la altura de cada carga y espesor de los separadores. A continuación, se calculará la cámara.

##### a. Cálculo de la longitud de la cámara de secado ( $L_{cámara}$ )

$$L_{cámara} = 0,5 m + 0,5 m + 0,5 m + L_{tablón} + L_{tablón}$$

$$L_{cámara} = 0,5 m + 0,5 m + 0,5 m + 2,5 m + 2,5 m$$

$$L_{cámara} = 6,5 m$$

**b. Cálculo del ancho de la cámara de secado ( $A_{cámara}$ )**

$$A_{cámara} = 0,20 \text{ m} + 0,20 \text{ m} + 0,50 \text{ m} + A_{carga} + A_{carga}$$

$$A_{cámara} = 0,20 \text{ m} + 0,20 \text{ m} + 0,50 \text{ m} + 2,280 \text{ m} + 2,280 \text{ m}$$

$$A_{cámara} = 5,46 \text{ m}$$

**c. Cálculo de la altura de la cámara de secado ( $H_{cámara}$ )**

Para calcular la altura de la carga se consideró el espacio que va a ocupar los ventiladores, así como también los intercambiadores de calor. A continuación de manera detallada se especifica la clasificación de las dimensiones de altura.

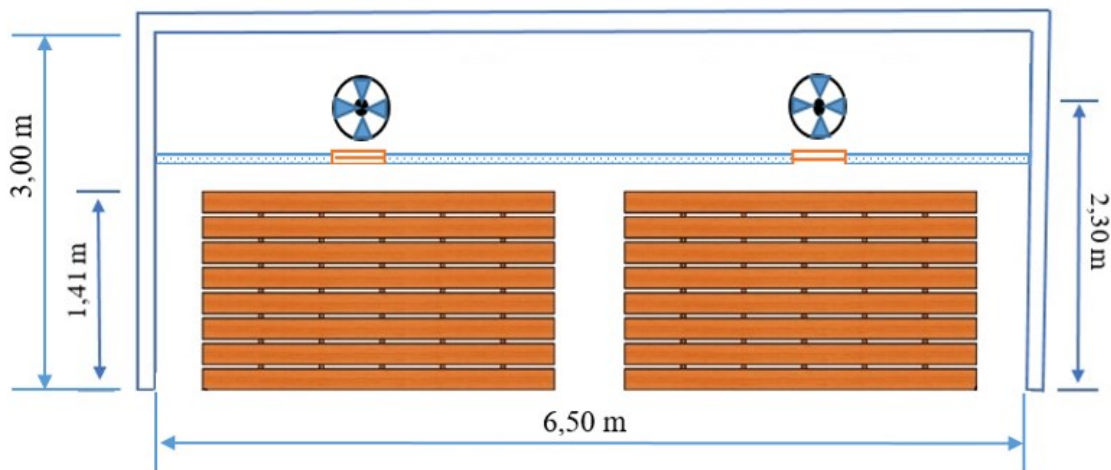


Figura 29. Distribución de cargas (vista lateral)

Por lo tanto, la cámara de secado tendrá como dimensiones 6,5 m de largo por 5,46 m de ancho y 3 m de altura.

**4.2.8. Determinación del volumen total de la madera y volumen de los separadores.**

$$V_{humedo} = V_{1tablon} * N^{\circ} \text{Tablones}$$

**Donde:**

$$V_{humedo} = \text{Volumen húmedo de la madera (m}^3\text{)}$$

$$V_{1tablon} = \text{Volumen de un tablón (m}^3\text{)}$$

$$N^{\circ} \text{ Tablones} = \text{Número total de tablones}$$

Ahora calculamos el volumen del tablón

$$V_{1tablon} = a \times b \times c$$

**Donde:**

$a$  = Ancho del tablón (0,3 m)

$b$  = Largo del tablón (2,5 m)

$c$  = Espesor del tablón (0,15 m)

$$V_{1\text{tablón}} = 2,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$$

$$V_{1\text{tablón}} = 0,11 \text{ m}^3$$

A continuación, se calcula la masa acuosa de la madera.

$$V_{1\text{tablón}} = 0,11 \text{ m}^3 \times 224_{\text{tablonés}}$$

$$V_{\text{humedo}} = 24,64 \text{ m}^3$$

Ahora se calcula el volumen total de los separadores.

$$V_{\text{separador}} = a \times b \times c$$

**Donde:**

$a$  = Ancho del separador (0,03 m)

$b$  = Largo del separador (2,280 m)

$c$  = Espesor del separador (0,03 m)

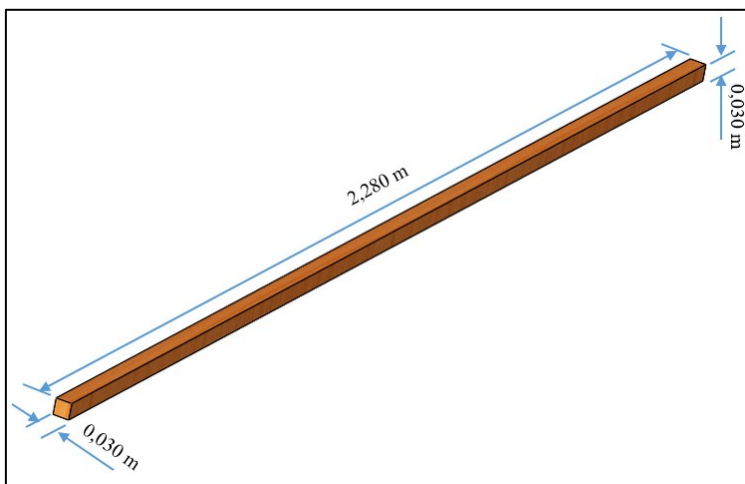


Figura 30. Separador de los tablonés

$$V_{1\text{separador}} = 0,03 \text{ m} \times 2,280 \text{ m} \times 0,03 \text{ m}$$

$$V_{1\text{separador}} = 0,002052 \text{ m}^3$$

Posteriormente se calcula el volumen total de los separadores, cabe mencionar que la cámara de secado tendrá un arreglo de cuatro cargas, es decir 56 tablones por carga y 35 separadores, en conclusión, se necesita un total de 140 separadores. Así como se detalla en la siguiente imagen.

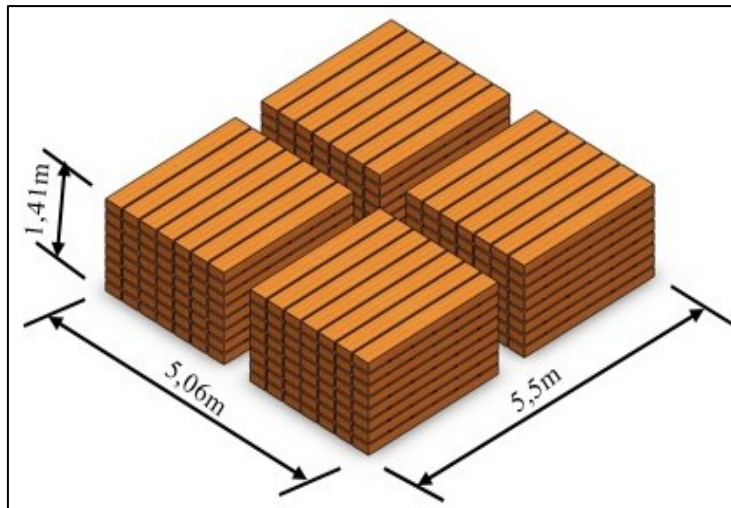


Figura 31. Vista isométrica y distribución de cargas

$$V_{\text{separadores}} = V_1 \text{ separador} * N^{\circ} \text{ separadores}$$

$$V_{\text{separadores}} = 0,002052 \text{ m}^3 * 140_{\text{separadores}}$$

$$V_{\text{separadores}} = 0,29 \text{ m}^3$$

Finalmente, el volumen total de madera a secar será:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{madera}} + V_{\text{separadores}}$$

$$V_{\text{total}} = 24,64 \text{ m}^3 + 0,29 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 25 \text{ m}^3$$

Con este resultado se concluye que la cantidad total de madera a secar es  $25 \text{ m}^3$ , sin embargo, esto dependerá mucho de las dimensiones de los tablones, por lo tanto, para este proyecto la cámara de secado tendrá las siguientes dimensiones.

Tabla 19. Dimensiones internas de la cámara de secado

Longitud de las paredes	(m)
Largo	6,50
Ancho	5,46
Altura	3,00

Fuente: Elaboración propia

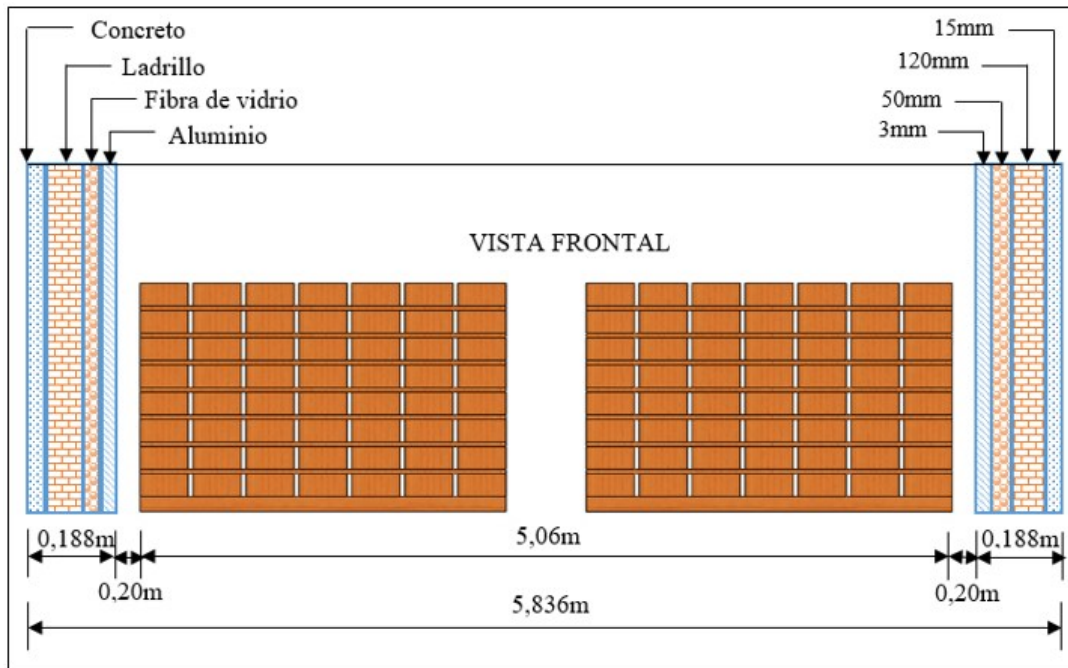


Figura 32. Estructura de la cámara de secado

A continuación, se hacen mención las propiedades físicas de los componentes de la estructura de la cámara.

Tabla 20. Características de los componentes de la cámara.

Tipo de material	Espesor (mm)	Conductividad de material $\left[\frac{W}{m^{\circ}K}\right]$
concreto	15	0,8
Ladrillo	120	0,6
Fibra de vidrio	50	0,04
Aluminio	3	205

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra las dimensiones externas de la cámara de secado lo cual es la suma del espesor de las paredes que lo conforman la estructura de dicha cámara, lo cual se detalla a continuación.

Tabla 21. Dimensiones externas de la cámara de secado

Longitud de las paredes	(m)
Largo	6,876
Ancho	5,436
Altura	3,187

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la transmisión de calor, debemos tener en cuenta los parámetros climatológicos del lugar de estudio, por lo tanto, a continuación, se describe dichos parámetros.

Este proyecto se llevará a cabo en el Distrito de JLO Provincia de Chiclayo departamento de Lambayeque, lo cual este lugar cuenta con una temperatura ideal de 23°C y con una humedad relativa de 76 %, una velocidad de viento de 3,9 m/s a una atmosfera de presión y con una altitud de 27 m.s.n.m [37].

#### **4.2.9. Determinación de coeficientes de transferencia de calor en las paredes**

Estos coeficientes se determinan mediante las características del aire existente en la zona de estudio, así como también la velocidad promedio, para posteriormente obtener los coeficientes de convección tanto internos como externos.

Para ello se calculó el número de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{V_{\infty} * L}{\nu}$$

Donde:

$V_{\infty}$  = Velocidad de viento promedio (m/s)

L = Longitud característica de la pared (m)

$\nu$  = Viscosidad cinemática (m/s)

Con el valor de la temperatura promedio (23 °C), se calculó las propiedades del aire la cual se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 22. Propiedades del aire

TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T, °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255

Nota: Extraído de Yunus Cengel [38]

Sin embargo, de la tabla anterior para determinar los parámetros de viscosidad cinemática, conductividad térmica, difusividad térmica y número de Prandtl se tuvo que interpolar todos estos valores.

- ✓ Viscosidad cinemática “ $\nu$ ” m<sup>2</sup>/s

$$\nu = 1,516 \times 10^{-5} + \frac{1,562 \times 10^{-5} - 1,516 \times 10^{-5}}{(25 - 20)^\circ\text{C}} * (23 - 20)^\circ\text{C}$$

$$\nu = 1,5436 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

- ✓ Conductividad térmica “k” W/m°C

$$k = 0,02514 + \frac{0,02551 - 0,02514}{(25 - 20)^\circ\text{C}} * (23 - 20)^\circ\text{C}$$

$$k = 0,025362 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

- ✓ Difusividad térmica “ $\alpha$ ” m<sup>2</sup>/s

$$\alpha = 2,074 \times 10^{-5} + \frac{2,141 \times 10^{-5} - 2,074 \times 10^{-5}}{(25 - 20)^\circ\text{C}} * (23 - 20)^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 2,0819 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

- ✓ Número de Prandtl “Pr”

$$\text{Pr} = 0,7309 + \frac{0,7296 - 0,7309}{(25 - 20)^\circ\text{C}} * (23 - 20)^\circ\text{C}$$

$$\text{Pr} = 0,7301$$

Por lo tanto, el número de Reynolds tendrá un valor de.

$$\text{Re} = \frac{V_{\infty} * L}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{3,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 6,5 \text{ m}}{1,5436 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\text{Re} = 1\ 642\ 264,8$$

Con este resultado se concluye que el flujo presente es turbulento, por lo tanto, a continuación, se calculará el número de Nusselt [38].

$$\text{Nu} = 0,036(1^{0,8} - 836) \times \text{Pr}^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 0,036 \times (1\ 642\ 264,8^{0,8} - 836) \times (0,7301)^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 3\ 014,6$$

Con el resultado obtenido se calcula la siguiente expresión.

$$h_e = \frac{\text{Nu} \times K}{L}$$

$$h_e = \frac{3\ 014,6 \times 0,025362 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}{6,5 \text{ m}}$$

$$h_e = 11,76 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

En el siguiente cálculo se determinará el coeficiente de convección interna de la cámara de secado, sin embargo, se establece que la temperatura interna de la pared es de 60°C por lo tanto se calculará la temperatura promedio, sin embargo, el rango de temperatura recomendado para el secado de madera oscila entre 30°C a 80°C.

$$T_{\text{promedio}} = \frac{T_{\text{calentamiento}} + T_{\text{pared interna}}}{2}$$

$$T_{\text{promedio}} = \frac{75 + 60}{2}$$

$$T_{\text{promedio}} = 67,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con este valor de temperatura promedio de 67,5 °C nuevamente se interpola para poder determinar las propiedades del aire.

Tabla 23. Características del aire a temperatura de 67,5 °C

TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T, °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111

Nota: Extraído de Yunus Cengel [38]

Con el valor anterior se calcula las propiedades del aire

- ✓ Viscosidad cinemática “ $\nu$ ” m<sup>2</sup>/s

$$\nu = 1,896 \times 10^{-5} + \frac{1,995 \times 10^{-5} - 1,896 \times 10^{-5}}{(70 - 60)^\circ\text{C}} * (67,5 - 60)^\circ\text{C}$$

$$\nu = 1,9703 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

- ✓ Conductividad térmica “k” W/m.°C

$$k = 0,02808 + \frac{0,02881 - 0,02808}{(70 - 60)^\circ\text{C}} * (67,5 - 60)^\circ\text{C}$$

$$k = 0,02863 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

- ✓ Difusividad térmica “ $\alpha$ ” m<sup>2</sup>/s

$$\alpha = 2,632 \times 10^{-5} + \frac{2,780 \times 10^{-5} - 2,632 \times 10^{-5}}{(70 - 60)^\circ\text{C}} * (67,5 - 60)^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 2,743 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

✓ Número de Prandtl “Pr”

$$\text{Pr} = 0,7202 + \frac{0,7177 - 0,7202}{(70 - 60)^\circ\text{C}} * (67,5 - 60)^\circ\text{C}$$

$$\text{Pr} = 0,7183$$

Por lo tanto, con estos valores se calculará el número de Reynolds, sin embargo, la velocidad recomendable dentro de la cámara es de 2 m/s.

$$\text{Re} = \frac{V_\infty * L}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{2 \text{ m/s} * 6,5 \text{ m}}{1,9703 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\text{Re} = 659\,798$$

Con este resultado se tiene un flujo en transición, por lo tanto, el número de Nusselt será.

$$\text{Nu}_L = (0,66 \times (659\,798)^{0,5}) (0,7183)^{1/3}$$

$$\text{Nu}_L = 482$$

Por lo tanto, el coeficiente de convección interna se determinará con la siguiente ecuación.

$$h_i = \frac{\text{Nu}_L * K}{L}$$

$$h_i = \frac{482 * 0,02863 \text{ W/m K}}{6,5 \text{ m}}$$

$$h_i = 2,123 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Una vez determinado estos valores se procede a calcular las pérdidas de calor a través de la estructura interna de la cámara, sin embargo, el piso no se le considera ya que el flujo no interactúa con el exterior.

Para resolver el factor de transferencia utilizaremos la siguiente expresión

$$U_{\text{pared}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{e_3}{K_3} + \frac{e_4}{K_4} + \frac{1}{h_e}}$$

Siendo:

$h_i, h_e$  = Coeficientes de transferencia de calor interna y externa  $\left(\frac{W}{m^2 \times ^\circ C}\right)$

$e_1, e_n$  = Espesores de la pared de la cámara (m)

$K_1, \dots, K_n$  = Representa conductividad térmica del material (W/m x °K)

**a. Pérdida de calor a través de las paredes  $U_{pared}$**

Estas paredes estarán compuestas de materiales como, ladrillo, capa de concreto, fibra de vidrio como aislante y una plancha de aluminio de 3 mm para recubrir la parte interna de la cámara. Por lo tanto, a continuación, se detalla el espesor y la constante de conductividad térmica de cada material.

Tabla 24. Conductividad térmica de los materiales para la pared

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)
Aluminio	3	205
Fibra de vidrio	50	0,04
Ladrillo	120	0,6
Concreto	15	0,8

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se detalla la estructura de la pared de la cámara de secado

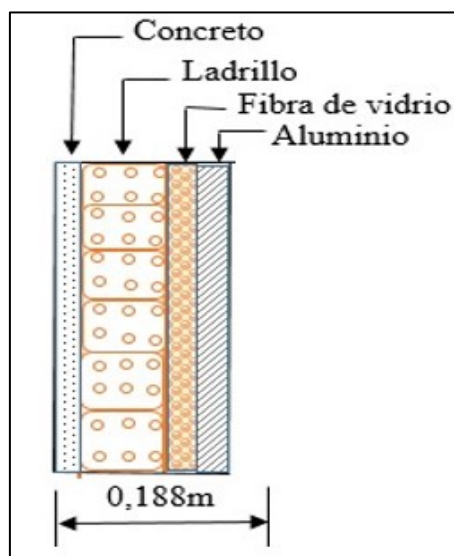


Figura 33. Estructura de la pared de la cámara de secado

$$U_{\text{pared}} = \frac{1}{\frac{1}{2,123 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,003(m)}{205 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,05(m)}{0,04 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,12(m)}{0,6 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,015(m)}{0,8 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{1}{11,76 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)}}$$

$$U_{\text{pared}} = \frac{1}{2,0248 \frac{m^2 \cdot K}{W}}$$

$$U_{\text{pared}} = 0,4939 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### b. Pérdidas por transferencia de calor en la puerta $U_{\text{puerta}}$

Para la parte interna de la cámara, la puerta estará conformada por una plancha de aluminio, se eligió este material porque es resistente a la corrosión, ya que estos materiales estarán sometidos a altos niveles de humedad. Y para la parte externa se utilizará una plancha de acero, ambas planchas tienen un espesor de 2 mm y como aislante térmico se utilizará fibra de vidrio de 50 mm de grosor.

Por lo tanto, a continuación, se detalla los espesores y la constante de conductividad térmica de cada material.

Tabla 25. Conductividad térmica de los materiales para la puerta

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)
Aluminio	3	205
Acero	3	50,2
Fibra de vidrio	50	0,04

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se detalla la estructura de la puerta

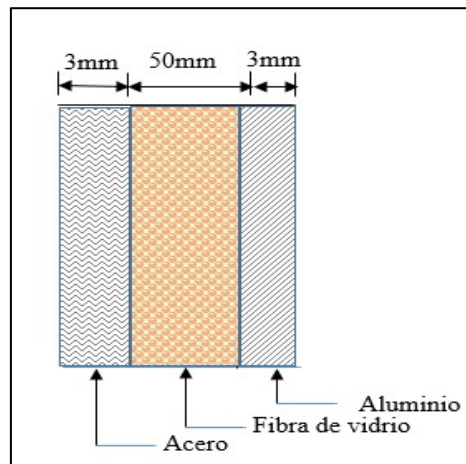


Figura 34. Estructura de la puerta

$$U_{puerta} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{e_3}{K_3} + \frac{1}{h_e}}$$

$$U_{puerta} = \frac{1}{\frac{1}{2,123 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)} + \frac{0,003(m)}{205 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)} + \frac{0,003(m)}{50,2 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)} + \frac{0,05(m)}{0,04 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)} + \frac{1}{11,76 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)}}$$

$$U_{puerta} = \frac{1}{1,8061 \frac{m^2 \cdot K}{W}}$$

$$U_{puerta} = 0,5537 W/m^2 \cdot K$$

### c. Pérdida de calor a través del techo $U_{techo}$

La parte interior del techo estará compuesto por materiales como, ladrillo, capa de concreto, fibra de vidrio como aislante y una plancha de acero de 2 mm para recubrir la cámara. Por lo tanto, posteriormente se especificará detalladamente el espesor y la constante de conductividad térmica de cada material.

Tabla 26. Conductividad térmica del techo

Elementos	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)
Concreto	15	0,8
Ladrillo	120	0,6
Fibra de vidrio	50	0,04
Acero	2	50,2

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se detalla la estructura del techo de la cámara.

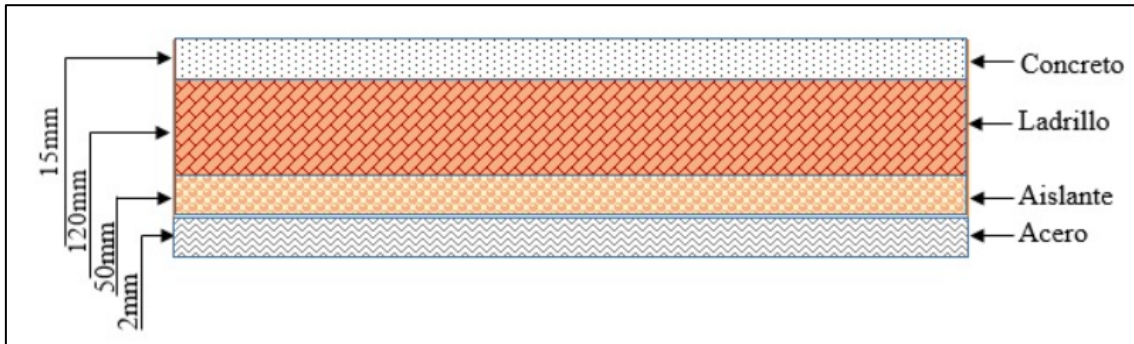


Figura 35. Estructura del techo

$$U_{\text{techo}} = \frac{1}{\frac{1}{2,123 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,015(m)}{0,8 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,12(m)}{0,6 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,05(m)}{0,04 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{0,002(m)}{50,2 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{1}{11,76 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)}}$$

$$U_{\text{techo}} = \frac{1}{2,0249 \frac{m^2 \cdot K}{W}}$$

$$U_{\text{techo}} = 0,4939 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### d. Pérdida de calor del techo falso $U_{\text{falso techo}}$

Estará compuesto por planchas de aluminio y otra de acero, ambas con un espesor de 2 mm, sin embargo, para evitar pérdidas de calor se utilizará fibra de vidrio como aislante. Por lo tanto, en la siguiente tabla se detalla los espesores y la constante de conductividad térmica de cada material.

Tabla 27. Elementos para la conductividad térmica del falso techo

Elementos	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)
Aluminio	2	205
Acero	2	50,2
Fibra de vidrio	50	0,04

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se detalla la estructura del falso techo.

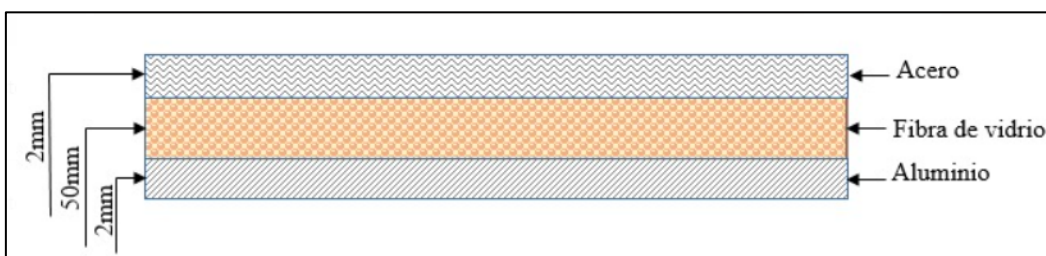


Figura 36. Estructura del falso techo.

$$U_{\text{puerta}} = \frac{1}{\frac{1}{2,123 \left( \frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right)} + \frac{0,002(\text{m})}{205 \left( \frac{W}{\text{m} \cdot \text{°K}} \right)} + \frac{0,002(\text{m})}{50,2 \left( \frac{W}{\text{m} \cdot \text{°K}} \right)} + \frac{0,05(\text{m})}{0,04 \left( \frac{W}{\text{m} \cdot \text{°K}} \right)} + \frac{1}{11,76 \left( \frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right)}}$$

$$U_{\text{falso techo}} = \frac{1}{1,8061 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{W}}$$

$$U_{\text{falso techo}} = 0,5537 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Posteriormente se calcula las áreas que lo conforman las paredes, puerta, techo y falso techo.

Por lo tanto, el área total de la pared se calcula con la siguiente expresión

$$A_{\text{total de pared}} = (P_{\text{lateral}})x2 + (P_{\text{posterior}})x1 + (P_{\text{frontal}} - (\text{Área}_{\text{puerta}}))$$

- ✓ Cálculo del área de la pared lateral

$$A_{\text{pared lateral}} = 6,5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$A_{\text{pared lateral}} = 19,5 \text{ m}^2$$

- ✓ Cálculo del área de la pared posterior

$$A_{\text{pared posterior}} = 5,460 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$A_{\text{pared posterior}} = 16,38 \text{ m}^2$$

- ✓ Cálculo del área del techo

$$A_{\text{techo}} = 6,5 \text{ m} \times 5,46 \text{ m}$$

$$A_{\text{techo}} = 35,49 \text{ m}^2$$

- ✓ Cálculo del área de la puerta

$$A_{\text{puerta}} = 2,8 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}$$

$$A_{\text{puerta}} = 7,84 \text{ m}^2$$

- ✓ Cálculo del área de la pared frontal

$$A_{\text{pared frontal}} = A_{\text{pared frontal}} - A_{\text{puerta}}$$

$$A_{\text{pared frontal}} = 16,38 \text{ m}^2 - 7,84 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{pared frontal}} = 8,54 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total de pared}} = (P_{\text{lateral}})x2 + (P_{\text{posterior}})x1 + (P_{\text{frontal}} - (\text{Área}_{\text{puerta}}))$$

$$A_{\text{total de pared}} = (19,5 \text{ m}^2)x2 + (16,38 \text{ m}^2)x1 + (16,38 \text{ m}^2 - 7,84 \text{ m}^2)$$

$$A_{\text{total de pared}} = 63,92 \text{ m}^2$$

Finalmente se calcula la velocidad de transferencia de calor de la cubierta, pared, falso techo y la puerta, estos parámetros se calcula con la siguiente expresión.

$$Q^* = \sum_n^i U_i \times A_i (T_{\text{interna}} - T_{\text{exterior}})$$

Donde:

$Q^*$  = Velocidad de transferencia de calor (W), (KW)

$U$  = Coeficiente de transferencia de calor de las paredes ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$A_i$  = Área de transferencia de calor de la estructura ( $\text{m}^2$ )

$T_{\text{exterior}}$  = Temperatura ambiente del lugar (K)

$T_{\text{interior}}$  = Temperatura interna de la cámara en operación (K)

Velocidad transferencia de calor para las paredes ( $Q_{\text{pared}}^*$ )

$$Q_{\text{pared}}^* = U_{\text{pared}} \times A_{\text{pared}} (T_{\text{interna}} - T_{\text{exterior}})$$

$$Q_{\text{pared}}^* = 0,4939 \text{ W}/\text{m K} \times 63,92 \text{ m}^2 (75 - 23)\text{K}$$

$$Q_{\text{pared}}^* = 1\ 641,6 \text{ W}$$

Velocidad de transferencia de calor para la puerta ( $Q_{\text{puerta}}^*$ )

$$Q_{\text{puerta}}^* = U_{\text{puerta}} \times A_{\text{puerta}} (T_{\text{interna}} - T_{\text{exterior}})$$

$$Q_{\text{puerta}}^* = 0,5537 \text{ W}/\text{m K} \times 7,84 \text{ m}^2 (75 - 23)\text{K}$$

$$Q_{\text{puerta}}^* = 225,7 \text{ W}$$

Velocidad de transferencia de calor para el techo ( $Q_{\text{techo}}^*$ )

$$Q_{\text{techo}}^* = U_{\text{techo}} \times A_{\text{techo}} (T_{\text{interna}} - T_{\text{exterior}})$$

$$Q_{\text{techo}}^* = 0,4939 \text{ W}/\text{m K} \times 35,49 \text{ m}^2 (75 - 23)\text{K}$$

$$Q_{\text{techo}}^* = 911,5 \text{ W}$$

Velocidad de transferencia de calor para el falso techo ( $Q_{\text{falso techo}}^*$ )

$$Q_{\text{falso techo}}^* = U_{\text{falso techo}} \times A_{\text{falso techo}} (T_{\text{interna}} - T_{\text{exterior}})$$

$$Q_{\text{falso techo}}^* = 0,5537 \text{ W/m K} \times 15 \text{ m}^2 (75 - 23)\text{K}$$

$$Q_{\text{falso techo}}^* = 431,9 \text{ W}$$

Por lo tanto, el calor perdido será:

$$Q_{\text{total}}^* = Q_{\text{pared}}^* + Q_{\text{puerta}}^* + Q_{\text{techo}}^* + Q_{\text{falso techo}}^*$$

$$Q_{\text{total}}^* = 1\,641,6 \text{ W} + 225,7 \text{ W} + 911,5 \text{ W} + 431,9 \text{ W}$$

$$Q_{\text{total}}^* = 3\,210,7 \text{ W}$$

Sin embargo:

$$1 \text{ W} = 0,8595 \text{ kcal/h}$$

Por lo tanto, el calor total perdido por la estructura será:

$$Q_{\text{total}}^* = 3\,210,7 * 0,8595 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{total}}^* = 2\,760,71 \text{ kcal/h}$$

A continuación, se muestra una vista de todos los materiales para la cámara.

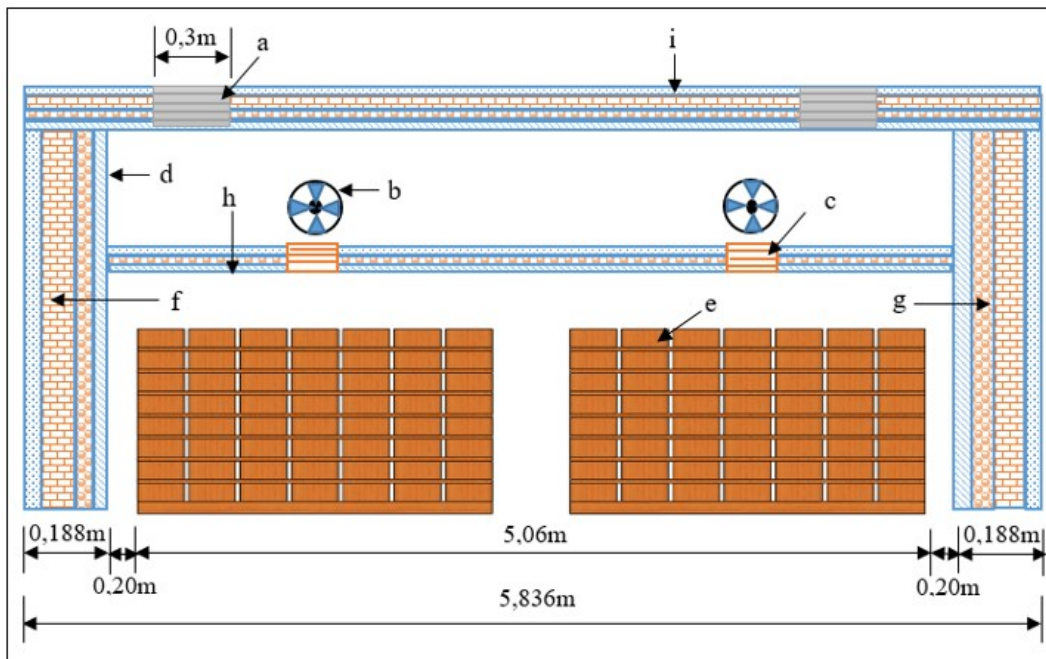


Figura 37. Componentes de la cámara

- a. Ventilillas
- b. Ventilador
- c. Ingreso de flujo de aire del ventilador
- d. Plancha de aluminio
- e. Carga de tabloncillos de madera cedro
- f. Pared de ladrillo

- g. Fibra de vidrio (aislante térmico)
- h. Falso techo
- i. Pared de concreto

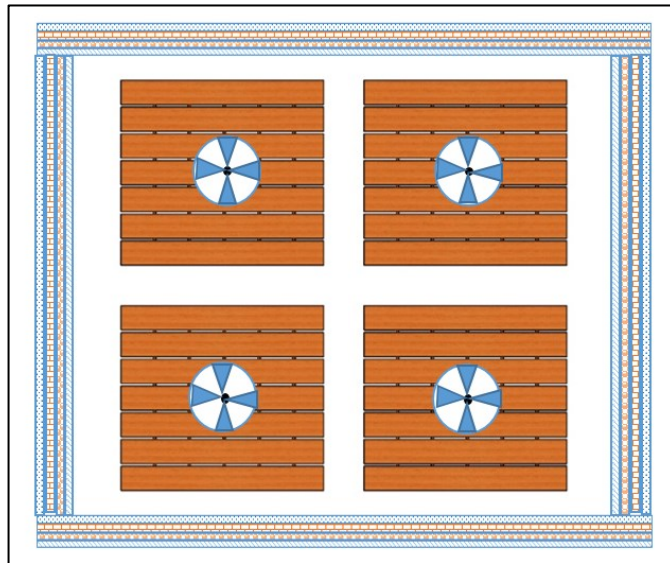


Figura 38. Vista superior de la cámara

#### 4.2.10. Sistema de ventilación

#### 4.2.11. Cantidad necesaria de aire

Es fundamental para emanar aire en la parte interior de la cámara, que para el secado se usara un flujo de aire de 2 m/s. por lo tanto se entiende que a mayor caudal mayor velocidad de aire a esto se lo denomina como aire libre [39].

$$V = 3\,600 * A * v$$

$$A = \frac{S}{S + e} * (L * a) + x$$

V = Caudal de aire (m<sup>3</sup>/ h)

A = Área libre (m<sup>2</sup>)

v = Velocidad de aire (m / s)

S = Espesor de los separadores (mm)

e = Espesor de la madera (mm)

x = Área libre lateral de la carga (m<sup>2</sup>)

L = Longitud de la madera (m)

a = Altura de la carga (m)

### Sección lateral de la cámara

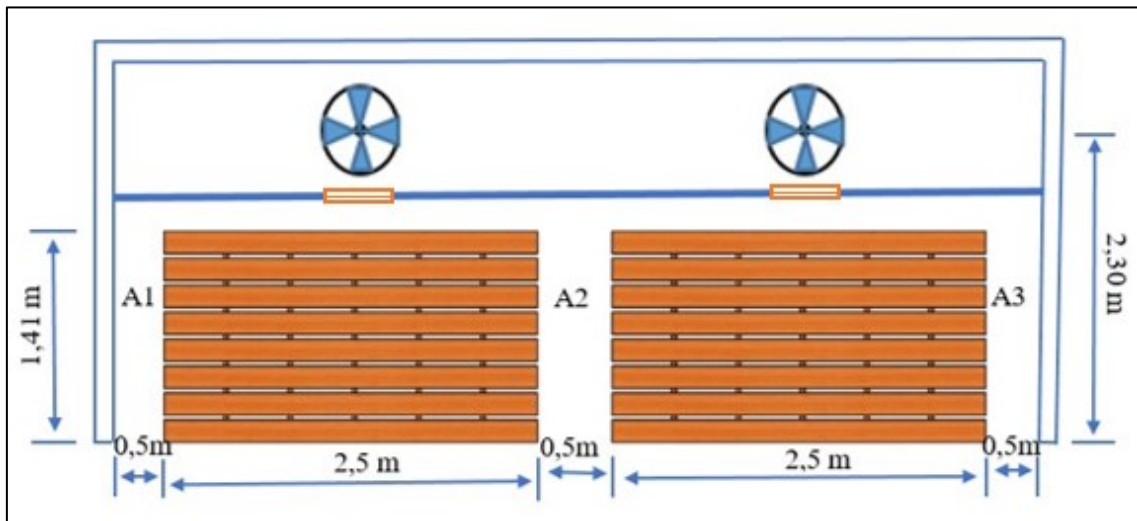


Figura 39. Sección lateral de la cámara

Esta variable X representa la sección lateral de la carga, por lo tanto, la cámara de secado tiene 3 superficies con la siguiente medida

$$A_1 = A_2 = A_3$$

$$A_1 = c * d$$

**Siendo:**

$$c = 0,5\text{m}$$

$$d = 1,41\text{m}$$

$$A_1 = 0,5 \text{ m} * 1,41 \text{ m}$$

$$A_1 = 0,705 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, las áreas son:

$$X = A_1 + A_2 + A_3$$

$$X = 0,705 \text{ m}^2 + 0,705 \text{ m}^2 + 0,705 \text{ m}^2$$

$$X = 2,115 \text{ m}^2$$

Cabe recalcar que para áreas laterales libres se tiene un factor de aspereza para pared lisa entre (0,5 – 0,7), dado que en los laterales extremos se tiene que reducir las velocidades del secado [26].

Sin embargo, para este cálculo se consideró un valor de 0,5, lo cual se calcula a continuación.

$$X = 2,115 \text{ m}^2 * (0,5)$$

$$X = 1,06 \text{ m}^2$$

Finalmente, el área libre tendrá un valor de:

$$A = \left( \frac{30 \text{ mm}}{(30 + 150) \text{ mm}} \right) (5 \text{ m} * 1,41 \text{ m}) + 1,06 \text{ m}^2$$

$$A = 2,24 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el caudal de aire que se requiere será de:

$$V = 3\ 600 * 2,24 \text{ m}^2 * 2 \text{ m/s}$$

$$V = 16\ 128 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 4,48 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto, el caudal de aire que debe de entregar los ventiladores será de 16 128 m<sup>3</sup>/h, sin embargo, para este caso se utilizará 4 ventiladores la cual se tendrá un caudal de:

$$Q_{CV} = \frac{Q}{4}$$

$$Q_{CV} = \frac{16\ 128 \text{ m}^3/\text{h}}{4}$$

$$Q_{CV} = 4\ 032 \text{ m}^3/\text{h}$$

En conclusión, cada ventilador entregará un caudal de 4 032 m<sup>3</sup>/h y de acuerdo a esto se realiza la selección correspondiente del equipo.

#### 4.2.12. Cálculo de la masa del tablón de madera

Para calcular este valor se determina la siguiente expresión

$$m_h = \rho_h * V_h$$

**Por lo tanto:**

$m_h$  = Masa húmeda de madera (kg)

$\rho_h$  = Densidad de la madera (kg /m<sup>3</sup>)

$V_h$  = Volumen húmedo de la madera más los separadores (m<sup>3</sup>)

$$m_h = \rho_h * V_h$$

$$m_h = 760 * 25$$

$$m_h = 19\,000 \text{ kg}$$

#### 4.2.13. Presencia de agua en la madera

La cantidad de agua en la madera es un parámetro que dificulta y aumenta el tiempo de secado.

$$M_{\text{agua}} = \frac{M_{\text{húmeda}} * CH_{\text{verde}}}{100 + CH_{\text{verde}}}$$

**Según:**

$M_{\text{agua}}$  = Masa de agua total contenida en la madera (kg)

$M_{\text{húmeda}}$  = Masa húmeda de la madera (kg)

$CH_{\text{verde}}$  = Contenido de humedad inicial de la madera al entrar al horno (%)

$$M_{\text{agua}} = \frac{19\,000 \text{ kg} * 80\%}{(100 + 80)\%}$$

$$M_{\text{agua}} = 8\,444,44 \text{ kg}$$

#### 4.2.14. Energía necesaria para calentar el agua

Se delimitará la fuerza necesaria para calentar el agua de la madera, donde se debe establecer un determinado límite de calentamiento, por lo tanto, para este proceso de secado se estableció un calentamiento de 8 horas en lo cual deberá llegar a una temperatura de 43°C. Sin embargo, el rango de temperatura recomendado está entre los 40- 45°C [39].

Por lo tanto, con la siguiente ecuación se calcula la potencia requerida para calentar el agua.

$$Q_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{hagua}} * CP_{\text{agua}} * \Delta T}{t_{\text{calentamiento}}}$$

Donde:

$CP_{\text{agua}}$  = Calor específico del agua ( $J/kg K$ )

$\Delta T$  = Inicio de secado a temperatura ambiente (23 °C).

$t$  = Tiempo de calentamiento (8 horas).

$$Q_{agua} = \frac{8\,444,44 \text{ kg} * 4\,179,5 \text{ J / kg K} * (316 - 296) \text{ K}}{28\,800 \text{ s}}$$

$$Q_{agua} = 24\,509,4 \text{ W}$$

#### 4.2.15. Energía necesaria para calentar la madera

Para determinar este parámetro primero se debe calcular la masa de la madera.

$$m_{madera} = m_{húmeda} - m_{agua}$$

**Según:**

$m_{húmeda}$  = Masa húmeda de madera

$m_{agua}$  = Masa de la madera

$$m_{madera} = 19\,000 \text{ kg} - 8\,444,44 \text{ kg}$$

$$m_{madera} = 10\,555,56 \text{ kg}$$

Con la masa de la madera se procede a calcular la potencia necesaria para calentar la madera, lo cual se determina con la siguiente ecuación.

$$Q_{madera} = \frac{m_{madera} * CP_{madera} * \Delta T}{t_{calentamiento}}$$

**Según:**

$CP_{madera}$  = Color específico de la madera (J / kg K)

$\Delta T$  = Temperatura del ambiente al inicio del secado (23°C).

(t) = Tiempo de calentamiento (8 horas)

$$Q_{agua} = \frac{8\,444,44 \text{ kg} * 1\,380 \text{ J / kg K} * (316 - 296) \text{ K}}{28\,800 \text{ s}}$$

$$Q_{madera} = 8\,092,59 \text{ W}$$

#### 4.2.16. Energía indispensable para el calentamiento del aire

$$Q_{aire} = \frac{m_{aire} * CP_{aire} * \Delta T}{t_{calentamiento}}$$

**Según:**

$Q_{\text{aire}}$  = Calor específico del aire (J / kg K)

$\Delta T$  = Temperatura del ambiente e inicio del secado (23°C)

(t) = Tiempo de calentamiento (8 horas)

Al determinar este valor se debe calcular el volumen del aire concurrente en el interior de la cámara donde se calcula con la siguiente ecuación.

$$V_{\text{aire}} = V_{\text{interior cámara}} - (V_{\text{madera}} + V_{\text{separador}})$$

Sin embargo, el volumen interior de la cámara será.

$$V_{\text{interior cámara}} = \text{Longitud} * \text{Ancho} * \text{Altura}$$

$$V_{\text{interior cámara}} = 6,5 \text{ m} * 5,46 \text{ m} * 3 \text{ m}$$

$$V_{\text{interior cámara}} = 106,47 \text{ m}^3$$

Cabe recalcar que el volumen de los separadores y los tablones de madera se calculó anteriormente, con estos valores se procede a calcular el volumen del aire.

$$V_{\text{aire}} = V_{\text{interior cámara}} - (V_{\text{madera}} + V_{\text{separador}})$$

$$V_{\text{aire}} = (106,47 - (24,64 + 0,29)) \text{ m}^3$$

$$V_{\text{aire}} = 81,54 \text{ m}^3$$

En el siguiente valor se calculará la densidad interna del aire en la cámara.

$$m_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} * V_{\text{aire}}$$

**Según:**

$m_{\text{aire}}$  = Masa de aire (kg)

$\rho_{\text{aire}}$  = Densidad de aire in situ a presión atmosférica (kg / m<sup>3</sup>)

$V_{\text{aire}}$  = Volumen de aire (81,54m<sup>3</sup>).

Sin embargo, con la ecuación de los gases se obtiene.

$$\rho = \frac{P}{R * T}$$

**Donde:**

P = Presión atmosférica del lugar (101 325 N / m<sup>2</sup> = 1 atm)

R = Constante de los gases (287 N \* m / kg K)

T = Temperatura absoluta (K)

$$\rho = \frac{101\,325 \text{ N/m}^2}{287 \left( \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (23 + 273) \text{ K}}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Entonces la masa del aire será:

$$m_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} * V_{\text{aire}}$$

$$m_{\text{aire}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 81,54 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{aire}} = 97,84 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la potencia necesaria para templar el aire al interior de la cámara, se determina a continuación.

$$Q_{\text{aire}} = \frac{m_{\text{aire}} * C_{P_{\text{aire}}} * \Delta T}{t_{\text{calentamiento}}}$$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{97,84 \text{ kg} * 1007 \text{ J/kg K} * (316 - 296) \text{ K}}{28\,800 \text{ s}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 68,3 \text{ W}$$

Posteriormente, con la siguiente ecuación se determina la potencia necesaria para la etapa de calentamiento.

$$Q^*_{\text{calentamiento}} = Q_{\text{madera}} + Q_{\text{agua}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{perdidas}}$$

**Donde:**

$Q_{\text{madera}}$  = Energía para templar la madera (W)

$Q_{\text{agua}}$  = Energía para templar el agua (W)

$Q_{\text{aire}}$  = Energía para calentar el aire al interior de la cámara (W)

$Q_{\text{perdidas}}$  = Energía relativa para templar las paredes de la cámara (W)

$$Q^*_{\text{calentamiento}} = 8\,092,59 \text{ W} + 24\,509,4 \text{ W} + 68,3 \text{ W} + 3\,210,7 \text{ W}$$

$$Q^*_{\text{calentamiento}} = 35\,880,99 \text{ W}$$

Si  $1 \text{ W} = 0,8598 \text{ Kcal/h}$ ; entonces:

$$Q^*_{\text{calentamiento}} = 35\,880,99 * 0,8598 \text{ Kcal/h}$$

$$Q^*_{\text{calentamiento}} = 30\,850,48 \text{ Kcal/h}$$

#### 4.2.17. Periodo de secado de la madera

En esta etapa principalmente se calcula la potencia necesaria para descartar el volumen de agua de los tablones. Lo cual, para desarrollar este cálculo se necesita el tiempo de secado, por lo tanto, mediante las curvas de secado para madera cedro se determinó que se puede secar en un aproximado de 10 días, sin embargo, se le considera 1 día más de enfriamiento, siendo un total de 11 días, representando un tiempo de secado de 240 horas que equivale a 864 000 segundos [4].

#### 4.2.18. Energía indispensable para eliminar el agua en la madera

$$m_{\text{agua libre}} = \frac{m_{\text{humeda}} * (CH_i - CH_{\text{PSF}})}{100 + CH_i}$$

Según:

$m_{\text{humeda}}$  = Masa de la madera húmeda (kg)

$CH_i$  = Contenido de humedad inicial (%)

$CH_{\text{PSF}}$  = Contenido de humedad en el punto de saturación de fibras (PSF=30%)

Según la revista forestal Mesoamericana KURÚ, establece valores de 22% a 35%, del contenido de humedad, sin embargo, para esta investigación se tomó un valor del 30% [40].

$$m_{\text{agua libre}} = \frac{19\,000 \text{ kg} * (80 - 30)\%}{(100 + 80)\%}$$

$$m_{\text{agua libre}} = 5\,277,8 \text{ kg}$$

Por lo tanto, este valor nos permite calcular la potencia que se requiere para eliminar la cantidad de agua en los tablones de madera cedro, otro factor muy importante es el peso específico, lo cual se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 28. Consumo de energía que se requiere para excluir el agua de la madera

Densidad de la madera	Agua libre (100 a 30%)	Agua de constitución (30% a 15%)
$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\varepsilon$ (KJ/ kg)	$\varepsilon$ (KJ/ kg)
300 - 600	3500	4400
600 - 900	3800	4600
900 - 1200	4200	5000

$$Q_{\text{agua libre}}^{\bullet} = \frac{m_{\text{agua libre}} * \varepsilon_1}{t_{\text{secado}}}$$

Donde:

$m_{\text{agua libre}}$  = Masa de agua libre (kg)

$\varepsilon_1$  = Energía térmica requerida para el secado, (J / kg)

t = Tiempo de secado (s)

De la tabla 24 con el valor de la densidad de la madera cedro (760 kg/m<sup>3</sup>), se puede determinar el valor de  $\varepsilon_1$ , lo cual representa un valor de 3 800 000 J/Kg.

$$Q_{\text{agua libre}}^{\bullet} = \frac{5\,277,8 \text{ kg} * 3\,800\,000 \text{ J/Kg}}{864\,000 \text{ s}}$$

$$Q_{\text{agua libre}}^{\bullet} = 23\,212,5 \text{ W}$$

#### 4.2.19. Humedad final de la madera

En este proceso final el tablón de madera alcanza un 15% a 10% de humedad.

$$m_{\text{constitución}} = \frac{m_{\text{agua libre}} (CH_{\text{PSF}} - CH_{\text{F}})}{100 + CH_{\text{i}}}$$

Donde:

$m_{\text{agua libre}}$  = Masa de agua libre

$CH_{\text{PSF}}$  = Contenido de humedad en el punto de saturación de fibras (PSF) (30 %)

$CH_{\text{F}}$  = Contenido de humedad de equilibrio de la madera (EMC) (10 %)

$CH_{\text{i}}$  = Contenido de humedad inicial (80 %)

$$m_{\text{constitución}} = \frac{5\,277,8 \text{ kg} * (30 - 10)\%}{(100 + 80)\%}$$

$$m_{\text{constitución}} = 586,4 \text{ Kg}$$

#### 4.2.20. Energía requerida para la eliminación del H<sub>2</sub>O de la madera

De la tabla 24 con el valor de la densidad de la madera cedro (760 kg/m<sup>3</sup>), se puede determinar el valor de  $\epsilon_1$ , lo cual representa un valor de 4 600 000 J/Kg.

$$Q_{\text{constitución}}^{\bullet} = \frac{m_{\text{constitución}} * \epsilon_1}{t_{\text{secado}}}$$

$$Q_{\text{constitución}}^{\bullet} = \frac{586,4 \text{ Kg} * 4\,600\,000 \text{ J/Kg}}{864\,000 \text{ s}}$$

$$Q_{\text{constitución}}^{\bullet} = 3\,122,04 \text{ W}$$

#### 4.2.21. Energía total para eliminar el agua de la madera

$$Q_{\text{agua total}}^* = Q_{\text{agua libre}}^* + Q_{\text{agua constitución}}^*$$

$$Q_{\text{agua total}}^* = 23\,212,5 \text{ W} + 3\,122,04 \text{ W}$$

$$Q_{\text{agua total}}^* = 26\,334,54 \text{ W}$$

Si 1 W = 0,8598 Kcal/h ; entonces:

$$Q_{\text{agua total}}^* = 26\,334,54 * 0,8598 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{\text{agua total}}^* = 22\,642,4 \text{ Kcal/h}$$

#### 4.2.22. Energía necesaria para calentar el aire de reposición

Este parámetro hace referencia a la cantidad de energía requerida para compensar las pérdidas por ingreso y salida de aire durante el proceso de secado, por lo tanto, se considera un 10%, debido a que las rejillas se abrirán por un tiempo de 5 a 8 minutos, hasta expulsar todo el vapor y posteriormente se debe calentar la cámara hasta obtener la temperatura de secado.

A continuación, se calculará la energía necesaria para calentar el aire de reposición.

$$Q_{\text{aire de reposición}} = \frac{m_{\text{aire}} * (h_2 - h_1)}{t} * (10\%)$$

**Donde:**

$Q_{\text{aire de reposición}} = \text{Potencia requerida para reponer el aire de reposición (W)}$

$m_{\text{aire}} = \text{Masa de aire (kg)}$

$t = \text{Tiempo de apertura de las rejillas (s)}$

$h_1 = \text{Entalpia en el exterior de la cámara a la temperatura ambiente de } 23 \text{ }^\circ\text{C} \text{ y con la humedad del ambiente exterior del } 76 \% \text{ (J / kg).}$

$h_2 = \text{Entalpia en el interior de la cámara se evalúa con una temperatura de } 50 \text{ }^\circ\text{C} \text{ es cuando ya está en operación con una humedad del } 85\% \text{ a } 90\% \text{ (J / kg).}$

Por lo tanto, los valores de  $h_1$  y  $h_2$  se obtiene de las gráficas de PSICROMETRIA que lo podemos encontrar en el ANEXO 6 y 7.

En la siguiente figura se calcula mediante gráficas de PSICROMETRIA el valor de  $h_1$

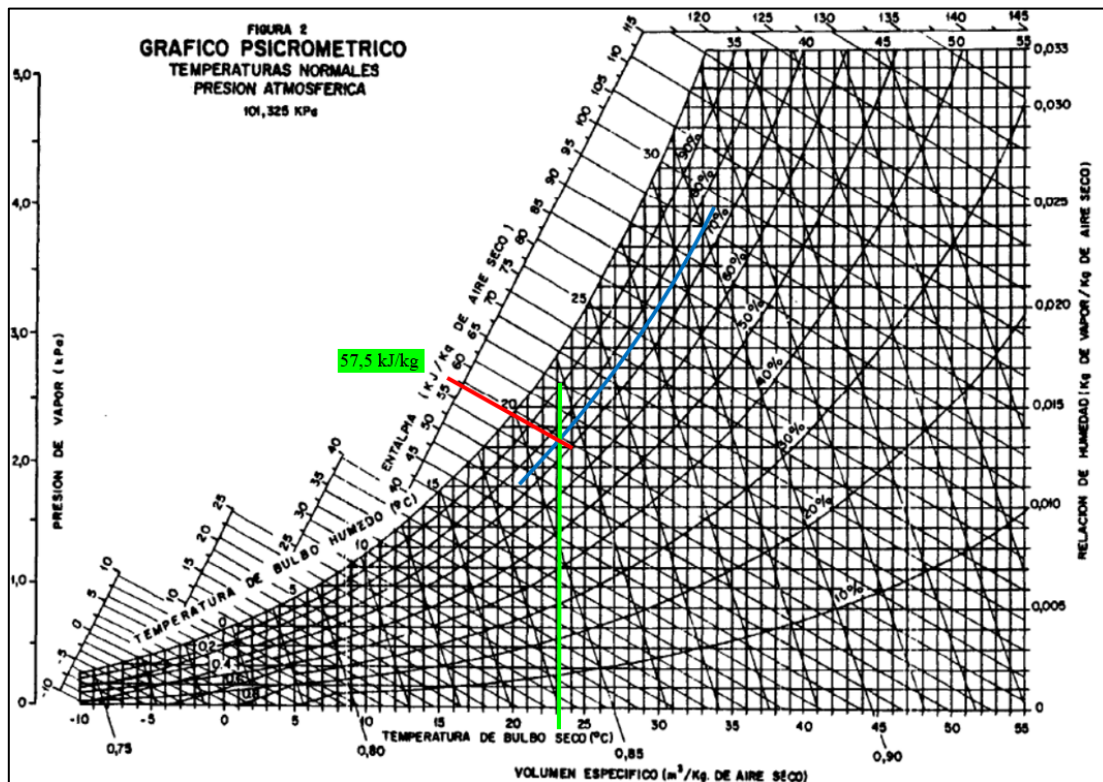


Figura 40. Valor de la entalpia en el exterior de la cámara

En la siguiente figura se calcula mediante gráficas de PSICROMETRIA el valor de  $h_2$

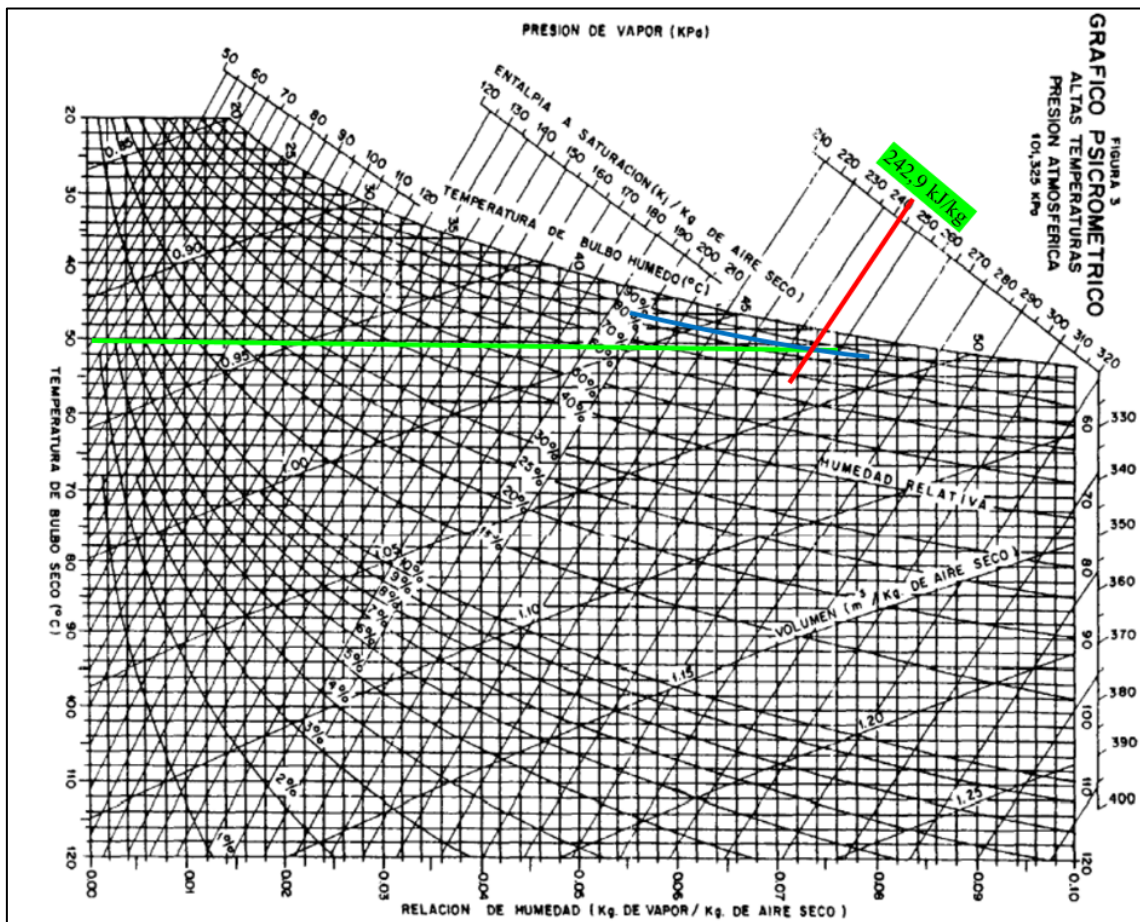


Figura 41. Valor de la entalpia en el interior de la cámara

A presiones atmosféricas según las grafías anteriores los valores de las entalpías son los siguientes.

$$h_1 = 57\,500 \text{ (J/ kg)}$$

$$h_2 = 242\,900 \text{ (J/ kg)}$$

$$Q_{\text{aire de reposición}} = \frac{m_{\text{aire}} * (h_2 - h_1)}{t} * (10\%)$$

$$Q_{\text{aire de reposición}} = \frac{97,84 \text{ kg} * (242\,900 - 57\,500) \text{ J/kg}}{3\,600 \text{ s}} * (10\%)$$

$$Q_{\text{aire de reposición}} = 503,9 \text{ W}$$

Por lo tanto, con este valor se puede determinar la cantidad de energía que se requiere para la fase de secado de la madera.

#### 4.2.23. Energía requerida para el secado de la madera

$$Q_{\text{secado}} = Q_{\text{agua}} + Q_{\text{aire de reposición}} + Q_{\text{perdidas}}$$

$$Q_{\text{secado}} = 26\,334,54 \text{ W} + 503,9 \text{ W} + 3\,210,7 \text{ W}$$

$$Q_{\text{secado}} = 30\,049,14 \text{ W} = 25\,837,61 \text{ Kcal/h}$$

Por lo tanto, la energía que se requiere para el secado de la madera es de 30 049,14 W o de 25 837,61 Kcal/h.

Con este resultado se concluyó que para la etapa de secado se necesita menor cantidad de energía (25 837,61 Kcal/h), a diferencia de la etapa de calentamiento, lo cual se requirió de 35 880,99 W o 30 852 Kcal/h.

Por lo tanto, con este valor de energía de 35 880,99 W o 30 852 Kcal/h se seleccionó la capacidad de la bomba de calor.

#### 4.2.24. Selección de equipos

La cámara de secado está conformada por dos bombas de calor, cuatro ventiladores centrífugos y dos sensores de temperatura, lo cual para seleccionar estos equipos se debe tener en cuenta los siguientes parámetros.

Tabla 29. Capacidad de los equipos

Equipos	Cantidad	Capacidad
Bomba de calor	2	16 kW
Ventilador	4	4 000 m <sup>3</sup> /h
Sensor de temperatura	2	100 °C

Fuente: Elaboración propia

##### a. Bomba de calor

La potencia que requiere la cámara de secado es aproximadamente de 30 049,14 W, por lo tanto, se seleccionó dos bombas de calor con una capacidad de 16 kW, capacidad suficiente para cubrir la eficiencia térmica de este proyecto. A continuación, se muestra las características técnicas de este equipo (ANEXO 9).



Figura 42. Bomba de calor

Tabla 30. Ficha técnica de bomba de calor de 16 kW

<b>BOMBA DE CALOR AIRCAL DE 16 KW</b>	
Marca	Aircal
Refrigerante	R32 / R410a
Capacidad de calefacción	8,06 a 41,05 kW
Rango de operación	-25 a 58 °C
Capacidad de enfriamiento	8,17 – 39,8 kW
Agua máx. temperatura	60 °C
Fuente de alimentación	220/1HP/60Hz
Material carcasa	Acero inoxidable
Numero de modelo	King Heat
Control inalámbrico	Control wifi

Fuente: Extraído de Aircal [41]

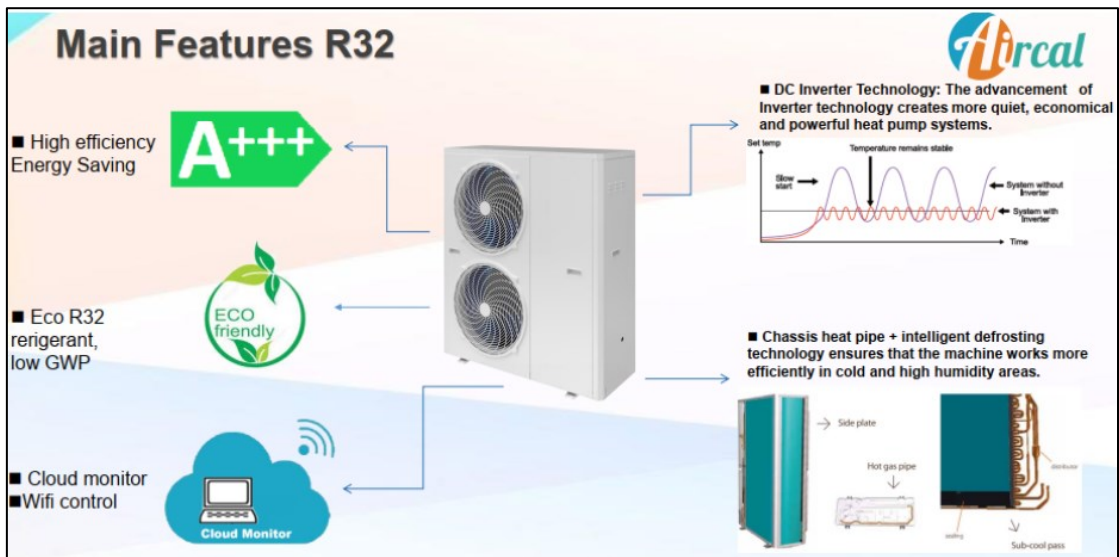


Figura 43. Funcionamiento de la bomba de calor de 16 kW

### b. Ventilador centrífugo

El caudal que se requiere para que el aire fluya de manera uniforme en el interior de la cámara es de  $16\,128\text{ m}^3/\text{h}$ , por lo tanto, para que haya una mejor distribución de este flujo se consideró la selección de 4 ventiladores centrífugos cada uno de ellos con un caudal de  $4\,032\text{ m}^3/\text{h}$ . A continuación, se muestra las características técnicas de este equipo (ANEXO 10).



Figura 44. Ventilador de  $4\,000\text{ m}^3/\text{h}$

Tabla 31. Ficha técnica de ventilador centrífugo

VENTILADOR CENTRÍFUGO DE ALTA EFICIENCIA	
Marca	Larissa
Número de modelo	CF4-88 <sup>a</sup>
Potencia	4 000 W
Volumen de aire	4 015 m <sup>3</sup>
Velocidad	1 450 r/min
Voltaje	220 V / 380 V
Material de hoja	Acero inoxidable

Fuente: Extraído de Larissa [42]

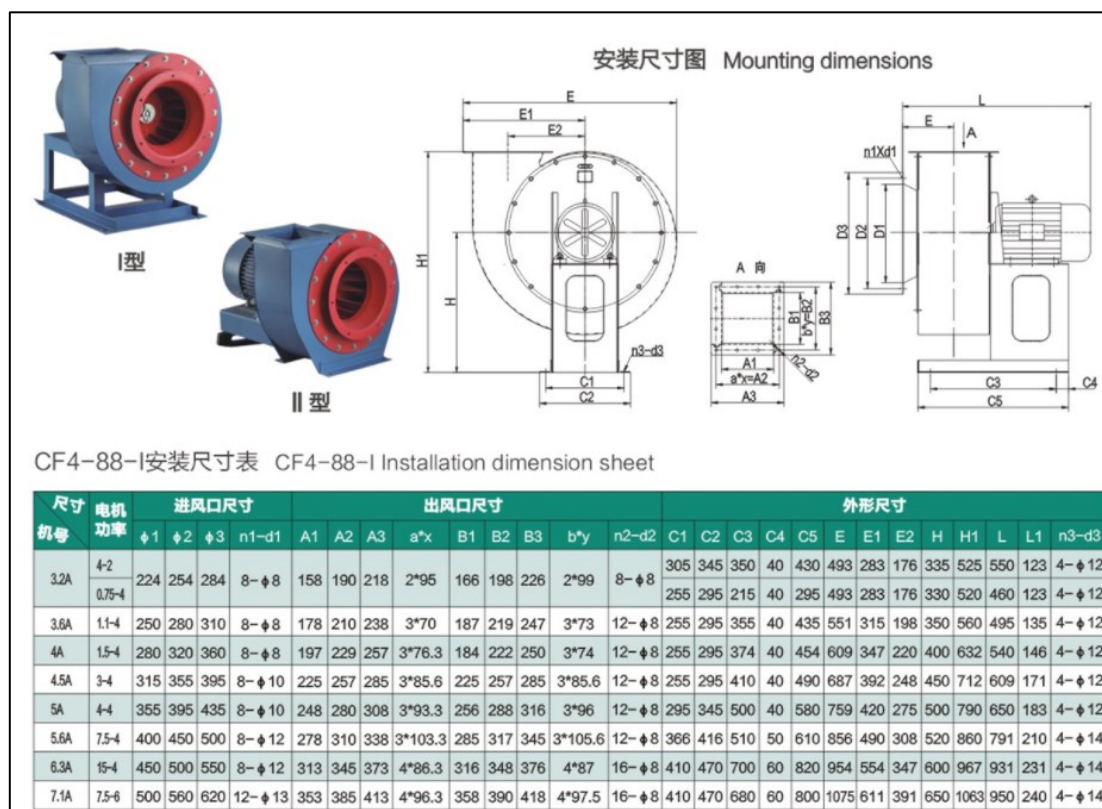


Figura 45. Dimensiones de ventilador centrífugo

### c. Sensores de temperatura

La temperatura de trabajo en el interior de la cámara asciende a valores máximos de 70 °C, por lo tanto, para un mayor control de temperatura para este proceso de secado se consideró dos sensores de temperatura y sus características técnicas se muestran a continuación (ANEXO 11).



Figura 46. Sensor de temperatura de platino PT100

Tabla 32. Ficha técnica del sensor de temperatura PT100

<b>SENSOR DE TEMPERATURA DE PLATINO PT100 CON PANTALLA LCD</b>	
Marca	WTsensor
Número de modelo	PCT100
Rango de temperatura	-50 °C a 250 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a 85 °C
Suministro de salida	4 a 20 mA (16 a 36 Vcc)
Tiempo de respuesta	≤ 30 s
Diámetro de inserción	$\phi = 8\text{mm}$
Conexión eléctrica	DIN 43650 con cable
Elemento sensor	PT100 grado Pct1000 seleccionable
Estabilidad a largo plazo	≤ 0,2% Fs / año
Tipo de visualización	LCD
Precisión	± 0,5% Fs
Clasificación del IP	IP65

Fuente: Extraído de WTsensor [43].

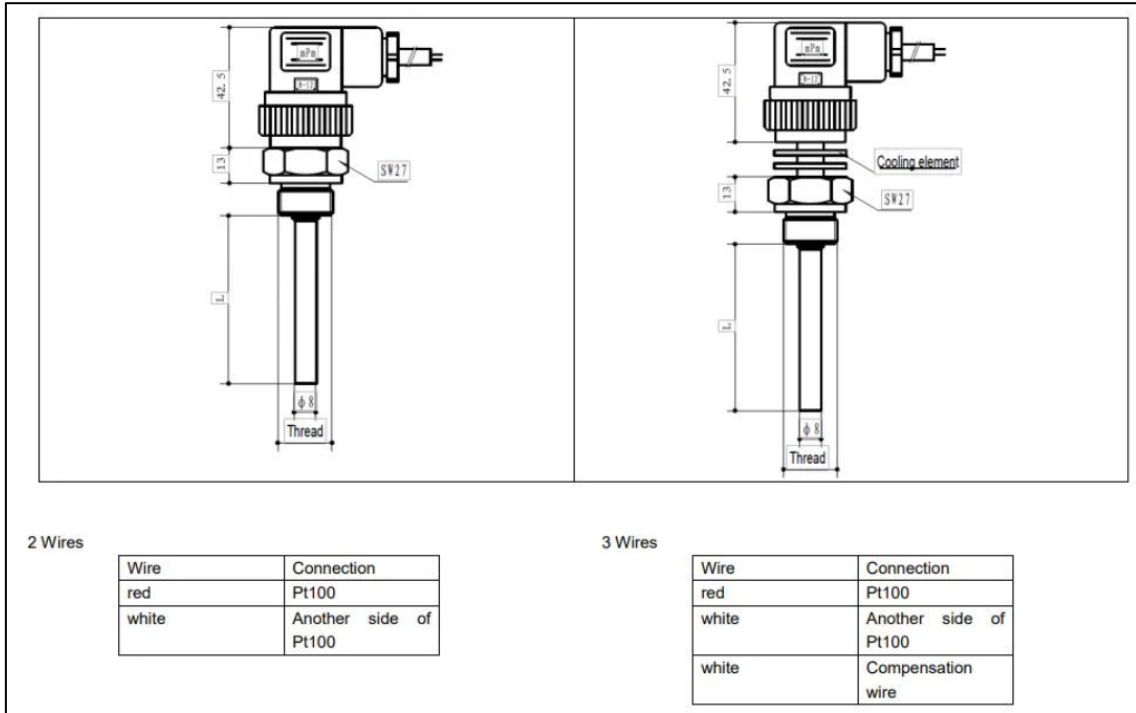


Figura 47. Dimensiones del sensor de temperatura PT100

### 4.3. Análisis y simulación de la cámara de secado

Para el desarrollo de este capítulo se realizó el diseño de todos los componentes mencionados anteriormente en el software SolidWorks, para luego realizar un análisis térmico y obtener resultados de pérdidas de calor a través de las paredes y techo.

Primero se partió diseñando la cámara de secado con las dimensiones y tipo de material mencionados en los capítulos anteriores, lo cual en la siguiente imagen se representa de manera ilustrativa el diseño realizado.

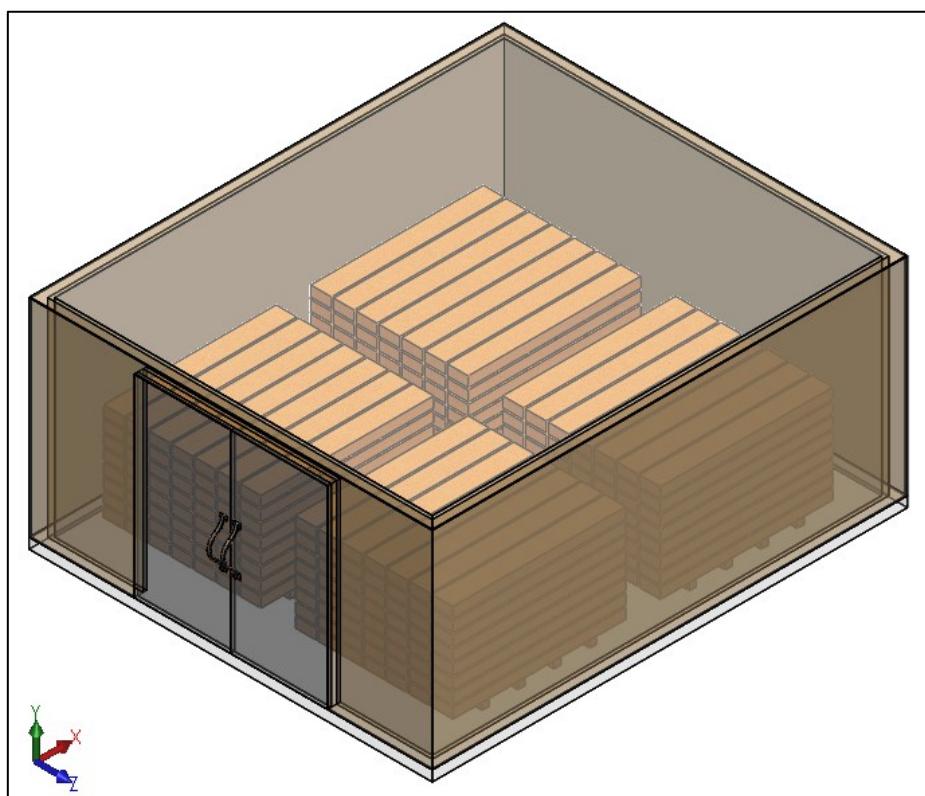


Figura 48. Cámara de secado en SolidWorks

#### 4.3.1. Pérdidas de temperatura a través de las paredes y techo

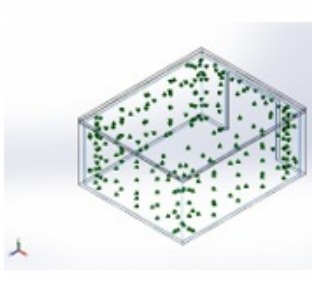
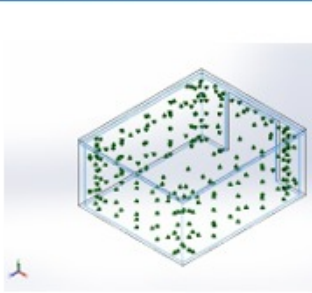

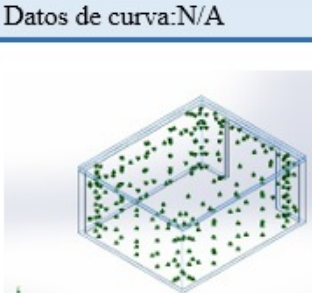
Posteriormente se calcula las pérdidas de temperatura en las paredes de la estructura, por lo tanto, los parámetros para este estudio se representan en la siguiente tabla.

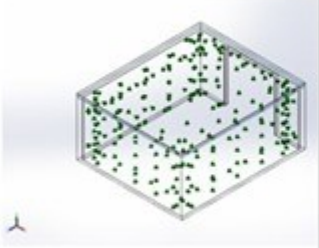
Tabla 33. Parámetros iniciales para el estudio térmico

<b>Parámetros iniciales para el estudio de transferencia de calor en las paredes</b>	
Temperatura externa (ambiente)	23 °C
Temperatura interna	67,5 °C
Coefficiente de convección	2,123 W/m K

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>Aluminio</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Conductividad térmica: <b>205 W/(m.K)</b></p> <p>Calor específico: <b>900 J/(kg.K)</b></p> <p>Densidad: <b>2700 kg/m<sup>3</sup></b></p>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir1) (Aluminio-1)</b>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: <b>Fibra de vidrio-A</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b></p> <p>Conductividad térmica: <b>0.04 W/(m.K)</b></p> <p>Calor específico: <b>795 J/(kg.K)</b></p> <p>Densidad: <b>220 kg/m<sup>3</sup></b></p>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir1) (Fibra de vidrio-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1) (Techo fibra de vidrio-1)</b>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: <b>Concreto</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Conductividad térmica: <b>0.8 W/(m.K)</b></p> <p>Calor específico: <b>1050 J/(kg.K)</b></p> <p>Densidad: <b>2400 kg/m<sup>3</sup></b></p>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir1) (Pared concreto-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Techo concreto-1)</b>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: <b>Ladrillos</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Conductividad térmica: <b>0.6 W/ (m.K)</b></p> <p>Calor específico: <b>0.2 J/(kg.K)</b></p> <p>Densidad: <b>2250 kg/m<sup>3</sup></b></p>	<b>Sólido 1(Cortar-Extruir1) (Pared ladrillo-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Techo ladrillo-1)</b>
Datos de curva:N/A		

	Nombre:	ASTM A36 Acero (2)	Sólido 1(Saliente-Extruir1) (techo acero-2)
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.	
	Conductividad térmica:	50.2 W/(m.K)	
	Calor específico:	465 J/(kg.K)	
	Densidad:	7850 kg/m <sup>3</sup>	

Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros establecidos inicialmente y con el tipo de material, lo cual está conformado la estructura se procedió a realizar la simulación térmica, para ello establecemos las temperaturas y el coeficiente de convección. Cabe recalcar que para este análisis solo se consideró las paredes y el techo.

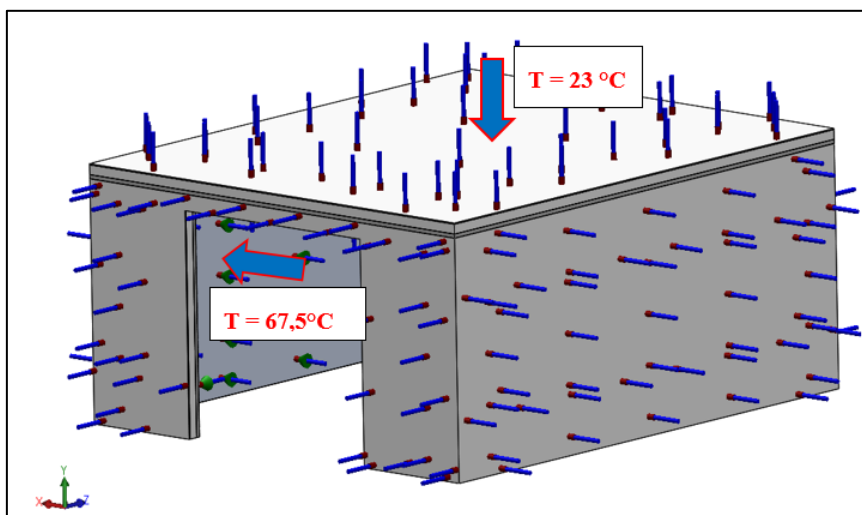





Figura 49. Distribución de temperaturas en la cámara

De la figura anterior se está considerando los parámetros de temperatura ambiente con un valor de 23 °C y la temperatura en el interior de la cámara es de 67,5 °C, siendo esta la temperatura en la cual se realizará el primer proceso de secado de madera. Así como también se establece el valor del coeficiente de convección de 2,123 W/m K. Cabe recalcar que con estos parámetros se verificará las pérdidas de calor en las paredes, puertas y techo. Así como también llegaremos a la conclusión si realmente se realizó la correcta selección de materiales conductivos y aislantes térmicos.

Tabla 35. Cargas térmicas

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		<b>Entidades:</b> 5 cara(s) <b>Temperatura:</b> 67.5 Celsius
Temperatura-2		<b>Entidades:</b> 5 cara(s) <b>Temperatura:</b> 23 Celsius
Convección-1		<b>Entidades:</b> 5 cara(s) <b>Coefficiente de convección:</b> 2.123 <b>Variación de tiempo:</b> Desactivar <b>Variación de temperatura:</b> Desactivar <b>Temperatura ambiente:</b> 340.65 Kelvin <b>Variación de tiempo:</b> Desactivar

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realiza el mallado para poder obtener los resultados

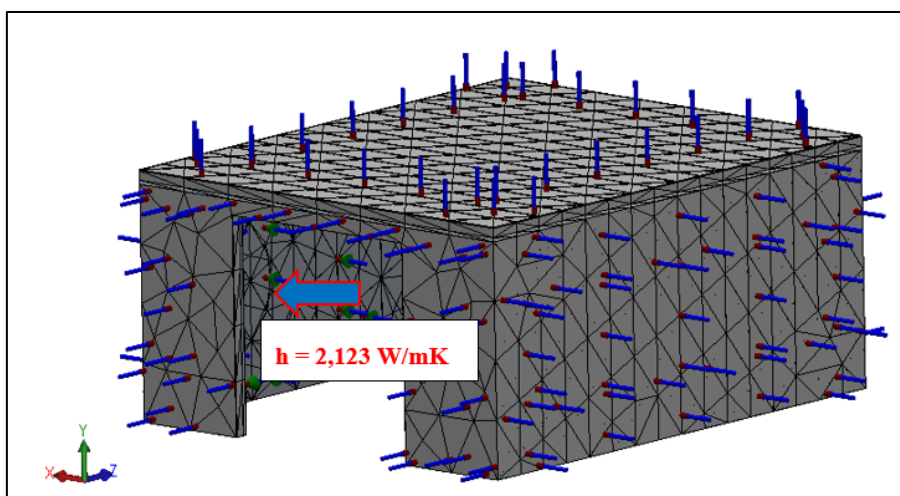


Figura 50. Mallado y coeficiente de convección de la estructura

Finalmente se obtuvo como resultado

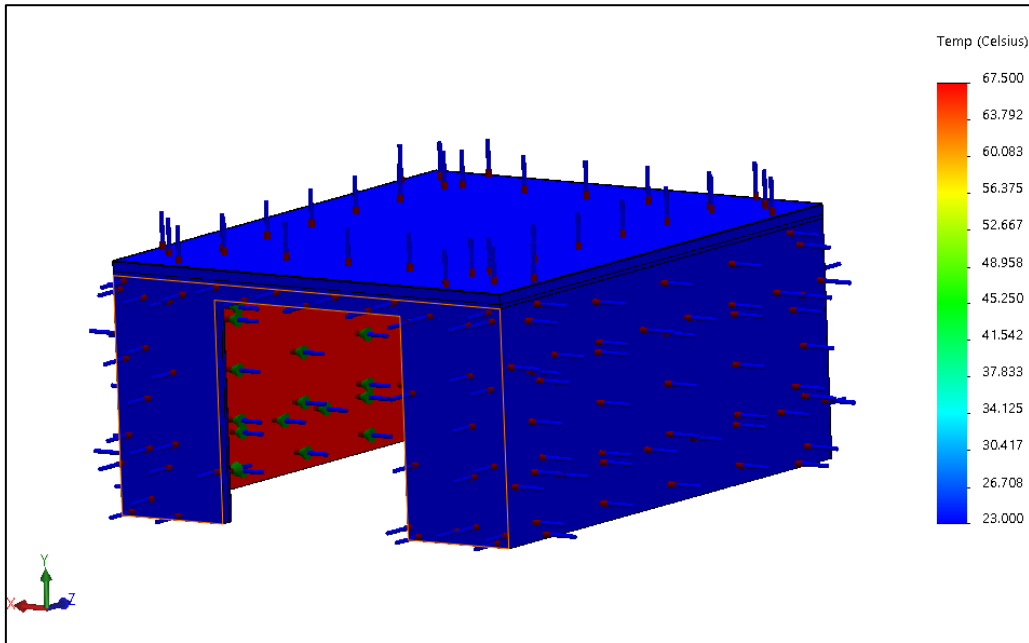


Figura 51. Análisis de temperatura

A continuación, se muestra una vista de sección transversal, para poder observar el nivel de transferencia de temperatura interna hacia el exterior.

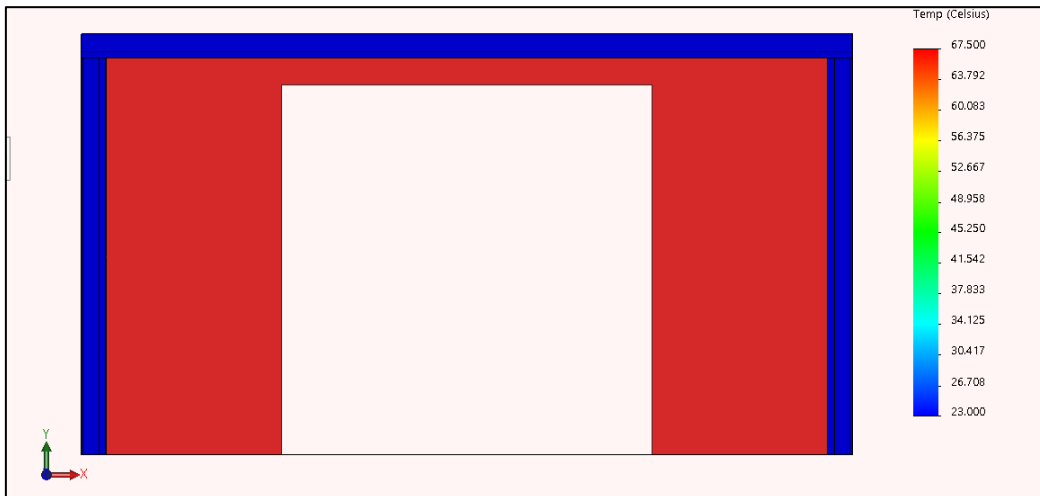


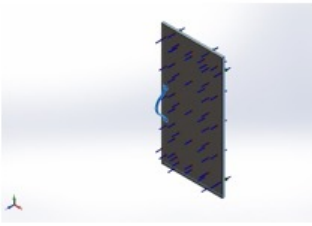
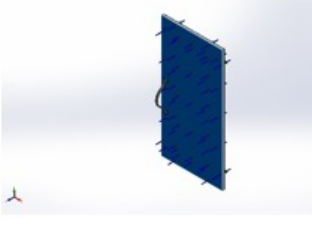
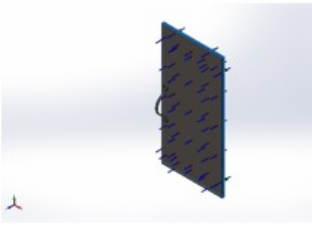
Figura 52. Corte transversal de la cámara

Por lo tanto, de la imagen anterior y según el gráfico pictórico se puede concluir que no existe pérdidas de temperatura a través de las paredes, es decir la temperatura interna se mantiene en su valor inicial ( $67,5^{\circ}\text{C}$ ), por lo tanto, con este resultado se puede concluir que si se realizó de manera correcta el dimensionamiento y la selección del tipo de material para la estructura de la cámara.

### 4.3.2. Pérdidas de temperatura a través de la puerta

Cabe recalcar que para este análisis se tomó en cuenta los mismos parámetros que se consideró para el cálculo de las paredes, sin embargo, se consideró analizarlo por separado porque no cuenta con el mismo espesor de material que las paredes y también para una mejor visualización de análisis.

Tabla 36. Propiedades de los materiales de la puerta

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>Aluminio</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b> Conductividad térmica: <b>205 W/(m.K)</b> Calor específico: <b>900 J/(kg.K)</b> Densidad: <b>2700 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Sólido 1(Simetría1)(Jalador de puerta-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Puerta aluminio-1)</b>
Datos de curva: N/A		
	Nombre: <b>ASTM A36 Acero (2)</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b> Conductividad térmica: <b>50.2 W/(m.K)</b> Calor específico: <b>465 J/(kg.K)</b> Densidad: <b>7850 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Puerta acero-1)</b>
Datos de curva: N/A		
	Nombre: <b>Fibra de vidrio-A</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b> Conductividad térmica: <b>0.04 W/(m.K)</b> Calor específico: <b>795 J/(kg.K)</b> Densidad: <b>220 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Puerta fibra de vidrio-1)</b>
Datos de curva: N/A		

Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros establecidos inicialmente y con el tipo de material, lo cual está conformado la estructura de la puerta se procedió a realizar la simulación térmica, para ello establecemos las temperaturas y el coeficiente de convección. tal como se observa en la siguiente imagen.

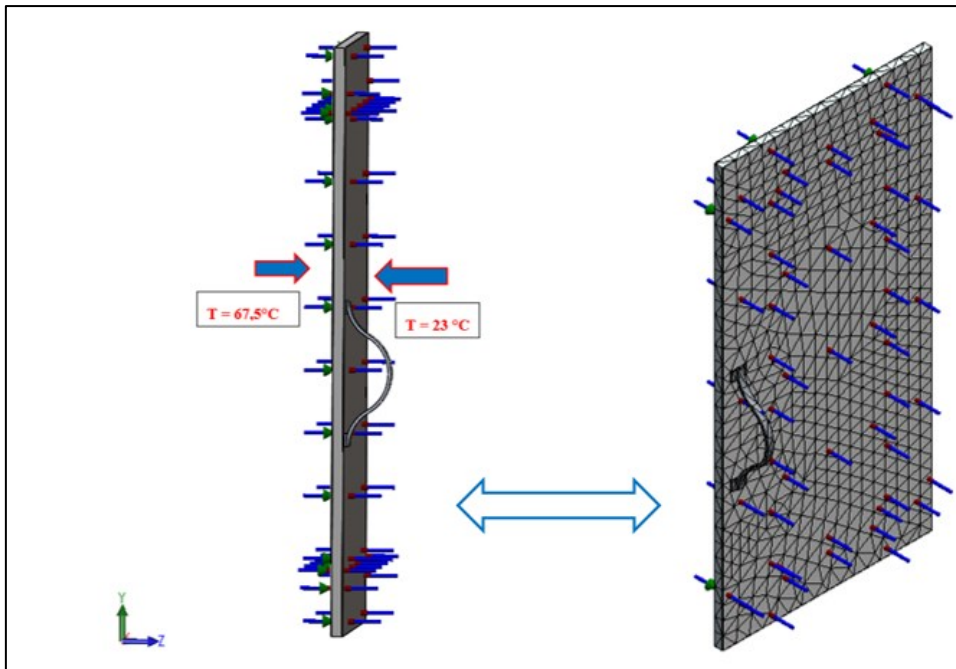
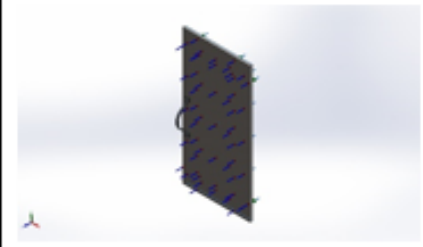
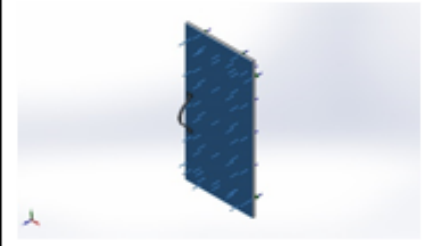
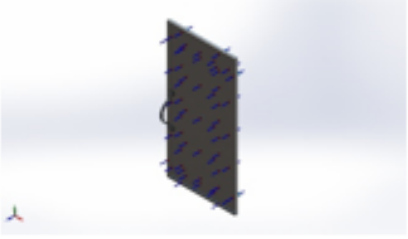


Figura 53. Distribución de temperatura en la estructura de la puerta

Tabla 37. Cargas térmicas en la puerta

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Temperatura: 67.5 Celsius</b>
Temperatura-2		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Temperatura: 23 Celsius</b>

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Convección-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Coefficiente de convección:</b> 2.123 W/(m <sup>2</sup> .K) <b>Variación de tiempo:</b> Desactivar <b>Variación de temperatura:</b> Desactivar <b>Temperatura ambiente:</b> 340.65 Kelvin <b>Variación de tiempo:</b> Desactivar

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se obtuvo como resultado

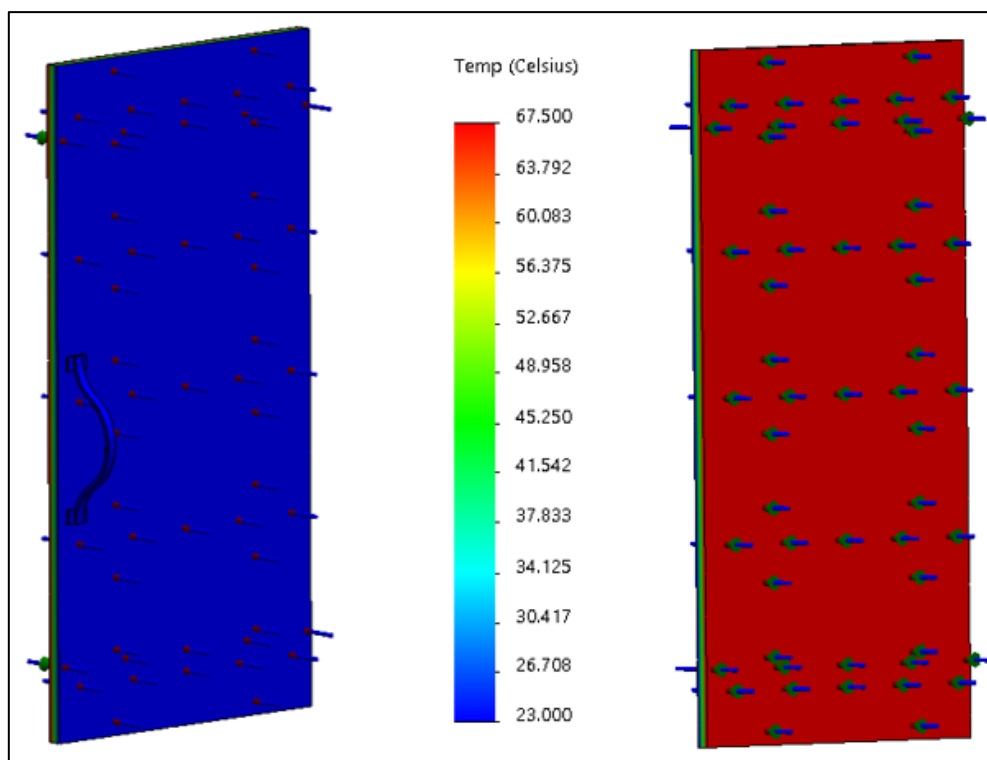


Figura 54. Resultados de temperatura en las paredes de la puerta

A continuación, se muestra una vista de sección transversal donde se logra observar con más detalle el comportamiento del aislante térmico.

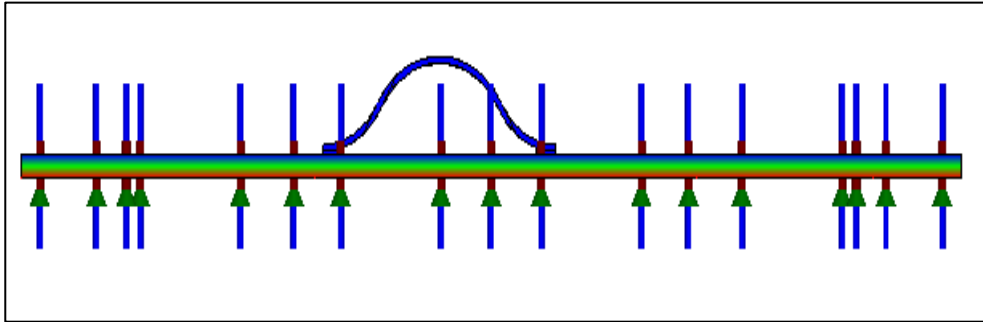


Figura 55. Sección transversal de la puerta

Por lo tanto, de la imagen anterior y según el gráfico pictórico se puede concluir que no existe pérdidas de temperatura a través de las paredes de la puerta, es decir la temperatura interna se mantiene en su valor inicial ( $67,5^{\circ}\text{C}$ ), por lo tanto, con este resultado se puede concluir que si se realizó de manera correcta el dimensionamiento y la selección del tipo de material para la puerta de la cámara.

#### 4.3.3. Análisis en Flow Simulation de la cámara de secado

Para este análisis, al igual que el anterior se consideró los parámetros establecidos inicialmente, lo cual ya se mencionó en el capítulo anterior, por lo tanto, con estos resultados se observa el comportamiento de la temperatura en la parte interna de la cámara.

A continuación, se delimita el volumen de control de la estructura.

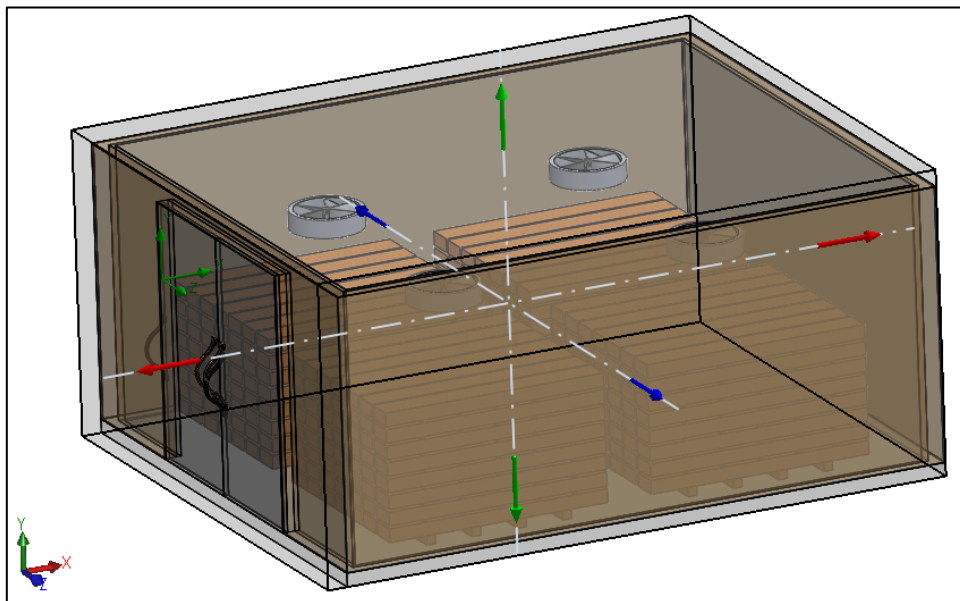


Figura 56. Volumen de control

A continuación, se reflejan los resultados sobre la distribución de temperatura en el interior de la cámara.

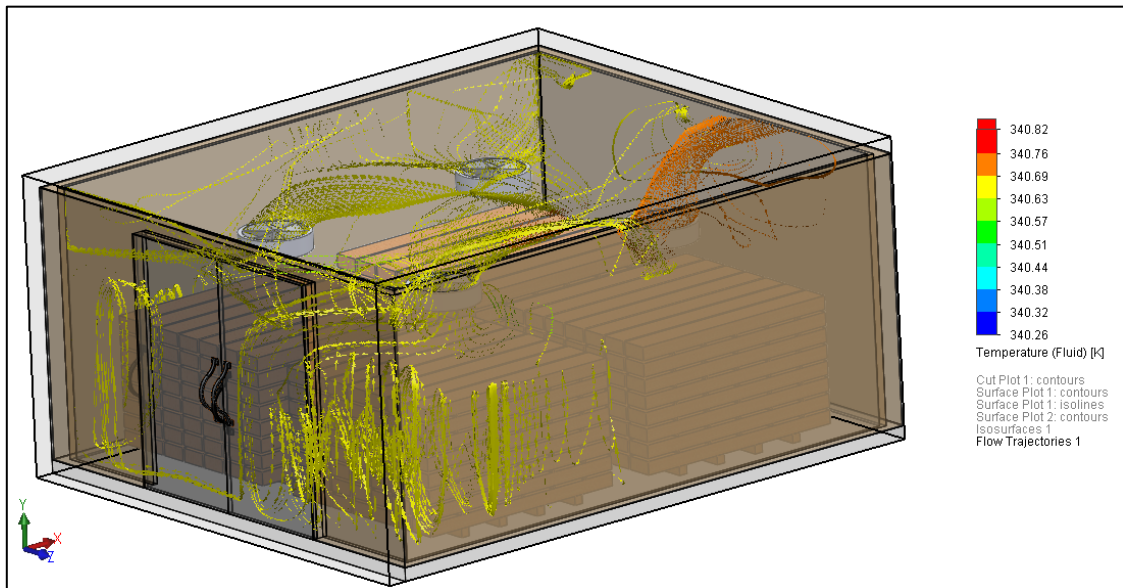


Figura 57. Distribución de temperatura

Por lo tanto, de la imagen anterior se concluye que la temperatura en el interior de la cámara se mantiene constante con un valor de 340,63 K lo cual equivale a 67,4 °C.

Sin embargo, en la siguiente imagen se representa el valor de temperatura que toma la madera.

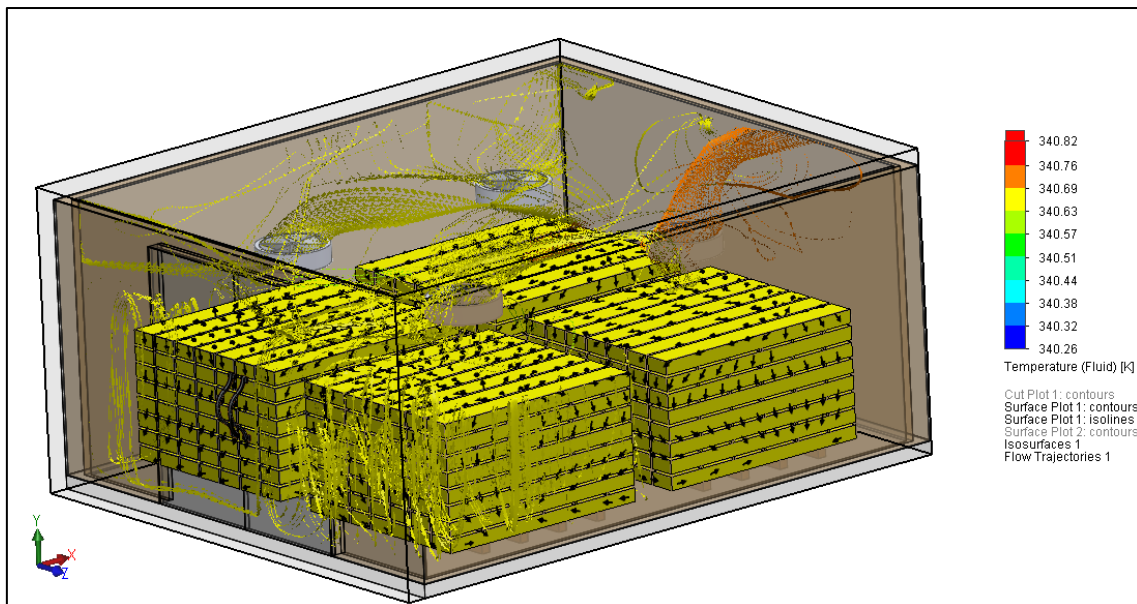


Figura 58. Temperatura distribuida en la madera

De la imagen anterior se puede observar que la madera se calienta de manera uniforme hasta llegar a una temperatura igual que del interior de la cámara. siendo este un valor de valor de 340,63 K lo cual equivale a 67,4 °C.

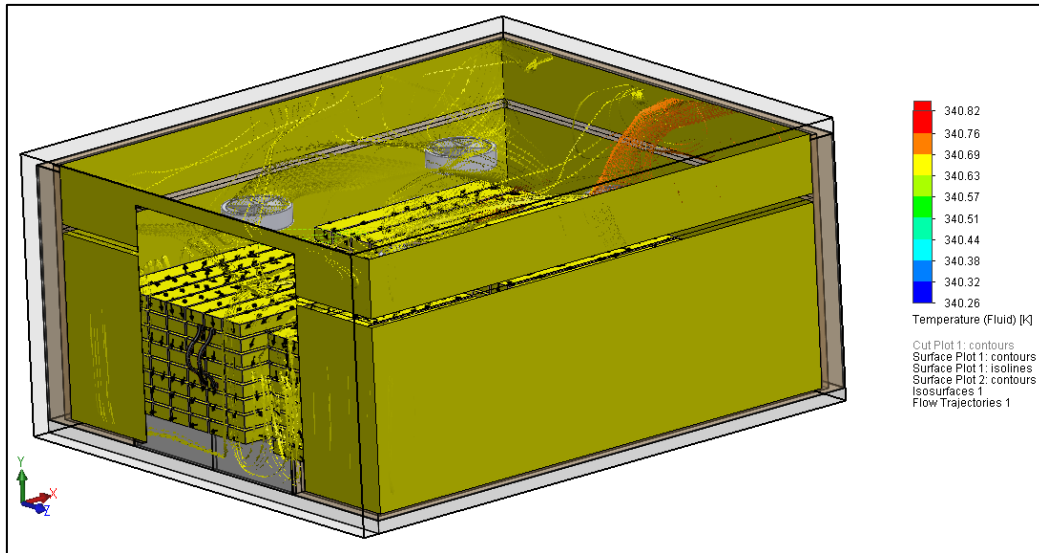


Figura 59. Temperatura en las paredes internas

En el siguiente grafico se puede observar la trayectoria de la temperatura. Es decir, en el inicio tiene un pico elevado, esto se debe porque el calor que ingresa es mayor que el de la cámara, sin embargo, después este parámetro se convierte un flujo estable hasta encontrar el equilibrio térmico.

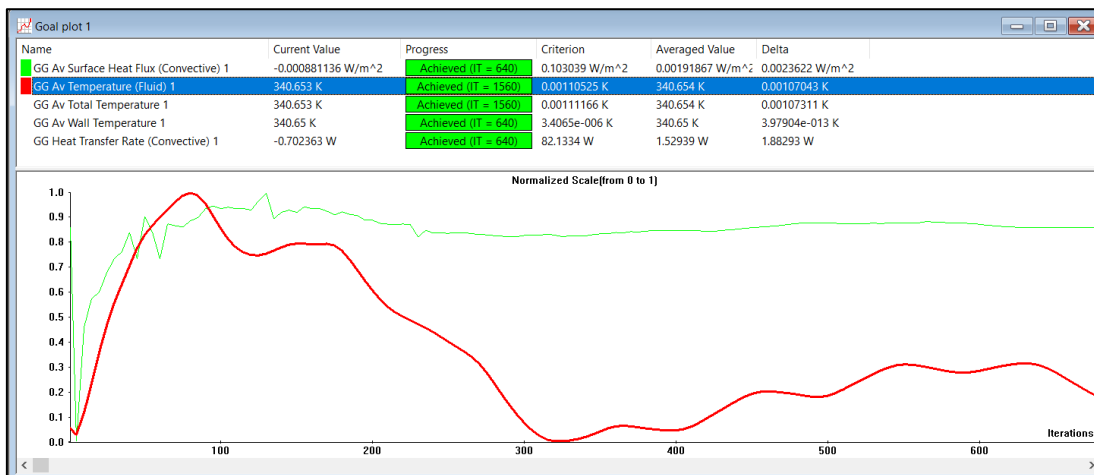


Figura 60. Gráfico de transición de la temperatura

En el siguiente grafico se demuestra el tiempo de estabilización de la temperatura en el interior de la cámara.

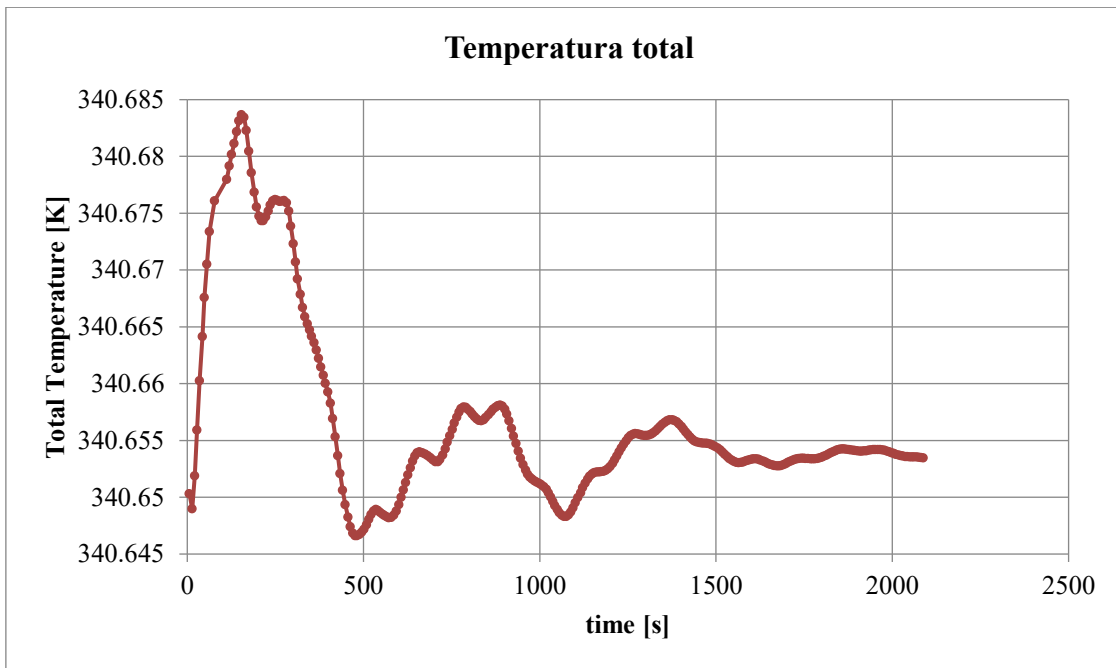


Figura 61. Temperatura total vs tiempo

De la figura anterior se puede observar que la temperatura empieza a estabilizarse a partir de 2000 segundos lo cual es un tiempo aproximado de 33 minutos, esto significa que pasado la media hora se tendrá un equilibrio en la temperatura total llegando a valores de 340,65 K o 67,5°C en el interior de la cámara.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de la temperatura en las paredes.

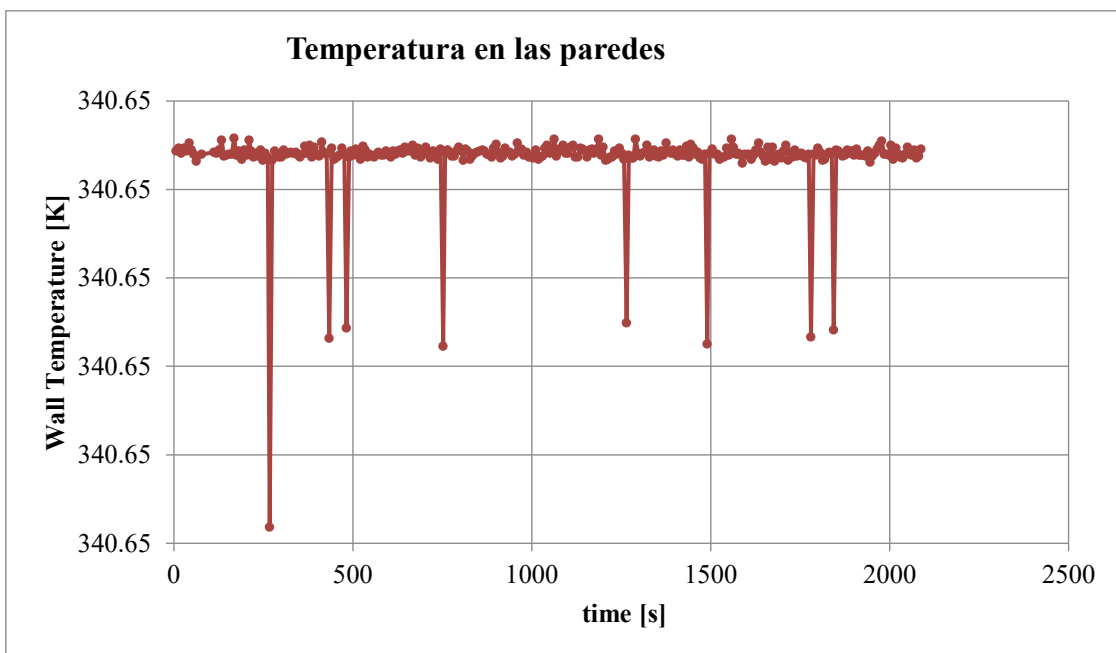


Figura 62. Temperatura en las paredes vs tiempo

De la figura anterior se puede observar que para que llegue al equilibrio térmico en las paredes necesita un tiempo de 2 000 segundos lo cual esto representa aproximadamente 33 minutos, esto significa que pasado la media hora se tendrá un equilibrio térmico en las paredes con temperaturas de 340,65 K o 67,5°C en el interior de la cámara.

En la siguiente figura se puede observar el comportamiento de la temperatura del fluido en el interior de la cámara.

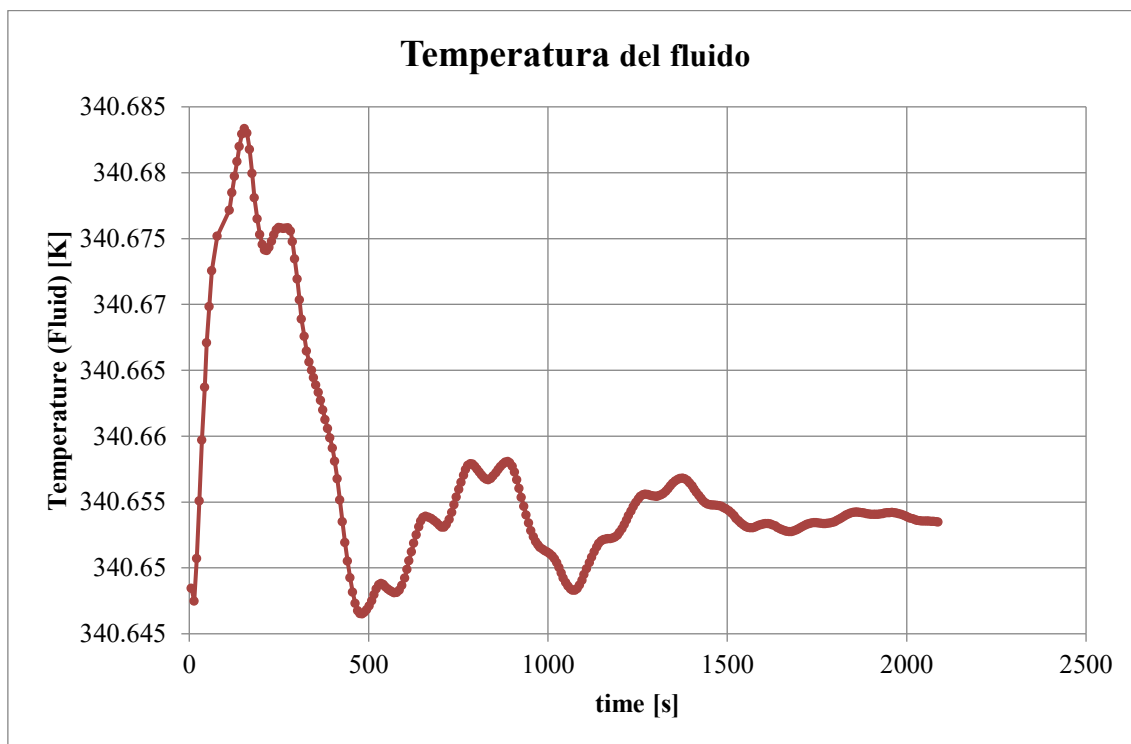


Figura 63. Temperatura del fluido vs tiempo

De la figura anterior se puede observar que la temperatura del fluido empieza a estabilizarse a partir de 2000 segundos lo cual es un tiempo aproximado de 33 minutos, esto significa que pasado la media hora se tendrá un equilibrio en la temperatura del fluido llegando a valores de 340,65 K o 67,5°C en el interior de la cámara.

Por lo tanto, con estos resultados se concluye que el diseño está correctamente dimensionado, y que el flujo de aire se mantiene con una temperatura constante de 340,65 K que equivale a 67,5°C, temperatura óptima para el secado de tabloncillos de madera cedro.

#### 4.4. Evaluación económica del diseño de la cámara.

Para desarrollar este ítem se debe tener en cuenta algunos aspectos como es el costo de los materiales, equipos, mano de obra y mantenimiento de los mismos, lo cual se ven reflejados a continuación.

##### 4.4.1. Costo de material

En este ítem se muestra los tipos de materiales, la cantidad y su costo económico.

Tabla 38. Materiales para la construcción de la cámara de secado

<b>COSTO DEL MATERIAL</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>ud.</b>	<b>Valor Unitario (s/.)</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Total</b>
1	Plancha de aluminio 1,22x2,44x2mm	c/u	S/ 397,89	12	S/ 4 774,68
2	Plancha de aluminio de 1,22x2,44x3mm	c/u	S/ 504,87	22	S/ 11 107,14
3	Plancha de acero 1,22x2,44x2mm	c/u	S/ 783,29	12	S/ 9 399,48
4	Plancha de acero de 1,22x2,44x3mm	c/u	S/ 982,39	4	S/ 3 929,56
5	Fibra de vidrio	m2	S/ 315,18	30	S/ 9 455,40
6	Fierro corrugado ½ pulgada	m	S/ 40,00	16	S/ 640,00
7	Fierro corrugado 5/8 pulgada	m	S/ 45,00	20	S/ 900,00
8	Fierro corrugado de 6 mm	m	S/ 10,14	20	S/ 202,80
9	Ladrillo de pared	unidad	S/ 0,86	1200	S/ 1 032,00
10	Ladrillo de techo	unidad	S/ 2,60	250	S/ 650,00
11	Piedra chancada de 1/2 "	m3	S/ 65,00	5	S/ 325,00
12	Arena fina	m3	S/ 178,39	6	S/ 1 070,34
13	Cemento de 42.5 kg	Bolsa	S/ 20,50	75	S/ 1 537,50
14	Picaporte de portón	c/u	S/ 38,00	2	S/ 76,00
15	Bisagra n° 88 4"x4" pasador simple	c/u	S/ 17,00	8	S/ 136,00
16	Cerradura blindada	c/u	S/ 205,90	1	S/ 205,90
<b>TOTAL</b>					<b>S/ 45 441,80</b>

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se concluye que el costo total para la adquisición de materiales es de S/ 45 441,80 aproximadamente.

#### 4.4.2. Costo de los equipos

En la tabla 41 se muestra el valor económico de los equipos para el funcionamiento de la cámara de secado.

Tabla 39. Costo de los equipos

<b>COSTO DE LOS EQUIPOS</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>ud.</b>	<b>Valor Unitario S/.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor total S/.</b>
1	Ventiladores axiales	c/u	S/ 1 950,00	4	S/ 7 800,00
2	Bomba de calor	c/u	S/ 9 427,80	2	S/ 18 855,60
3	Sensor de temperatura	c/u	S/ 241,37	2	S/ 482,74
<b>TOTAL</b>					<b>S/ 27 138,34</b>

Fuente: Elaboración propia

Los equipos involucrados para el diseño de la cámara tienen un valor económico de **S/ 27 138,34** aproximadamente.

#### 4.4.3. Costo de mano de obra

En la siguiente tabla se especifica la remuneración mensual del personal involucrado en la obra.

Tabla 40. Costo de mano de obra

<b>COSTO DE MANO DE OBRA</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Unitario S/.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Total S/.</b>
1	Maestro albañil	Unidad	S/ 1 600,00	1	S/ 1 600,00
2	Obreros	Unidad	S/ 1 200,00	4	S/ 4 800,00
<b>TOTAL</b>					<b>S/ 6 400,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Para la ejecución de este proyecto la mano de obra calificada tiene un monto aproximadamente de **S/ 6 400,00**.

#### 4.4.4. Costos de instalación de equipos

Para el desarrollo de esta actividad está conformado por la remuneración económica por un técnico montajista y 2 ayudantes la cual se menciona en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 41. Costos de instalación de equipos

<b>COSTO DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Unitario S/</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Total S/.</b>
1	Técnico montajista	Unidad	S/ 1 800,00	1	S/ 1 800,00
2	Ayudante	Unidad	S/ 1 200,00	2	S/ 2 400,00
<b>TOTAL</b>					<b>S/ 4 200,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el costo total para la instalación de equipos asciende a una cantidad aproximado de **S/ 4 200,00**.

#### 4.4.5. Costos de insumos y otros

En la tabla 44, se muestra el costo de insumos y otros elementos involucrados de manera imprevista.

Tabla 42. Costos de insumos y otros

<b>COSTO DE INSUMOS Y OTROS</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>ud.</b>	<b>Valor Unitario S/</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Total S/.</b>
1	Alquiler de equipos y herramientas	varios	S/ 1 500,00	1	S/ 1 500,00
2	Energía, agua, Teléfono y otros	varios	S/ 500,00	1	S/ 500,00
<b>TOTAL</b>					<b>S/ 2 000,00</b>

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior el presupuesto de los costos en insumos y otros imprevistos es de **S/ 2 000,00** aproximadamente.

#### 4.4.6. Costo total aproximado del proyecto

A continuación, se especifica de manera resumida los costos incluidos en las distintas fases del desarrollo del proyecto.

Tabla 43. Costo total aproximado del proyecto

<b>COSTO TOTAL APROXIMADO DEL PROYECTO</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor total S/</b>
1	Costo del material	S/ 45 441,80
2	Costo de los equipos	S/ 27 138,34
3	Costo de mano de obra	S/ 6 400,00
4	Costo de instalación de equipos	S/ 4 200,00
5	Costo de insumos y otros	<b>S/ 2 000,00</b>
<b>TOTAL</b>		<b>S/ 85 180,14</b>

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el presupuesto total del proyecto asciende a un valor de **S/ 85 180,14** aproximadamente.

Una vez analizado el presupuesto total de la inversión, se realizará el cálculo de indicadores (VAN, TIR, B/C) para interpretar de manera efectiva la inversión desde la perspectiva económica. Para este análisis se debe tener en consideración los siguientes datos.

Tabla 44 Parámetros iniciales para el cálculo de los indicadores económicos

<b>PARÁMETROS PARA CALCULAR LOS INDICADORES ECONÓMICOS</b>	
Inversión del proyecto	S/ 85 180,14
Egresos anuales	S/ 175 200,00
Ingresos anuales	S/ 201 600,00
Tiempo de vida del proyecto	10 años
Tasa de descuento	12%

Nota. Elaboración propia

##### **a. Tasa de descuento.**

La tasa de descuento es una de las medidas con mayor relevancia en la evaluación de proyectos de inversión, tanto en el sector público como privado, a su vez es el elemento que permite comparar flujos de beneficios y costos que ocurren en distintos periodos de tiempo [44].

Para la elaboración de este proyecto se estima una tasa de descuento del 12 %.

### b. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un indicador de rentabilidad que demuestra el ingreso adicional que genera un proyecto después de descontar todos sus costos en un determinado periodo, es decir todo proyecto es aceptable cuando el valor del VAN es mayor a cero, de lo contrario no será viable. Para calcular dicho indicador se utilizará la siguiente ecuación [45].

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n}$$

Donde:

- $I_0$ : Es la inversión inicial.
- BN: Beneficios netos del periodo
- r: Tasa de interés
- n: Número de periodos considerados.
- t: Tiempo

### c. Tasa interna de retorno (TIR)

Por su parte, este indicador es aquella tasa de interés que hace que el valor actualizado de los ingresos sea igual al valor actualizado de los costos, Por lo tanto, hace que el VAN sea igual a cero. Para calcular el valor de dicha tasa se utilizará la siguiente expresión:

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n} = 0$$

El criterio fundamental para aceptar o rechazar la viabilidad del proyecto, es la tasa interna de retorno, es decir, si el TIR es mayor a la tasa de descuento el proyecto (12%), es aceptable y si es menor a la tasa de descuento será inviable [46].

#### d. Periodo de recuperación

Representa el número de años que se necesita para recuperar una inversión a partir de los flujos netos de efectivo descontados. Su objetivo principal es determinar el tiempo en que se recupera la inversión inicial. Para ello se debe tener en cuenta dos aspectos [46].

- **Flujos de caja igual:** Para este tipo de análisis se emplea la siguiente ecuación:

$$Payback = \frac{I_0}{F}$$

Donde:

$I_0$ : Es la inversión inicial del proyecto

$F$ : Es el valor de los flujos de caja

- **Flujos de caja diferente:** En este tipo de análisis los flujos de caja son variables, para ello se calcula con la siguiente ecuación

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

Donde:

$a$ : Número del periodo anterior inmediato hasta recobrar la inversión

$b$ : Suma de los flujos hasta el final del periodo “a”

$F_t$ : Valor del flujo de caja del año en que se recupera la inversión

#### e. Evaluación del costo-beneficio (B/C)

Este indicador se calcula mediante la relación entre los beneficios y los costos o egresos de un proyecto. Su resultado se basa en la relación entre el VAN de los ingresos de efectivo futuras y el VAN del presupuesto [47].

$$B/C = \frac{VAN_{total\ ingresos}}{VAN_{total\ egresos}}$$

Para evaluar estos indicadores económicos se realiza un análisis de los ingresos mensuales, así como también los egresos que genera este proyecto, todos estos cálculos se demuestran a continuación.

Sin embargo, el costo promedio por pie tablar (Pt) de madera cedro según el boletín electrónico de precios de productos maderables y no maderables del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) por departamento es de S/ 3,50. (ANEXO 8) [48]

Tabla 45. Costo de madera cedro

c. Madera aserrada corta (S/. Pt)							
ESPECIE	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Promedio I Semestre
Cedro	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Copaiba	2,50	2,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,17
Huayruro	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Ishpingo	4,00	4,00	4,00	4,00	3,50	3,50	3,83
Moena	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Romerillo	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Tornillo	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50

Fuente: Extraído de MINAGRI [48]

Para determinar el costo por tablón de madera cedro primero se determinó el costo por metro cubico, sabiendo que un pie tablar tiene un costo de S/ 3,50 y equivale a 0,00235974 m<sup>3</sup>. Sin embargo, en un tablón de cedro de 2,5 m \* 0,30 m\* 0,15 m tiene un volumen de 0,11 m<sup>3</sup>, haciendo un equivalente de 46 pies tablares, por lo tanto, el costo de venta por un tablón de cedro seco es de S/ 150,00, cabe recalcar que los aserraderos el precio de compra por tablón verde es de S/ 120,00, por ende, en la siguiente tabla se reflejan estos valores.

Tabla 46. Costo de compra y venta de tablonces cedro

PRECIO POR CADA 25 m3 de madera			
	Precio por tablón S/	Cantidad	Total S/
Compra	S/ 120,00	224	S/ 26 880,00
Vende	S/ 150,00	224	S/ 33 600,00
<b>Diferencia y/o ganancia solo por un proceso</b>			<b>S/ 6 720,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla anterior se determina que el costo de venta por cada 25m<sup>3</sup> de madera cedro asciende a S/ 33 600, 00, sin embargo, el costo de compra es de S/ 26 880,00, siendo la ganancia por cada proceso de secado de **S/ 6 720,00**. Pero el proceso de secado dura aproximadamente 10 días más un día de enfriamiento, por lo tanto, para un mejor estudio se analizó las ventas cada 2 meses ya que en este tiempo se desarrolla 5 procesos de secado, por ende, por cada dos meses de funcionamiento la cámara de genera un ingreso

de S/ 33 600,00 y un ingreso anual de S/ 201 600,00. Cabe recalcar que este ingreso aún no está descontado los egresos que generan para realizar este proceso de secado.

Tabla 47. Ingresos anuales

<b>INGRESOS ANUALES</b>						
	Precio tablón S/	Tablones por carga	Total S/	Ganancia por proceso S/	Ganancia en 2 meses S/	Ganancia por año S/
Compra	S/ 120,00	224	S/ 26 880,00	S/ 6 720	S/ 33 600	<b>S/ 201 600</b>
Vende	S/ 150,00	224	S/ 33 600,00			

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detalla los gastos o egresos mensuales generados en el proceso de secado de madera cedro.

#### ✓ **Gastos de producción**

Para las actividades de carga y descarga de madera se necesita un aproximado de 4 trabajadores, lo cual en la tabla siguiente se estima el costo de su producción anual.

Tabla 48. Costos de producción

<b>Costos de producción</b>				
Personal	Cantidad	Remuneración S/	Mensual S/	Año S/
Obrero	4	S/ 1 000,00	S/ 4 000,00	S/ 48 000,00

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el costo anual de producción es de S/ 48 000,00.

#### ✓ **Gastos de mantenimiento de equipos y cámara de secado**

En este proceso se necesita el servicio de un personal técnico mecánico, cabe recalcar que el periodo de mantenimiento se realizara cada 3 meses y a continuación se detalla su remuneración anual.

Tabla 49. Costos de mantenimiento de equipos y cámara de secado

<b>Costos de mantenimiento de equipos y cámara de secado</b>				
Personal	Cantidad	Remuneración S/	Mensual S/	Año S/
Técnico mec.	1	S/ 1 200,00	S/ 1 200,00	S/ 4 800,00

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, el costo para el servicio de mantenimiento tanto de los equipos y cámara es de S/ 4 800,00 al año.

#### ✓ **Gastos por consumo eléctrico**

En este ítem se considera la potencia del equipo por el costo de kWh y el tiempo de funcionamiento del mismo, lo cual se refleja en la siguiente tabla

Tabla 50. Costos por consumo eléctrico

<b>Costos por servicio de energía eléctrica</b>					
Potencia kW	Costo kWh S/	Tiempo horas	Número días	Total S/	Total año S/
35	S/ 0,68	20	25	S/ 10 200,00	S/ 122 400,00

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se puede concluir que el costo total por consumo de energía eléctrica por año es de S/ 122 400,00.

A continuación, se representa un resume total de todos los ingresos que genera este proceso de secado de madera cedro

Tabla 51. Costo total anual

<b>COSTOS TOTALES</b>	
Costos de producción	S/ 48 000,00
Costos de mantenimiento	S/ 4 800,00
Costos consumo eléctrico	S/ 122 400,00
<b>TOTAL</b>	<b>S/ 175 200,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se concluye que el costo anual para desarrollar el proceso de secado de madera cedro asciende a un valor de S/ 175 200,00. Lo cual en la siguiente tabla se calcula el total de ingresos y el flujo económico, parámetros indispensables para determinar los indicadores económicos.

A continuación, en la siguiente tabla se representa la evaluación económica para un periodo de 10 años, en lo cual se muestra valores de como el flujo de caja va ascendiendo dentro del periodo establecido.

Tabla 52 Evaluación económica

AÑO	Inversión	Costos de producción	Operación y Mtto.	Consumo eléctrico	Total egresos	Ingresos	Total ingresos	Flujo económico
0	S/ 85 180,14				-S/ 85 180,14		-S/ 85 180,14	-S/ 85 180,14
1	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	-S/ 58 780,14
2	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	-S/ 32 380,14
3	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	-S/ 5 980,14
4	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	S/ 20 419,86
5	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	S/ 46 819,86
6	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	S/ 73 219,86
7	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	S/ 99 619,86
8	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	S/ 126 019,86
9	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	S/ 152 419,86
10	0	S/ 48 000,00	S/ 4 800,00	S/ 122 400,00	S/ 175 200,00	S/ 201 600,00	S/ 26 400,00	S/ 178 819,86

Nota. Elaboración propia

Con los valores de la tabla anterior se determina el PAY BACK que a continuación se representa de manera gráfica. Lo cual nos arroja como resultado un periodo de recuperación de 3 años.

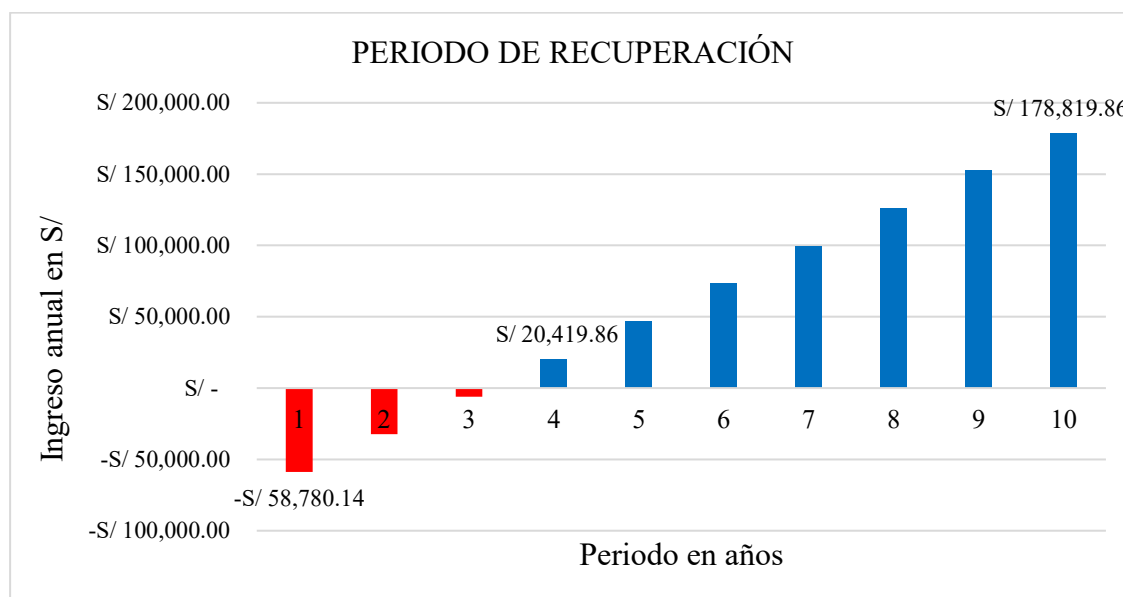


Figura 64. Periodo de recuperación en años

Con la figura anterior se concluye que el proyecto tiene un tiempo de recuperación de 3 años, lo cual a partir del 4<sup>to</sup> año se muestra un ingreso de S/ 20 419,86.

En la siguiente tabla se especifica de manera resumen todos los indicadores ya mencionados anteriormente.

Tabla 53. Indicadores económicos

RESULTADOS FINALES	
INVERSIÓN	S/ 85 180,14
TASA DE DESCUENTO	12%
VAN	S/63 985,75
TIR	28%
VAN INGRESOS	S/1 139 084,96
VAN EGRESOS	S/989 919,07
PAY BACK	3 años
B/C	1,2

Nota. Elaboración propia

De los resultados finales se concluye que se obtiene un VAN de **S/63 985,75** y un TIR del **28 %** lo cual lo convierte en un proyecto viable, la cual cuenta con un tiempo de recuperación de **3 años** y un costo-beneficio de **1,2**.

## V. CONCLUSIONES

Con el diagnóstico inicial se concluyó que los aserraderos del distrito de José Leonardo Ortiz, no cuentan con una cámara de secado, sin embargo, para este proceso de secado de madera lo desarrollan de manera artesanal, es, decir realizan un secado natural a la intemperie, lo cual esto les genera mayor tiempo de secado y un producto de menor calidad. Por otro lado, el tipo de madera que mayormente comercializan es el cedro y lo adquieren en forma de tablones mayormente con dimensiones de 2,5 metros de largo, 30 centímetros de ancho y 15 centímetros de espesor.

Según las necesidades y requerimientos evaluados se dimensionó una cámara con capacidad de 25 m<sup>3</sup>, con dimensiones internas de 6,5 metros de largo, 5,46 metros de ancho y 3 metros de alto, lo cual las paredes están conformadas en la parte interna con una plancha de aluminio de 3 mm de espesor, un aislante de fibra de vidrio de 50 mm de espesor, ladrillo y una capa de concreto, al igual que para el techo y piso. Sin embargo, la cantidad de energía que se requiere para este proceso de secado es de 35880,99 W o 30852 Kcal/h para la etapa de calentamiento y una energía de 30049,14 W o 25837,61 Kcal/h para la etapa de secado, siendo estos parámetros importantes para la selección de los equipos como ventiladores, controladores de temperatura y la bomba de calor. Cabe recalcar que el tiempo de secado tiene una duración de 10 días más 1 día de enfriamiento.

Mediante la simulación de temperatura y transferencia de calor en las paredes internas de la estructura en el software SolidWorks se obtuvieron resultados de temperatura constante con valores de 67,4 °C. así como también se determinó que las pérdidas de transferencia de calor son mínimos y que no afectan a la madera, obteniendo así un producto de mayor calidad, a diferencia de un secado convencional (intemperie).

El costo total para el desarrollo de esta cámara de secado de madera para tablones de cedro con capacidad de 25 m<sup>3</sup>, tiene una inversión de S/ **85 180,14**. Sin embargo, mediante la evaluación económica se obtiene un VAN de S/ **63 985,75** y un TIR del **28 %** lo cual lo convierte en un proyecto viable con un periodo de recuperación de **3** años y un costo-beneficio de **1,2**.

## **VI. RECOMENDACIONES**

En base a esta investigación se recomienda repetir el proceso de secado para otra especie o tipo de árboles maderables como por ejemplo caoba, tornillo, pino, entre otros. Ya que en esta investigación solo se tomó como muestra tablones de cedro.

Esta investigación solo se delimitó en un sector del distrito de J.L.O, por lo tanto, se recomienda realizar un estudio a nivel regional para obtener un mayor alcance de estudio.

Para el llenado o apilamiento de los tablones de madera se recomienda utilizar alguna maquinaria como montacargas, para evitar posibles accidentes, así como también para disminuir el tiempo de llenado.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1 S. A. D. HITSCHFELD, «“PROYECTO CAMARA DE SECADO PARA”,» CHILE ,  
] 2009.
- [2 R. D. C. TOAPANTA y D. J. CRIOLLO CAJAMARCA, «DISEÑO TÉRMICO DE UN  
] HORNO PARA SECADO DE MADERA CON UNA CAPACIDAD DE 23 METROS  
CÚBICOS AL MES,» QUITO, 2013.
- [3 P. J. A. CAZCO, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE MADERA PARA LA  
] EMPRESAPARQUET "LOS PINOS",» 2010. [En línea]. Available:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/875/1/15T00462.pdf>. [Último acceso:  
26 OCTUBRE 2019].
- [4 V. Cisneros Espinoza, «Diseño de un horno para el secado de madera de 23,1 m<sup>3</sup> para la  
] ciudad de el Alto,» Bolivia, 2015.
- [5 C. Aguilar Narváez, «Rediseño e implementación de un horno de secado de madera, con  
] capacidad de 45 m<sup>3</sup>, perteneciente a la fábrica Promara CIA. LTDA.,» Ecuador , 2014.
- [6 S. Doerner Hitschfeld, «Proyecto camara de secado para madera elaborada,» Chile, 2009.  
]
- [7 R. G. Budymas y K. N. J, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGGLEY,  
] Octava ed., P. E. R. Vázquez, Ed., Mexico: S.A.DE C.V., 2008, p. 1098.
- [8 B. D. Y. V. ARTEAGA, «“Rendimiento de madera en la producción de muebles”,»  
] Huancayo – Perú., 2011.
- [9 J. F. A. GÓMEZ y V. R. FERIA HOYOS , «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE,»  
] Cartagena, 2003.
- [1 P. J. A. CAZCO, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE MADERA PARA LA  
0] EMPRESAPARQUET "LOS PINOS",» RIOBAMBA - ECUADOR, 2010.

- [1 J. I. F. G. SECO, J. J. FERNÁNDEZ GOLFÍN SECO y J. LÓPEZ GIMENO, «LA  
1] BOMBA DE CALOR EN EL SECADO DE LA MADERA ASERRADA,» p. 7, 2001.
- [1 R. D. C. TOAPANTA y D. J. CRIOLLO CAJAMARCA, «DISEÑO TÉRMICO DE UN  
2] HORNO PARA SECADO DE MADERA CON UNA CAPACIDAD DE 23 METROS  
CÚBICOS AL MES,» QUITO, 2013.
- [1 I. Q. R. O. C. VIDAL, «“ANÁLISIS DEL USO DE UN SECADOR SOLAR PARA  
3] MADERA EN LA CIUDAD DE CUENCA”,» CUENCA – ECUADOR, 2017.
- [1 C. A. C. WELLMANN, «DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y  
4] MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Pinus maximinoi* H. E. Moore; COBÁN, ALTA  
VERAPAZ,» GUATEMALA, 2015.
- [1 B. G. A. COLQUE, «DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE MADERA DE  
5] 23,1(m<sup>3</sup>) PARA LA CIUDAD DE EL ALTO,» LA PAZ- BOLIVIA, 2015.
- [1 S. Viscarra, «GUIA PARA EL SECADO DE LA MADERA EN HORNOS,» 1998.  
6]
- [1 L. M. MATEOS, APUNTES SOBRE TECNOLOGÍA DE L MADERA, PRIMERA ed.,  
7] 2012, p. 305.
- [1 Y. A. Cengel y M. A. Boles, TERMODINÁMICA, Séptima ed., P. E. R. Vázquez, Ed.,  
8] Mariela I. Rocha Martínez, 2012, pp. 324-400.
- [1 J. C. S. SHAVIETH y P. D. ESPINOSA MARTINEZ, «DISEÑO Y COSTRUCIÓN DE  
9] UNA BOMBA DE CALOR AIRE-AIRE CON CAPACIDAD DE 12000 BTU/h PARA  
SECADO DE CACAO,» Quito, 2019.
- [2 C. N. AGUILAR NARVÁEZ, «REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO  
0] DE SECADO DE MADERA, CON CAPACIDAD DE 45 M<sup>3</sup>, PERTENECIENTE,»  
SANGOLQUÍ, 2014.


- [2 S. A. D. HITSCHFELD, «"PROYECTO CAMARA DE SECADO PARA MADERA 1] ELABORADA",» 2009.
- [2 J. F. A. GÓMEZ y V. R. FERIA HOYOS , «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE,» 2] Cartagena, 2003.
- [2 P. J. Rothamel y E. M. Zamorano, Maderas: cálculo y dimensionado de estructuras 3] portantes, PRIMERA ed., 2006, p. 336.
- [2 A. C. P. JAVIER, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE MADERA PARA LA 4] EMPRESA PARQUET "LOS PINOS",» RIOBAMBA-ECUADOR, 2010.
- [2 Y. A. CENGEL, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, TERCERA ed., P. E. R. 5] Vázquez, Ed., MÉXICO: Mc Graw Hill, 2007, p. 930.
- [2 B. G. A. COLQUE, «DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE MADERA DE 6] 23,1(m3) PARA LA CIUDAD DE EL ALTO,» LA PAZ- BOLIVIA, 2015.
- [2 G. M. E. B. Paz, Metodología de la investigación, Primera ed., Grupo Editorial Patria, 7] 2014, pp. 86-120.
- [2 Á. E. Azuero, «Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de 8] investigación,» *KOINONIA*, vol. IV, pp. 110-127, diciembre 2019.
- [2 E. Gallardo, «Metodología de la Investigación,» de *Metodología de la Investigación: 9] manual autoformativo interactivo*, Huancayo, 2017.
- [3 H. Ñaupas, M. Valdivia, J. J. Palacios y H. E. Romero, «Metodología de la 0] investigación,» 2018. [En línea]. Available: <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>.
- [3 J. Arbeláez y V. Feria, «Diseño y construcción de una cámara para el secado de madera,» 1] Cartagena, 2003.

- [3 Catarina, «Proceso de secado».  
2]
- [3 V. M. N. Rojas, Metodología de la Investigación, primera ed., Ediciones de la U, 2011,  
3] pp. 54-62.
- [3 D. Neill y L. Cortez , «Procesos y fundamentos de la investigación científica,» Ecuador,  
4] UTMACH, 2018, 2018, p. 74.
- [3 R. Mott, «Diseño de elementos de maquina,» de *Diseño de elementos de maquina cuarta*  
5] *edicion*, Mexico, Pearson Educacion, 2006.
- [3 Municipalidad Distrital de José Leonardo Ortíz, «Reseña histórica,» Chiclayo, 2021.  
6]
- [3 Weather Spark , «El clima y el tiempo promedio en todo el año en Chiclayo,» Chiclayo,  
7] 2021.
- [3 Y. Cengel, «Transferencia de Calor y Masa 4ta edicion,» Mc Graw Hill.  
8]
- [3 B. Alanoca, «Diseño de un horno para el secado de madera de 23,1(m3) para la ciudad de  
9] El Alto,» Bolivia, 2015.
- [4 R. Solórzano, «Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la  
0] madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú,» Madre de Dios, 2019.
- [4 Aircal, «Bomba de calor de 16 kW,» China, 2020.  
1]
- [4 Larissa, «Ventilador centrífugo de alta eficiencia,» China, 2020.  
2]
- [4 WTsensor, «Sensor de temperatura de platino PT100 con pantalla LCD,» China, 2020.  
3]

- [4 G. Edwards, «Estimación de la tasa social de descuento a largo plazo en el marco de los  
4] sistemas de inversión,» 2016. [En línea]. Available:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-718X2016000100099](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2016000100099).
- [4 W. Andia, «Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el,» *Redalyc*, 2011.  
5]
- [4 C. Márquez y J. Castro, «Uso del Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Relación  
6] BeneficioCosto en la Evaluación Financiera de un Programa de Vacunación de Fiebre  
Aftosa en el estado Yaracuy, Venezuela,» 2015. [En línea]. Available:  
<http://ve.scielo.org/pdf/rfcv/v56n1/art08.pdf>.
- [4 A. Aguilera, «El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en  
7] actividades científicas,» *Scielo*, 2017.
- [4 Ministerio de Agricultura y Riego, «Boletín electrónico de precios de productos  
8] maderables y no maderables,» 2014. [En línea]. Available:  
<http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/706/1/Boletin%20precios%20maderables%20y%20no%20maderables%202014%20%28I%20Sem%29.pdf>.
- [4 S. Viscarra, «GUIA PARA EL SECADO DE LA MADERA,» Bolivia, 1969.  
9]
- [5 D. L. M. G. Vallejo, D. A. Chinchilla Jiménez, L. G. Guerra Vargas y M. A. Jara  
0] Ocampo, «DIRECCIÓN METODOLÓGICA DE INVESTIGACIÓN,» 2018.
- [5 C. C. d. Castillo, S. Olivares Orozco y M. González García, Metodología de la  
1] investigación, Grupo Editorial Patria, 2014, p. 249.
- [5 J. E. Maldonado, Metodología de la Investigación Social, Bogotá: Ediciones de la U,  
2] 2018.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Encuesta



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**DIAGNÓSTICO**

ENCUESTA N° 1

**Objetivo**

Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de madera en las empresas y microempresas del Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque.

Es de vital importancia que los datos que nos brinde sean veraces para el mejoramiento en el secado de madera.

**1. Datos Generales:**

**Del encuestado:**

1.1. Razón Social:	RUC 10337414023
1.2. Apellidos y nombres:	TAREILLO VALENZUELA RONAL
1.3. cargo o función:	Administrador
1.4. Edad:	47
1.5. N° de trabajadores en la empresa	4

**2. Cuestionario:**

2.1. ¿Cuál es el tipo de madera que más comercializa su empresa?

- Cedro
- Tornillo
- Roble
- Pino
- Otros (especifique)..... Tornillo, cumala.....

**Del tipo de madera más comercializada por su empresa, responda las siguientes preguntas.**

2.2. ¿Qué productos aserrados compra?

- Tablas
- Tablones
- Vigas
- Otros (especifique).....

2.3. ¿Cuál son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?

- Ancho..... 25 cm.....
- Largo..... 2.5 m.....
- Espesor..... 10 cm.....

2.4. ¿Qué tan frecuente compra madera?

- Semanal
- Quincenal
- Mensual



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

2.4. ¿Qué cantidad de madera compra su empresa?

Compra: 15 000 Pies

Vende: 13 000 Pies

2.5. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compran la madera?

- a. Madera verde (70%-150%)
- b. Madera húmeda (20%-40%)
- c. Madera seca al aire libre (13%- 18%)
- d. Madera secada en cámara (por debajo del 12%)

2.6. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?

- a. 30%- 50%
- b. 20%-25%
- c. 10%-15%
- d. Otros: .....

2.7. Actualmente; ¿cuenta la empresa con alguna máquina para el secado de madera?

- a. SI
- b. NO

2.8. ¿La empresa estaría dispuesta adquirir una cámara para el secado de madera con el fin de disminuir el tiempo de secado?

- a. SI
- b. NO

2.9. ¿Conoce usted alguna máquina para el secado de madera?

- a. Secado por bomba de calor
- b. Secado al vacío
- c. Secado por radio frecuencia
- d. Otros: ..... No .....

2.10. ¿Qué ventajas obtendrá con una cámara de secado?

- a. Mayores ventas
- b. Mayor durabilidad del producto
- c. Optimizar el flujo de salida
- d. Otros: .....

2.11. ¿Qué desventajas generaría una cámara para el secado de madera?

- a. Personal más capacitado
- b. Mayor logística
- c. Mayores medidas de seguridad
- d. Otros: .....



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

2.12. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una cámara de secado de madera?

- a. S/10,000-S/20,000
- b. S/20,000-S/30,000
- c. S/30,000-S/40,000
- d. S/40,000 -S/60,000

2.13. ¿Qué características considera importante al comprar una máquina como lo es una cámara de secado de madera?

- a. Cuidado del medio ambiente
- b. Material de fabricación duradero
- c. Automatizado
- d. Manual
- e. Precio

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 20 / 10 / 2019

Encuestador: Terrones Quintos Roger



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

DIAGNÓSTICO

ENCUESTA N°

2

**Objetivo**

Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de madera en las empresas y microempresas del Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque.

Es de vital importancia que los datos que nos brinde sean veraces para el mejoramiento en el secado de madera.

**1. Datos Generales:**

**Del encuestado:**

1.1. Razón Social:	MADENOR VIRESEN DE LA PUERTA
1.2. Apellidos y nombres:	Julio Vega Medina
1.3. cargo o función:	Administrador
1.4. Edad:	42
1.5. N° de trabajadores en la empresa	3

**2. Cuestionario:**

2.1. ¿Cuál es el tipo de madera que más comercializa su empresa?

- a. Cedro
- b. Tornillo
- c. Roble
- d. Pino
- e. Otros (especifique)..... Tornillo Cumala.....

**Del tipo de madera más comercializada por su empresa, responda las siguientes preguntas.**

2.2. ¿Qué productos aserrados compra?

- a. Tablas
- b. Tablones
- c. Vigas
- d. Otros (especifique).....

2.3. ¿Cuál son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?

- a. Ancho..... 25 cm.....
- b. Largo..... 3 m.....
- c. Espesor..... 10 cm.....

2.4. ¿Qué tan frecuente compra madera?

- a. Semanal
- b. Quincenal
- c. Mensual



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

2.4. ¿Qué cantidad de madera compra su empresa?

Compra: 50 000 Pies Tablones mensual

Vende: 47 000 Pies Tablones mensual

2.5. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compran la madera?

- a. Madera verde (70%-150%)
- b. Madera húmeda (20%-40%)
- c. Madera seca al aire libre (13%- 18%)
- d. Madera secada en cámara (por debajo del 12%)

2.6. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?

- a. 30%- 50%
- b. 20%-25%
- c. 10%-15%
- d. Otros: .....

2.7. Actualmente; ¿cuenta la empresa con alguna máquina para el secado de madera?

- a. SI
- b. NO

2.8. ¿La empresa estaría dispuesta adquirir una cámara para el secado de madera con el fin de disminuir el tiempo de secado?

- a. SI
- b. NO

2.9. ¿Conoce usted alguna máquina para el secado de madera?

- a. Secado por bomba de calor
- b. Secado al vacío
- c. Secado por radio frecuencia
- d. Otros: ..... No .....

2.10. ¿Qué ventajas obtendrá con una cámara de secado?

- a. Mayores ventas
- b. Mayor durabilidad del producto
- c. Optimizar el flujo de salida
- d. Otros: .....

2.11. ¿Qué desventajas generaría una cámara para el secado de madera?

- a. Personal más capacitado
- b. Mayor logística
- c. Mayores medidas de seguridad
- d. Otros: .....



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

2.12. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una cámara de secado de madera?

- a. S/10,000-S/20,000
- b. S/20,000-S/30,000
- c. S/30,000-S/40,000
- d. S/40,000 -S/60,000

2.13. ¿Qué características considera importante al comprar una máquina como lo es una cámara de secado de madera?

- a. Cuidado del medio ambiente
- b. Material de fabricación duradero
- c. Automatizado
- d. Manual
- e. Precio

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 16 / 11 / 2019

Encuestador: Terrones Quintos Roger



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

DIAGNÓSTICO

ENCUESTA N°

9

**Objetivo**

Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de madera en las empresas y microempresas del Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque.

Es de vital importancia que los datos que nos brinde sean veraces para el mejoramiento en el secado de madera.

**1. Datos Generales:**

**Del encuestado:**

1.1. Razón Social:	CONSORCIO AMAZONAS
1.2. Apellidos y nombres:	Meri Luz Mori Ordones
1.3. cargo o función:	Administrador
1.4. Edad:	40
1.5. N° de trabajadores en la empresa	4

**2. Cuestionario:**

2.1. ¿Cuál es el tipo de madera que más comercializa su empresa?

- a. Cedro
- b. Tornillo
- c. Roble
- d. Pino
- e. Otros (especifique)..... Copaliba

**Del tipo de madera más comercializada por su empresa, responda las siguientes preguntas.**

2.2. ¿Qué productos aserrados compra?

- a. Tablas
- b. Tablones
- c. Vigas
- d. Otros (especifique).....

2.3. ¿Cuál son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?

- a. Ancho..... 95 cm
- b. Largo..... 2.5 m
- c. Espesor..... 10 cm

2.4. ¿Qué tan frecuente compra madera?

- a. Semanal
- b. Quincenal
- c. Mensual



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

2.4. ¿Qué cantidad de madera compra su empresa?

Compra: 40 000 Pies Mensual

Vende: 40 000 Pies Mensual.

2.5. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compran la madera?

- a. Madera verde (70%-150%)
- b. Madera húmeda (20%-40%)
- c. Madera seca al aire libre (13%- 18%)
- d. Madera secada en cámara (por debajo del 12%)

2.6. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?

- a. 30%- 50%
- b. 20%-25%
- c. 10%-15%
- d. Otros: .....

2.7. Actualmente; ¿cuenta la empresa con alguna máquina para el secado de madera?

- a. SI
- b. NO

2.8. ¿La empresa estaría dispuesta adquirir una cámara para el secado de madera con el fin de disminuir el tiempo de secado?

- a. SI
- b. NO

2.9. ¿Conoce usted alguna máquina para el secado de madera?

- a. Secado por bomba de calor
- b. Secado al vacío
- c. Secado por radio frecuencia
- d. Otros: .....

2.10. ¿Qué ventajas obtendrá con una cámara de secado?

- a. Mayores ventas
- b. Mayor durabilidad del producto
- c. Optimizar el flujo de salida
- d. Otros: .....

2.11. ¿Qué desventajas generaría una cámara para el secado de madera?

- a. Personal más capacitado
- b. Mayor logística
- c. Mayores medidas de seguridad
- d. Otros: .....

## ANEXO 02: Ponderación de indicadores

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN	INDICADOR
<b>SUFICIENCIA</b> Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de ésta	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No cumple con el criterio</li> <li>2. Bajo nivel</li> <li>3. Moderado nivel</li> <li>4. Alto nivel</li> </ol>	<p>Los ítems no son suficientes para medir la dimensión</p> <p>Los ítems miden algún aspecto de la dimensión, pero no corresponde con dimensión total.</p> <p>Se deben incrementar algunos ítems para poder evaluar la dimensión completamente.</p> <p>Los ítems son suficientes.</p>
<b>CLARIDAD</b> El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No cumple con el criterio</li> <li>2. Bajo nivel</li> <li>3. Moderado nivel</li> <li>4. Alto nivel</li> </ol>	<p>El ítem no es claro.</p> <p>El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de las mismas.</p> <p>Se requiere una modificación y específica de algunos de los términos del ítem</p> <p>El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada</p>
<b>COHERENCIA</b> El ítem tiene relación lógica con la dimensión que está midiendo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No cumple con el criterio</li> <li>2. Bajo nivel</li> <li>3. Moderado nivel</li> <li>4. Alto nivel</li> </ol>	<p>El ítem no tiene relación lógica con la dimensión.</p> <p>El ítem tiene relación tangencial con la dimensión.</p> <p>El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo.</p> <p>El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión que está midiendo</p>
<b>RELEVANCIA</b> El ítem tiene relevancia con la dimensión que está midiendo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No cumple con el criterio</li> <li>2. Bajo nivel</li> <li>3. Moderado nivel</li> <li>4. Alto nivel</li> </ol>	<p>El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión</p> <p>El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide este.</p> <p>El ítem es relativamente importante.</p> <p>El ítem es muy relevante y debe ser incluido.</p>

ANEXO 03: Calificación de indicadores

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SECADO DE MADERA CON CAPACIDAD DE 27m<sup>3</sup> PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO EN EL DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ-LAMBAVEQUE.

DIMENSIÓN	ITEM	SUFICIENCIA	COHERENCIA	RELEVANCIA	CLARIDAD	OBSERVACIONES
1. DATOS GENERALES	1.1. Razón Social:	3				
	1.2. Apellidos y Nombres:	3				
	1.3. cargo o función:	3				
	1.4. Edad:	3				
	1.5. N°. de trabajadores en la empresa	3				
	2.1. ¿Cuál es el tipo de madera que más comercializa su empresa?			3		
	2.2. ¿Qué productos aserrados compra?			3		
	2.3. ¿Cuál son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?			4		
	2.4. ¿Qué tan frecuente compra madera?				4	
	2.5. ¿Qué cantidad de madera compra su empresa?				4	
	2.6. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compran la madera?				4	
	2.7. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?				4	
	2.8. Actualmente, ¿cuenta la empresa con alguna máquina para el secado de madera?			3		
	2.9. ¿La empresa estaría dispuesta adquirir una cámara para el secado de madera con el fin de disminuir el tiempo de secado?			3	4	
	2.10. ¿Conoce usted alguna máquina para el secado de madera?			3		
2.11. ¿Qué ventajas obtendrá con una cámara de secado?			3			
2.12. ¿Qué desventajas generaría una cámara para el secado de madera?			3			
2.13. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una cámara de secado de madera?				4		
2.14. ¿Qué características considera importante al comprar una máquina como lo es una cámara de secado de madera?			3			

¿Hay alguna dimensión que hace parte del constructo y no fue evaluada? ¿cuál?.....  
 \*Para los casos de equivalencia semántica se deja una casilla por ítem, ya que se evaluará si la traducción o el cambio de vocabulario son suficientes:

.....  
 FIRMA

## ANEXO 04: Plantilla de juicio de expertos



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

CHICLAYO 18 DE  
NOVIEMBRE DEL  
2019

## PLANTILLA JUICIO DE EXPERTO

Respetado juez: usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la situación actual del proceso de secado de madera que hace parte de la investigación del Diseño de una cámara para el secado de madera con capacidad de 27 m<sup>3</sup> para disminuir el tiempo de secado de madera en las empresas y microempresas del Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de Ingeniería Mecánica Eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ: Azul Espinoza Ruiz

FORMACION ACADEMICA: Ing. Mecánica Eléctrica

AREA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL: Ortón y energía

TIEMPO 3 años CARGO ACTUAL Jefe de Práctica

INSTITUCION: USAT

Objetivo de la investigación: Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de madera en las empresas y microempresas en el Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque.

Objetivo del juicio de experto:  
Los ítems son los adecuados para evaluar las dimensiones.

Objetivo de la prueba:  
Aplo para realizar las evaluaciones.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

CHICLAYO 19 DE  
NOVIEMBRE DEL  
2019

#### PLANTILLA JUICIO DE EXPERTO

Respetado juez: usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la situación actual del proceso de secado de madera que hace parte de la investigación del Diseño de una cámara para el secado de madera con capacidad de 27 m<sup>3</sup> para disminuir el tiempo de secado de madera en las empresas y microempresas del Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de Ingeniería Mecánica Eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ:

Lucio Antonio Montoya Y. ENDOZA

FORMACION ACADEMICA:

Maestro en Ing - Ing. Químico

AREA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL:

15 años

8 como docente USAT

TIEMPO 8 años

CARGO ACTUAL

Secretario Ejecutivo

INSTITUCION:

USAT

Objetivo de la investigación: Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de madera en las empresas y microempresas en el Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque.

Objetivo del juicio de experto:

Cumple con el objetivo adecuado para su proyecto

Objetivo de la prueba:

puede evaluar los evaluados pertinentes para su proyecto .



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

CHICLAYO 20 DE  
NOVIEMBRE DEL  
2019

#### PLANTILLA JUICIO DE EXPERTO

Respetado juez: usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la situación actual del proceso de secado de madera que hace parte de la investigación del Diseño de una cámara para el secado de madera con capacidad de 27 m<sup>3</sup> para disminuir el tiempo de secado de madera en las empresas y microempresas del Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de Ingeniería Mecánica Eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ: Amedo Aguirre Paz.

FORMACION ACADEMICA: Iny Mecanico Electricista.

AREA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL: Energia

TIEMPO 28 Años CARGO ACTUAL Docente.

INSTITUCION: UNPRG.

Objetivo de la investigación: Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de madera en las empresas y microempresas en el Distrito de José Leonardo Ortiz- Lambayeque.

Objetivo del juicio de experto:

Objetivo bien planteado.

Objetivo de la prueba:

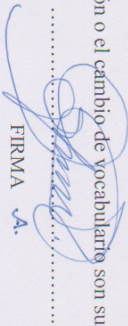
El instrumento es idoneo para obtener informacion relevante a la investigacion.

**DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SECADO DE MADERA CON CAPACIDAD DE 27M<sup>3</sup> PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO EN EL DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ-LAMBAYEQUE.**

DIMENSIÓN	ITEM	SUFICIENCIA	COHERENCIA	RELEVANCIA	CLARIDAD	OBSERVACIONES
<b>1. DATOS GENERALES</b>	1.1. Razón Social:	4	4	4	4	
	1.2. Apellidos y Nombres:	4				
	1.3. cargo o función:	4				
	1.4. Edad:	4				
	1.5. N°. de trabajadores en la empresa	4	4	4	4	
	2.1 ¿Cuál es el tipo de madera que más comercializa su empresa?	4				
	2.2. ¿Qué productos aserrados compra?	3	3	3	4	propor. de dimensiones
	2.3. ¿Cuál son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?	4	4	4	4	
	2.4. ¿Qué tan frecuente compra madera?	4	4	4	4	
	2.5. ¿Qué cantidad de madera compra su empresa?	4	4	4	4	verdad.
	2.6. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compran la madera?	3	3	3	3	
	2.7. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?	3	3	3	3	
	2.8. Actualmente, ¿cuenta la empresa con alguna máquina para el secado de madera?	4	4	4	4	
	2.9. ¿La empresa estaría dispuesta adquirir una cámara para el secado de madera con el fin de disminuir el tiempo de secado?	4	4	4	4	
2.10. ¿Conoce usted alguna máquina para el secado de madera?	4	4	4	4		
2.11. ¿Qué ventajas obtendrá con una cámara de secado?	4	4	4	4		
2.12. ¿Qué desventajas generaría una cámara para el secado de madera?	4	4	4	4		
2.13. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una cámara de secado de madera?	4	4	4	4		
2.14. ¿Qué características considera importante al comprar una máquina como lo es una cámara de secado de madera?	4	4	4	4		

¿Hay alguna dimensión que hace parte del constructo y no fue evaluada? ¿cuál?.....

\*Para los casos de equivalencia semántica se deja una casilla por ítem, ya que se evaluará si la traducción o el cambio de vocabulario son suficientes:

  
 FIRMA A.

## ANEXO 5: APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

Se aplicó una encuesta a los trabajadores que laboran en el establecimiento maderero en el sector Nuevo San Lorenzo 4<sup>ta</sup> etapa del distrito de JLO, para identificar el conocimiento técnico y los parámetros necesarios que emplean mediante el transcurso del secado de la materia prima, definiendo las dimensiones, materiales, planos entre otros.

### 1. ¿Cuál es el tipo de madera que más comercializa su empresa?

Tabla 54. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa

Tipo de madera	Resultado	Porcentaje
Cedro	4	40%
Tornillo	2	20%
Roble	2	20%
Pino	1	10%
Otros	1	10%

Fuente: elaboración propia

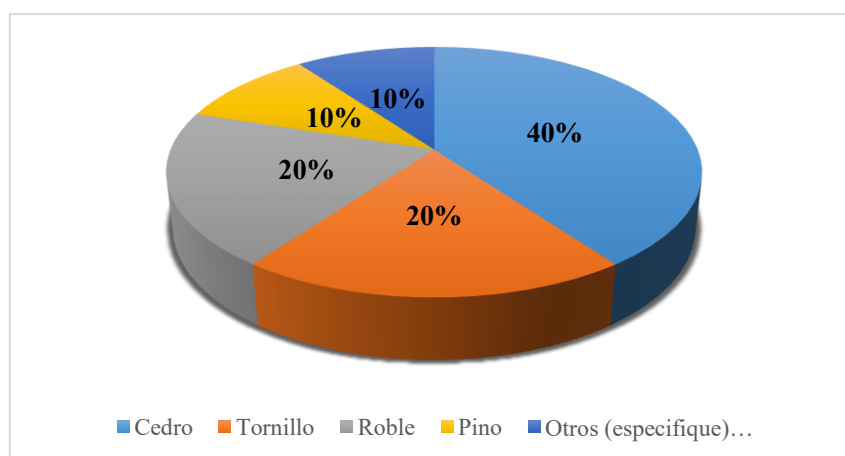


Figura 65. Tipo de madera más comercializada dentro de la empresa

De la figura 19 se puede visualizar que un 40% de madera más comercializada en los aserraderos del Distrito de JLO es el cedro. Por ser una madera duradera y muy resistente a plagas y enfermedades; así como también por su característico color rojizo lo hace un perfecto material para diversas construcciones.

## 2. ¿Qué productos aserrados compra?

Tabla 55. Productos con mayor demanda.

Producto más comprado	Resultado	Porcentaje
Tablas	1	10%
Tablones	5	50%
Vigas	3	30%
Otros (especifique)...	1	10%

Fuente: Elaboración propia

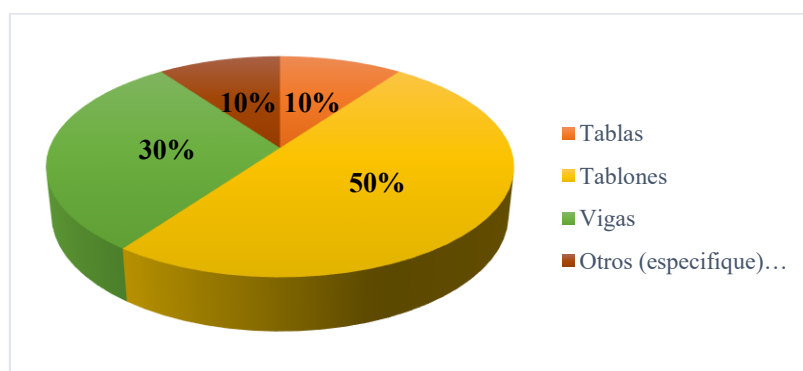


Figura 66. Productos con mayor demanda

De la figura 20 Se visualiza que el 50% de aserraderos adquieren la madera en forma de tablones por ser manejable y de fácil proceso de transformación y elaboración de bienes finales (muebles, casas, embarcaciones, etc.).

## 3. ¿Cuáles son las dimensiones de la madera aserrada que almacena en su empresa?

Dimensiones de madera más utilizadas.

Tabla 56. Dimensiones de madera más utilizadas.

Dimensiones de la madera	Resultado	Porcentaje
2,5 x 0,30 x 0,15 m	4	40%
10 x 0,40 x 0,20 m	1	10%
8 x 0,35 x 0,20 m	3	30%
7 x 0,30 x 0,20 m	2	20%

Fuente: Elaboración propia

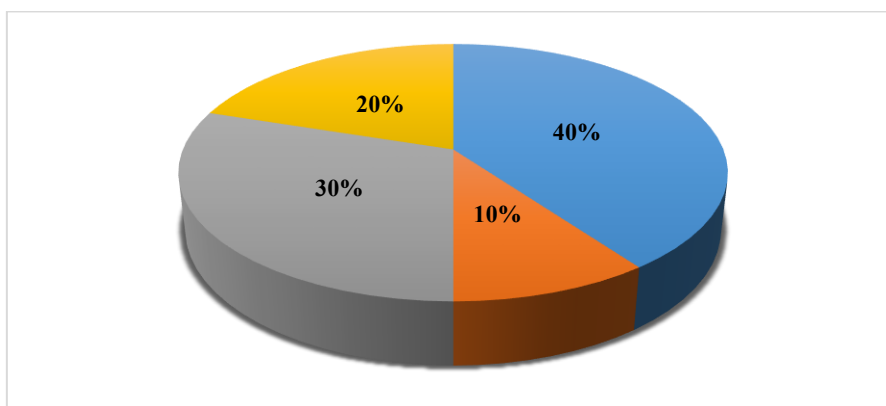


Figura 67. Dimensiones de madera más utilizadas

De la figura 22 podemos visualizar un 40% de la madera acerrada en las empresas encuestadas en el Distrito de JLO tienen como medidas 6 x 0,30 x 0,15 metros.

#### 4. ¿Qué tan frecuente compra la madera?

Periodo de adquisición de madera.

Tabla 57. Periodo de adquisición de madera.

Tiempo frecuente de compras	Resultado	Porcentaje
Semanal	2	20%
Quincenal	5	50%
Mensual	3	30%

Fuente: Elaboración propia

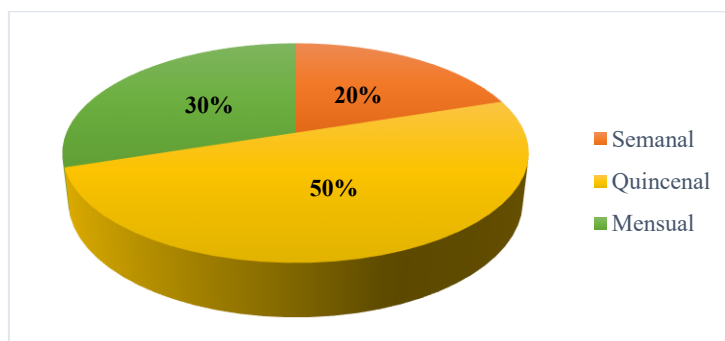


Figura 68. Periodo de adquisición de madera

En la tabla 15 y figura 23 se concluye que el 50% de los aserraderos del Distrito de JLO prefieren comprar madera de forma quincenal.

## 5. ¿Qué cantidad de madera compra su empresa?

Cantidad de madera adquirida por la empresa

Tabla 58. Cantidad de madera adquirida por la empresa

Alternativa	Resultado	Porcentaje
Compra mensual 40 000 pies	7	70%
Compra mensual 500 pies	1	10%
Compra mensual 20 000 pies	1	10%
Compra mensual 60 000 pies	1	10%

Fuente: elaboración propia

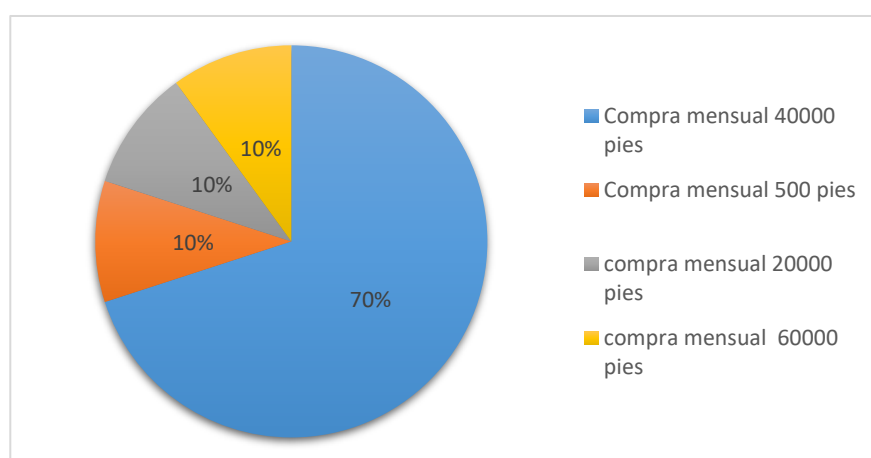


Figura 69. Cantidad de madera adquirida

De la figura 23 se visualiza de un 70% que los aserraderos realizan compras de madera en el Distrito de J.L.O.

## 6. ¿Con cuánto porcentaje de humedad compra la madera?

Tabla 59. Nivel de humedad en la madera

Porcentaje de humedad	Resultado	Porcentaje
Madera verde (70% - 150%)	6	60%
Madera húmeda (20% - 40%)	2	20%
Madera seca al aire libre (13% - 18%)	1	10%
Madera seca en cámara (por debajo del 12%)	1	10%

Fuente: Elaboración propia

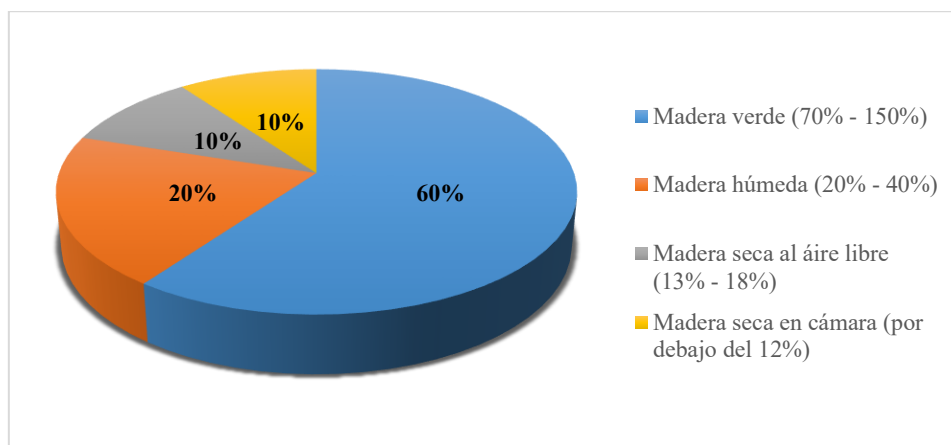


Figura 70. Porcentaje de humedad de la madera

De la figura 24 Se visualiza un 60% de la madera que adquieren los aserraderos del Distrito J.L.O es de un 70% a 150% de humedad.

### 7. ¿Con que porcentaje de humedad venden la madera a las carpinterías?

Tabla 60. Porcentaje de humedad para comercializar la madera

Porcentaje de humedad	Resultado	Porcentaje
30% - 50%	2	20%
20% - 25%	3	30%
10% - 15%	4	40%
Otros	1	10%

Fuente: Elaboración propia

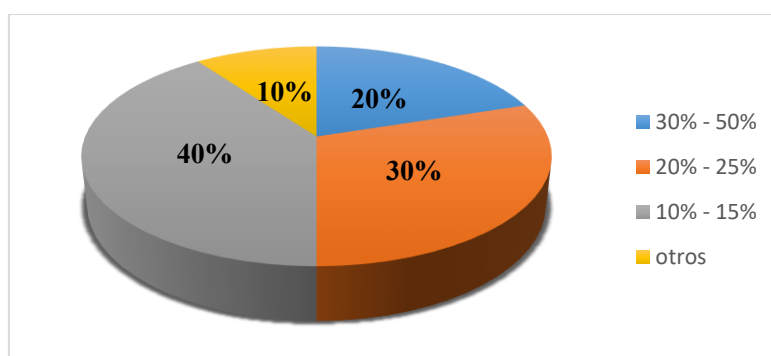


Figura 71. Porcentaje de humedad para comercializar la madera

En la tabla 17 y figura 25 se concluye que el 40% de los aserraderos venden la madera las carpinterías entre 10% a 15% de humedad.

### 8. Actualmente, ¿Cuenta la empresa con alguna máquina para el secado de madera?

Tabla 61. Disponibilidad de cámara en los aserraderos

Alternativa	Resultado	Porcentaje
SI	2	20%
NO	8	80%

Fuente: Elaboración propia

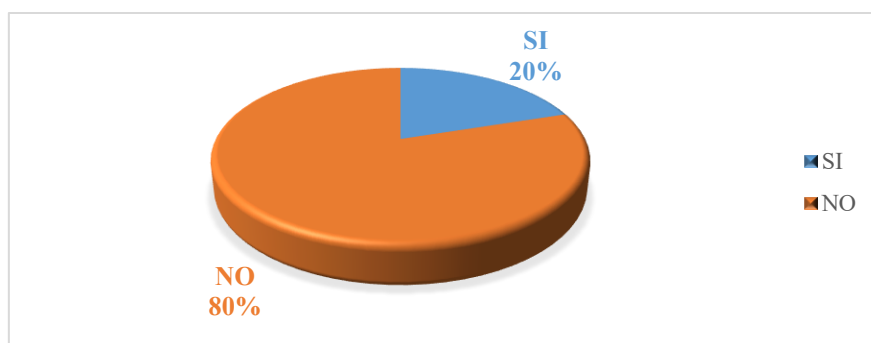


Figura 72. Disponibilidad de cámara de secado en los aserraderos

De la figura 26 visualizamos de un 80% en su totalidad de aserraderos no cuentan con una máquina de secado para el proceso de madera.

### 9. ¿La empresa estaría dispuesta adquirir una cámara para el secado de madera con el fin de disminuir el tiempo de secado?

Tabla 62. Disponibilidad de la empresa para adquisición de maquina secadora de madera

Alternativa	Resultado	Porcentaje
NO	3	30%
SI	7	70%

Fuente: Elaboración propia

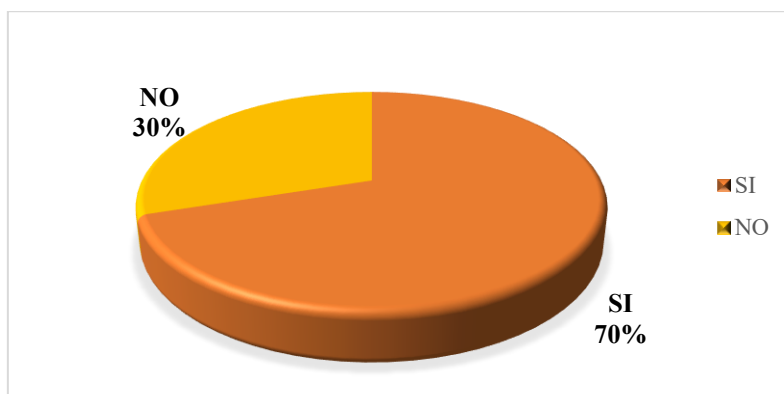


Figura 73. Disponibilidad de la empresa para adquisición de maquina secadora de madera

De la figura 27 se logra visualizar de un 70% de los aserraderos están dispuestos en adquirir una cámara para el secado de madera.

### 10. ¿Conoce usted alguna máquina para el secado de madera?

Tabla 63. Conocimiento de maquinaria para el proceso de secado

Máquinas para el proceso de secado	Resultado	Porcentaje
Secado en bomba de calor	3	30%
Secado al vacío	1	10%
Secado por radio frecuencia	1	10%
Otros	5	50%

Fuente: Elaboración propia

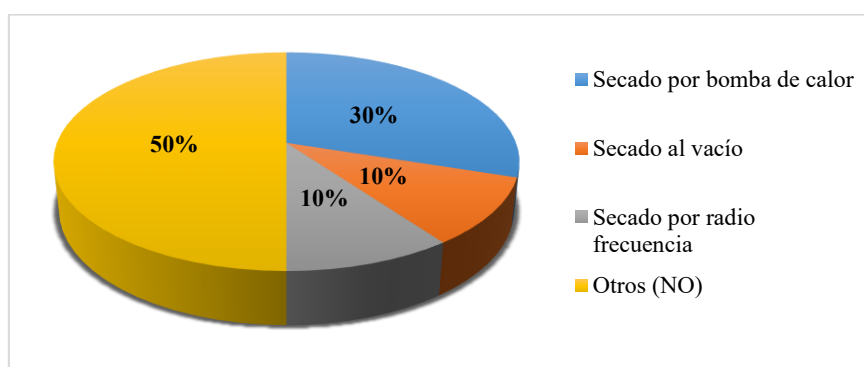


Figura 74. Conocimiento de maquinaria para el secado de madera

De la figura 28 el 50% de las personas interrogadas no cuentan con conocimiento sobre método de secado artificial (Cámara de secado).

## 11. ¿Qué ventajas obtendrá con una cámara de secado?

Tabla 64. Ventajas que se obtendrá con la cámara.

Ventajas de la cámara	Resultado	Porcentaje
Mayores ventas	2	20%
Mayor durabilidad del producto	2	20%
Optimizar el flujo de salida	6	60%
Otros	0	—

Fuente: Elaboración propia

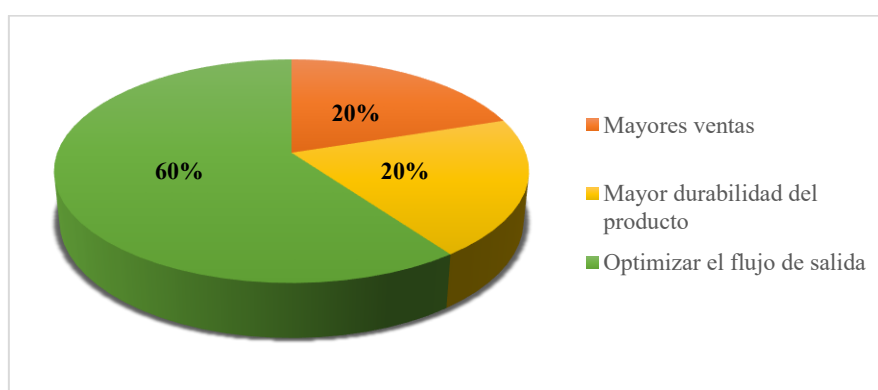


Figura 75. Ventajas de la cámara de secado

De la figura 29 Se puede visualizar que con una cámara se obtendrá ventajas como: Mayores ventas, mayor durabilidad del producto y optimización en el flujo de salida, siendo esta última, la que predomina en un 60% dentro de las mencionadas.

## 12. ¿Qué desventajas generaría una cámara para el secado de madera?

Tabla 65. Desventajas que se genera con la cámara

Desventajas de la cámara	Resultado	Porcentaje
Personal más capacitado	2	20%
Mayor logística	3	30%
Mayores medidas de seguridad	5	50%
Otros	0	—

Fuente: Elaboración propia

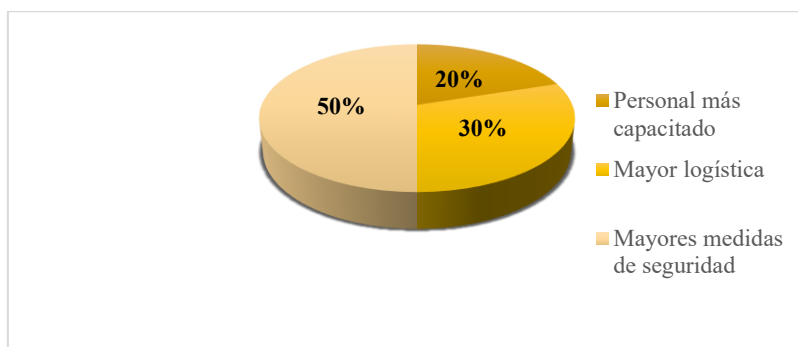


Figura 76. Desventajas que genera la cámara de secado de madera

De la figura 30 se visualiza un 50% de desventajas que generará una cámara de secado en los aserraderos de JLO es implementar mayores medidas de seguridad.

### 13. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una cámara de secado de madera?

Tabla 66. Disponibilidad a pagar por una cámara

Disponibilidad a pagar	Resultado	Porcentaje
S/ 10 000 - S/ 20 000	3	30%
S/ 20 000 - S/ 30 000	2	20%
S/ 30 000 - S/ 40 000	4	40%
S/ 40 000 - S/ 60 000	1	10%

Fuente: Elaboración propia

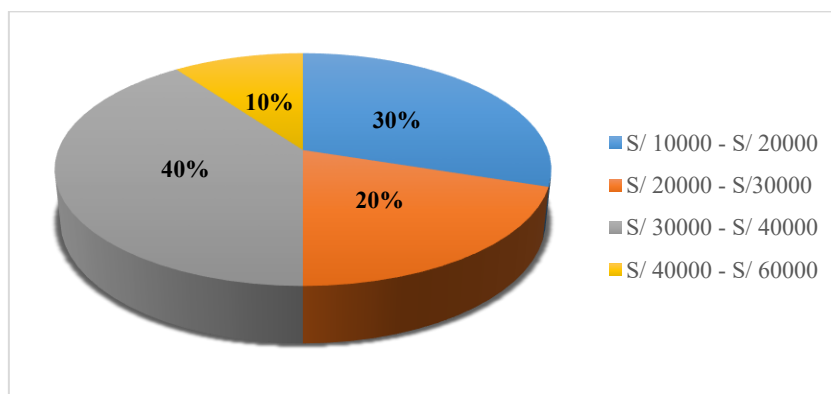


Figura 77. Disponibilidad a pagar por un cámara

De la figura 31 se concluye un 40% de los aserraderos interrogados del Distrito de JLO estarían dispuesto a pagar hasta 40 000,00 por una cámara.

**14. ¿Qué características considera importante al comprar una máquina como lo es una cámara de secado de madera?**

Tabla 67. Características importantes en el momento de comprar una cámara

Características	Resultado	Porcentaje
Cuidado del medio ambiente	1	10%
Material de fabricación duradero	6	60%
Automatizado	2	20%
Manual	0	—
Precio	1	10%

Fuente: Elaboración propia

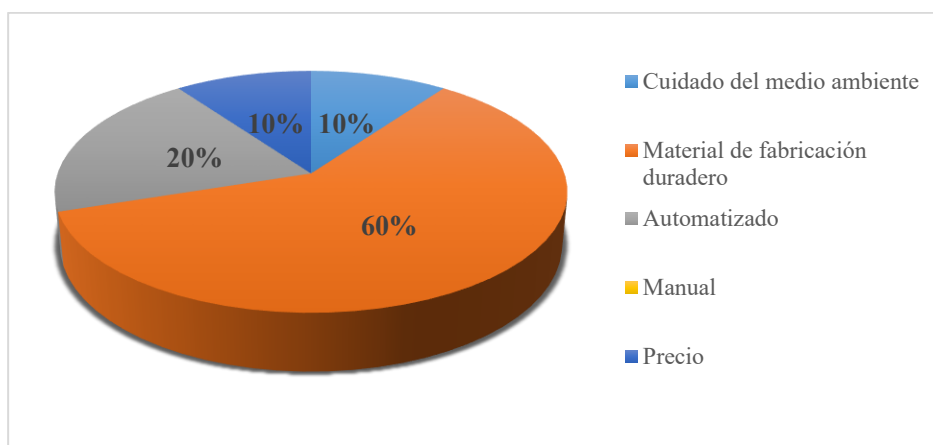
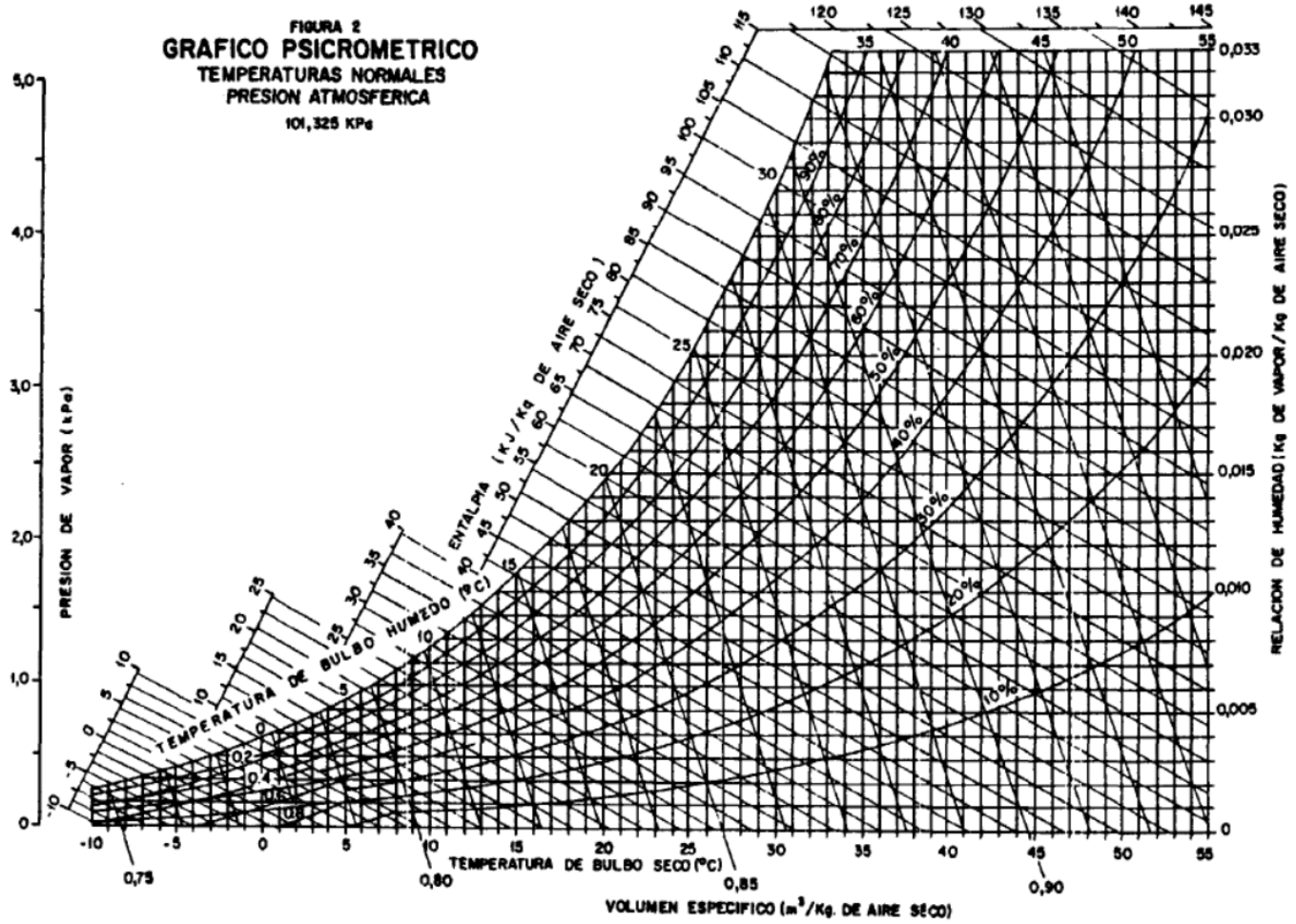


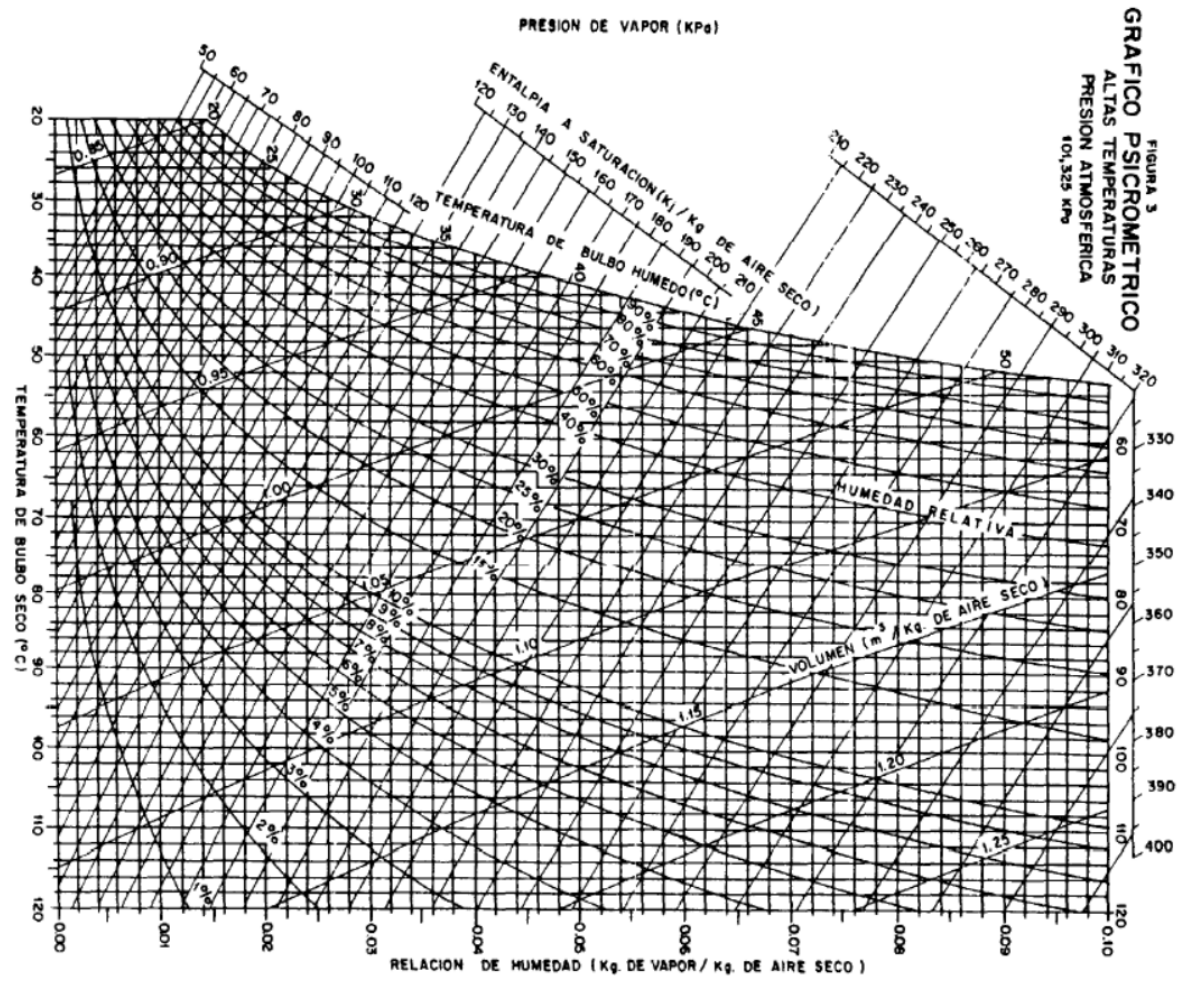
Figura 78. Características importantes para comprar una cámara de secado de madera

De la figura 32 Se visualiza un 60% de las características consideradas que debería de tener una maquina secadora de madera es que sea de material de fabricación duradero.

ANEXO 06: Gráfico psicrométrico



ANEXO 07: Gráfico psicrométrico



## ANEXO 08: Costo de productos forestales

MINAGRI - SERFOR - Dirección General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre-DIR

## PRECIOS DE PRODUCTOS FORESTALES MADERABLES Y NO MADERABLES

REGION : LAMBAYEQUE

SEDE : CHICLAYO

## I. PRECIOS DE PRODUCTOS MADERABLES

## MADERA ASERRADA

## a. Madera aserrada comercial (S/. Pt)

ESPECIE	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Promedio I Semestre
Cedro	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	<b>5,50</b>
Copaiba	3,00	3,00	3,00	2,80	2,80	2,80	<b>2,90</b>
Huayruro	2,80	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	<b>2,97</b>
Ishpingo	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	<b>4,50</b>
Moena	2,80	3,00	3,00	3,00	3,00	2,80	<b>2,93</b>
Romerillo	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	<b>2,80</b>
Tornillo	3,50	3,70	3,70	3,70	3,80	3,80	<b>3,70</b>

## b. Madera aserrada largo angosta (S/. Pt)

ESPECIE	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Promedio I Semestre
Cedro	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	<b>4,50</b>
Copaiba	2,80	2,80	2,50	2,50	2,50	2,50	<b>2,60</b>
Huayruro	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	<b>2,50</b>
Ishpingo	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	<b>4,00</b>
Moena	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	<b>2,50</b>
Romerillo	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	<b>2,50</b>
Tornillo	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	<b>3,50</b>

## c. Madera aserrada corta (S/. Pt)

ESPECIE	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Promedio I Semestre
Cedro	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	<b>3,50</b>
Copaiba	2,50	2,50	2,00	2,00	2,00	2,00	<b>2,17</b>
Huayruro	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	<b>2,00</b>
Ishpingo	4,00	4,00	4,00	4,00	3,50	3,50	<b>3,83</b>
Moena	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	<b>2,00</b>
Romerillo	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	<b>2,00</b>
Tornillo	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	<b>2,50</b>


## PAQUETERIA (S/. pt)

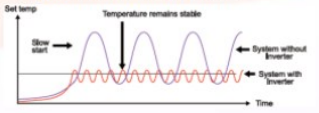
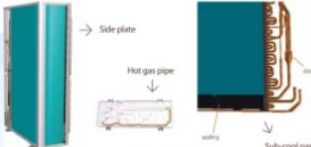
ESPECIE	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Promedio I Semestre
Ishpingo	4,00	4,00	4,00	4,00	3,50	3,50	<b>3,83</b>

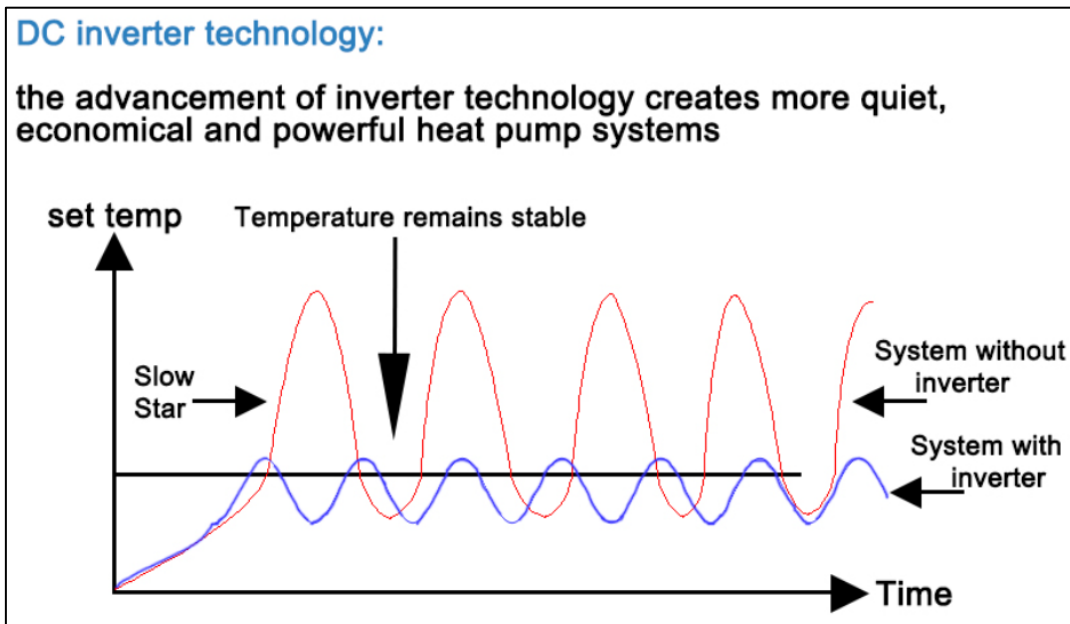
ANEXO 09: Bomba de calor

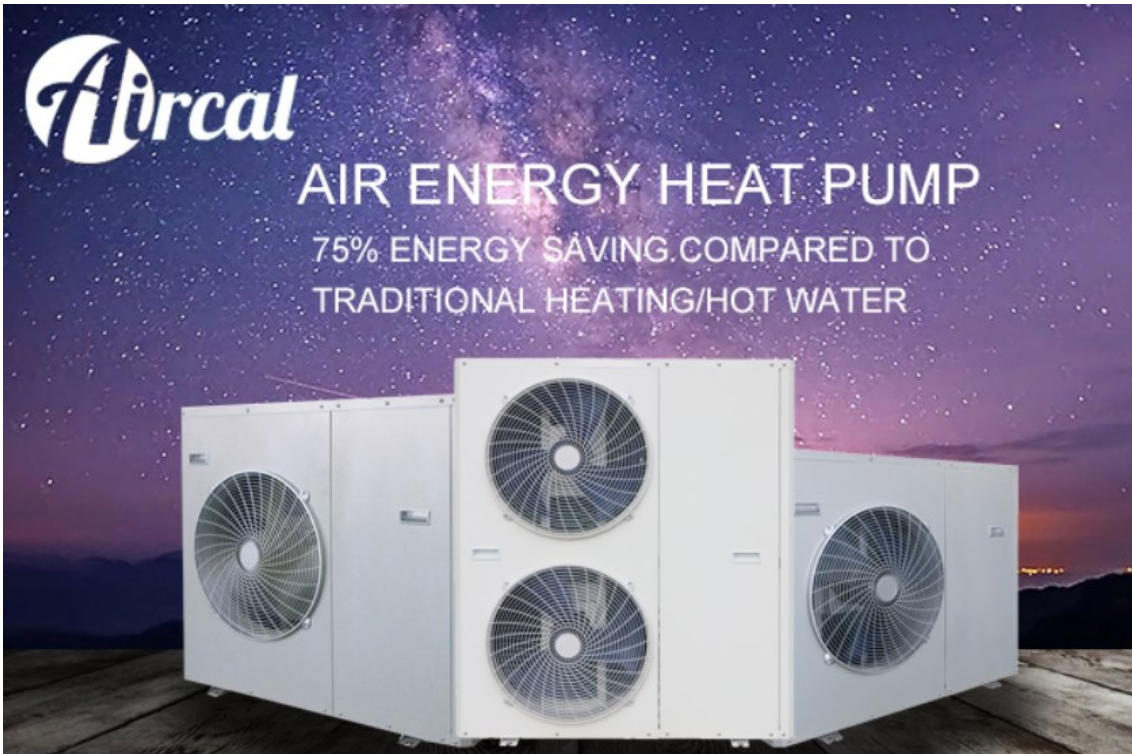
Descripción general	
<b>Detalles rápidos</b>	
Servicio postventa ... Libre de españa a, Campo de mantenimiento y servicio de repa...	Garantía: 1 año
Aplicación: Al aire libre, Hotel, Comercial, Hogar	Fuente de energía: Batería, Electricidad, De Gas
Tipo: Bomba de calor por aire	Instalación: De pie
Almacenamiento / ... Instantáneo / sin contenedor	Material de la carc... DE ACERO INOXIDABLE
Uso: Cuarto de baño	Lugar del origen: Guangdong, China
Marca: Aircal	Número de Modelo: King Heat
Refrigerante: R32/R410a	Fuente de alimenta... 220V/1PH/50HZ
Agua máx tempera... 60 °C	Rango de operación: -25-58 °C
Marca/tipo de com... Mitsubishi/Rotary	Capacidad de calef... 8,06-41.05KW
Capacidad de enfri... 8,17-39.8KW	Tipo de motor de v... CE fan
Bomba de agua: Inversor de la bomba	Control inalámbrico: Control WIFI
Certificación: CB, CE, Rohs, ISO	

### Main Features R32

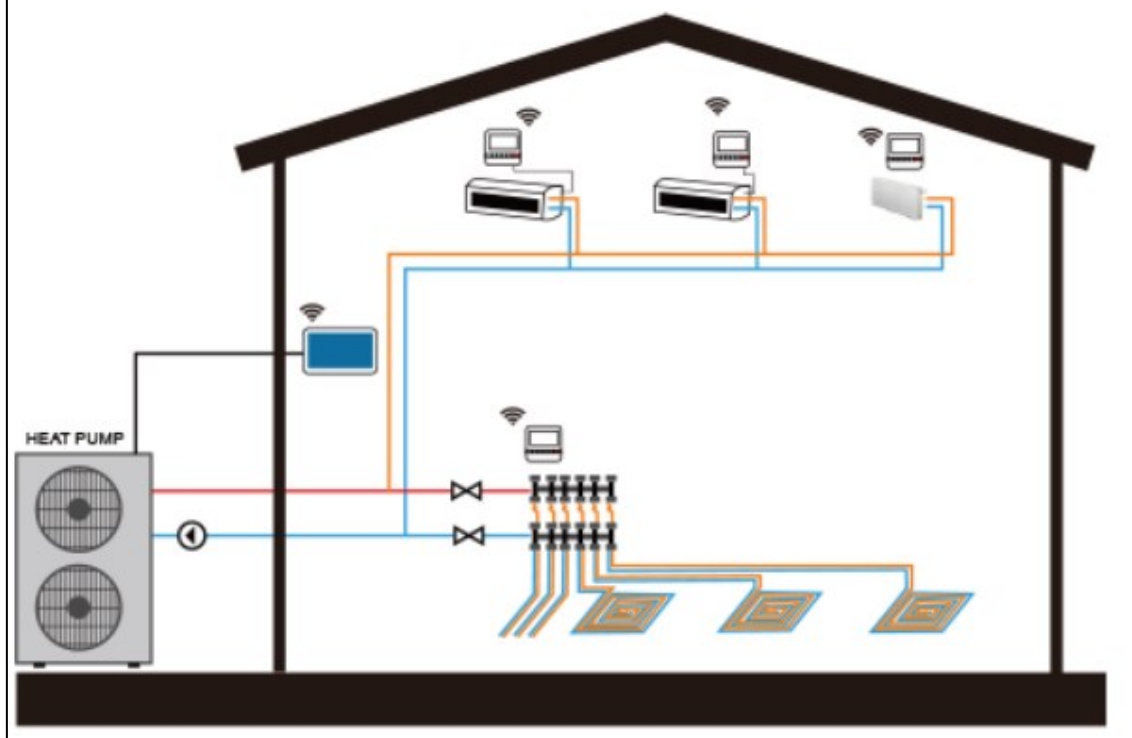


- High efficiency Energy Saving** **A+++**
- Eco R32 refrigerant, low GWP** **ECO friendly**
- Cloud monitor**  
**Wifi control** **Cloud Monitor**
- DC Inverter Technology: The advancement of Inverter technology creates more quiet, economical and powerful heat pump systems.**

- Chassis heat pipe + intelligent defrosting technology ensures that the machine works more efficiently in cold and high humidity areas.**






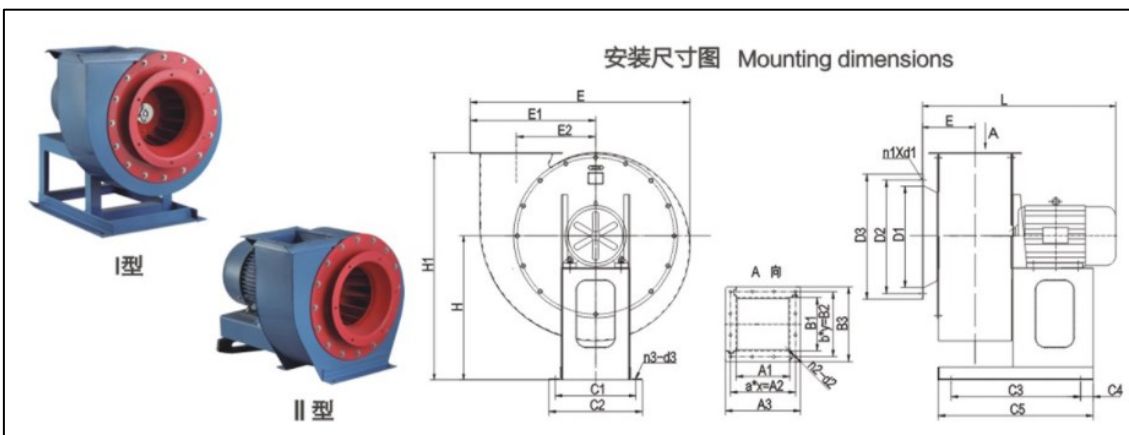
## WiFi remote control



ANEXO 10: Ventilador centrífugo

**Detalles rápidos**

Tipo:	Ventilador centrífugo	Industrias aplicable...Tienda de alimentos, kitchen
Tipo de corriente el...	AC	Material de la hoja: DE ACERO INOXIDABLE
Montaje:	De pie	Lugar del origen: Zhejiang, China
Marca:	Iarissa	Número de Modelo: CF4-88A
Voltaje:	220V/380V	Garantía: 1 año
Servicio postventa ...	Apoyo en línea	Certificación: CE, Rohs

CF4-88-I安装尺寸表 CF4-88-I Installation dimension sheet

尺寸 机号	电机 功率	进风口尺寸				出风口尺寸								外形尺寸													
		φ1	φ2	φ3	n1-d1	A1	A2	A3	a*x	B1	B2	B3	b*y	n2-d2	C1	C2	C3	C4	C5	E	E1	E2	H	H1	L	L1	n3-d3
3.2A	4-2	224	254	284	8-φ8	158	190	218	2*95	166	198	226	2*99	8-φ8	305	345	350	40	430	493	283	176	335	525	550	123	4-φ12
	0.75-4														255	295	215	40	295	493	283	176	330	520	460	123	4-φ12
3.6A	1.1-4	250	280	310	8-φ8	178	210	238	3*70	187	219	247	3*73	12-φ8	255	295	355	40	435	551	315	198	350	560	495	135	4-φ12
4A	1.5-4	280	320	360	8-φ8	197	229	257	3*76.3	184	222	250	3*74	12-φ8	255	295	374	40	454	609	347	220	400	632	540	146	4-φ12
4.5A	3-4	315	355	395	8-φ10	225	257	285	3*85.6	225	257	285	3*85.6	12-φ8	255	295	410	40	490	687	392	248	450	712	609	171	4-φ12
5A	4-4	355	395	435	8-φ10	248	280	308	3*93.3	256	288	316	3*96	12-φ8	295	345	500	40	580	759	420	275	500	790	650	183	4-φ12
5.6A	7.5-4	400	450	500	8-φ12	278	310	338	3*103.3	285	317	345	3*105.6	12-φ8	366	416	510	50	610	856	490	308	520	860	791	210	4-φ14
6.3A	15-4	450	500	550	8-φ12	313	345	373	4*86.3	316	348	376	4*87	16-φ8	410	470	700	60	820	954	554	347	600	967	931	231	4-φ14
7.1A	7.5-6	500	560	620	12-φ13	353	385	413	4*96.3	358	390	418	4*97.5	16-φ8	410	470	680	60	800	1075	611	391	650	1063	950	240	4-φ14

## 主要参数 The main parameters

型号及机号 (No.)	转速 (r/min)	配用电机 (kW-p)	流量 (m <sup>3</sup> /h)	全压 (pa)
3.2A	2900	4-2	4015-5473	2858-2596
	1450	0.75-4	2008-3160	715-640
3.6A	1450	1.1-4	2859-3962	901-801
4A	1450	1.5-4	3920-5344	1167-1014
4.5A	1450	3-4	6204-7608	1649-1320
5A	1450	4-4	7658-10437	1744-1584
5.6A	1450	7.5-4	10758-14664	2187-1987
6.3A	1450	15-4	15319-20879	2270-2515
7.1A	960	7.5-6	14518-19787	1541-1400

## ANEXO 11: Sensor de temperatura de platino PT100 con pantalla LCD

Información básica.			
N ° de Modelo.	PCT100	Certificación	CE
Personalizado	Personalizado	Rango de temperatura	-50°C ~ 250°C
Suministro y salida	4 ~ 20 mA (16 ~ 36 V CC)	Elemento sensor	PT100 Grado Pct1000 seleccionable
Tiempo de respuesta	≤ 30 s	Estabilidad a largo plazo	≤0.2% Fs / año
Diámetro de inserción	Φ8mm	Temperatura de almacenamiento.	-40°C ~ 85°C
Conexión eléctrica	DIN43650, DIN43650 con cable	Material	304
Max. Par de montaje	25 nm	Marca comercial	WTsensor
Paquete de transporte	Embalaje de exportación estándar	Origen	porcelana

Selección de rango de temperatura		
Código de rango de temperatura	Rango de temperatura	Observación
T1	-50 °C ~ 100 °C	
T2	-50 °C ~ 150 °C	
T3	-50 °C ~ 200 °C	
T4	-50 °C ~ 250 °C	
T5	0 °C ~ 100 °C	
T6	0 °C ~ 150 °C	
T7	0 °C ~ 200 °C	
T8	0 °C ~ 250 °C	



2 Wires

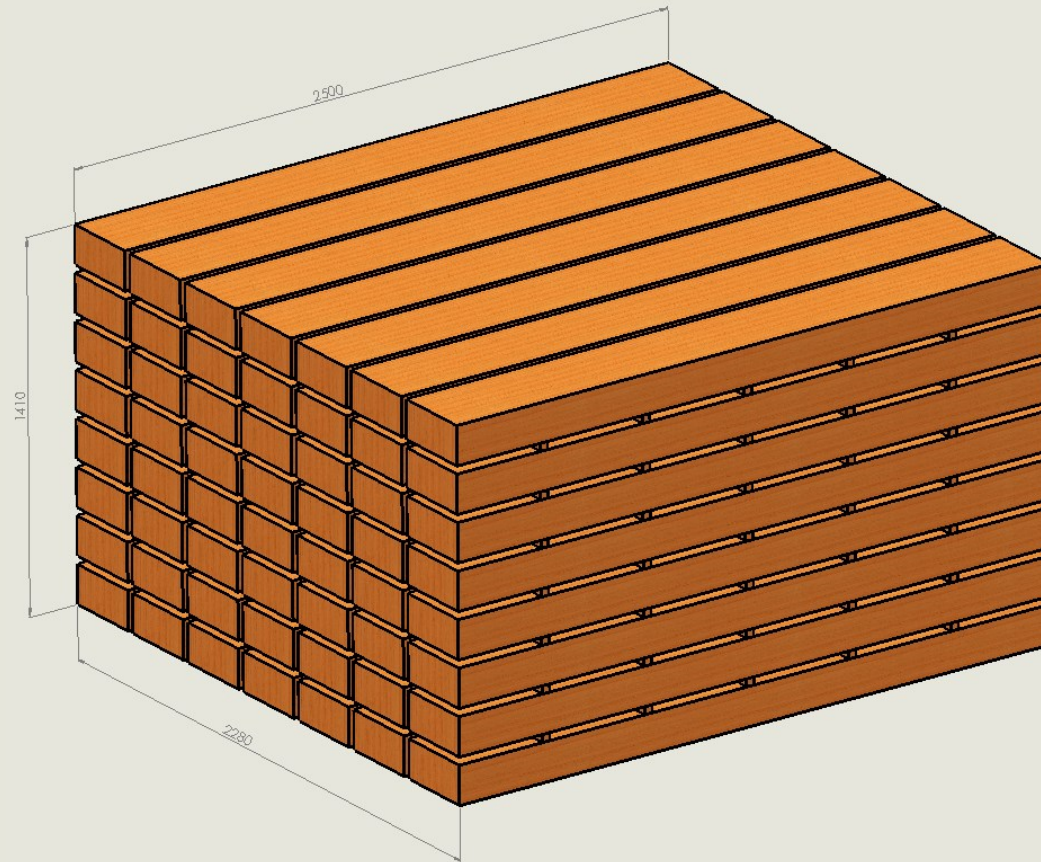
Wire	Connection
red	Pt100
white	Another side of Pt100

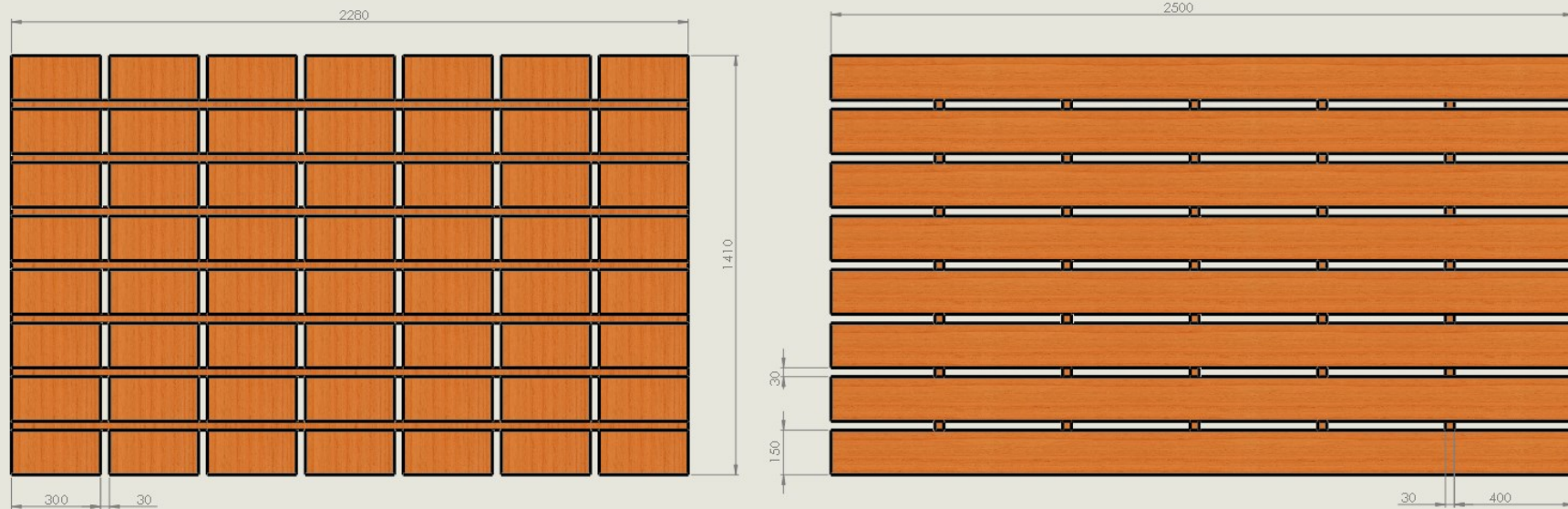
3 Wires

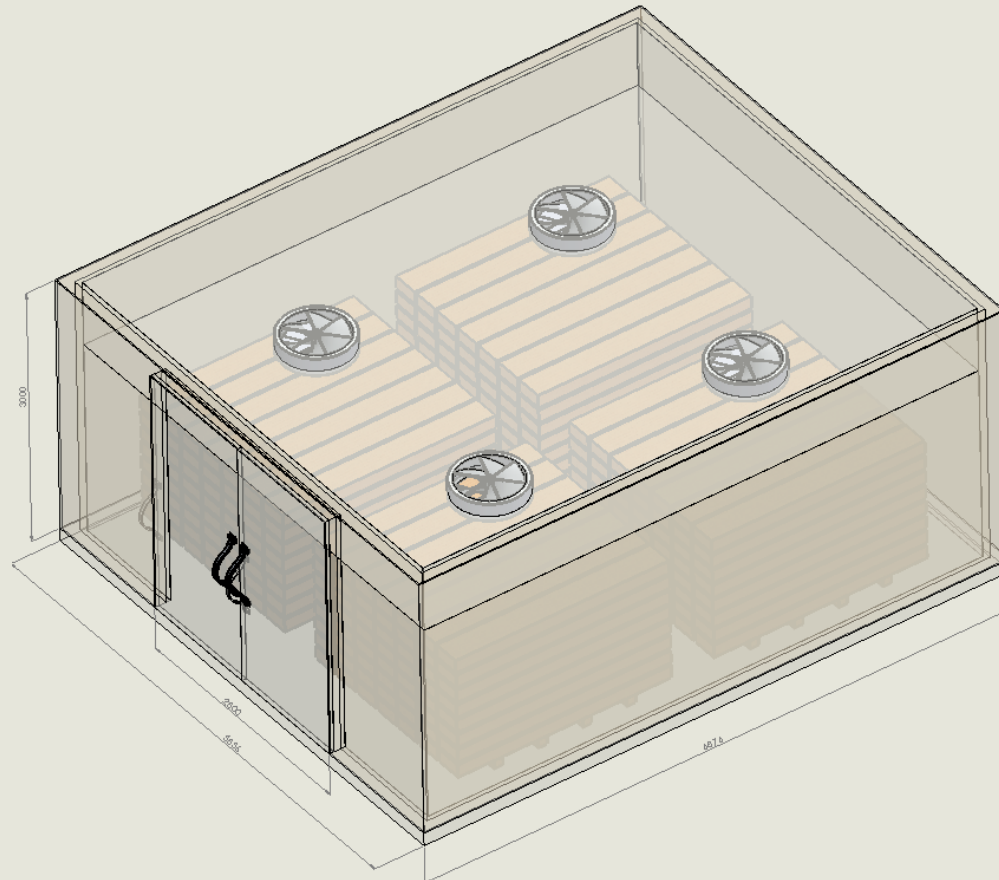
Wire	Connection
red	Pt100
white	Another side of Pt100
white	Compensation wire

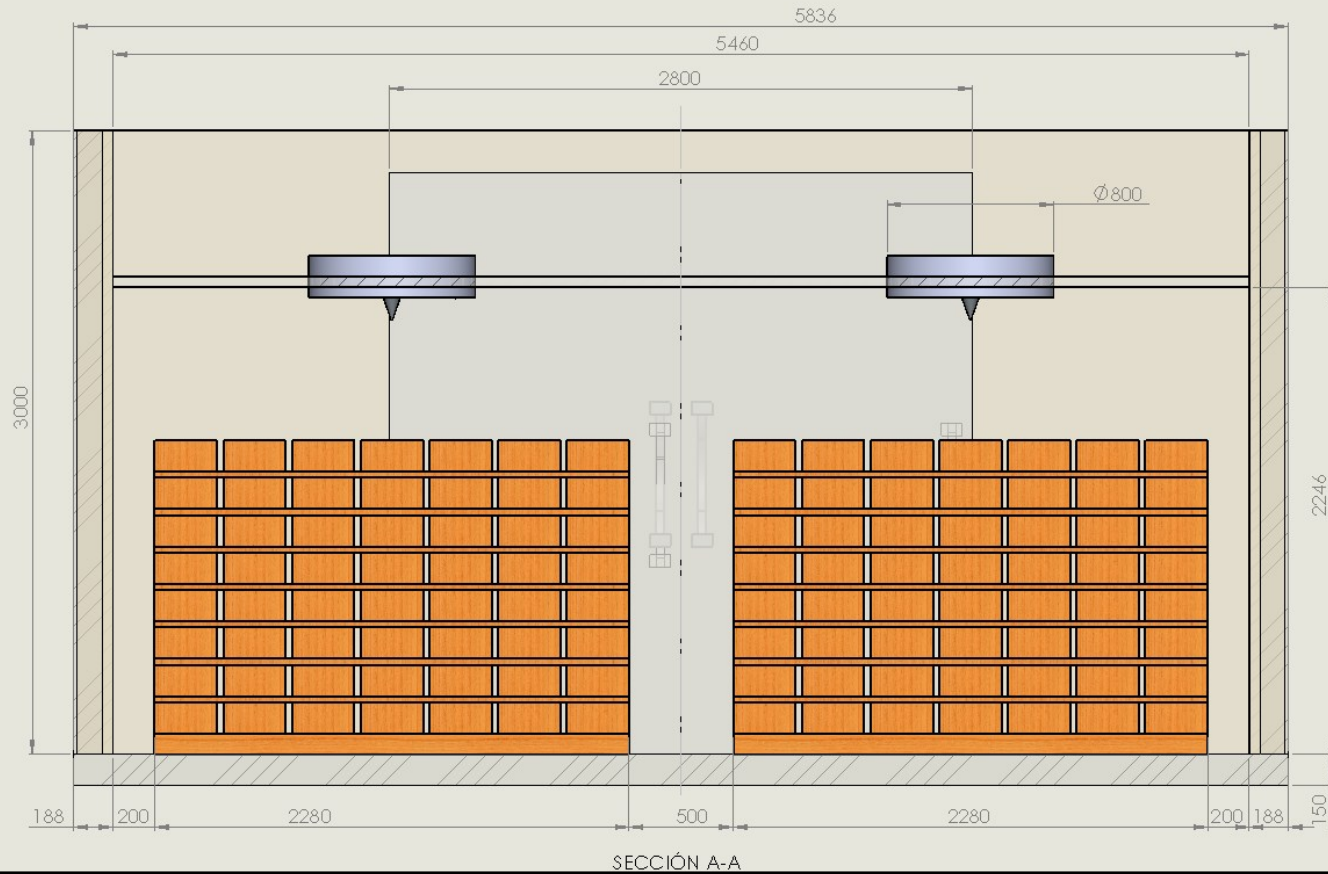
Puerto de presión		
Thread code	C1: M20×1.5-6g	C2: G1/2
Dimension In mm		
Recommended torque	15~25Nm	15~25Nm
Thread code	C4: M14×1.5	C22: M16×1.5
Dimension In mm		
Recommended torque	15~25Nm	15~25Nm

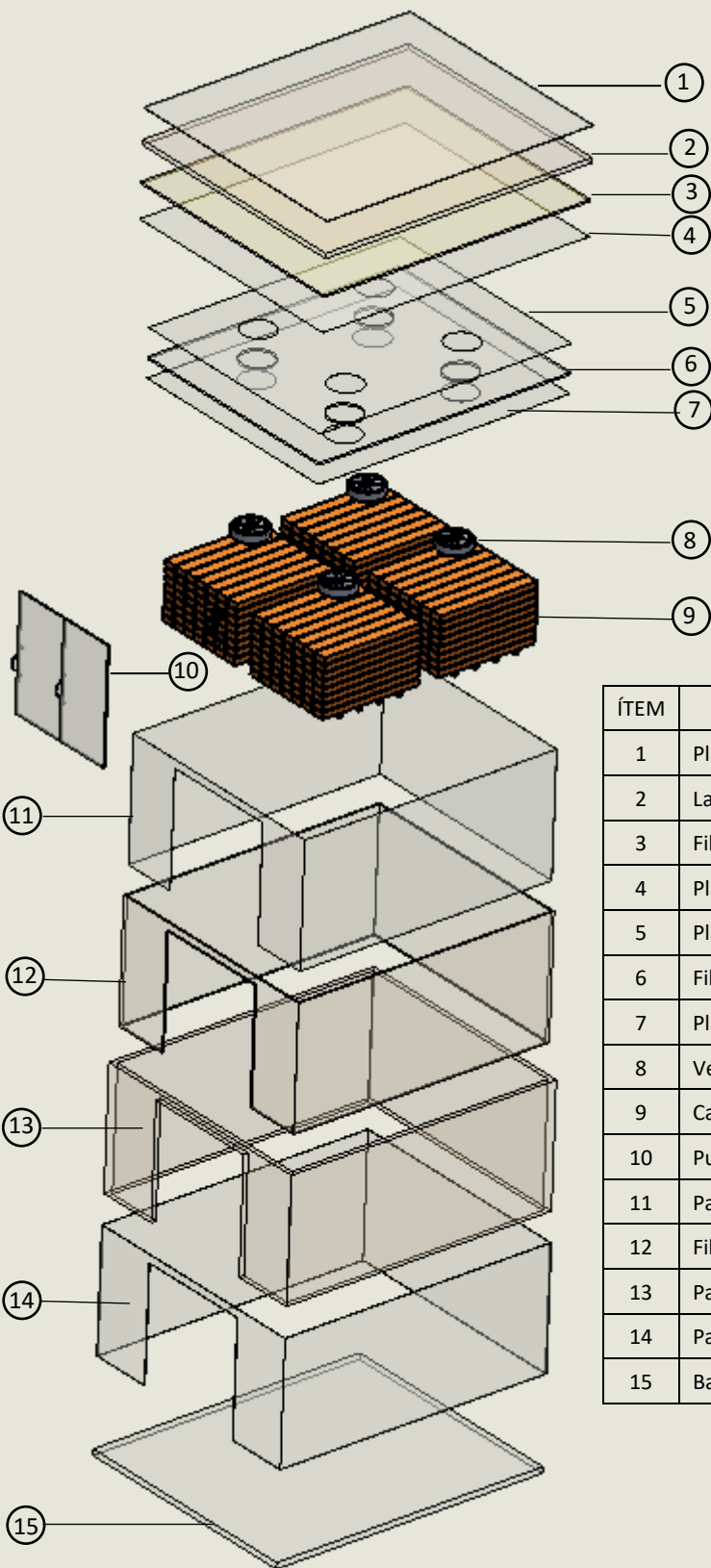
## ANEXO 12: Planos

**USAT**ESCUELA:  
**MECÁNICA ELÉCTRICA**DIBUJADO POR:  
**R. TERRONES QUINTOS**ESCALA:  
**1 : 25**DIB. N°:  
**01**

**USAT****ESCUELA:  
MECÁNICA ELÉCTRICA****DIBUJADO POR:  
R. TERRONES QUINTOS****ESCALA:  
1 : 25****DIB. N°:  
02**

**USAT**ESCUELA:  
**MECÁNICA ELÉCTRICA**DIBUJADO POR:  
**R. TERRONES QUINTOS**ESCALA:  
**1 : 25**DIB. N°:  
**03**

**USAT****ESCUELA:  
MECÁNICA ELÉCTRICA****DIBUJADO POR:  
R. TERRONES QUINTOS****ESCALA:  
1 : 25****DIB. N°:  
04**



ÍTEM	MATERIAL
1	Placa de Concreto (techo)
2	Ladrillo (techo)
3	Fibra de vidrio (techo)
4	Plancha de acero (techo)
5	Plancha de acero (falso techo)
6	Fibra de vidrio (falso techo)
7	Plancha de aluminio (Falso techo)
8	Ventilador
9	Carga de madera cedro
10	Puerta
11	Pared de aluminio
12	Fibra de vidrio
13	Pared de ladrillo
14	Pared de concreto
15	Base de concreto

<b>USAT</b>	ESCUELA: <b>MECÁNICA ELÉCTRICA</b>	DIBUJADO POR: <b>R. TERRONES QUINTOS</b>	ESCALA: <b>1: 25</b>	DIB. N°: <b>05</b>
-------------	---------------------------------------	---	-------------------------	-----------------------