

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“SISTEMA DE AUTOMATIZADO Y CONTROL DEL  
SECADO DE MADERA PARA EL MERCADO NA-  
CIONAL”**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR: DANNY JOEL MARTÍNEZ POMA**

**LIMA-PERÚ**

**2013**

# ÍNDICE

CAPÍTULO I : MARCO TEÓRICO .....	8
1.1 Tipos de secado.....	8
1.1.1 Secado natural.....	8
1.1.2 Secado artificial .....	9
1.2 Agua en la Madera.....	12
1.2.1 Agua libre.....	12
1.2.2 Agua de saturación.....	12
1.2.3 Agua de Constitución.....	12
1.3 Causas de los defectos del secado.....	13
1.4 Tensiones de secad.....	13
1.4.1 Contracción:.....	13
1.4.2 Endurecimiento .....	14
1.4.3 Contracción anormal o colapso celular.....	14
1.4.4 Grietas superficiales.....	16
1.4.5 Grietas internas .....	16
1.5 Objetivos .....	17
1.5.1 Objetivos General .....	17
1.5.2 Objetivos Específicos.....	17
1.6 Planteamiento del problema.....	17
1.7 Antecedentes .....	18
1.7.1 Nigos Elektronik 1990.....	18
1.7.2 UPC Sistema de secado de madera 2004.....	18
CAPÍTULO II : DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO.....	19
2.1 Calcular el tamaño de la cámara .....	19
2.1.1 Longitud de la Cámara.....	19
2.1.2 Ancho de la cámara.....	22
2.1.3 Altura de la cámara .....	24
2.2 Estructura metálica de la cámara .....	25
2.2.1 Aislamiento Térmico .....	26
2.3 Análisis de caudal del extractor centrifugo.....	29
2.3.1 Cálculo del área libre .....	29
2.4 Análisis de Selección de calefacción.....	32

2.4.1 Selección del tipo de energía a transmitir a la madera.....	36
2.5 Análisis de selección de componente de control. ....	38
2.5.1 Cálculo de relé térmico .....	38
2.5.2 Cálculo del contactor .....	40
2.5.3 Cálculo del relé de baja y alta potencia .....	41
2.6 Elección de un falso techo. ....	43
2.7 Selección de ventila. ....	43
2.7.1 Selección de un servomotor para ventilas.....	44
2.8 Selección de sistema de humidificación y la cañería.....	45
2.9 Selección de instrumentación. ....	47
2.9.1 Sistema de medición y control de T°C / HR.....	47
2.9.2 Transmisor de temperatura y humedad relativa.....	48
CAPITULO III: SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	50
3.1 Diagrama de flujo de control de temperatura y humedad relativa.....	50
3.2 Diagrama de flujo del proceso de la cámara de secado. ....	51
3.3 Sistema de control de humedad relativa y temperatura. ....	53
3.3.1 Sistema de control de humedad relativa .....	53
3.3.2 Sistema de control de temperatura.....	54
3.4 Programa de secado. ....	55
3.4.1 Simulador.....	55
3.5 teclado.....	56
3.5.1 Selector para elegir el tipo de madera a secar.....	56
3.5.2 Selector para elegir el espesor de madera .....	56
3.5.3 Selector para elegir la humedad de la madera .....	57
3.6 Tablero de control eléctrico. ....	58
3.7 Estrategia de control de secado.....	61
3.7.1 Fases de proceso de secado.....	61
3.8 Programa Definidos. ....	62
3.8.1 Programa de Cedro .....	63
3.8.2 Programa de Cachimbo.....	63
3.8.3 Programa de Capirona.....	64
CAPÍTULO IV : PRUEBAS REALIZADAS .....	65
4.1 Programa de Secado del Cedro. ....	65
4.1.1 Información general.....	65

4.1.2 Características del cedro .....	66
4.1.3 Propiedades físicas del cedro .....	67
4.1.4 Propiedades mecánicas de cedro.....	67
4.1.5 Programa de Secado del Cedro.....	67
4.2 Programa de secado del cachimbo.....	70
4.2.1 Características del Cachimbo: [8].....	70
4.2.2 Propiedades físicas del cachimbo .....	70
4.2.3 Propiedades mecánicas del cachimbo.....	71
4.2.4 Tabla de programa del cachimbo.....	72
4.3 Programa de secado del capirona.....	75
4.3.1 Características del Capirona: [9].....	75
4.3.2 Propiedades físicas del capirona .....	75
4.3.3 Propiedades mecánicas del capirona.....	76
4.3.4 Tabla de programa de capirona.....	76
CAPÍTULO V : COSTO DE INVERSIÓN Y LA RENTABILIDAD.....	81
5.1 Costo de inversión de la cámara.....	81
5.1.1 Costos empleados en la estructura de la cámara.....	81
5.1.2 Costo de sistema de control de T°C Y la HR% .....	82
5.1.3 Costo del equipo de sistema de ventilación .....	83
5.1.4 Costo de tablero de control .....	83
5.2 Costo de energía utilizada.....	84
5.3 Análisis de Rentabilidad.....	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	86
BIBLIOGRAFÍA .....	87
ANEXOS .....	88
Anexo I: Características técnica de Servomotor.....	88
Anexo II: Características y esquema del controlador.....	89
Anexo III: Características técnica del transmisor.....	92
Anexo IV: Programa del proceso de secado.....	93

*Dedico la tesis a mis padres por el apoyo que me dieron en los buenos y malos momentos, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores  
Y mis principios.*

## AGRADECIMIENTO

A todos mis profesores catedráticos quienes me inculcaron los conocimientos básicos y especializados dentro de la ingeniería electrónica. Gracias a ellos y a la Universidad de Ricardo Palma, puedo demostrar mis conocimientos profesionales en el trabajo y el proyecto que me ha tocado desarrollar para la industria de madera.

# INTRODUCCIÓN

La actividad maderera en el país es de gran importancia. Es por eso, que los procesos que están involucrados en esta actividad son primordiales a la hora de entregar un producto de buena calidad, y es aquí donde entra el proceso de secado de la madera.

Obtener un producto de calidad es uno de los desafíos que se tiene, ya que la madera presenta defectos si esta no es tratada adecuadamente. Por otra parte la demanda de este producto requiere de un secado de forma artificial, debido a que mediante este proceso se logra reducir drásticamente el tiempo en que se logran las condiciones óptimas de la madera, obteniendo así una humedad requerida y evitando defectos como grietas, colapso, deformaciones, entre otras.

El proceso de secado consiste en que el aire que está en el interior de la cámara, es calentado y obligado a circular por medio de un extractor centrífugo, para que así este pase a través de la pila de madera, absorbiendo la humedad de la madera, una vez que el aire se encuentre saturado de agua, debe ser extraído de la cámara, para introducir aire fresco con menor humedad, y continuar con el proceso repetitivamente hasta obtener una humedad final de la madera.

Debido a la necesidad de este proceso en el mercado, nace la iniciativa de realizar un trabajo de titulación en la cual se debe realizar un proyecto de ingeniería, en donde se requiere secar una cantidad de madera desde un contenido de humedad inicial hasta el contenido de humedad final de la madera.

# CAPÍTULO I : MARCO TEÓRICO

El secado artificial surgió como respuesta a las deficiencias natural. Por medio de aparatos e instalaciones especiales, se establecen en recintos cerrados condiciones climáticas diferentes a las condiciones atmosféricas normales. Mediante ventiladores, se produce un flujo de aire estable que circula a través de las pila de madera, con un temperatura y humedad relativa controladas de acuerdo a programas preestablecidos según especies y dimensiones de la madera en proceso de secamiento. [1]

En general, existen varios sistemas de secado basados, casi todos, el mismo principio de la condiciones de la cámara, exceptuando el secado al vacío y el secado por radio frecuencia, sistemas cuyo principio y funcionamiento es muy diferentes a los tradicionales.

## **1.1 Tipos de secado**

### **1.1.1 Secado natural**

Es el primero, el más antiguo y es considerado por muchos, el mejor; de hecho se aplica frecuentemente en distintos lugares del mundo y

para diversos casos, pero en especial cuando no se cuenta con recursos para montar otros sistemas.

En realidad existen muchísimas maneras para secar naturalmente: desde los encastillados particulares o apilamiento de la madera hasta prácticas que incluyen creencias esotéricas y ambientales para obtener mejores resultado en el proceso.

Pese a lo popular de esta modalidad, el sistema tienen como principal inconveniente el elevado tiempo que demanda ,difícil de establecer pues depende de variables como la cantidad de luz solar, la velocidad del viento, la exposición a puntos cardinales, la condensación y humedad relativa ambiental, entre otros y la reducida homogeneidad en los resultados, pues no toda la madera seca de igual forma, razón por la que no se puede establecer con exactitud la humedad final que generalmente, no baja del 20 por ciento con éste sistema.





Figura 1.1: Secado natural

Fuente: [www.revista-MM.com](http://www.revista-MM.com)

## **1.1.2 Secado artificial**

### **1.1.2.1 Secado convencional**

Trabajan con temperatura media alta y son las más usadas en el mundo, pues existe una gran variedad dentro del grupo, dependiendo de su configuración, aunque todas funcionan bajo un mismo principio.

Cuentan con una caldera de madera o carbón, que calienta el agua de 90° C a 100° C, para luego hacer pasar el líquido por unos intercambiadores de calor o radiadores (serpentes) instalados en el interior del horno, en donde también se instalan ventiladores de gran capacidad que generan una fuerte corriente de aire caliente, gracias al paso de éste por los radiadores.

Además, están provistos de unas boquillas de aspersión de agua usadas cuando es necesario humectar o aumentar la humedad relativa de la cámara, y unas chimeneas o ventilas ubicadas en ambos extremos del horno que pueden ser abiertas o cerradas para controlar, tanto la humedad como la temperatura y que además sacan el aire “mojado” e introducen aire nuevo. En algunas cámaras la humectación se logra con vapor de agua que cumple doble función: calentar y humedecer el ambiente.

En cuanto a los sistemas para medir condiciones como la temperatura y la humedad, existen una gran variedad, des

de los más sencillos como el bulbo seco y el bulbo húmedo (2) hasta los más sofisticados sensores electrónicos de manejo automatizado, pero todos tienen como base el mismo principio: el equilibrio de la madera a unas condiciones ambientales, o sea el C.H.E.



Figura 1.2: Cámara convencional.

Fuente: [www.revista-MM.com](http://www.revista-MM.com)

### **1.1.2.2 Cámaras de Radiación Solar**

Funcionan aprovechando la energía calorífica del sol y la luz para ganar temperatura. En este grupo el mercado ofrece diversos tipos con varios grados de tecnificación (sensores de temperatura y humedad) y tamaños. La principal ventaja de estos sistemas, es el menor consumo energético y el respeto por el medio ambiente. Sus desventajas: el proceso de secado se desarrolla más lentamente que

usando cámaras convencionales o deshumidificadoras,

estas también funcionan controlando la temperatura y la humedad y empleando ventiladores para forzar las corrientes de aire tal como sucede con las cámaras convencionales.



Figura 1.3: Cámara de radiación solar.

Fuente: [www.revista-MM.com](http://www.revista-MM.com)

### 1.1.2.3 Cámaras de Vacío

Parten de un principio de funcionamiento distinto a las anteriormente citadas, y que se resume en dos pasos aplicados consecutivamente hasta alcanzar la humedad deseada: primero, se aplica temperatura a la madera “inyectándola” a presión, para abrir el poro, luego se aplica el vacío succionando la humedad.

Estas cámaras, que generalmente se utilizan en cargas de madera relativamente pequeñas (no sobrepasan el metro cúbico aunque también las hay de mayor tamaño) y tienen un alto costo en el mercado. Su mayor ventaja es la

reducción de tiempo en el proceso comparado con otros sistemas y que además garantizan la calidad de la madera, sin sufrir alteraciones.



Figura 1.4: Cámara al vacío.

Fuente: [www.revista-MM.com](http://www.revista-MM.com)

#### **1.1.2.4 Secado por radio frecuencia**

Ideales también para cargas pequeñas, éstas operan totalmente diferente a todas las anteriores, gracias a que el principio del radio frecuencia es casi exactamente como el de un horno microondas: las células con agua son obligadas a vibrar con alta frecuencia, para generar un calentamiento de las células que evapore el agua. Gracias a

este sistema se obtienen tiempos de secado verdaderamente rápidos, sin embargo, tanto el consumo de energía (único medio para su funcionamiento) como el costo de los equipos es muy alto.

## **1.2 Agua en la Madera**

La madera, como un material proveniente de seres vivos que son los árboles, contiene desde su origen una gran cantidad de agua en su interior. Cuando se pone a secar, la madera pierde una elevada cantidad de agua, ya que como materia prima se comporta como un material higroscópico, propiedad de ceder o ganar humedad en intercambio con la humedad existente en el medio ambiente que la rodea, hasta alcanzarse un estado de equilibrio entre el valor de la humedad relativa del aire y el contenido de humedad de la madera. [2]

### **1.2.1 Agua libre**

Ocupa los lúmenes o cavidades celulares de la madera. Se elimina con facilidad porque es la primera en evaporarse. Al extraerse no genera cambios dimensionales.

### **1.2.2 Agua de saturación**

Contenida en las paredes celulares, se requiere mayor energía para extraerla. Su extracción produce cambios dimensionales.

### **1.2.3 Agua de Constitución**

Contenida en las paredes celulares, para eliminarla es necesario carbonizar la madera. Al extraerse el agua se reduce la resistencia de la madera.

## 1.3 Causas de los defectos del secado

Los defectos del secado pueden ser causados por contracción, por ataques de hongos, por acción química o por ataque de insectos. La contracción es la causa de defectos como endurecimiento, colapso celular, grietas, rajaduras, torceduras. El ataque de hongos ocasiona la mancha azul en la albura, así como también la pudrición del moho. Las reacciones químicas que se presentan durante el secado ocasionan oxidación que se manifiestan en cambios de color en las superficies de la pieza de la madera. El ataque de insectos provoca agujeros y perforaciones y en casos especiales también manchas. [3]

## 1.4 Tensiones de secad

La contracción que experimente la madera al ser secada permite el desarrollo de esfuerzos mecánicos a través de su estructura. Estos esfuerzos son afectados por el cambio de humedad, las restricciones mecánicas, la anisotropía y el comportamiento visco elástico de la madera, entre otros factores. Por lo tanto, en el presente capítulo solo se analiza la forma como se manifiestan dichas tensiones, es decir los defectos que producen. [4]

### 1.4.1 Contracción:

La madera contiene una cierta cantidad de agua depositada en los lúmenes celulares y en las paredes celulares de las fibras. Normalmente cuando la madera intercambia humedad en la pared celular, se producen a consecuencia de este intercambio, las que son conocidas como contracción.

Como la madera tiene un comportamiento anisotrópico, los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitud diferentes en las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales. La contracción tangencial es casi el doble mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera.

$$C = \frac{Dimh - Dims}{Dimh} \times 100\%$$

Donde:

Dimh = Dimensión (Rad. Tang. O Volum.), húmeda o inicial

Dims = Dimensión (rad., Tang. o Volum.) de la madera seca

C = Contracción (radial, tangencial o volumétrica), %

### 1.4.2 Endurecimiento

El endurecimiento durante el secado artificial, es una consecuencia de un gradiente fuerte de contenido de humedad en una pieza de madera donde las capas superficiales han perdido mucha agua, mientras en el centro todavía permanece todavía húmeda.

Este defecto se debe a la aplicación de un horario de secado severo al iniciarse el proceso de alta temperatura. Bajo estas condiciones climáticas las capas superficiales de la madera pierde rápidamente agua alcanzando un contenido de humedad menor que la correspondiente al punto de saturación de las fibras, iniciando por lo tanto

una contracción en las capas superficiales y originándose esfuerzo de tensión perpendicular al grano. Ver figura 1.5

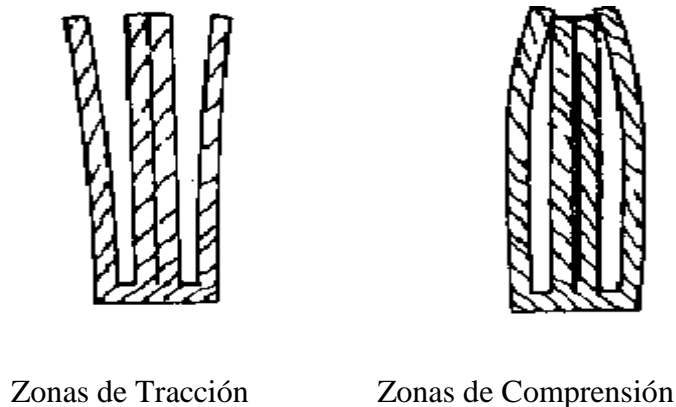


Figura 1.5: Endurecimiento.

Fuente: Guía de secado de Madera 1ra edición .51p

### 1.4.3 Contracción anormal o colapso celular

Un tipo de contracción anormal es el colapso de células, muy común en maderas como el eucalipto y el roble.

El colapso celular es el resultado de la aplicación de un horario de secado muy severo (gradiente de secado es muy alto) en madera muy húmeda que tiene toda sus cavidades llenas de agua libre y donde faltan las burbujas que regularmente se encuentra en la células.

El colapso de células ocurre cuando se inicia un proceso con un gradiente de secado muy fuerte, en maderas con paredes celulares delgado y con una resistencia mecánica menor a las tensiones que se forman en los meniscos de los capilares, como consecuencia de la evaporización de agua en la superficie de las piezas.

Colapso provoca una tensión irregular de la madera .Se inicia a un contenido de humedad por encima del punto de saturación de las

fibras, a pesar que aun existen en las cavidades celulares de la madera grandes cantidades de agua libre.

Las grietas internas formadas como consecuencia de un estado avanzado del colapso pueden reconocerse exteriormente por una severa contracción o por una deformación irregular de la madera en su sección transversal. Cuando ya se ha presentado, el colapso puede corregirse por medio de un fuerte evaporizado.



Figura 1.6 Contracción anormal.

Fuente: Revista CIS-Madera. 15p

#### 1.4.4 Grietas superficiales

Las grietas en la superficie y en los extremos de las piezas de la madera aserrada se presentan con mayor frecuencia en las primeras etapas del secado, cuando se aplica un gradiente de secado alto.

La causa de la formación de estas grietas es el secado rápido de la superficie de la madera y de las capas adyacentes y la consiguiente contracción de esta zona. Esta contracción no se puede desarrollar en toda la pieza debido a que la madera húmeda de las zonas internas lo impide. Como consecuencia de este fenómeno se forman tensiones superficiales en dirección perpendicular al grano, que pueden ser tan grandes que exceden la resistencia de la madera en esta dirección, formándose las grietas. Ver la figura 1.7

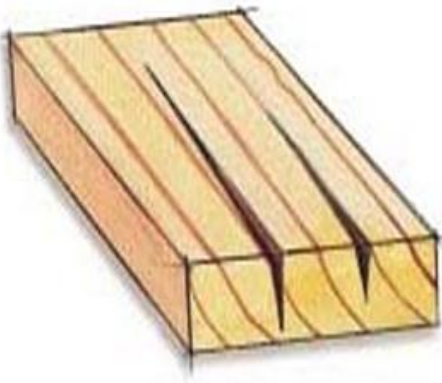


Figura 1.7: Grietas Superficiales.

Fuente: Asociación de investigación técnica de las industrias de madera y corcho-AITIM- Manual de secado de madera.75p

#### 1.4.5 Grietas internas

Un severo endurecimiento superficial puede traer como consecuencia la formación de grietas internas. Esto ocurre cuando los esfuerzos de la tensión perpendicular al grano y de cizalladura son superiores a la resistencia de la madera. La madera que presenta este defecto prácticamente no tiene uso.

En las maderas sensibles se producen cavidades en forma de panal, que son visibles cuando la pieza es aserrada. Las maderas con radio medulares pronunciados también tienen la tendencia a producir grietas internas en forma de panal.



Las grietas internas pueden atribuirse a un control incorrecto del proceso de secado y pueden avisarse por medio de la selección de un programa de secado adecuado. Como son consecuencia del endurecimiento superficial, este debe detectarse a tiempo y eliminarse para evitar de este modo su aparición.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivos General**

Diseñar e implementar un sistema de automatización y control del secado de madera para el mercado nacional.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Seleccionar los equipos y componentes necesarios para la implementación del sistema de automatización y control para la cámara de secado.

Definir el mejor y más económico método, para proporcionar el calor a la madera dentro del horno.

Calcular los costos para la construcción de la cámara de secado.

## **1.6 Planteamiento del problema**

El problema que se tiene en la industria maderera es la cantidad de agua que contiene la madera. Si el agua no es quitada, la madera no puede ser

usada para producir un producto terminado de buena calidad. Madera apropiadamente secada se vende por un precio más alto y es mucho más fácil para trabajar que la madera que no ha sido secada. Cuando la madera es secada correctamente mecaniza mejor, pega mejor, y tiene mejor acabado. El secado también mejora la resistencia de la madera, mata infestaciones, endurece la savia de la madera, preserva el color, reduce el peso y controla el encogimiento. Madera que no está seca bajo condiciones controladas es susceptible a fisuras, manchado, y otras degradaciones que rebajan su precio de venta y su viabilidad de ser trabajada.

## **1.7 Antecedentes**

### **1.7.1 Nigos Elektronik 1990.**

La compañía NIGOS ELEKTRONIK de Rusia fue fundada en 1990, produciendo equipos de medición y control para cámaras de secado. En 1995 comenzó a producir cámaras de secado para maderas de diferente capacidad desde los 1000pies hasta 20000 pies de madera. [5]

### **1.7.2 UPC Sistema de secado de madera 2004.**

El sistema de secado de madera desarrollado, está basado en un micro controlador PIC, el cual controla la temperatura y la humedad relativa, teniendo como energía principal una resistencia eléctrica. El sistema fue desarrollado por dos alumnos de la UPC para capacidad de 4000pies, considerando un sistema de secado antieconómico para la industria maderera. [6]

# CAPÍTULO II : DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO

El diseño de la cámara de secado tiene como objetivo obtener una humedad final 8% al 14% para el mercado peruano, y en un menor tiempo posible. La metodología de trabajo se inició con una profunda investigación en libros, referencias bibliográficas y visita a la selva peruana. La cámara tiene que cumplir con ciertos requerimientos para que pueda generar un microclima en su interior sin ningún problema. Dentro de esos requisitos se deben tener varios criterios:

Cantidad de madera seca que necesita la empresa, en pies o  $m^3$ .

La especie de madera a secar, ya que ésta determina el tiempo de secado de madera por los hornos; vale decir, depende del espesor de la madera el cual determina el tiempo de secado.

La cámara debe de soportar  $100^{\circ}C$ .

Soportar humedad relativa que bordea al 100 % al inicio.

La cámara debe ser portátil para su traslado.

## **2.1 Calcular el tamaño de la cámara**

El dimensionamiento de la cámara de secado implicó tomar en consideración las medidas de la materia prima (pieza de madera), la cual nos permitió calcular la dimensión de la Cámara de secado.

Para las dimensiones de la cámara diseñada se debió conocer la cantidad de madera o el volumen. En nuestro caso se diseñó una cámara pequeña que nos permite secar tan solo 1167 pies de madera.

### **2.1.1 Longitud de la Cámara**

Para determinar la longitud de la cámara se debió conocer la longitud de la madera, en nuestro caso fue de 180cm de longitud.

Como primer paso se obtienen las dimensiones de la madera de especie cachimbo tal como se observa en la figura 2.1.

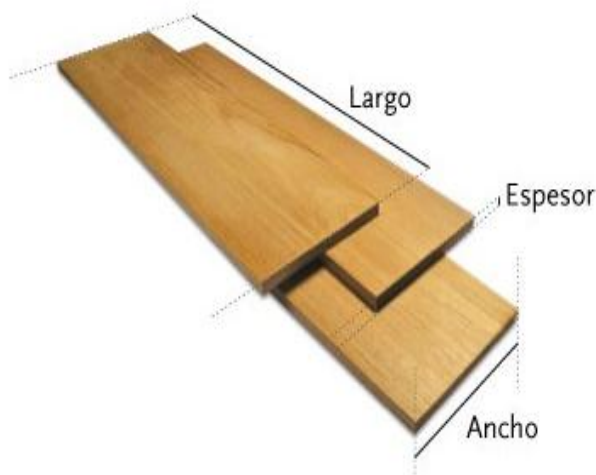


Figura 2.1: Madera Cachimbo.

Diseño propio realizado en Autocad

$L = 5 \text{ pies} \rightarrow 180\text{cm}$

$A = 8 \text{ Pulgadas} \rightarrow 20\text{cm}$

$E = 1 \text{ Pulgadas} \rightarrow 2.5\text{cm}$

La medida de la madera cachimbo es de 180cm de largo, sin embargo en el mercado nacional, la madera no se considera la unidad en centímetros para venta, sino en pies de madera. Observando la figura 2.1 la diferencia de 180cm y 5pies es de 27cm, igual sucede con el ancho y espesor de dicha madera.

Sabemos que 2.754m<sup>3</sup> equivale a 1167 pies de madera total y cada madera tiene 3.35 pies. El cálculo en pies de cada madera se obtiene de multiplicar las medidas de dimensión que utilizamos para cada pieza de madera.

Esta es la modalidad de obtener la cantidad de pies que tiene una tabla de madera, lo cual es utilizado en pequeñas y grandes empresas de madera.

$$\frac{(5\text{pies})(8\text{pulg})(\text{pulg})}{12(\text{pulg})(\text{pulg})} = 3.5\text{pies}$$

La cantidad de piezas de tablonos se calcula de la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Total de Tablonos}}{1\text{Tabla}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\frac{1167\text{pies}}{3.5\text{pies}} = 333 \text{ Tablonos}$$

Para hallar la longitud de la cámara se debe conocer la longitud de la madera, en este trabajo se eligió una tabla de 180cm de longitud como referencia para hallar la longitud de la cámara.

$$C=L+2*T \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde:

C= Longitud de la Cámara

L= Longitud de la madera.

T= Espacio de circulación a la hora de apilar la madera dentro de la cámara.

Entonces, reemplazando:

$$C=180\text{cm}+2(0.3\text{m})=1.80\text{m}+0.6\text{m}$$

$$C=2.40\text{metros}$$

La Longitud de la cámara de secado resultó ser 2.40m. La figura 2.2 se muestra la longitud de la cámara.

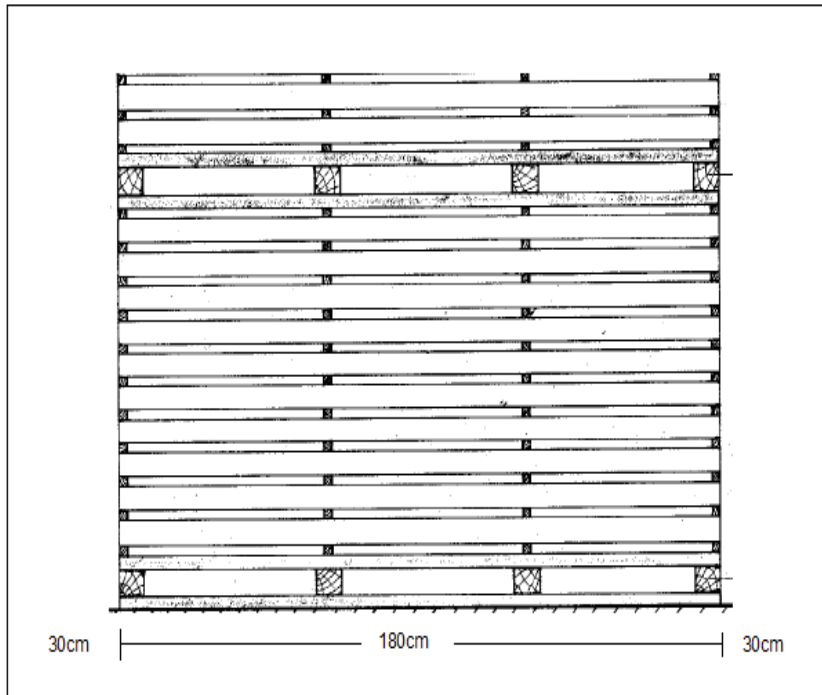


Figura 2.2: Longitud de Cámara.

Modificado propio en Power Point

### 2.1.2 Ancho de la cámara

En la fila se ubican tablones, sabiendo que la medida del ancho de cada tablón es de 20cm, por lo que nos da un total de ancho de fila de 1.60 m con separación de 2.5cm por tablón, obteniendo un resultado de 178cm. “Z” es el espacio que se dará para el operador,” Y” el ancho total de la madera,”n” es ancho total de la cámara.

Z=30cm

Y=178cm

n=238cm

En la figura 2.3 se muestra el ancho de la cámara vista desde arriba

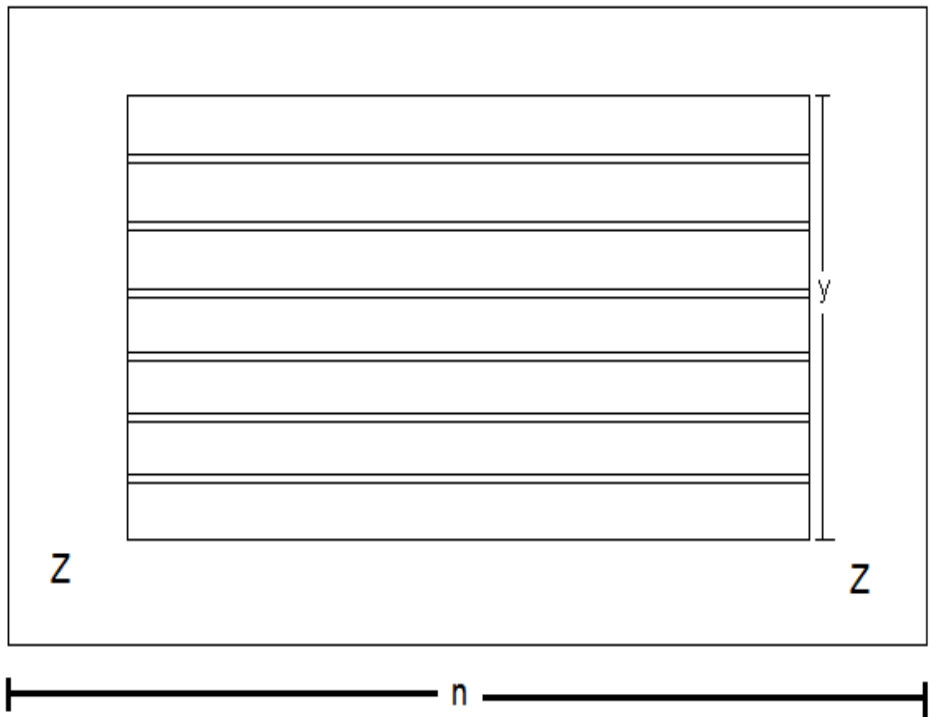


Figura 2.3: Ancho de la Cámara vista desde arriba.

Diseño propio realizado en Power Point

$$n = y + 2z \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde:

n= Ancho de la Cámara de Secado.

y= El ancho del paquete de madera.

Z= Espacio de la cámara para circular el operario en caso de falla de sensor y también para facilitar la circulación del aire.

Entonces, reemplazando:

$$n = 1.78 + 2 * 0.3$$

$$n = 2.38 \text{ metros.}$$

El ancho total de la cámara resulta ser de 2.38m, por norma se deja un espacio de 2 cm para el sensor, teniendo un total de ancho de la cámara igual a 2.40m.

### 2.1.3 Altura de la cámara

La altura de la cámara se determinó a partir de número de filas del paquete de madera

NF=Número de Filas.

$$NF = \frac{333 \text{ tablones en total}}{8 \text{ tablones por fila}} = 37 \text{ filas de Madera.}$$

$$NF=37$$

El separador de la madera es de 2.5cm y su espesor 2.5cm, lo que equivale a 5cm.

Hp=Altura del paquete de madera.

$$Hp = NF * \text{Separador Total.}$$

H= Altura de la Cámara de Secado.

$$Hp = 37 * 5 \text{cm}$$

$$Hp = 185 \text{cm}$$

$$Hp = 1.85 \text{m}$$

Por lo tanto, la altura del paquete de madera resulta ser de 185 cm, y 50cm para circulación del aire dando un total de 2.35m.

$$H = 2.35 \text{m}$$

En la figura 2.4 se observa el paquete de madera ingresada dentro de la cámara de secado y las dimensiones de la cámara determinada de acuerdo a la cantidad de madera a secar.



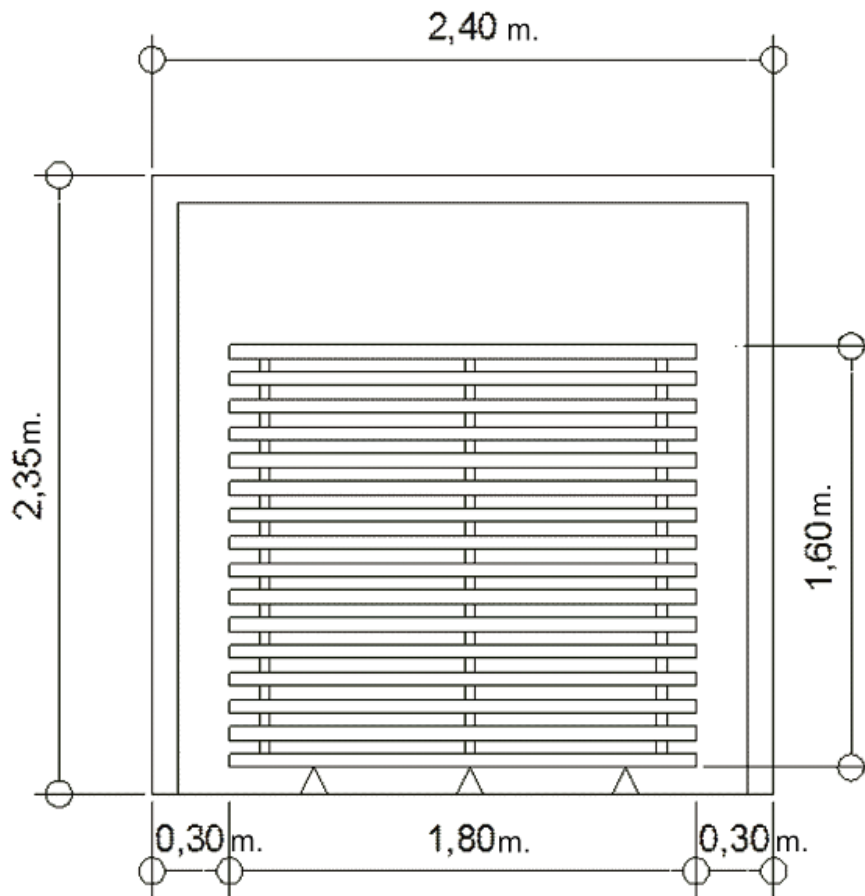


Figura 2.4: Paquete de Madera en el interior del horno.

Diseño propio realizado en AutoCad

## 2.2 Estructura metálica de la cámara

Una vez determinado el tamaño de la cámara, se procedió a construir la estructura metálica de aluminio de la cámara. Los tubos de aluminio son de 2x2 pulgadas y de 2mm de espesor. Para la puerta se tuvo que hacer 2 paneles adicionales, los cuales son de material aluzinc. un panel para el techo de 2.35m de altura, se ubica a lado opuesto de la puerta, dos paneles de 2.35m, se ubican a lados de la puerta y un panel en el techo. Estos paneles se encuentran unidos a la estructura metálica, obteniendo de esta forma una estructura sólida como se muestra en la figura 2.5.

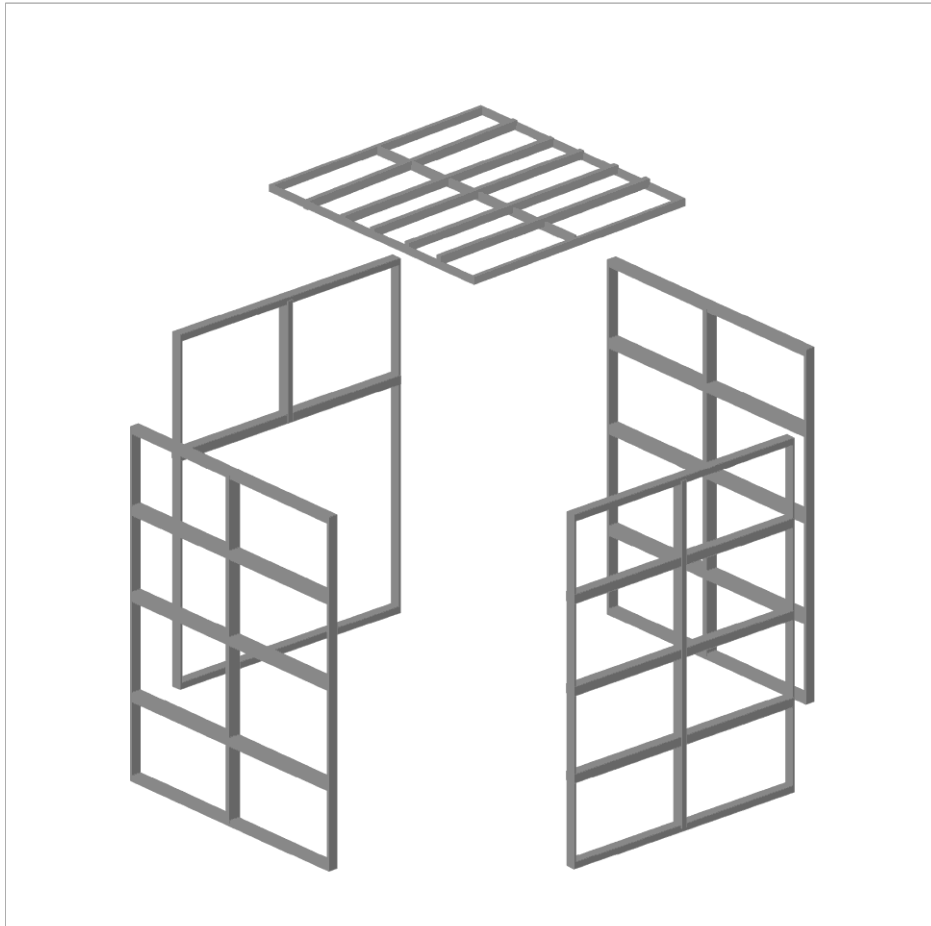


Figura 2.5: Estructura Metálica de la Cámara.

Diseño propio realizado en Autocad

### 2.2.1 Aislamiento Térmico

El aislamiento térmico se diseñó para soportar una temperatura a  $100^{\circ}\text{C}$ , para lograr el aislamiento se puso lana de fibra de vidrio de 2 pulgadas. Primero se fijó la estructura de aluminio, luego la plancha de aluzinc, enseguida lana fibra de vidrio como se muestra en la

figura 2.6, lo cual tiene que ser manipulada con guantes y mascarilla, debido a que este material causa irritación a la piel y a las vías respiratorias.

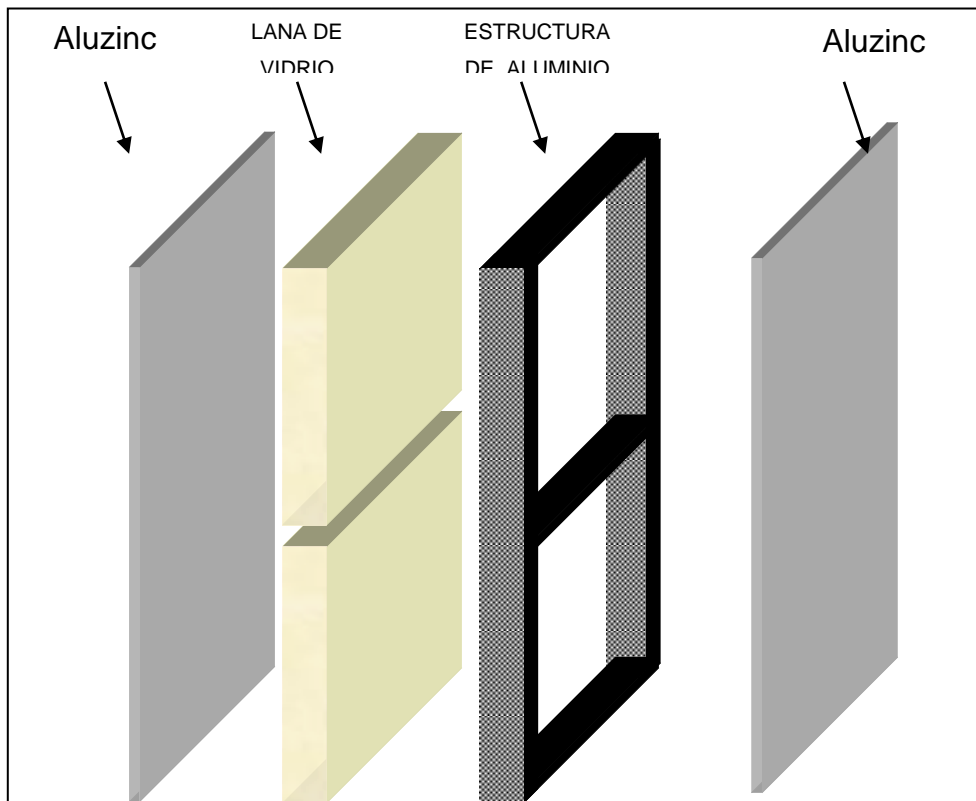


Figura 2.6: Aislamiento Término.

Diseño propio realizado en Autocad

En la figuras 2.7, 2.8 y 2.9 se observa una vista inferior, frontal y una vista lateral derecho terminada, en donde se puede apreciar la puerta de ingreso de la madera, ubicación del tablero de control, el

intercambiador de calor indirecto y las ventilas para controlar la humedad relativa.



Figura 2.7: Vista inferior de la cámara.

Diseño propio realizado en AutoCad



Figura 2.8: Vista frontal de la cámara.

Diseño propio realizado en Autocad

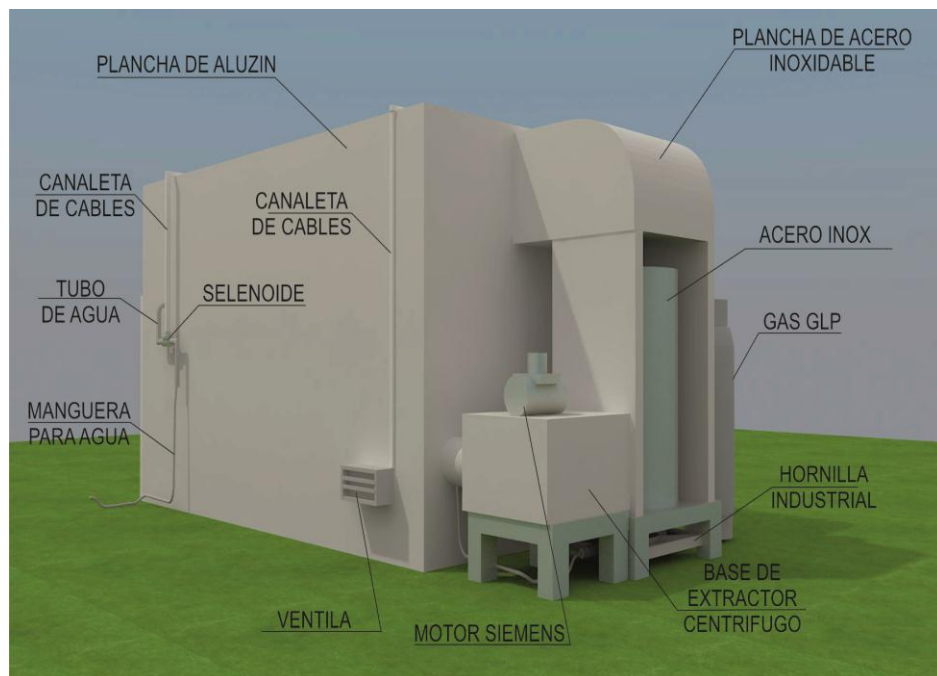


Figura 2.9: Vista lateral derecho.

Diseño propio realizado en Autocad

## 2.3 Análisis de caudal del extractor centrifugo.

El aire dentro de la cámara de una secadora puede circular por gravedad o por medio de un extractor centrifugo que provoca una ventilación forzada.

Los secadores que operan con el sistema de ventilación natural se basan en el principio de que el aire caliente es menos denso que aire frío y por lo tanto tiende a elevarse. Cuando el aire caliente es obligado a pasar a través de una pila de madera aserrada, cede calor a las piezas en la pila, se enfría por la absorción de la humedad y se precipita hacia la parte inferior de la secadora.

Es importante destacar que una buena ventilación es sinónimo de un buen secado, ya que juega un papel muy importante al principio del ciclo sobre la velocidad del secado y al final sobre la homogeneidad en el contenido de humedad de las piezas de madera en la pila.

Para seleccionar el extractor centrífugo es necesario dimensionarlos debidamente para obtener la velocidad del aire requerido en la cámara el cual normalmente oscila entre 2 y 3 m/s.

El valor más importante para seleccionar un ventilador es su caudal para esto se debe tener en cuenta el área libre que debe recorrer entendiéndose por área libre el espacio que existe entre los tablones.

$$Q=A*V \text{-----} (2.4)$$

Q=Caudal

A=Área de circulación de aire

La velocidad del aire recomendada es de 2 a 3 m/s, para nuestro cálculo utilizaremos un valor promedio de 2.5 m/s.

### 2.3.1 Cálculo del área libre

Es el área de barrido del aire la cual es igual al área promedio de los separadores mas el área libre lateral.

$$A = \left[ \frac{S}{S + E} * L * A \right] + X \dots\dots\dots (2.5)$$

A=Área libre.

S=Espesor de los separadores en mm.

L=longitud de la madera.

X=Área libre lateralmente de la pila en (m<sup>2</sup>)

El valor del área lateral se debe multiplicar por el factor 0.30m.

Los valores que se tienen son:

$$S=25\text{mm}$$

$$E=25\text{mm}$$

$$L=1.80\text{m}$$

$$X=?$$

El valor de X es en base al área lateral de la pila, tenemos dos áreas laterales de las siguientes dimensiones

$$A1=A2$$

$$A1=a*b \quad a=0.3\text{m} \quad b=1.60\text{m}$$

$$A1=(0.3\text{m})(2.35\text{m})=0.48\text{m}^2$$

$$X=A1+A2=(0.48+0.0.48) \text{ m}^2$$

$$X=0.96\text{m}^2$$

Entonces remplazando tenemos:

$$A = \left[ \frac{25}{25 + 25} * 1.8 * 0.48 \right] + 0.96$$

$$A = 0.432 \text{ m}^2$$

Ahora remplazando tenemos:

$$Q = A * V$$

$$Q = (0.432 \text{ m}^2)(2.5 \text{ m})$$

$$Q = 1.057 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1.057 * 3600$$

$$Q = 3807 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se llega en conclusión que el caudal que se necesita dentro de la cámara es de 3807 m<sup>3</sup>/h equivale a 1.5 HP por experiencia de familiar.



Figura 2.10: Sistema de ventilación.

Diseño elaborado propio

En la figura 2.10 se observa el extractor centrífugo, compuesto por un motor Siemens de 1.5hp, las aletas son de fierro y con 3mm de espesor, y una faja de transmisión. Se eligió un motor Siemens de 1.5hp, por tener una larga vida útil, y una potencia ideal para una cámara pequeña, debido que el motor va a trabajar de 5 días a 12 días aproximadamente sin tener algún descanso.

## **2.4 Análisis de Selección de calefacción.**

El calor es necesario para elevar la temperatura de la cámara y para asegurar que la difusión o movimiento de humedad desde el interior de la pieza de madera hacia la periferia. En términos generales, la calefacción en una secadora sirve para lo siguiente:

Facilitar y acelerar la evaporación en la superficie húmeda de la madera.

Calentar el aire fresco que ingresa al horno.

Para la selección del sistema de calefacción es necesario saber cuánto de energía térmica voy consumir durante el proceso de secado y sobre el costo del sistema.

Debido a que se tiene que analizar en consumo de energía térmica para el calentamiento y la evaporación del agua contenida en la madera. Este consumo está determinado por una serie de factores; por ejemplo, para la humedad inicial de la madera: se entiende que cuanto más húmeda esté la madera, mayor cantidad de agua habrá que extraer, por lo tanto, mayor energía se consumirá. Para hacer un buen cálculo del consumo se tiene que conocer aproximadamente cuánta agua se va retirar de la madera, y para esto se necesitan 3 valores:

La densidad de la madera a secar, que en este caso es de  $610 \text{ Kg/m}^3$ .

La humedad inicial de la madera.

La humedad final de la madera.

Lo primero es obtener las dimensiones de la madera espesor, ancho y largo:

L=170cm

A=20cm

E=2.5cm



Volumen del tablón

$$V=L*A*E..... (2.6)$$

Volumen húmedo de la madera (Vh)

$$Vh=Vct*Nt..... (2.7)$$

Entonces, reemplazando:

$$Vh=0.0085*324$$

$$Vh=2.754m^3$$

Peso húmedo de la Madera (Mh)

$$Mh=Vh*Rh..... (2.8)$$

$$Rh=\frac{Pe(1+Hi)}{1+(Pe*Kte)}..... (2.9)$$

Entonces, reemplazando:

$$Rh=\frac{0.61(1+40)}{1+(0.61*30)}$$

$$Rh=1.296 \text{ g/cm}^3$$

$$Rh=1296\text{kg/m}^3$$

$$Mh=2.754\text{m}^3*1296\text{kg/m}^3$$

$$Mh=3569.184\text{kg}$$

Masa de agua libre en la madera

$$Ma=\frac{Mh*(Hi-Hpsp)}{100+H}..... (2.10)$$

Entonces, reemplazando:

$$M_a = \frac{3569.18 * (40 - 30)}{100 + 90}$$

$$M_a = 187.85 \text{ kg}$$

$$M_{ac} = \frac{3569.18 * (30 - 10)}{100 + 90}$$

$$M_{ac} = 375.70 \text{ kg}$$

Energía térmica para evaporar el agua libre de la madera

$$Q_1 = M_a * k_{te} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$Q_1 = 187.85 * 3800 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = 713830$$

Energía térmica para evaporar al agua de higroscopicidad

$$Q_1 = M_{ac} * K_{te} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$Q_1 = 375.70 * 4400 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = 1653080 \text{ kJ}$$

Energía total

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

$$Q_t = 2366910 \text{ kJ}$$

El secado en total de 168h equivale 7 días

$$Q_t = 14793.2 \text{ kJ/h}$$

$$Q_t = 3533.12 \text{ kcal/h}$$

Entonces se opta en elegir un quemador de gas tipo hornilla ideal para una cámara pequeña que me consume 3533.12kcal/h durante todo el proceso de secado, eso se lo suma 300kcal/h por la mínima perdida de calor en los equipos teniendo un total 3833.12kcal/h.

Se eligió un balón de gas de 100 psi, que cubre los 3833.12Kcal/h incluso los 100 psi alcanza para un proceso más. Se descarta otro tipo de energía térmica por el costo relativamente alto.

Por pruebas realizadas se eligió un tanque de 100 psi para realizar dos procesos de la cámara que equivale 9666.24kcal/h.

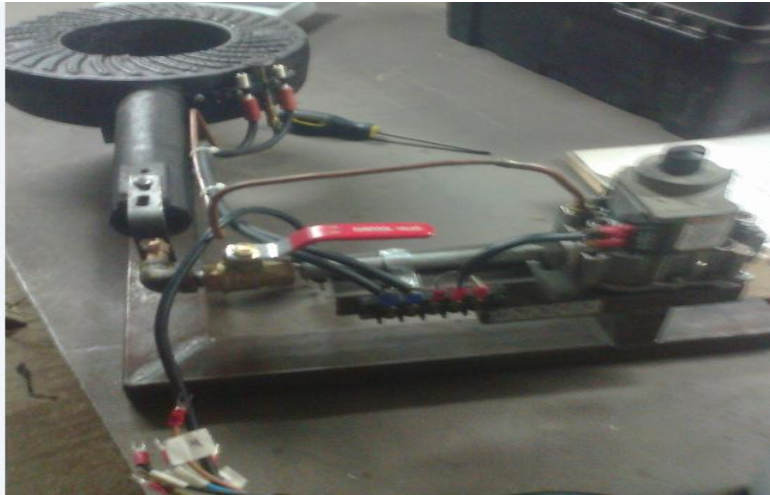


Figura 2.11: Sistema de Calefacción.

Diseño elaborado propio



Figura 2.12: Control automático Brahma para hornilla.

Diseño elaborado propio

En la figura 2.11 observamos la hornilla industrial , el piloto de encendido, el chispero , la sonda de detección de llama , la válvula honeywell de salida de dos vías que estarán ubicadas atrás de la cámara, cuya función principal es calentar un cuerpo caliente, lo cual se controlará con un control automático BRAHMA como se observa en la figura 2.12. Dicho controlador está compuesto de un transformador electrónico de encendido

adecuado para dotar a quemadores de tiro forzado de gas, la tensión que genera se aumenta gracias a un transformador con núcleo de ferrita.

## **2.4.1 Selección del tipo de energía a transmitir a la madera.**

### **2.4.1.1 Convección**

El proceso de transferencia de calor involucra cambios de fase de un fluido y a pesar de su complejidad, el coeficiente de transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura, y es expresada ley de Newton de enfriamiento.

$$Q_{conv} = hA\Delta T$$

### **2.4.1.2 Conducción**

En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy complejas.

El coeficiente de conducción térmica a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de la capa y al área, pero es inversamente proporcional al espesor de la capa, lo cual se enuncia de la siguiente manera.

$$Q_{cond} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Entonces se optó en elegir un intercambiador indirecta, la energía o calor se transmite a la madera general por convección, siendo éste el fenómeno predominante durante el proceso. El efecto que podría producir una diferencia significativa entre la temperatura del aire en circulación y la de la superficie de la madera, prácticamente se anula la radiación durante el secado en cámaras.

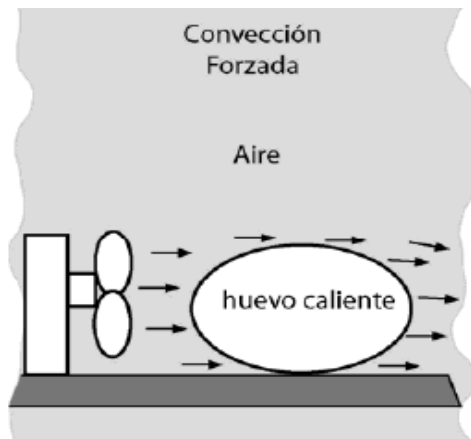


Figura 2.13: Convención Forzada



Figura 2.14: Intercambiador de calor Indirecto.

Diseño elaborado propio

En la figura 2.14 se puede apreciar un tubo de acero inoxidable, por debajo del tubo de acero estará ubicada la hornilla de fuego también contamos con un extractor centrífugo con un motor Siemens de 1.5hp que está al lado derecho del tubo de acero inoxidable, ideal para soportar altas temperatura.

Por otro lado, en la figura 2.15 se puede apreciar el intercambiador indirecto terminada, ubicada en su posición adecuada, listo para ubicarlo en la cámara de secado. Como se mencionó anteriormente la función principal del intercambiador de calor, es calentar el aire caliente y llevarlo al interior de la cámara por transmisión de convección.



Figura 2.15: Intercambiador de calor indirecto.

Diseño elaborado propio

## **2.5 Análisis de selección de componente de control.**

### **2.5.1 Cálculo de relé térmico**

Los relés térmicos son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua.

Para determinar el valor de relé de sobrecarga se debe tener en cuenta el valor del factor de servicio de la maquina como se observa en la figura 2.16. Sí este es menor de 1.15, el valor de la corriente nominal de la maquina debe multiplicarse por 1.15% y si fuese mayor a 1.15 el valor de la corriente se deberá multiplicar 1.25%.



Figura 2.16: Placa del motor siemens.

Fuente: fotografía propia

Datos del motor:

$$1hp=746W$$

$$P=1119w$$

$$V=220V$$

$$F=50hz$$

$$FS=1.15\%$$

$$I_n=5A$$

Rt=relé térmico

$$R_t = F_s \cdot I_n \dots \dots \dots (2.13)$$

Entonces reemplazando tenemos:

$$R_t = 1.15 (5) = 5.75A$$

El relé térmico a seleccionar es de rango 4 a 6 amperios como se observa en la figura 2.17.



Figura 2.17: Relé Térmico

Fuente: fotografía propia

### 2.5.2 Cálculo del contactor

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se de tensión a la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos).

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción.

$$P=V \cdot I_c \dots \dots \dots (2.14)$$

$$P=119w$$

$$V=220v$$

$$I_n=5A$$

$$I_c=?$$

Entonces tenemos:



$$I_C = \frac{1119w}{220v}$$

Ic=5A entonces para elección del contactor se multiplica por 20% de la corriente por norma que se establece en el mercado de control.

Ic=6A

El contactor ideal a seleccionar es de 6A

En la figura 2.18 podemos observar el contactor trifásico



Figura 2.18: Contactor.

Fuente: fotografía propia

### 2.5.3 Cálculo del relé de baja y alta potencia

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

$$V=I_r \cdot R \dots \dots \dots (2.15)$$

$$V=24V$$

$$R_s=3.8k\Omega$$

Entonces tenemos:

$$I_r = \frac{24VDC}{3.8k\Omega}$$

$$I_r=0.0063A$$

Se opta en elegir un relé de 1A, para el proceso de la cámara de secado se usa 8 relés que permite obtener un control óptimo del proceso.

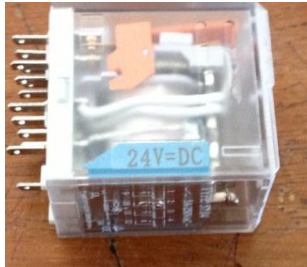


Figura 2.19: Relé baja potencia.

Fuente: fotografía propia

Entonces tenemos:

$$I_r = \frac{220VDC}{3.8k\Omega}$$

$$I_r=0.06A$$



Figura 2.20: Relé alta potencia.

Fuente: fotografía propia

El relé de alta potencia se usó para el control de resteo del controlador Brahma del quemador.

## 2.6 Elección de un falso techo.

Se optó elegir un falso techo cumple un rol muy importante en la cámara, que es la de forzar al aire a que vaya de manera uniforme y circule en la cámara. El falso techo está hecho de planchas aluzinc y tiene una estructura sólida para su soporte.

El falso techo cubre casi todo el área superior de la cámara excepto los bordes en donde se encuentra la puerta, ya que en esa parte se deja libre ,aproximadamente ,0.5 metros, el cual es el área por donde va a descender el aire en 90 grados así como se observa en la figura 2.21.

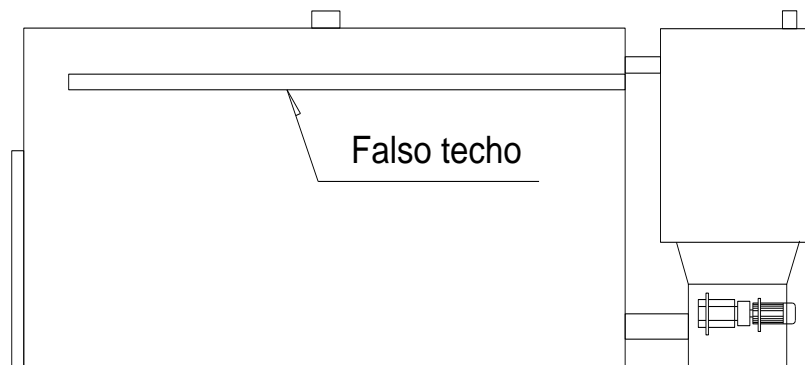


Figura 2.21: Falso techo.

Diseño propio realizado en AutoCad

## 2.7 Selección de ventila.

El intercambio de aire en la cámara es un proceso muy importante en el secado, en la cámara se realiza intercambio de aire por dos razones, la primera ayuda controlar la humedad relativa y la segunda es que expulsa el agua que se extrae de la madera, en la figura 2.22 se observa el aire que ingresa por la parte superior, estas rejillas son activadas por un servomotor de control on/off, abriendo 90° como máximo, donde se expulsa humedad de madera a la atmósfera.

Para el proyecto se consideran ventilas para la extracción e ingreso del aire en el proceso de secado de la madera. La cámara de secado contará con 2 ventilas de similares características, siendo éstas, dimensiones, material, mecanismos, etc. La disposición de éstas, será en la parte delante superior de la cámara de secado y lado del extractor centrifugo, como se observa en la figura 2.16.

Para la construcción de las ventilas, se determinó usar acero inoxidable de 2mm de espesor. El acero inoxidable opaco presenta buenas características, en cuanto a la resistencia contra la oxidación. Por otra parte, en estos trabajos de hojalatería no presenta mayor dificultad para su elaboración. Se determinó que las dimensiones de las ventilas son de 200mm\*200mm.

En su interior posee una barra el cual es operado para abrir o cerrar la ventila en el proceso de evacuación o ingreso de aire en el secado de la madera. En la barra estará construido de aluminio con el objetivo de accionarlo mediante un servomotor en cada una de las ventilas.

Sistema de apertura y cierre de las ventilas será operado por medio del controlador, el cual enviará la señal para su apertura o cierre, dependiendo del porcentaje de humedad relativa que exista en el interior de la cámara de secado.



Figura 2.22: Ventila.

Diseño elaborado propio

### **2.7.1 Selección de un servomotor para ventilas**

Para poder comandar la apertura de las ventilas, es necesario utilizar un motor eléctrico. El tipo de motor ideal para este caso son los llamados “servomotor”, como se ve en la figura 2.23, ya que pueden realizar giros de 90°, lo que resulta ideal para el sistema de apertura y cierre de las ventilas, y además girar en ambos sentidos.

Las características del servomotor se apreciar en el anexo I



Figura 2.23: Servomotor belino.

Diseño elaborado propio

## 2.8 Selección de sistema de humidificación y la cañería.

La humedad del aire es un factor importante para el control del contenido de la humedad de la madera, particularmente en aquellos casos en que es necesario controlar la evaporación de la superficie de la pieza de madera.

Sistema de humidificación de la cámara de secado, es el mecanismo que posee para poder controlar las condiciones de humedad dentro de la cámara de secado. En el secado de la madera, se debe controlar la humedad relativa del aire, debido a que se pueden producir defectos en la madera.

Sistema es operado automáticamente por medio del controlador, el cual se programa de acuerdo a la etapa de secado, y una vez que el transmisor de humedad indique el porcentaje de humedad necesario para inyectar agua, el controlador envía una señal eléctrica para que se abra la válvula solenoide.

Se eligió un aspersor promax u.s de 2 bar ideal para la pulverización de agua en el interior de la cámara.

En la figura 2.24 y 2.25 se observa sistema de humidificación.

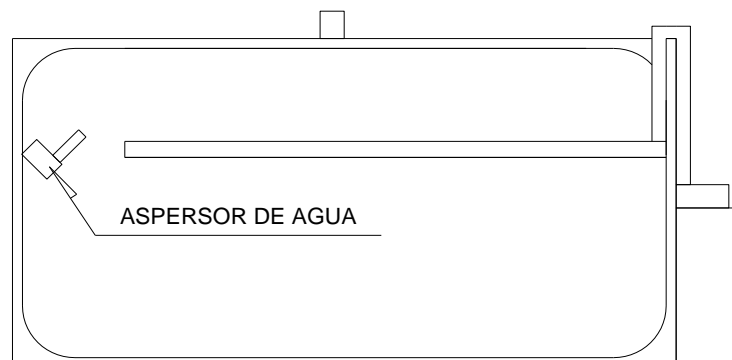


Figura 2.24: Sistema de Humidificación.

Diseño propio realizado en AutoCad



Figura 2.25: Aspersor.

Fuente: Fotografía propia

Para la cañería se tomó las dimensiones del ancho de la cámara 2.35m y 0.5 pulgadas de diámetro, ideal para una cámara pequeña y fácil de obtener en cualquier ferretería cercana. En la figura 2.26 se muestra el Sistema de humidificación y la cañería.

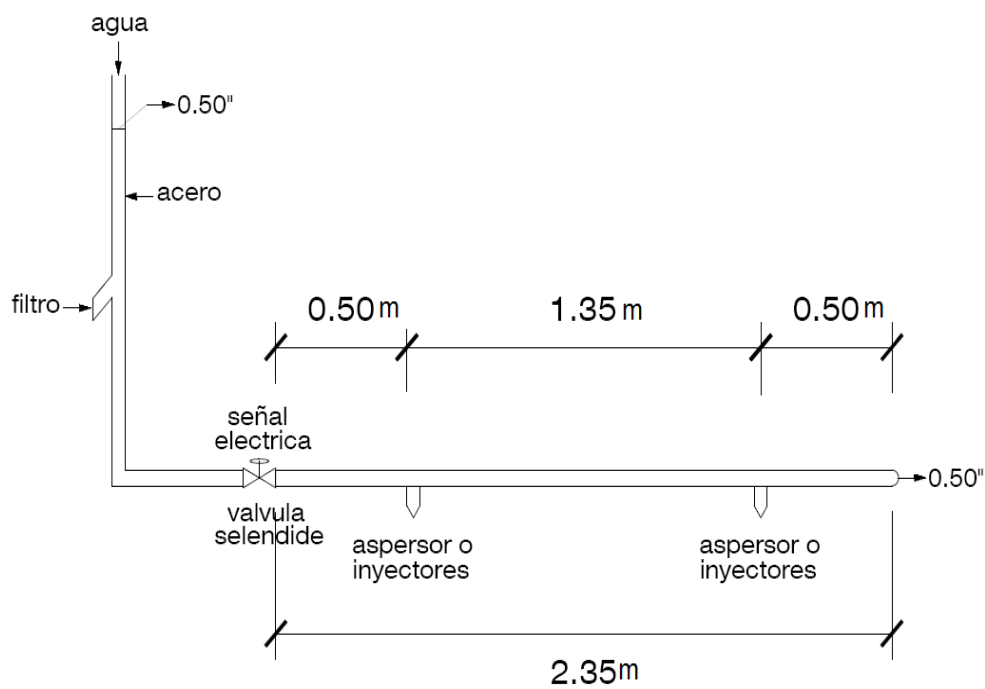


Figura 3.26: Sistema de humidificación y la cañería.

Diseño propio realizado en AutoCad

## 2.9 Selección de instrumentación.

La cámara de secado de madera debe contar con instrumentos necesarios para registrar y medir los datos necesarios que involucra el proceso.

Para ello debemos determinar los instrumentos necesarios y que además que se adecuen a las características y rangos pertinentes.

Los factores que debemos controlar son la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire en el interior de la cámara de secado que se será constante.

Los instrumentos necesarios son los que se seleccionaran a continuación:

### 2.9.1 Sistema de medición y control de T°C / HR.



Figura 2.27: Controlador Programable Twido.

Fuente: Fotografía propia

En este proyecto se utilizó un controlador modular de TWDLMDA20DRT 20E/S, módulos digitales E/S TM2DMM24DRF, y un módulo análogo TM2AMM3HT. En la figura 2.27 se muestra el controlador programable twido y sus respectivas bases de ampliación de E/S digitales, como también el módulo análogo.

Características y esquema del controlador modular se observa en el anexo II

## 2.9.2 Transmisor de temperatura y humedad relativa.

Este dispositivo es el encargado de tomar las lecturas de humedad relativa, para transformarla en una señal eléctrica de voltaje. Es usado en lugares cerrados, ideales para su uso en cámaras de secado.

Los modelos HT-741-T-02 están compuestos de una caja y un tubo, en donde esta encapsulado el sensor de temperatura y humedad relativa.

El sensor almacena una tarjeta electrónica con los terminales para sus conexiones eléctricas.

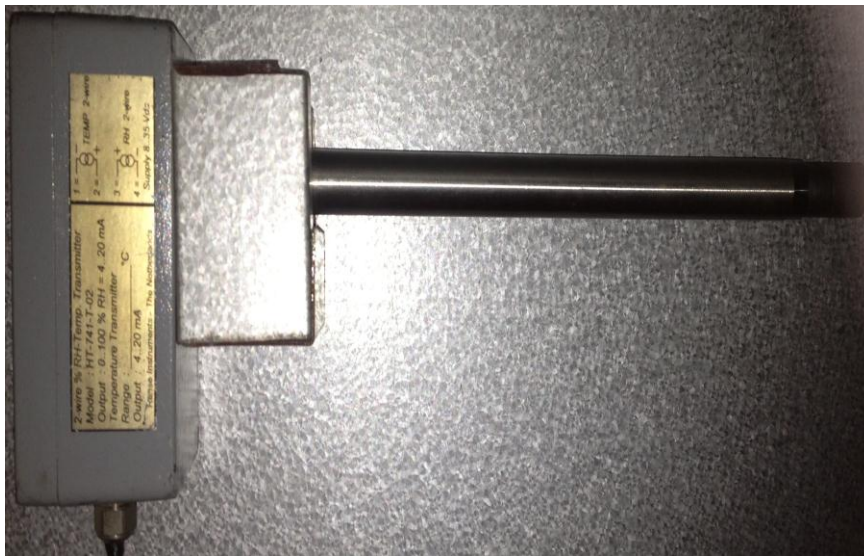


Figura 2.28: Sensor RENSE de temperatura y humedad relativa.

Fuente: Fotografía propia

El transmisor debe estar instalado a una altura de 0.5m de la cámara en la pared por donde el aire ingresa a la pila de madera.

Característica técnica del transmisor en el anexo III





Figura 2.29: Sistema final de la cámara de secado.

Fuente: Fotografía propia

# CAPITULO III: SISTEMA DE AUTOMATIZACION

El sistema de automatización empleado por la cámara es del tipo automático y semiautomático. La medición, control y regulación del proceso de secado, se realizan en forma completamente automática. El corazón del sistema es el controlador modular TWDLMDA20DRT. El módulo TWDAMM3HT se encarga de recibir la señal de temperatura y humedad relativa procesada a 4-20mA y ésta señal será procesada por el módulo TWDLMDA20DRT que envía una señal adecuada a los actuadores para tener un control óptimo para el secado de madera. En la figura 3.1 se aprecia diagrama representativo del sistema de secado de madera.

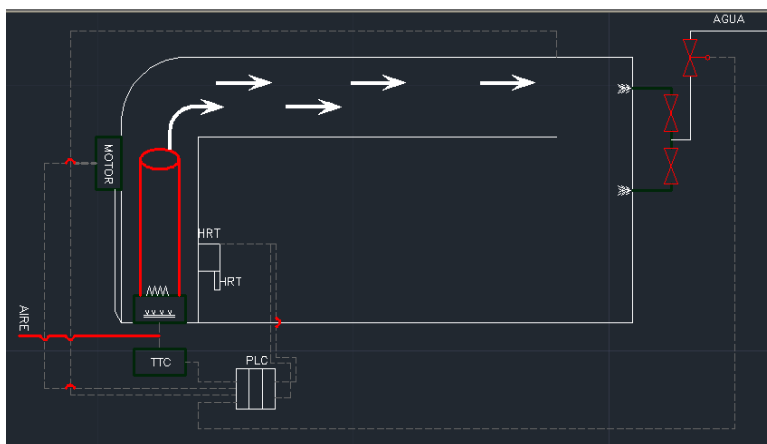


Figura 3.1: Diagrama representativo del sistema de secado de madera.

Diseño elaborado propio en Autocad

## 3.1 Diagrama de flujo de control de temperatura y humedad relativa.

Colocando el paquete de madera en el interior de la cámara se creará un microclima en el interior de la cámara, lo cual controlará la humedad relativa, y la temperatura.

El proceso se repite hasta que se obtengan los niveles adecuados de set point, a continuación se muestra un diagrama de flujo del control básico de humedad relativa y temperatura en la figura 3.2.

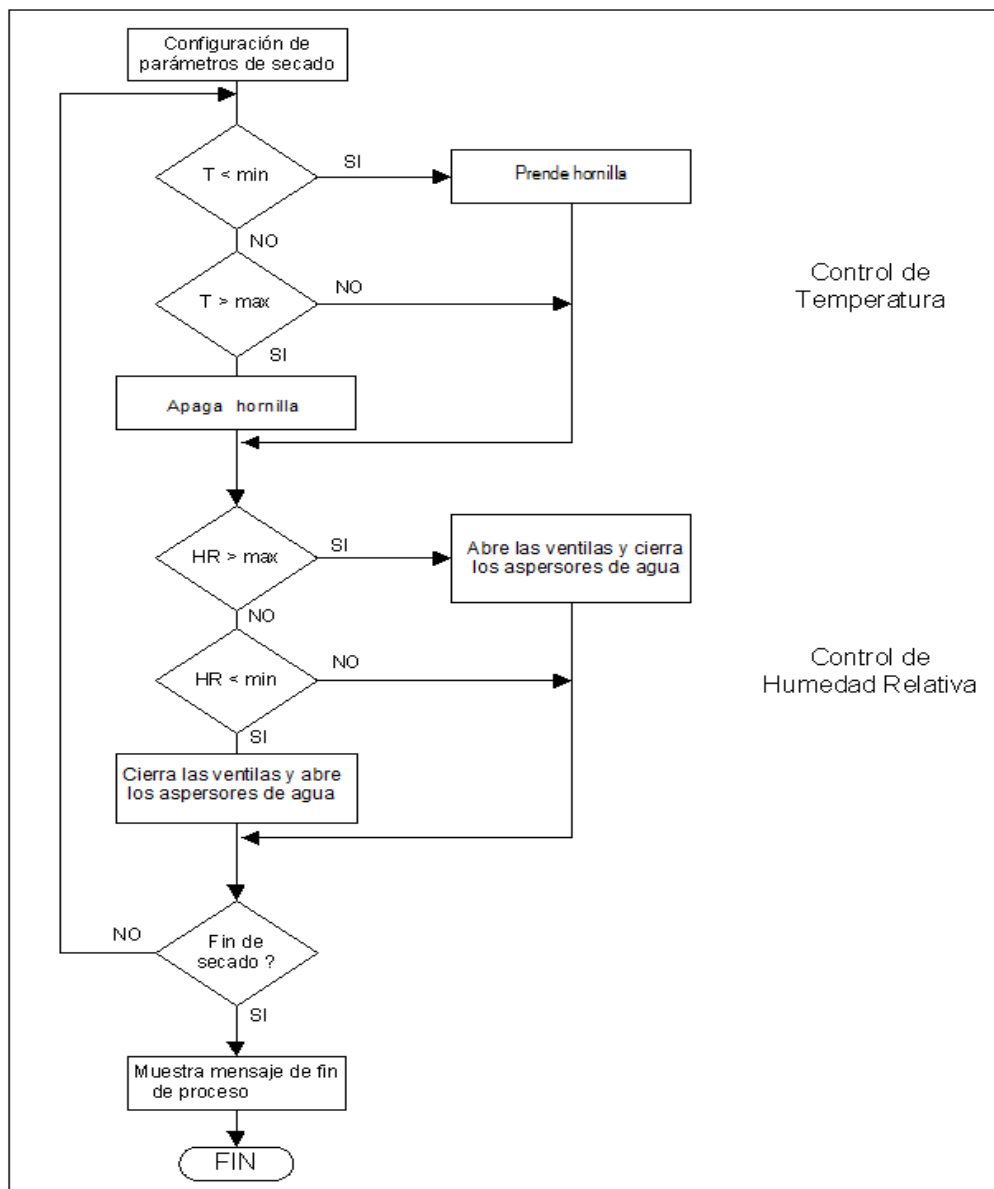


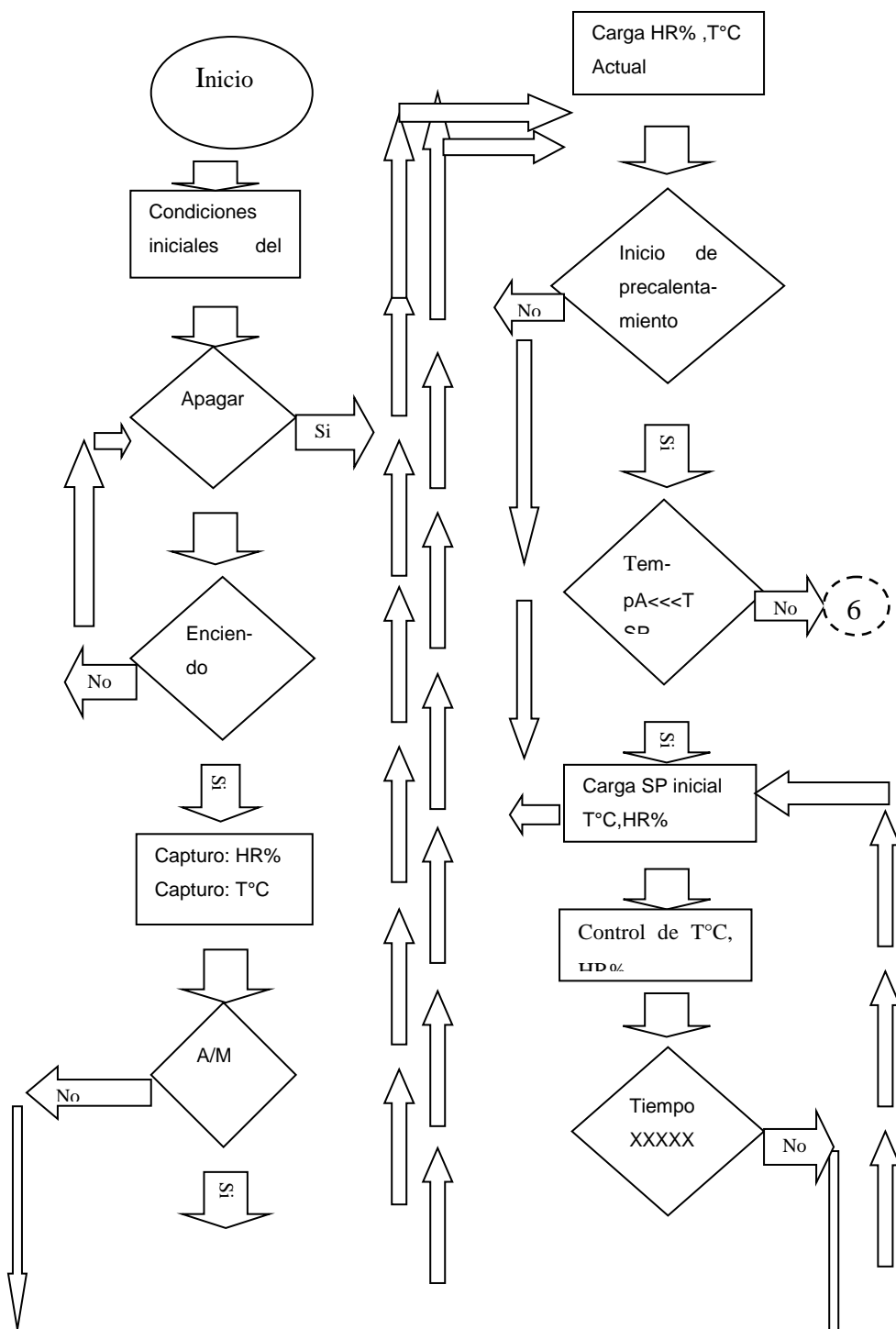
Figura 3.2: Diagrama de flujo de control.

Diseño propio realizado en Word

### 3.2 Diagrama de flujo del proceso de la cámara de secado.

En el proceso el medio de secado es el aire, el cual por arrastre absorbe la humedad superficial de la madera. En el secado artificial, se mantienen las condiciones climáticas para hacer que el aire dentro de la cámara, este constantemente seco y arrastre la humedad superficial de la madera, suministrando calor (temperatura) y controlando la humedad relativa del aire en la cámara con el uso de ventilas, rociadores de agua y el extractor centrífugo.

En la figura 3.3 se puede observar el diagrama de flujo de control de la cámara que maneja sus principales variables como temperatura y a la humedad relativa. Cuando se presiona el botón de encendido va a cargar el SP principal de temperatura y humedad relativa, la señal es registrada en la memoria del controlador. La temperatura actual incrementará hasta llegar mi Set Point inicial secundaria durante 6 o 8 horas aproximadamente, denominando precalentamiento del sistema, ahora incrementará al Set Point principal ingresado inicialmente, donde hará un control de temperatura y humedad relativa para obtener un óptimo secado de madera.



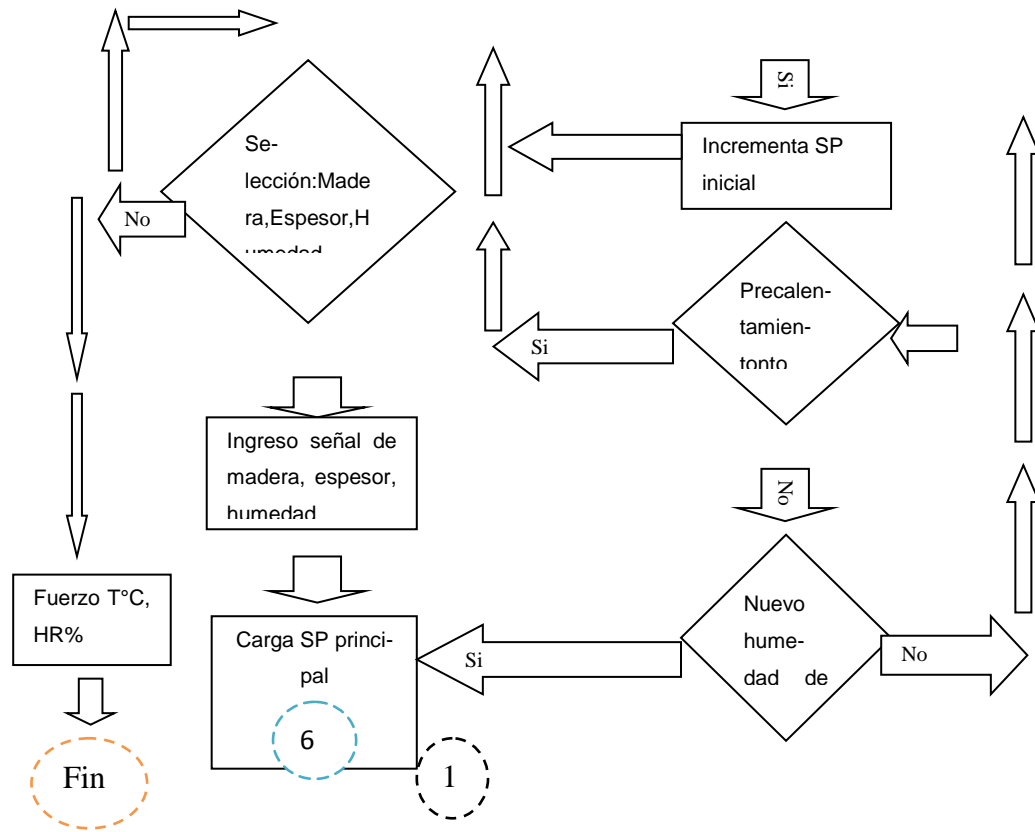


Figura 3.3: Diagrama de flujo de control.

### 3.3 Sistema de control de humedad relativa y temperatura.

#### 3.3.1 Sistema de control de humedad relativa

En el control de la humedad relativa es necesario agregar agua al interior de la cámara por medio de aspersores, para ello debe tenerse en cuenta lo siguiente: el Set Point (SP) que es el valor deseado y la Zona Neutra (ZN) que es nivel de tolerancia y en donde el control no actúa.

Se deduce:  $SP + ZN = \text{Valor Superior}$

$$SP - ZN = \text{Valor Inferior}$$

Entonces, el sistema recibe la información del sensor de humedad relativa y compara: cuando el valor medido sea menor que Valor Inferior, agregar agua hasta alcanzar el Set Point; caso contrario, cuando el valor medido esté por encima del Valor Superior, abre las ventilas hasta llegar al Set Point, este tipo de control se denomina histéresis. La figura 3.4 se muestra la visualización de la humedad relativa.



Figura 3.4: visualización de la humedad relativa.

Fuente: Fotografía propia

### 3.3.2 Sistema de control de temperatura

Para controlar la temperatura se enciende y apaga la hornilla industrial, para mantener una temperatura adecuada en el interior de la cámara.

El control de temperatura posee un Set Point (SP) y una Zona Neutra (ZN), con sus respectivos Nivel Superior (SP + ZN) y Nivel Inferior (SP - ZN). Cuando la temperatura sea menor al Valor Inferior, encenderá la hornilla hasta llegar al Set Point; si la temperatura fuera mayor que ZN se apaga la hornilla hasta llegar el Set Point, así se controlará la temperatura hasta terminar su fase de secado de madera. La figura 3.5 se muestra visualización de temperatura.



Figura 3.5: visualización de temperatura.

Fuente: Fotografía propia

### 3.4 Programa de secado.

La programación del PLC se desarrolló en el software TwidoSuite y en éste programa se logró minimizar lo menos posible las líneas de instrucciones que se pueden observar en el Anexo IV.

#### 3.4.1 Simulador

TwidoSuite incorpora una función de simulador que permite probar un programa recién escrito sin tener que cargarlo en el controlador. El Simulador Twido permite ejecutar el programa y probar diferentes parámetros para ver si se dan las respuestas esperadas.

En la figura 3.6 se puede observar las entradas/salidas de proceso de secado de todos los módulos de ampliación y de base de control.

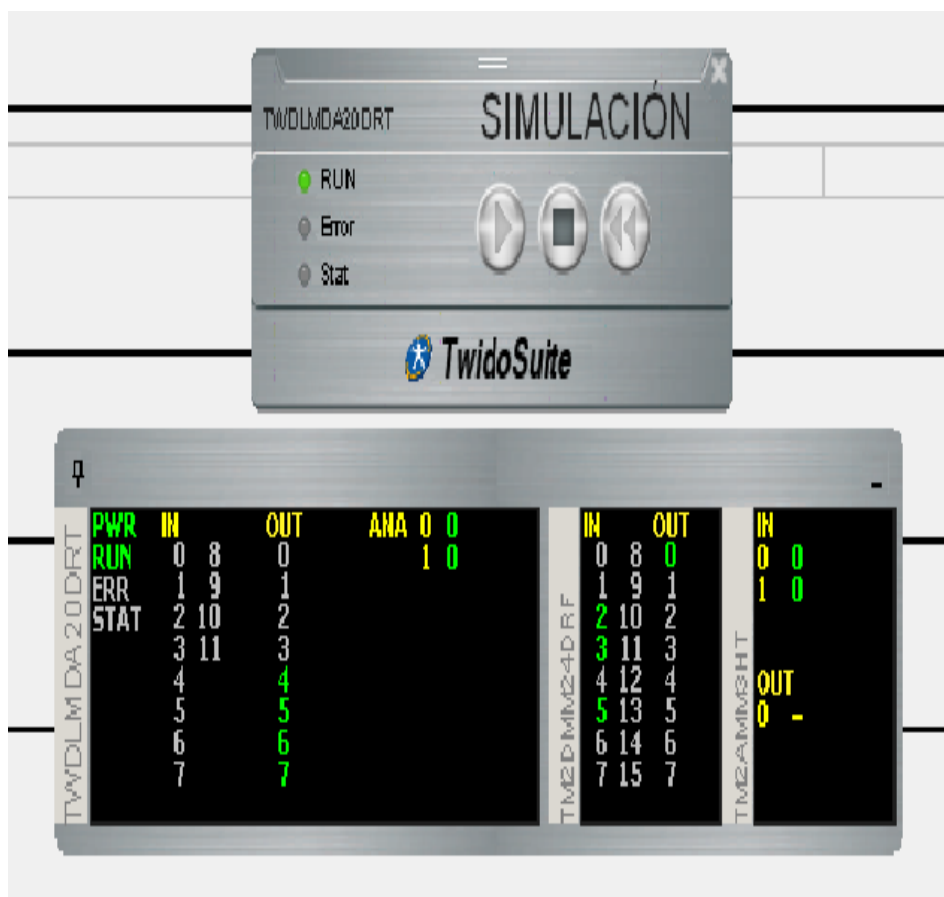


Figura 3.6: Entradas y salidas del proceso de secado.

Diseño propio realizado en simulación TwidoSuite

El programa cuenta con las siguientes características:

Cuenta con 3 programas definidos de control para los siguientes tipos de madera: Cedro, cachimbo y capirona. Así como 9 programas opcionales que permiten al usuario personalizar su “programa de secado” introduciendo valores óptimos para el control de temperatura y humedad relativa de acuerdo al tipo de madera.

El sistema está diseñado de acuerdo a una estrategia de control que incluye 5 fases durante el proceso de secado que serán explicados ampliamente más adelante.

Capacidad de realizar prueba manual como encendido forzado de ventilas, aspersores y fuego.

Al elegir un programa de secado se ingresa por el teclado que se detallará más adelante, se selecciona el tipo de madera, espesor y la humedad que actualmente tiene la madera y se manipula hasta obtener una humedad final de la madera de forma semiautomática o se selecciona una humedad final, el sistema realiza automáticamente hasta tener la humedad final seleccionada.

### **3.5 teclado**

Al principio se pensó usar 3 selectores: 2 selectores de 12 posiciones y uno de 4 posiciones, con el fin de elegir los parámetros para el inicio de sistema.

Se descartó los selectores, por el motivo de alto costo de la fabricación y el uso de 28 entradas digitales.

Por cual, se optó por utilizar un PIC16F877A reduciendo drásticamente el costo y las entradas digitales.

#### **3.5.1 Selector para elegir el tipo de madera a secar.**

Para seleccionar el tipo de madera a secar, se selecciona la densidad o la especie de la madera que pueden ser: blanda, semi-blanda o dura. El tipo de madera está gobernada por 4 bits, teniendo 16 combinaciones como máximo.

#### **3.5.2 Selector para elegir el espesor de madera**

Para elegir el tipo de madera a secar, se selecciona el espesor expresado en pulgadas que pueden ser :1” a 2.5” ,obteniendo 4 combinaciones expresados en bits.



### 3.5.3 Selector para elegir la humedad de la madera

A partir de una medición directa con el higrómetro se elige la humedad actual de la madera antes de iniciar el proceso. A continuación, la figura 3.7 muestra la fotografía de selectores con teclado



Figura 3.7: Selectores con teclado.

Fuente: Fotografía propia

Tecla
Lectura de puertos
Elección de madera
Elección de espesor
Elección de humedad
Salidas relé 24VDC

Figura 3.8: Rutina de selección de programa.

Diseño propio realizado en Autocad

En la figura 3.8 se observa la rutina para seleccionar el programa, seleccionando la madera, espesor y la humedad, enviará 3 señales de 24VDC a las entradas digitales del PLC para seleccionar un programa óptimo que me permita tener un secado final.

### **3.6 Tablero de control eléctrico.**

Se confeccionó un tablero de control, respetando una serie de consideraciones y normativas, garantizando de esta manera la continuidad y protección del tablero así como la de los operadores que lo van a manipular.

La **figura 3.9** se muestra la representación de la dimensiones del tablero de control.



Figura 3.9: **Representación del tablero de control**

Diseño elaborado en AutoCad

En la figura 3.10 se muestra el tablero de control electrico final.



Figura 3.10: Tablero de control eléctrico.

Diseño elaborado Propio.

### **3.7 Estrategia de control de secado.**

La estrategia de control de secado consiste en conocer el tipo clima que la madera requiere para ir bajando su humedad sin provocarle defectos, de tal manera que la madera pueda alcanzar el contenido de humedad deseado. En el proceso de secado debe modificarse el microclima de la cámara de manera gradual y cada cambio es conocido como una fase.

#### **3.7.1 Fases de proceso de secado**

Como todo proceso, el secado de madera automatizado se divide en las siguientes fases:

Acondicionamiento inicial

Considerando que no todas las tablas de madera tienen el mismo contenido de humedad, se humedece la cámara de secado a fin de tratar de homogenizar el contenido de humedad de las tablas. Esta fase dura horas dependiendo del tipo de madera y el espesor.

b) Calentamiento

Se eleva la temperatura de la cámara al mismo tiempo que se calienta toda la masa de la madera con el fin de dilatar los poros de las capas superficiales, a manera de sauna, para luego facilitar el secado de las capas interiores de la madera. Esta etapa también dura horas dependiendo de la especie de madera a secar.

Secado

Es la etapa de secado propiamente dicha. Consiste en la eliminación de agua desde la superficie de la pieza y la subida de humedad desde el interior hacia la superficie: Esta etapa tiene dos sub fases

en las cuales se establecen diferentes procesos de gradiente, temperaturas y humedad relativa, generalmente enlazadas.

Sub-Fase 1

Eliminación de agua libre de la madera; se caracteriza por una elevada salida de vapor de agua de las cámaras. Esta etapa dura días.

Sub-Fase2

Eliminación de agua higroscópica de la madera (por debajo de 30%); en esta etapa se producen las contracciones y defectos de la madera por mal secado, por lo que es necesario mantener un doble control en el secado. A medida que va disminuyendo la humedad en la madera es necesario incrementar la temperatura y la gradiente, así como disminuir la humedad relativa. Esta fase dura días dependiendo de la especie de madera.

A pesar que el aire caliente circula casi en forma homogénea a través de todas las piezas de madera, algunas de ellas secan más rápido o lento que otras y simplemente su grado de humedad inicial era distinto a la de las demás. Por eso, la fase de igualación es muy útil para homogenizar el contenido de humedad final de la carga, es así que se aumenta la humedad relativa de la cámara encendiendo los aspersores de agua.

#### Acondicionamiento Final

Obtenida la humedad final deseada en el centro de la madera o en el tercio de su espesor, también se obtendrá una humedad mucho menor en su superficie.

#### Enfriamiento

Esta fase es la última en el proceso de secado y a la inversa de la calefacción se requiere llegar a una temperatura cercana a la temperatura ambiente, a fin que la madera no sufra por un cambio de clima cuando es extraída de la cámara.

En la figura 3.11 podemos observar el comportamiento de la madera desde el inicio hasta la humedad final.

Figura 3.11: Comportamiento de secado de madera.

Diseño elaborado Propio en Excel

### **3.8 Programa Definidos.**

Luego de efectuadas las primeras pruebas en la cámara automatizada para secar madera, se asumieron seis opciones de proceso de secado (pro

gramas) en la cámara de acuerdo al tipo de madera: Cedro, tornillo, cashimbo, roble, pumaquiro, capirona, y 6 opciones más de secado programables para otros tipos de madera, pero se hicieron pruebas reales solo con la madera cedro, tornillo y capirona como se muestra en la

tabla 3.1, 3.2 y 3.3.

madera	temperatura	Humedad relativa	Gradiente de secado
8%-12%	65°C	33%	1.800-2.400
12%-16%	65°C	44%	1.800-2.400
16%-20%	65°C	54%	2.00-2.400
20%-24%	65°C	64%	2.00-2.400
24%-28%	65°C	70%	2.00-2.400
28%-32%	60°C	80%	1.8600-2.1300
32%-40%	60°C	84%	2.00-2.500
40%-50%	60°C	88%	2.200-2.700
50%-60%	60°C	92%	2.500-3.00
60%-70%	60°C	94%	2.600-3.100
70%-80	60°C	95%	2.700-3.100
80%-90%	60°C	96%	2.700-3.200

Tabla 3.1 Programa de madera Cedro. / Tabla propia elaborada

### 3.8.1 Programa de Cedro

Se definió los Set Point adecuados, obteniendo un óptimo secado, secando con un gradiente bajo para evitar que aparezcan defectos, como el agrietamiento o alabeo.

### 3.8.2 Programa de Cachimbo

Se definió los Set Point adecuados, obteniendo un óptimo secado.

MC %	T °C	HR %	G
49.9	25°C	90%	2.4600
46.2	36°C	88%	2.4700
40.6	38°C	50%	2.1800
33.2	38°C	82%	2.1000
23.5	42°C	65%	2.300
18.2	56°C	53%	2.200
10.7	55°C	39%	1.800
9.1	55°C	30%	1.800
8.2	55°C	27%	1.800
7.8	55°C	24%	1.800

Tabla 3.2 Programa de madera Cachimbo.

Tabla propia elaborad

### 3.8.3 Programa de Capirona

MC %	T °C	HR %	G
38.8	30°C	85%	2.4600
32.60	35°C	74%	2.4700
29.20	40°C	59%	2.1800
25.20	40°C	44%	2.1000
21.80	45°C	34%	2.300
16.40	45°C	29%	2.200
14.10	50°C	26%	2.200
12.00	50°C	23%	2.200
10.90	50°C	23%	2.200
9.80	51°C	23%	2.200

Tabla 3.3 Programa de madera Capirona.

Tabla propia elaborada



# CAPÍTULO IV : PRUEBAS REALIZADAS

En el mercado nacional existen diversas variedades de madera que son catalogados para muebles, pisos, techado etc. Estas maderas son vistas por su densidad, maderas blanda, semidura y dura, es por ello que se escogió una especie de madera según su densidad. Para la madera blanda se eligió cedro, especies de madera más usada para las puertas, sillas; para la maderas de mediana densidad se eligió cachimbo, una especie de madera que es usada en muebles. Por último la madera dura, se escogió la especie de capirona, las cuales se usa para pisos.

El tiempo requerido para secar una carga de tablas depende de:

Las características de la madera.

El tipo de horno.

El programa de secado empleado.

El operador del horno ajusta el programa de secado según el tipo de madera. Respecto al segundo factor, se puede mejorar el desempeño de los hornos optimizando algunas características de éste (caso del aislamiento térmico y

sistema de ventilación), que pueden resultar en una disminución del tiempo de secado. Pero, la mayor reducción de ese tiempo se puede conseguir a través de los ajustes de los programas de secado.

## **4.1 Programa de Secado del Cedro.**

Las características y propiedades de esta madera son las siguientes: [7]

### **4.1.1 Información general**

La madera cedro se muestra en la Figura 4.1, se pueden apreciar 4 cortes diferentes en donde la veta varía dependiendo del corte.

Especie: *Cedrelinga catenaeformis* D. Ducke.

Familia: Meliaceae.

Nombres comunes: Perú: Cedro adorata

Ecuador: seique. Brasil: cedrorana.

Nombre comercial internacional: Cedro amargo

*En la figura 4.1 muestra la madera de cedro*



*Figura 4.1: Madera cedro.*

Estudios de mercado y comercialización de productos forestal del Perú Ministerio de la agricultura-dirección general forestal de caza y

tierras-universidad nacional agraria la molina-departamentos de industrias forestales. Emilio David barrios. Noviembre 1971.377pp

Este especie se encuentra en los departamentos de Junín, Madre de Dios, Loreto y Ucayali, entre 0 y 500 msnm. La especie existe en cantidades altas en la amazonía norte y en cantidades medias en la amazonía sur del Perú.

#### **4.1.2 Características del cedro**

Es una madera de color Marrón rosado a rojo claro con la albura más clara. Tiene un grano medio y fibra recta con ciertas veces levemente entrelazada. Tiene un olor característico.

Olor: Fragante.

Lustre o brillo: Brillante.

Grano: Entrecruzado.

Textura: Gruesa.

### **4.1.3 Propiedades físicas del cedro**

Densidad básica: 0.45 gr/cm<sup>3</sup>.

Contracción tangencial: 3.00 %

Contracción radial: 1.00 %

Relación T/R: 2.2

### **4.1.4 Propiedades mecánicas de cedro**

**Resistencia a la flexión estática:** 750 kg/Cm<sup>2</sup>

**Resistencia a la compresión:** 420 kg/Cm<sup>2</sup>

**Modulo de elasticidad:** 91 000 kg/Cm<sup>2</sup>

**Resistencia a la tracción paralela:** 1440 kg/Cm<sup>2</sup>

Actualmente es usada en pisos, estructuras de casas, armaduras, vigas, columnas, carpintería de interiores, artesanía y en la fabricación de puertas, ventanas y carrocerías.

### **4.1.5 Programa de Secado del Cedro.**

Este programa de secado va a tener una variante muy significativa. Esto quiere decir que la madera no puede tener el mismo programa para un espesor más delgado, y tiene que ser un poco más suave para poder secar la madera de manera uniforme. Ver tabla 4.1

Ho- ras	MC%	HR%	T°C	GS
4	32%	88%	25°C	1.700
8	33%	80%	30°C	2.00
12	32%	78%	35°C	2.100
16	30%	70%	40°C	2.100
20	29%	68%	50°C	2.00
24	28%	64%	55°C	2.100
28	27%	64%	60°C	2.00
32	25%	62%	65°C	2.100
36	24%	59%	65°C	2.00
40	23%	56%	65°C	2.00
44	20%	54%	65°C	2.100
48	19%	50%	65°C	2.100
52	19%	48%	65°C	2.100
56	18%	47%	65°C	2.00
60	17%	45%	65°C	2.00
64	16%	44%	55°C	2.00
68	15%	44%	65°C	1.900
72	14%	44%	65°C	1.900
76	13%	40%	65°C	2.00
80	12%	40%	65°C	2.00
84	12%	35%	65°C	1.900

*Tabla 4.1: Datos recopilado del Cedro.*

Tabla elaborada propia

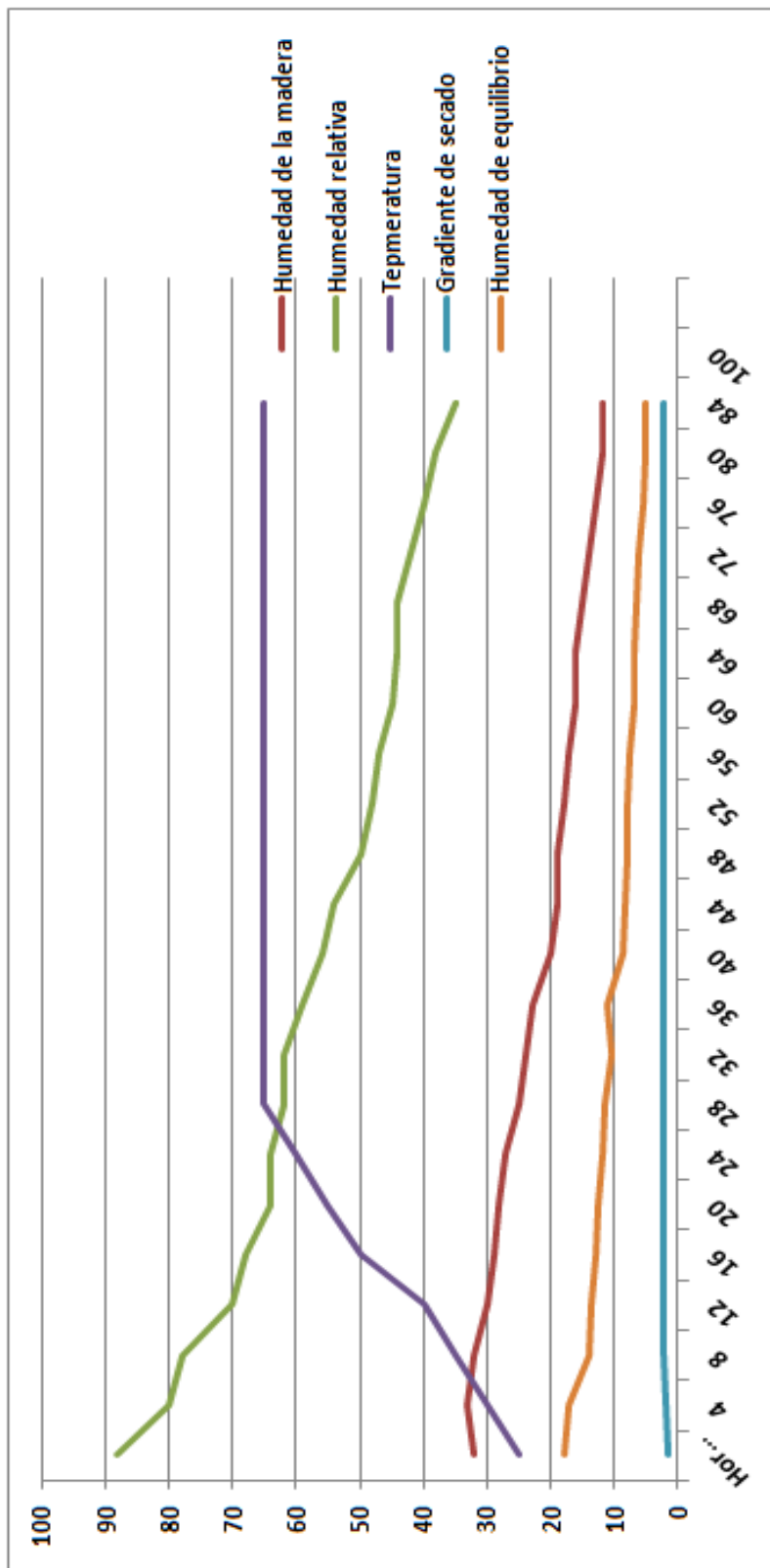


Grafico 4.1: Comportamiento de los parámetros de cedro.

Fuente: Elaborado en Excel

Se tuvo un excelente secado de madera con humedad final al 12%, debido que se usó un programa a temperatura alta 65°C, la madera cedro resiste a altas temperatura y un gradiente moderado, casi constante para evitar defectos en la madera como se puede observar en la grafico 4.1, se usó 3 testigos para el monitoreo de la humedad de la madera.

Para la madera de espesor de 1 “y 1.5”, no pueden tener el mismo programa, debe ser un programa más lento para evitar rajaduras en la superficie de la madera. Se logro secar al 12% de humedad en 5 días.

## **4.2 Programa de secado del cachimbo.**

### **4.2.1 Características del Cachimbo: [8]**

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color blanco cremoso beige, similar a las capas internas (duramen), no observándose entre ambas capas contraste en el color. En la madera seca de color rojizo claro y de forma regular se observa entre ambas capas un gradual contraste de color.

Olor: No perceptible.

Lustre o brillo: Medio.

Grano: Recto.

Textura: Fina a media.

Veteado o figura: Suave, arcos superpuestos delgados definidos por anillos de crecimiento.

### **4.2.2 Propiedades físicas del cachimbo**

Densidad básica: 0,59 g/cm<sup>3</sup>

Contracción tangencial: 7,50 %

Contracción radial: 4,90

Contracción volumétrica: 12,0 %

Relación T/R: 1,50

### **4.2.3 Propiedades mecánicas del cachimbo**

Módulo de elasticidad en flexión: 131 000 kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de rotura en flexión: 735 kg/cm<sup>2</sup>

Compresión paralela (RM): 342 kg/cm<sup>2</sup>

Compresión perpendicular (ELP): 66 kg/cm<sup>2</sup>

Corte paralelo a las fibras: 84 kg/cm<sup>2</sup>

En la figura 4.2 se muestra cachimbo rosado



Figura 4.2: Cachimbo rosado.

Guía de procesamiento industrial USAID 20p

#### 4.2.4 Tabla de programa del cachimbo

En la Tabla 4.2 se muestra la tabla de programa de secado de cachimbo rosado, los datos mostrados allí son los valores recogidos manualmente durante el secado.

Para el secado de cachimbo se utilizará un programa suave de 55°C como máximo y con gradiente de secado bajo para evitar rajaduras o torceduras. Este programa puede ser utilizado para maderas de similares de densidad media, definitivamente no podría ser utilizado para maderas de baja densidad como es cedro, tornillo, el tiempo de secado va depender del espesor de la madera.

MC %	T °C	HR %	G
49.9	25°C	90%	2.4600
46.2	36°C	88%	2.4700
40.6	38°C	50%	2.1800
33.2	38°C	82%	2.1000
23.5	42°C	65%	2.300
18.2	56°C	53%	2.200
10.7	55°C	39%	1.800
9.1	55°C	30%	1.800
8.2	55°C	27%	1.800
7.8	55°C	24%	1.800

Tabla 4.2: Programa de Secado del Cachimbo.

Tabla elaborada propia



Ho- ras	MC%	HR%	T°C	GS
8	60%	88%	25°C	1.700
16	57%	82%	30°C	1.800
24	55%	78%	35°C	1.900
32	50%	70%	40°C	2.00
40	48%	68%	45°C	2.00
48	47%	64%	50°C	2.100
56	44%	64%	55°C	2.00
64	42%	62%	55°C	2.100
72	40%	59%	55°C	2.00
80	38%	56%	55°C	2.00
88	36%	54%	55°C	2.100
96	32%	50%	55°C	2.100
104	29%	48%	55°C	2.100
112	28%	47%	55°C	2.00
120	26%	45%	55°C	2.00
128	24%	44%	55°C	2.00
136	20%	44%	55°C	1.900
144	18%	44%	55°C	1.900
152	16%	40%	55°C	2.00
160	15%	40%	55°C	2.00
168	14%	35%	55°C	1.900
192	12%	35%	55°C	2.00

*Tabla 4.3: Datos recopilado del Cachimbo.*

Tabla elaborada propia

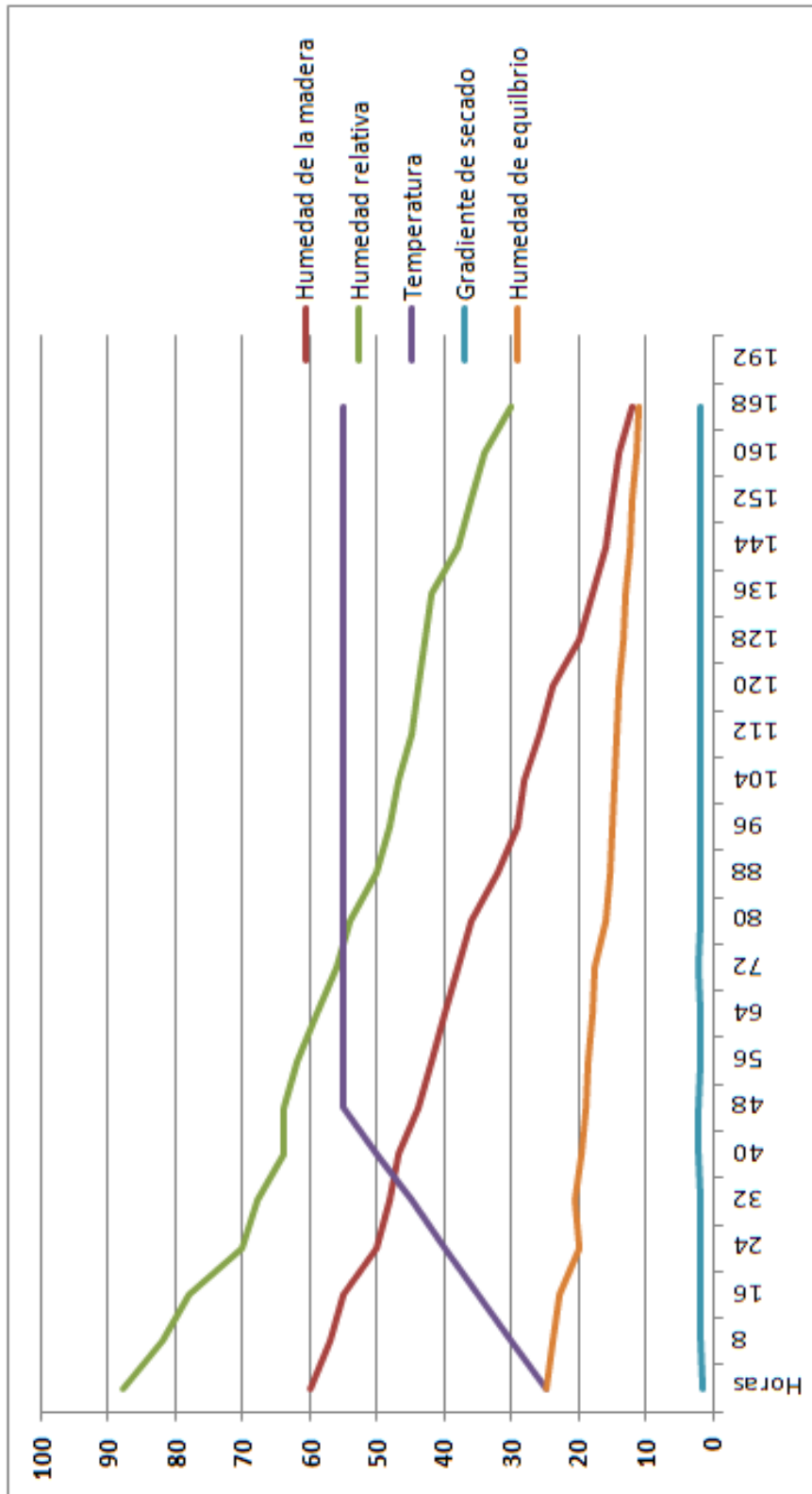


Grafico 4.2: Comportamiento de los parámetros de cachimbo.

Fuente: Elaborado en Excel

Cachimbo se obtuvo también buenos resultados debido a que se usó a temperatura de 55°C como máximo por ser de especie semi dura. Se logró secar al 12% de humedad en 8 días.

De la gráfica 4.2 se puede ver que la pendiente de la curva de humedad de la madera no es muy pronunciada, esto quiere decir que si se logra que la pendiente sea más pronunciada, el tiempo de secado se puede disminuir.

NOTA: Todos los espesores de madera tienen diferente parámetros.

### **4.3 Programa de secado del capirona.**

#### **4.3.1 Características del Capirona: [9]**

Color: El tronco recién cortado presenta capas externas de madera (albura) de color blanco cremoso, similar a las capas internas (duramen), no observándose entre ambas capas contraste en el color. En la madera seca al aire la albura se torna de color blanco HUE 8/2 10YR y el duramen marrón muy pálido HUE 8/3 10YR. (Munsell Soil Color Charts).

Olor: No distintivo.

Lustre o brillo: Moderado.

Grano: Recto.

Textura: Media.

Veteado o figura: Arcos superpuestos formado por anillos de crecimiento.

#### **4.3.2 Propiedades físicas del capirona**

Densidad básica: 0,76 g/cm<sup>3</sup> Alta.

Contracción tangencial: 9,0 %

Contracción radial: 5,0 %

Contracción volumétrica: 15,0 % Alta.

Relación T/R : 1,80 Estable.

### 4.3.3 Propiedades mecánicas del capirona

La resistencia mecánica de la Capirona se sitúa en el límite de la categoría media a alta.

Módulo de elasticidad en flexión: 150 000 kg/cm<sup>2</sup> Poco rígida a rígida.

Módulo de rotura en flexión: 723 kg/cm<sup>2</sup> Mediana.

Compresión paralela (RM): 283 kg/cm<sup>2</sup> Mediana.

Compresión perpendicular (ELP): 67 kg/cm<sup>2</sup> Mediana.

Corte paralelo a las fibras: 87 kg/cm<sup>2</sup> Mediana.

Dureza en los lados: 425 kg/cm<sup>2</sup> Mediana.

Tenacidad (resistencia al choque): 2,10 kg-m Mediana.

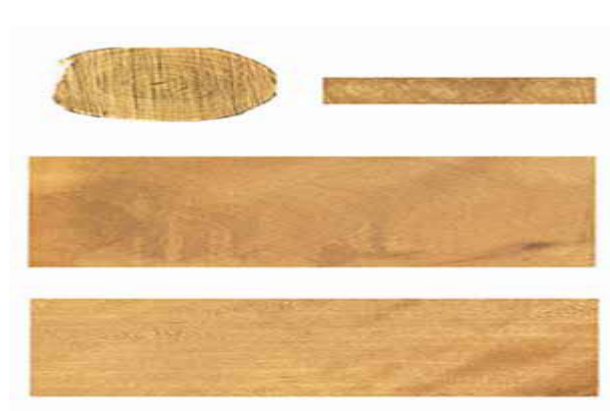


Figura 4.3: Madera Capirona.

Guía de procesamiento industrial USAID 28p

### 4.3.4 Tabla de programa de capirona

Al iniciar el programa de secado: Con una temperatura inicial de 25° centígrados la humedad relativa de la cámara de 90 a 94%, para un tiempo de 8 horas.

En los días siguientes se deberá incrementar la temperatura hasta llegar a los 40° centígrados en un lapso de 72 horas. Luego de ello, los incrementos de temperatura deberán ser de un grado por hora hasta llegar a los 50° centígrados. Con este nivel deberá ocurrir la eliminación del agua libre.

Al empezar la eliminación del agua celular se deberá aplicar una rehumidificación que haga subir la humedad de la cámara. El tiempo dependerá de cómo reacciona la madera.

En 14 días se tendrá la madera en un promedio de 12% de humedad. En la tabla 4.3 se muestra el programa del capirona.

MC %	T °C	HR %	G
38.8	30°C	85%	2.4600
32.60	35°C	74%	2.4700
29.20	40°C	59%	2.1800
25.20	40°C	44%	2.1000
21.80	45°C	34%	2.300
16.40	45°C	29%	2.200
14.10	50°C	26%	2.200
12.00	50°C	23%	2.200
10.90	50°C	23%	2.200
9.80	51°C	23%	2.200

Tabla 4.3: Programa de Secado del Capirona.

Tabla elaborada propia

Horas	MC%	HR%	T°C	GS
8	50%	94%	25°C	1.800
16	39%	89%	30°C	2.00
24	37%	80%	35°C	2.100
32	36%	78%	40°C	2.100
40	35%	75%	45°C	2.00
48	32%	70%	51°C	2.100
56	30%	68%	51°C	2.00
64	29%	65%	51°C	2.100
72	27%	65%	51°C	2.00
80	25%	56%	51°C	2.00
88	24%	56%	51°C	2.100
96	23%	50%	51°C	2.100
104	22%	48%	51°C	2.100
112	21%	47%	51°C	2.00
120	20%	45%	51°C	2.00
128	19%	44%	51°C	2.00
136	18%	44%	51°C	1.900
144	17%	44%	51°C	1.900
152	16%	40%	51°C	2.00
160	15%	40%	51°C	2.00
168	14%	35%	51°C	1.900
190	12%	35%	51°C	2.00

Tabla 4.4: Datos recopilado del Capirona.

Tabla elaborada propia

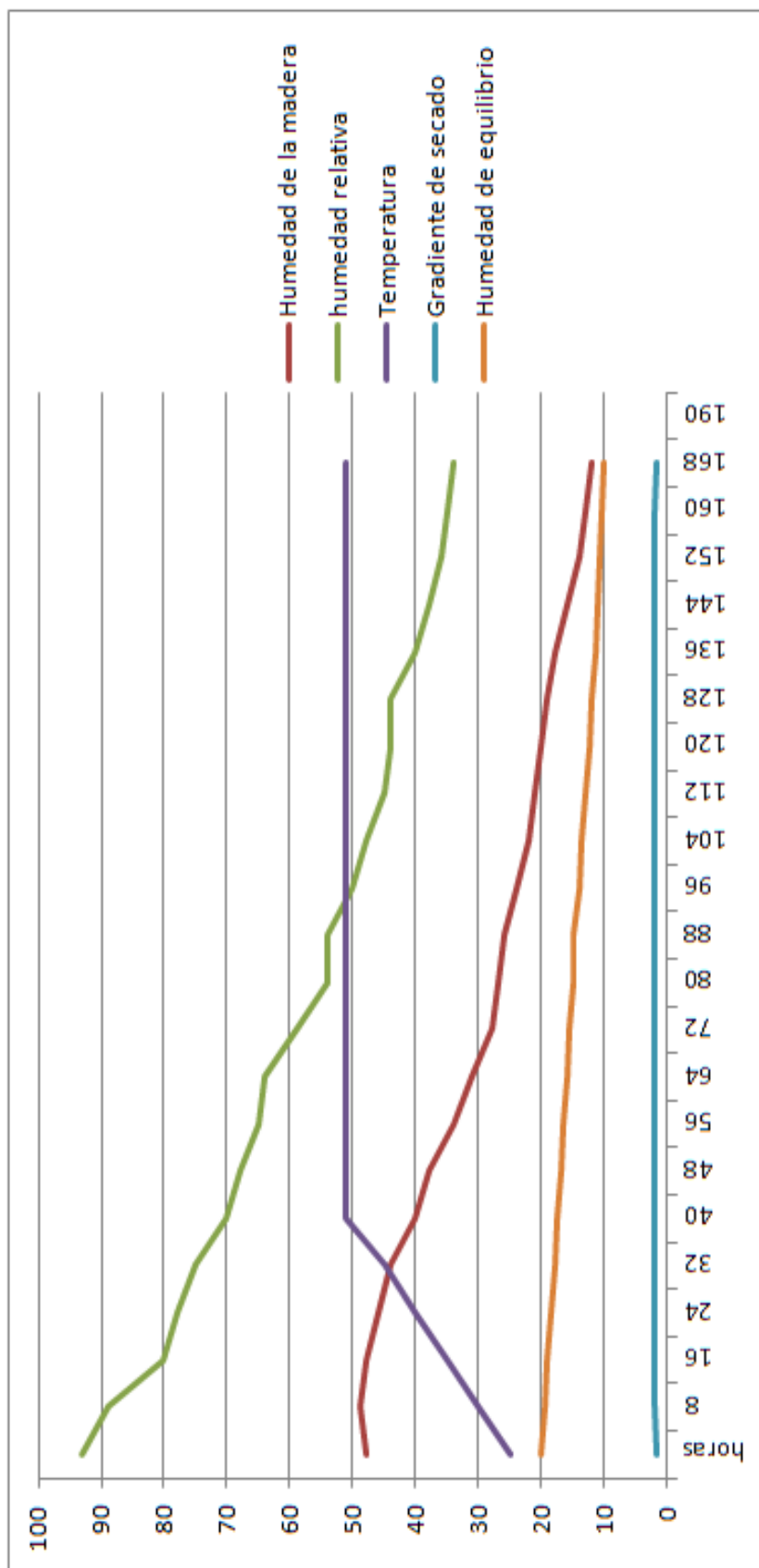


Figura 4.2: Comportamiento de los parámetros de cedro.

Fuente: Elaborado en Excel

Al igual que los casos anteriores se puede mejorar el programa de secado, haciendo que las curvas de humedad de la madera y la de equilibrio se acerquen, pero a un límite, ya que a medida que se acerquen, los defectos en la madera aumentan; así que la única manera de encontrar este resultado es con la experiencia.

La madera capirona es una madera considerado pesado, se tuvieron buenos resultados porque se trabajó con una temperatura baja  $51^{\circ}\text{C}$ , para diferentes espesores se tiene que elegir un programa óptimo.



# CAPÍTULO V : COSTO DE INVERSIÓN Y LA RENTABILIDAD

El horno de secado de madera es un modelo económico para el mercado peruano; se basa en un modelo pequeño para 1000 pies de madera pensando en talleres pequeños. A continuación se detalla los costos de la cámara de secado y la rentabilidad que puede generar.

## 5.1 Costo de inversión de la cámara.

En la tabla 5.1 se muestran los gastos invertido en la cámara .Los costos son elevados debido que se usó materiales de buena calidad para una vida útil larga, y protección de corrosión de humedad como temperatura durante el secado.

Los componentes de la tabla 5.2 fueron adquiridos en el mercado nacional y el sensor RENSE y el servomotor fueron importados, ya que en Perú no es comercial ese tipo de sensor.

La base metálica de la tabla 5.3 el extractor centrífugo se manda a diseñar de acuerdo al criterio que se tiene a la hora de extraer aire de la cámara de secado. Sé eligió un motor de marca Siemens trifásico, con el

fin de que trabaje varios días sin tener algún descanso, ya que la función principal del motor es el movimiento del aire, el aire va extraer la humedad que tendrá la madera como se mencionó en capítulos anteriores.

### 5.1.1 Costos empleados en la estructura de la cámara.

Descripción	S/ Costo	S/. Sub-Total
20 Tubos cuadrado de Aluminio	112.00	2240.00
20 Planchas de Aluzinc	110.00	2200.00
Aislante fibra de vidrio	230.00	230.00
Accesorios	200.00	200.00
Soldadura	520.00	520.00

Jebes	350.00	350.00
Soporte de jebe	60.00	60.00
Remaches	110.00	110.00
10 Tecknopor	11.00	110.00
5 Planchas de Acero inoxidable	50.00	250.00
Acero Inox	850.00	850.00
TOTAL	7100.00	7100.00

Tabla 5.1: Costos de la estructura de la cámara.

### 5.1.2 Costo de sistema de control de T°C Y la HR%

Equipos	S/. Sub Total
Sensor rense HT 741 R,T	2200.00
Quemador de gas tipo Hornilla	1900.00
Transformador de aislamiento 250w	190.00
Regulador de baja presión	350.00
Regulador de alta presión	180.00
Termostato de temperatura	80.00
Aspersores	160.00
Higrómetro	1000.00
Ventilas	200.00
2 servomotores	900.00
Tanque de gas GLP	300.00
Otros	55.00
Total	7515.00

Tabla 5.2: Costos equipos de temperatura y humedad relativa.

### 5.1.3 Costo del equipo de sistema de ventilación

Equipos	S/. Sub Total
Motor siemens trifásico 1.5HP	620.00
Base metálico de extractor centrífugo	900.00
Total	1520.00

Tabla 5.3 Costo del equipo de sistema de ventilación.

Como se observa en tabla 5.5 son los costos totales que se gastó en la estructura de la cámara y en los componentes.

En tabla 5.6 al costo del motor se le suma el costo del servomotor. El consumo de éstos es mínimo, ya que solo trabajan unos minutos al día, sólo se le agregará el 10% del consumo de los servomotores en el secado para obtener una cifra más real, es decir que el costo total en 7 días de trabajo puede ser 6.58 soles.

### 5.1.4 Costo de tablero de control

Equipos	S/. Sub Total
Tablero	310.00
PLC	1100.00
Fuente	400.00
Visualizador para HR,T	500.00
Interruptores	350.00
Contactador+rele térmica	180.00
Relés	80.00
Borneras	39.00
Cableados	280.00
2 Canaletas para cableados	50.00
Riel Din	30.00
Otros	28.00
Total	3347.00

Tabla 5.4: Costo del tablero de control.

Los componentes del tablero de control se adquirieron en la tienda de automatización de Lima.

Componentes	S/. Sub Total
Estructura de la cámara de secado	7100.00
Control de T , HR	7755.00
Sistema de ventilación	1520.00
Tablero de control	3347.00
Total	19722.00

Tabla 5.5 El costo total empleado en la cámara de secado.

## 5.2 Costo de energía utilizada.

Potencia de motor(kw)	Precio por kw/h Tarifa(BT5B)	Número de motores	Número de días	Costo total en nuevo soles
1.119	0.35	1	7	65.80

Tabla 5.6: Costo de energía utilizada.

Del capítulo anterior se calculó la energía térmica a usar 4.570kw equivale 99 soles aproximadamente.

## 5.3 Análisis de Rentabilidad.

Se mostrará el ritmo en que se recuperará la inversión y el nivel de rentabilidad de la cámara para secado de madera.

El tiempo estimado para la recuperación del dinero es de aproximadamente 16 meses, este tiempo es muy rápido teniendo en cuenta que la inversión inicial es alta. La información que se obtuvo en Lima y Pucallpa, el pie de madera cuesta s/0.5 a s/0.7, de acuerdo

al tamaño del horno en que se va secar, como se mencionó en capítulos anterior la cámara es pequeña lo cual tiene una capacidad máxima de 1167pies ideal para carpintería o microempresas, entonces el pie costará s/0.7. Asumiendo al mes la ejecución de dos procesos, obteniendo S/.1633 mensual y en 16 meses obtendremos S/.20480.00 aproximadamente, recuperando la inversión gastada al inicio, debemos tener en cuenta que el secado depende del tipo de madera a secar, estos pueden durar 5 días, 7 días, 10días y 12 días.

	Tiempo para recuperar la inversión			
Dos procesos por mes	1 mes	6 meses	12 meses	16 meses
Ingresos	S/.1633.00	S/.9798.00	S/.19596.00	S/.26128.00
Gasto mensual de energía	S/.353.00	S/.2124.00	S/.4236.00	S/.5648.00
Ingresos de servicios neto	S/.1280.00	S/.7674.00	S/.15360.00	S/.20480.00

Tabla 5.7: Tiempo estimado para la recuperación de la inversión inicial.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró proyectar una cámara de secado con una capacidad de 1167 pies, en donde se controlaron variables como temperatura y humedad relativa del interior de la cámara de secado.

Los equipos necesarios para el funcionamiento de la cámara de secado fueron seleccionados especialmente para poder soportar las condiciones de humedad y temperatura en el interior. En este trabajo se cumplieron

todos los objetivos propuestos.

Se logró tener resultados óptimos para madera blanda, semi-blanda y dura libres de tensiones con parámetros diferentes para cada especie y espesor de la madera, obtenido respuestas que me permite hacer un buen acabado de calidad.

A medida que la humedad relativa baja, la madera pierde humedad hasta llegar al punto de equilibrio, teniendo una temperatura constante que permita tener un gradiente de secado óptimo.

En las prueba se obtuvo un excelente secado de la madera hasta 12% de humedad ,libres de alabeos, libres de tensiones ,debido a que se trabajó con gradiente de secado de madera bajo .

Para la manipulación del tablero eléctrico se optó en poner tag para facilitar al operario en la manipulación del tablero.

Para secar cualquier tipo de madera es necesariamente hacer la fase de homogenización para obtener un secado final parejo.

A secar una madera no conocida, se opta en tener un secado lento para evitar las rajaduras.

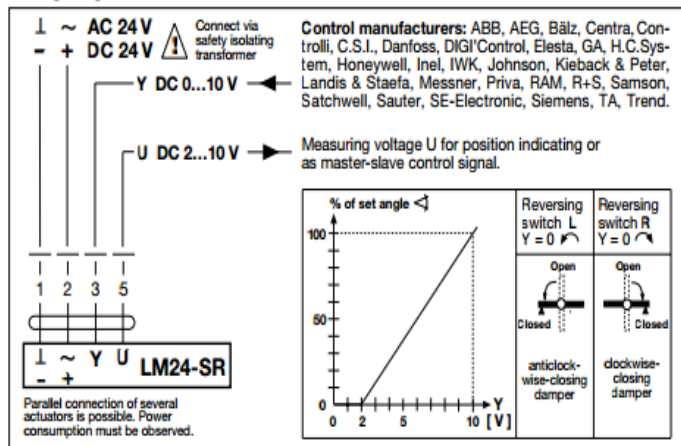
# BIBLIOGRAFÍA

- [1] [http://www.premac.co/pdf/H\\_Madera.pdf](http://www.premac.co/pdf/H_Madera.pdf)
- [2] Junta del acuerdo de Cartagena. Manual grupo andino para el secado de Maderas 1ra edición .55p.
- [3] BACHRICH, J.L 1980. Dry kiln handbook. Vancouver, BC: H.A Simons (international) LTD. 374p.
- [4] BACHRICH, J.L 1980. Dry kiln handbook. Vancouver, BC: H.A Simons (international) LTD. 375p.
- [5] <http://www.nigos.rs/start.html>.
- [6]<http://noticias.universia.edu.pe/cienciatt/noticia/2004/12/15/764747/Novedo-So-sistema-secado-maderabrgana-concurso-proyectos.html>.  
Maderas 1ra edición .55p.
- [7] Junta del acuerdo de Cartagena. Manual grupo andino para el secado de Maderas 1ra edición .56p.
- [8] Junta del acuerdo de Cartagena. Manual grupo andino para el secado de Maderas 1ra edición .70p.
- [9] Junta del acuerdo de Cartagena. Manual grupo andino para el secado de Maderas 1ra edición .71

# ANEXOS

## Anexo I: Características técnica de Servomotor.

### Wiring diagram



Technical data	LM24-SR
Nominal voltage	AC 24 V 50/60 Hz, DC 24 V
Nominal voltage range	AC 19.2...28.8 V, DC 21.6...28.8 V
For wire sizing	4 VA
Power consumption	2 W
Connecting cable	1 m long, 4x0.75 mm <sup>2</sup>
Control signal Y	DC 0...10 V @ input resistance = 100 kΩ
Operating range	DC 2...10 V (for set angle of rotation)
Measuring voltage U	DC 2...10 V @ ≤ 0.5 mA (for set angle of rotation)
Synchronism tolerance	± 5%
Direction of rotation	selected with L/R switch
(at Y = 0 V)	at switch position L ↺ resp. R ↻
Manual operating	Pushbutton, self resetting
Torque	min. 4 Nm (at rated voltage)
Angle of rotation	max. 95° (adjustable with potentiometer 20...100%)
Running time	80...110 s for < 95° (0...4 Nm)
Sound power level	max. 35 dB (A)
Position indication	mechanical
Protection class	⚡ (safety low voltage)
Degree of protection	IP 54 (bottom cable entry)
Ambient temperature range	- 30... + 50 °C
Non-operating temperature	- 40... + 80 °C
Humidity test	to EN 60335-1
EMC	CE according to 89/336/EEC, 92/31/EEC, 93/68/EEC
Maintenance	maintenance-free
Weight	620 g

### Product features

**Simple direct mounting** on the damper spindle by universal spindle clamp. An antirotation device is supplied to prevent unwanted rotation of the whole unit.

**Steplessly adjustable angle of rotation** by integral potentiometer. Range matching of the working range and measuring signal U is performed automatically by the actuator.

**Manual operation** by self-resetting push-button when necessary (the gearing is disengaged while the pushbutton is held depressed).

### High functional reliability

The actuator is overload-proof, needs no limit switches and halts automatically at the end stops.

### Electrical accessories (see Doc. 2.Z.)

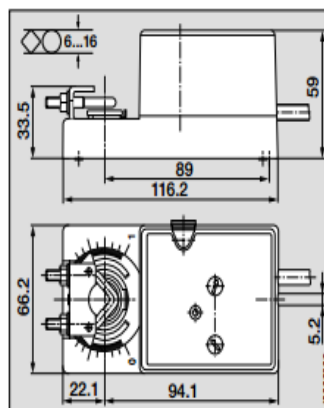
SG..24 Positioners  
ZAD24 Digital position indicator

### Control and monitoring functions, page 10

### Important

Read the notes about the use and torque requirements of the damper actuators on page 2.

### Dimensions





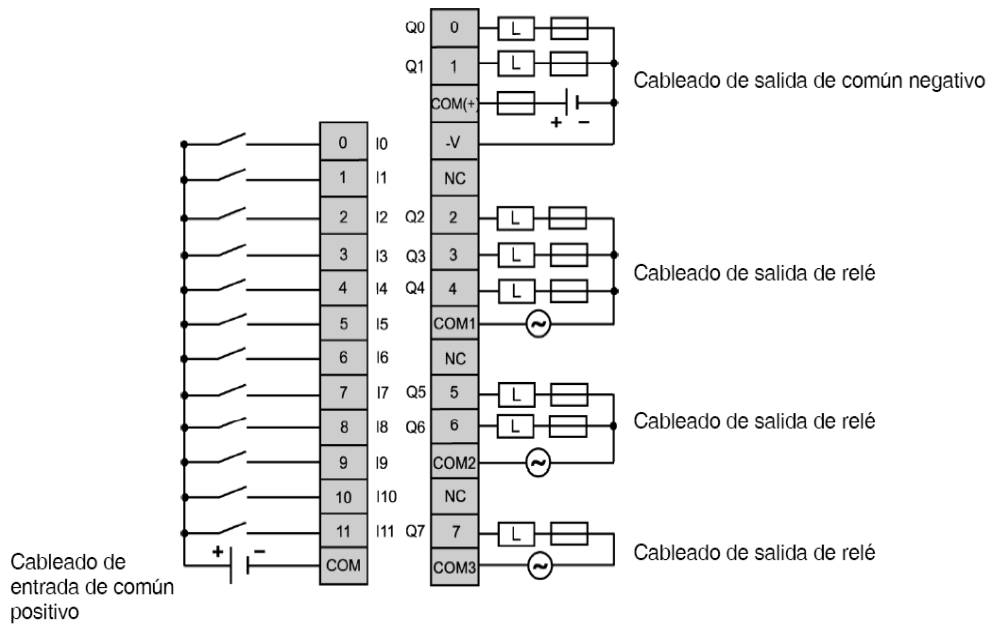
## Anexo II: Características y esquema del controlador.

Controlador modular	TWDLMDA20DTK TWDLMDA20DUK	TWDLMDA20DRT	TWDLMDA40DTK TWDLMDA40DUK
Temperatura de funcionamiento	Temperatura ambiente en funcionamiento entre 0 y 55 °C		
Temperatura de almacenamiento	De -25 °C a +70 °C		
Humedad relativa	Del 30% al 95% (sin condensación)		
Grado de contaminación	2 (IEC60664)		
Grado de protección	IP20		
Inmunidad a la corrosión	Libre de gases corrosivos		
Altitud	Funcionamiento: de 0 a 2.000 m Transporte: de 0 a 3.000 m		
Resistencia a las vibraciones	Montado sobre un riel DIN: De 10 a 57 Hz con una amplitud de 0,075 mm; de 57 a 150 Hz con una aceleración de $9,8^2$ (1G); 2 horas por eje en cada uno de los tres ejes perpendiculares entre sí. Montado sobre la superficie de un panel: De 2 a 25 Hz con una amplitud de 1,6 mm; de 25 a 100 Hz con una aceleración de $39,2$ ms <sup>2</sup> (4G); Lloyd's, 90 minutos por eje en cada uno de los tres ejes perpendiculares entre sí.		
Resistencia a golpes	147 ms <sup>2</sup> (15G), 11 ms de duración, 3 golpes por eje en los tres ejes perpendiculares entre sí (IEC 61131).		
Peso	140 g	185 g	180 g

Controlador modular	TWDLMDA20DUK TWDLMDA20DTK	TWDLMDA20DRT	TWDLMDA40DUK TWDLMDA40DTK
Puntos de entrada	12 puntos en una línea común	12 puntos en una línea común	24 puntos en una línea común
Tensión de entrada nominal	Señal de entrada de común positivo/negativo de 24 VDC		
Rango de tensión de entrada	De 20,4 a 26,4 VDC		
Corriente de entrada nominal	I0, I1, I6, I7: 5 mA/entrada (24 VDC) De I2 a I5, de I8 a I23: 7 mA/entrada (24 VDC)		
Impedancia de entrada	I0, I1, I6, I7: 5,7 kΩ De I2 a I5, de I8 a I23: 3,4 kΩ		
Tiempo de encendido (Tiempo activo)	De I0 a I7 35 μs + valor de filtro De I8 a I23: 40 μs + valor de filtro.		
Tiempo de apagado (Tiempo inactivo)	I0, I1, I6, I7: 45 μs + valor de filtro. De I2 a I5, de I8 a I23: 150 μs + valor de filtro.		
Aislamiento	Entre los terminales de entrada y el circuito interno: fotoacoplador aislado (protección de aislamiento hasta 500 V) Entre los terminales de entradas: sin aislamiento		
Filtrado (3 posibilidades: ninguno, 3 ms o 12 ms)	De I0 a I11	De I0 a I11	De I0 a I7
Tipo de entrada	Tipo 1 (IEC 61131)		
Carga externa para la interconexión de E/S	No es necesaria		
Método de determinación de señales	Estático		
Tipo de señales de entrada	Las señales de entrada pueden ser tanto de común positivo como negativo		
Longitud del cable	3 m para cumplir la normativa de inmunidad electromagnética		

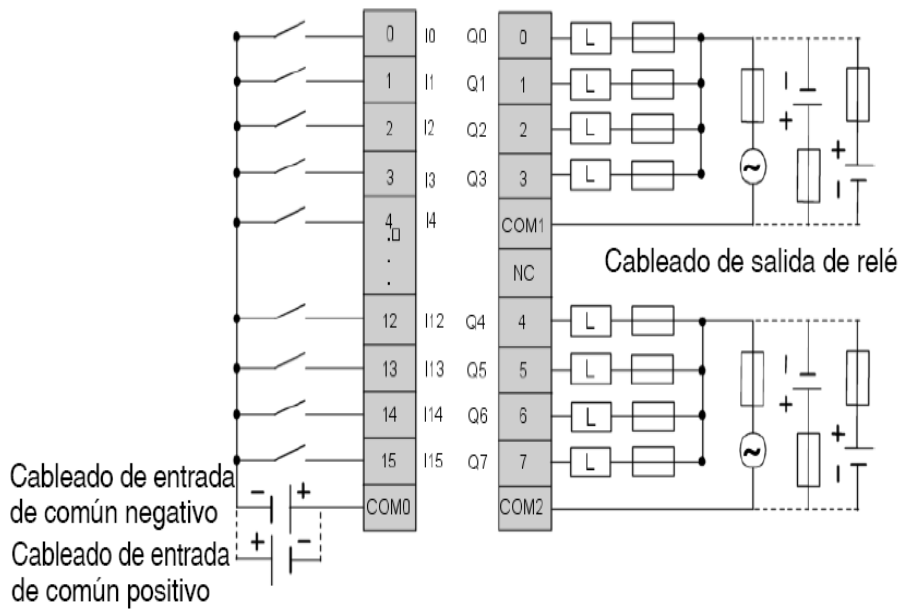
**Esquema de cableado de TWDLMDA20-DRT**

Este esquema corresponde al controlador TWDLMDA20DRT con bloque de terminales.



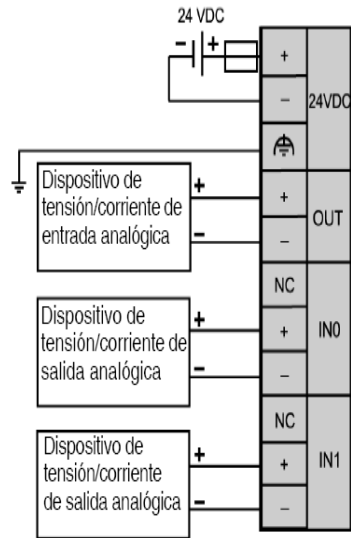
**Esquema de cableado de TWDDMM24DRF**

Este esquema corresponde al módulo TWDDMM24DRF.



**Esquema de cableado del módulo TWDAMM3HT**

Este esquema corresponde al módulo TWDAMM3HT



# Anexo III: Características técnica del transmisor.

## CONNECTION DIAGRAMS FOR THE HX/HT740/741 SERIES RH & TEMPERATURE TRANSMITTERS

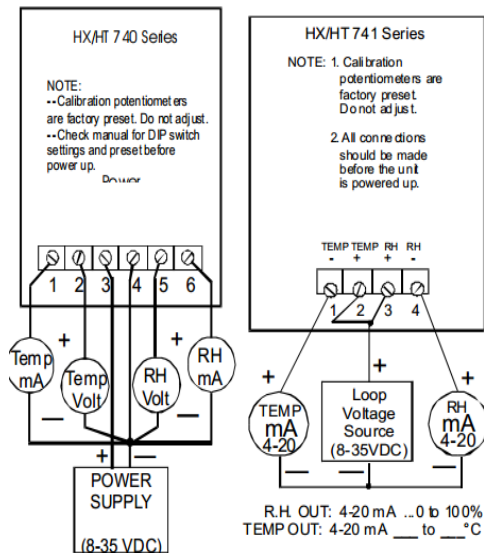


Figure 1

### Specifications HX-740 series 3 or 4-wire R. H. Transmitter

0 to 100% RH  
 5 to 95% RH  
 User selectable 0.1V, 5V, 10V, 0.20 mA, or 4 to 20mA 0.10v std.  
 ± 2% RH  
 0.05% RH/ °C typical  
 14 to 35 VDC (0.5, 10 V)  
 8 to 35 VDC (0.1 V, or current)  
 10 sec. w/o filter (90% change)  
 ± 2% RH, 24 months typical (depending on conditions)  
 ± 0.01% RH/ Volt typical  
 -20 to +60°C (Models T-00 & T-01)  
 -40 to +150°C (Models T-02, T-03, T-04, T-05, T-06, T-07, T-08, T-09, T-10)

### Specifications HX-741 series 2-wire R. H. Transmitter

Measuring range 0 to 100% RH  
 Working range 5 to 95% RH  
 Output 4 to 20mA  
 Accuracy @ 25°C typ. ± 2% RH  
 Temperature drift 0.05% RH/ °C typical  
 DC power supply 8 to 35V DC  
 Response time 10 sec. w/o filter (90% change)  
 Stability ± 2% RH, 24 months typical (depending on conditions)  
 Supply influence ± 0.01% RH/ Volt typical  
 Operating temp. -20 to +60°C (Models T-00 & T-01)  
 Operating temp. sensor-tp -40 to +150°C (Models T-02, T-03, T-04, T-05, T-06, T-07, T-08, T-09, T-10)

### 3/4wire HT-740 series w/Temp.

User-selectable  
 10°C steps between -50 and +100°C  
 50°C steps between -50 and 150°C  
 10°C steps between 10 and 160°C  
 50°C steps between 50 and 250°C  
 User Selectable (See above)  
 ± 0.2°C typical  
 ± 0.01°C/ Volt typical

### 2-wire HT-741 series w/Temp.

User-selectable  
 Range  
 Zero selection 10°C steps between -50 and +100°C  
 50°C steps between -50 and 150°C  
 Span selection 10°C steps between 10 and 160°C  
 50°C steps between 50 and 250°C  
 Output 4 to 20mA  
 Accuracy ± 0.2°C typical  
 Supply influence ± 0.01°C/ Volt typical

**WARNING** The remote sensor head/cable assembly and the electronic unit have corresponding serial numbers. They cannot be exchanged without recalibration.

# Anexo IV: Programa del proceso de secado.

En el Anexo 4 se puede observar una parte del programa de secado de madera

